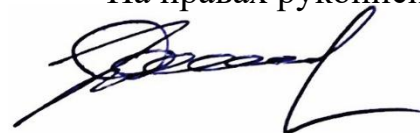


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»

На правах рукописи



ДЕМИРОВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ
НЕФТЕПРОДУКТООБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СБОРНО-РАЗБОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

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
Мастобаев Борис Николаевич

Уфа – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1 Исторический опыт и современное состояние применения сборно-разборных трубопроводов в военных и гражданских целях	16
1.1 Возникновение и развитие сборно-разборных трубопроводов.....	18
1.2 Применение сборно-разборных трубопроводов при выполнении задач материально-технического обеспечения	31
1.3 Применение ВС СССР сборно-разборных трубопроводов в Афганской войне	38
1.4 Интеграция магистральных нефтепродуктопроводов и полевых магистральных трубопроводов	42
1.5 Применение трубопроводов при выполнении задач материально-технического обеспечения за рубежом.....	45
1.6 Применение ПМТ для ликвидации последствий стихийных бедствий и техногенных аварий	50
1.7 Использование сборно-разборных трубопроводов в нефтегазовом комплексе	52
1.8 Применение сборно-разборных трубопроводов для обеспечения водой населения Республики Крым	54
Глава 2 Сетевое функциональное резервирование полевых магистральных трубопроводов в условиях современных военных угроз и методы оптимизации их конфигурации	59
2.1 Актуальные проблемы применения полевых магистральных трубопроводов	59
2.2 Анализ современного состояния проблемы и обоснование необходимости сетевого функционального резервирования.....	60
2.3 Математическое моделирование живучести трубопроводных систем	68
2.4 Методология оптимизации конфигурации сетевых трубопроводов	79
2.5 Разработка модифицированного алгоритма проектирования сетевых	

структур.....	84
2.6 Практические рекомендации и перспективы развития	88
Глава 3. Применение противотурбулентных присадок в системах сборно-разборных трубопроводов при перекачке нефтепродуктов	93
3.1 Начало применения противотурбулентных присадок в трубопроводах при перекачке нефти и нефтепродуктов	93
3.2 Применение противотурбулентных присадок на магистральных нефтепроводах	95
3.3 Экспериментальные исследования применения противотурбулентных присадок в системах сборно-разборных трубопроводов при перекачке нефтепродуктов	107
3.4 Передвижная перекачивающая насосная установка с дозатором.....	115
Глава 4 Повышение эффективности транспортировки нефтепродуктов сборно-разборным трубопроводом.....	119
4.1 Анализ и выбор направлений совершенствования системы транспортировки нефтепродуктов по сборно-разборным трубопроводам в системе материально-технического обеспечения.....	121
4.2 Техническое переоснащение трубопроводных подразделений, частей (соединений)	125
Заключение.....	144
Список использованных источников.....	146
Приложение – Акты внедрения	171

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертационного исследования обусловлена необходимостью повышения устойчивости и функциональной эффективности полевых трубопроводных систем обеспечения топливом в условиях современных военных угроз и возрастающих требований к надежности инфраструктуры нефтепродуктообеспечения. Современные вооруженные конфликты характеризуются высокой плотностью огневого воздействия, широким применением высокоточного оружия, беспилотных летательных аппаратов и скрытных диверсионных средств поражения инфраструктурных объектов. В таких условиях традиционная линейная архитектура полевых магистральных трубопроводов (ПМТ), основанная на последовательном соединении участков, демонстрирует критическую уязвимость: повреждение всего одного звена приводит к прекращению функционирования всей системы. Альтернативные способы доставки горючего – автомобильный, железнодорожный и воздушный транспорт – не обеспечивают требуемую пропускную способность при масштабных операциях и одновременно характеризуются повышенной уязвимостью, зависимостью от дорожной инфраструктуры и более значительными эксплуатационными затратами. Следовательно, надежность обеспечения бесперебойной подачи топлива требует совершенствования не только средств и техники, но и самой архитектуры полевых трубопроводных систем.

Особую актуальность приобретает переход от линейной к сетевой структуре сборно-разборных трубопроводов (СРТ) с функциональным резервированием потоков топлива. Такая архитектура позволяет сохранять работоспособность системы при частичном разрушении ее элементов за счет перераспределения потоков топлива и наличия альтернативных маршрутов транспортировки. Дополнительным направлением возможного повышения эффективности является увеличение пропускной способности трубопроводов малого диаметра за счет применения агентов снижения гидравлического

сопротивления – противотурбулентных (ПТП) / антифрикционных присадок (АФП). В условиях ограниченного материального ресурса и невозможности оперативного строительства лупингов данный подход позволяет увеличить объем перекачки без расширения линейной части.

Актуальность данной темы определяется также двойным назначением сетей сборно-разборных трубопроводов. Помимо военного применения, они широко используются при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, обеспечении населения водой и топливом в условиях разрушенной в результате военных действий, природных или техногенных чрезвычайных ситуаций инфраструктуры, а также при временных технологических схемах при ремонте и реконструкции линейных объектов нефтегазового комплекса. Таким образом, развитие теоретических и прикладных основ проектирования и эксплуатации СРТ соответствует задачам обеспечения обороноспособности и устойчивости экономики страны.

Степень разработанности проблемы. Проблематика проектирования и эксплуатации СРТ имеет значительную историю научного и практического развития. Формирование научных основ трубопроводного обеспечения войск в СССР связано с деятельностью Управления снабжения горючим РККА и последующим развитием трубопроводных войск. Существенный вклад в развитие теории и практики полевых магистральных трубопроводов внесли исследования Никитина В.В., Швецова В.А., Мамыкина Н.И., Гладкого В.А., Акунина В.Г., Кузьмина В.Г., Абдурахманова Э.Ф., Горчакова В.А., Каграманьяна Б.Р., Германовича П.К., Шеина К.Г., Середы В.В., Данильченко И.Г., Мельникова Д.И., Шахраманьяна М.А., Браткова А.А., Дроздова Д.А., Белякова А.М., Юденичева В.В., Кузнецова И.И., Кузнецова А.И., Михайлова, В.В., Коваленко, В.Г., Егорова Н.Т., Комарова Л. Д., Михайлова В.В., Татлыева Р.Д., Мокроусова А.С., Квашнина Б.С., Кострикина В.Д., Баранца Ю.Г., Козулева В.А., Рыбакова Ю.Н., Михеева Ю.М., Суярова А.С., Варнакова В.В., Варнакова Д.В., Усина В.В. и др. специалистов в области военной логистики и трубопроводного транспорта. Значительная часть этих работ

посвящена историческому анализу применения сборно-разборных трубопроводов в период Великой Отечественной войны, в том числе при обеспечении блокадного Ленинграда, а также в последующих военных конфликтах, включая Афганистан. Исследования вышеуказанных авторов позволили сформировать представление о тактико-технических возможностях линейных ПМТ и их роли в системе материально-технического обеспечения. Подробно освещены аспекты развития трубопроводных войск страны и технические характеристики существующих систем. Вопросы живучести линейных трубопроводных систем исследовались в трудах В.В. Никитина и Б.Р. Каграманьяна, где обосновывалась необходимость их защиты от воздействий противника. За рубежом вопросы оперативного трубопроводного снабжения получили развитие в работах, посвященных военной логистике США и стран НАТО, включая анализ эксплуатации временных трубопроводных систем при обеспечении операций в Европе и на Ближнем Востоке.

Оценке гидравлической эффективности трубопроводов и применению противотурбулентных присадок посвящены фундаментальные исследования Г.И. Баренблатта, А.Х. Мирзаджанзаде, М.Д. Миллионщикова, И.Л. Повха, М.В. Лурье и других представителей отечественной школы. Практические аспекты использования противотурбулентных присадок в магистральных трубопроводах рассматривались в работах Алиева Р.А., Абдусаламова А.В., Амфилохиева В.Б., Анисимова И.А., Асланова П.В., Баренблатта Г.И., Бахтизина Р.Н., Белоусова Ю.П., Блейхера Э.М., Булиной И.Г., Валиева М.И., Васецкой В.А., Гареева М.М., Гольдштика М.А., Голунова Н.Н., Горина Я.Я., Городцова В.А., Грешилова Е.М., Григоряна С.С., Гумерова А.Г., Ерошкиной И.И., Жолобова В.В., Иванюты Ю.Ф., Иоселевича В.А., Калашникова В.Н., Кобец Г.Ф., Манжая В.Н., Марона В.И., Мастобаева Б.Н., Мацкина Л.А., Муратовой В.И., Несына Г.В., Нечваля А.М., Новоселова В.Ф., Пилипенко В.Н., Пименова О.В., , Прохорова А.Д., Ревель-Муроza П.А., Седова В.А., Станева В.С., Ступина А.Б., Чекаловой Л.А., Челинцева С.Н., Челинцева Н.С.,

Черникина А.В., Шаммазова А.М., Шварца В.М., Шибаева В.П., Юфина В.А. и многих других. На основе работ этих авторов были сформированы комплексная теоретическая база и практические методы проведения инженерных расчетов для решения задач проектирования и эксплуатации трубопроводов с применением ПТП.

В то же время анализ существующих публикаций показывает, что по состоянию на сегодняшний день:

- не разработаны вопросы построения сетевых архитектур ПМТ с функциональным резервированием системно;
- отсутствуют достоверные математические модели количественной оценки живучести линейных и сетевых структур применительно к условиям ПМТ при высоких рисках боевого воздействия;
- не сформированы методологические основы для интеграции ПМТ в единую эшелонированную систему с магистральными продуктопроводами;
- применение противотурбулентных присадок в ПМТ малого диаметра и протяженности для военных систем исследовано фрагментарно.

Таким образом, несмотря на наличие значительного объема данных об исследованиях по отдельным направлениям, комплексная задача повышения эффективности ПМТ из СРТ на основе сочетания сетевой архитектуры и гидравлической интенсификации остается недостаточно разработанной, что определяет необходимость настоящего исследования.

Соответствие паспорту заявленной специальности

Тема работы и содержание исследований соответствуют **пунктам 2 и 4** области исследований, определяемой паспортом специальности 2.8.5. – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ»: «2. Научные основы системного комплексного (мультидисциплинарного) проектирования конструкций, прочностных, гидромеханических, газодинамических и теплофизических расчетов сухопутных и морских систем трубопроводного транспорта для добычи, сбора, подготовки, транспортировки и хранения углеводородов, распределения, газоснабжения и

нефтепродуктообеспечения, подземных и наземных газонефтехранилищ, терминалов, инженерной защиты и защиты от коррозии, организационно-технологических процессов их сооружения, эксплуатации, диагностики, обеспечения системной надежности, механической и экологической безопасности» и «4. Методы и средства информационных технологий, моделирования, мониторинга, прогнозирования, интеллектуального инжиниринга и управления, автоматизации и роботизации, стандартизации и цифровизации технологических процессов проектирования, сооружения, эксплуатации, диагностики, ремонта 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 с целью повышения эффективности, надежности и безопасности использования отраслевого потенциала и ресурса трубопроводных конструкций».

Цель диссертационной работы

Целью работы является разработка научно обоснованных методов и средств повышения надежности и эффективности полевых магистральных трубопроводов из сборно-разборных конструкций на основе формирования сетевых архитектур с функциональным резервированием и применения противотурбулентных присадок для адаптивного регулирования пропускной способности в условиях боевых действий и чрезвычайных ситуаций.

Основные задачи исследования. Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решены следующие задачи:

1. Выполнить системный анализ исторического опыта и современного состояния применения полевых магистральных трубопроводов в военных и гражданских условиях с выявлением ограничений линейных архитектур.

2. Разработать математическую модель количественной оценки живучести трубопроводных систем при различных конфигурациях с учетом вероятностного характера внешних воздействий.

3. Создать алгоритм проектирования сетевых структур полевых магистральных трубопроводов, учитывающий тактико-эксплуатационные ограничения эксплуатации и требования по обеспечению функционального резервирования.

4. Экспериментально обосновать эффективность применения противотурбулентных присадок для повышения пропускной способности сборно-разборных трубопроводов, отличающихся малым диаметром.

5. Разработать комплекс практических рекомендаций по техническому переоснащению трубопроводных подразделений и повышению эксплуатационной эффективности системы обеспечения горючим.

Научная новизна

1. Методами математического моделирования обосновано, что сетевая архитектура полевых магистральных трубопроводов с функциональным резервированием потоков обеспечивает существенное повышение надежности по сравнению с линейной. Установлено, что увеличение числа резервируемых подсистем свыше четырех не дает значимого эффекта.

2. Предложен алгоритм проектирования сетевых трубопроводных структур, отличающийся от классического алгоритма Прима введением топологических ограничений, запрещающих прямое соединение однотипных вершин (источник–источник, потребитель–потребитель) для формирования множества альтернативных маршрутов транспортировки, исключения образования критических «узких мест» в виде единственных межгрупповых перемычек и повышения структурной устойчивости системы при локальных повреждениях.

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в развитии научных основ для проектирования и эксплуатации полевых магистральных трубопроводов, как элементов распределенных сетевых систем, функционирующих в условиях повышенных внешних воздействий и ограничений по ресурсам. Разработанная математическая модель, основанная на использовании геометрического и отрицательного биномиального

распределений, формирует количественный инструментарий оценки живучести трубопроводных конфигураций с учетом вероятностного характера повреждений и структурных особенностей системы. Предложенный подход позволяет перейти от описательной характеристики устойчивости линейных схем к формализованной оценке эффективности различных архитектур на стадии проектирования, что расширяет теоретические положения в области системной надежности трубопроводных конструкций. В работе уточнены и дополнены методы структурной оптимизации трубопроводных сетей. Модифицированный алгоритм построения сетевых конфигураций развивает прикладные аспекты теории графов с учетом функциональной неоднородности узлов (источников и потребителей), что обеспечивает корректное моделирование распределения потоков в системах специального назначения. Тем самым расширяется область применения классических алгоритмов минимальных остовных деревьев к задачам трубопроводного транспорта с требованиями резервирования. Существенное развитие получили теоретические представления о гидромеханических процессах в сборно-разборных трубопроводах малого диаметра. В частности, обоснована возможность корректного учета влияния противотурбулентных присадок на гидравлическое сопротивление в мобильных системах, что дополняет существующие модели турбулентного течения применительно к трубопроводам с ограниченным диаметром и переменными режимами работы. Разработанные теоретические положения формируют основу для перехода к концепции проектирования полевых магистральных продуктопроводов как адаптивных распределенных систем с функциональным резервированием и регулируемой производительностью. Данный подход расширяет научную базу строительства и эксплуатации трубопроводов в условиях повышенных рисков и создает предпосылки для дальнейшего развития методов системного анализа, моделирования и оптимизации трубопроводных архитектур.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке и апробации комплекса инженерных решений, направленных на

повышение эксплуатационной эффективности, пропускной способности и живучести полевых магистральных продуктопроводов в реальных условиях функционирования. В рамках исследования разработана передвижная перекачивающая насосная установка, оснащенная системой дозированного ввода противотурбулентных присадок, обеспечивающая увеличение пропускной способности трубопроводов малого диаметра без строительства лупингов и без замены линейной части. Применение данной установки позволяет оперативно адаптировать режимы перекачки к изменяющимся условиям эксплуатации и требованиям по объему подачи горючего. Разработаны практические рекомендации по формированию сетевых структур полевых магистральных трубопроводов с учетом рельефа местности, протяженности трасс, характера дислокации потребителей и вероятностных рисков повреждения участков. Предложенные решения могут быть использованы при планировании развертывания трубопроводных систем и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Создана трубомонтажная машина ТММ-100 с «револьверным» типом хранения и подачи труб, обеспечивающая механизацию процессов погрузки и монтажа. Внедрение данной конструкции позволяет увеличить темп развертывания трубопроводов в 1, 5 раза, снизить трудозатраты и сократить время приведения системы в рабочее состояние. Разработаны методики гидравлического расчета полевых трубопроводов с учетом применения противотурбулентных присадок для различных видов горючего, позволяющие обоснованно определять режимы перекачки и прогнозировать прирост пропускной способности. Методики могут использоваться при проектировании, реконфигурации и эксплуатации сборно-разборных трубопроводных систем. Результаты исследования внедрены на практике при развертывании временных водопроводных систем на территории Республики Крым, при выполнении работ по ликвидации последствий природных пожаров, а также в деятельности трубопроводных подразделений войск. Практическая реализация полученных результатов

работы подтверждает работоспособность предложенных технико-технологических решений.

Внедрение результатов диссертационного исследования подтверждено официальными актами организаций промышленного и образовательного профиля. В частности, комиссией ООО «БАЛТИКФЛЕКС» подтверждена эффективность использования разработанных в работе технических решений при формировании тактико-технических требований на комплект беспричальной заправки кораблей на рейде БЗКР-100Э, комплект многоцелевого плоскосворачиваемого трубопровода КМПТ-100-2,5. Результаты исследования внедрены в учебный процесс филиала Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева (г. Вольск) при преподавании дисциплин, связанных с проектированием, сооружением и эксплуатацией магистральных трубопроводов, а также с основами нефтегазового дела, что подтверждает их методическую и прикладную ценность для подготовки специалистов трубопроводных войск. Кроме того, в ООО «НЕАТЕХ» положения и технические решения диссертации использованы при восстановлении рабочей конструкторской документации на комплект полевого магистрального трубопровода ПМТП-100, что свидетельствует о практической применимости разработанных подходов при модернизации и актуализации изделий трубопроводной техники.

Таким образом, результаты работы нашли реальное применение как в производственной деятельности профильных предприятий, так и в системе профессиональной подготовки кадров, обеспечивая их востребованность в задачах оборонного и гражданского назначения.

Методология и методы научного исследования

Методология диссертационного исследования основана на системном подходе к анализу и синтезу полевых трубопроводных систем как сложных технических объектов, функционирующих в условиях внешних воздействий, ресурсных ограничений и изменяемых эксплуатационных режимов. В работе

полевые магистральные трубопроводы рассматриваются как распределенные инженерные структуры, требующие учета конструктивных, гидравлических, организационно-технологических и вероятностных факторов. В процессе исследования использованы следующие методы:

- теоретический анализ отечественных и зарубежных научных публикаций, нормативно-технической документации и материалов практической эксплуатации трубопроводных систем;

- методы математического моделирования живучести трубопроводных конфигураций на основе расчетов вероятностных распределений, включая геометрическое и отрицательное биномиальное распределения, примененные для количественной оценки отказов и устойчивости системы;

- гидравлические расчеты режимов перекачки с использованием зависимостей типа Съенитцера-Марона для оценки изменения коэффициента сопротивления при введении противотурбулентных присадок;

- методы теории графов и элементы задачи Штейнера при разработке алгоритмов оптимальной трассировки и формирования сетевых архитектур с функциональным резервированием;

- экспериментальные исследования оценки эффективности применения противотурбулентных присадок на трубных и лабораторных установках с последующей статистической обработкой результатов;

- методы комплексного системного анализа и инженерного синтеза при формировании комплексной методологии для повышения надежности и эксплуатационной эффективности трубопроводных систем.

Экспериментальная достоверность данных и практическая значимость полученных результатов подтверждена опытом практического развертывания полевых трубопроводных систем в различных природно-климатических и эксплуатационных условиях, а также сопоставлением расчетных данных и фактических параметров работы.

Положения, выносимые на защиту

1. Переход от линейной к сетевой архитектуре полевых магистральных трубопроводов с функциональным резервированием потоков обеспечивает кратное повышение живучести трубопроводной системы.

2. Модифицированный алгоритм проектирования сетевых структур, основанный на алгоритме Прима с учетом топологических ограничений на соединение однотипных узлов, обеспечивает формирование устойчивых конфигураций с множественными альтернативными маршрутами транспортировки и исключает образование критических одиночных перемычек, определяющих структурную уязвимость системы.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов и основных результатов подтверждается применением устоявшихся методов математического моделирования и численных исследований, подтвердивших высокую степень соответствия с теоретическими представлениями и успешно апробированных в процессе стратегических учений «Запад-2017», «Центр-2019» и «Кавказ-2020».

Результаты работы были представлены на межвузовской научно-практической конференции «Становление и развитие трубопроводных войск в системе материально-технического обеспечения» (г. Вольск, ВВИМО, 2020 г.), на XVIII Международной научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт-2023» (г. Уфа, УГНТУ), на XIX Международной научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт – 2024», на XVIII Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса» (г. Москва, РГУНГ (НИУ) имени И.М. Губкина, 2025 г.), опубликованы в ведущих рецензируемых журналах. Разработанные решения рекомендованы к внедрению, акты внедрения прилагаются к диссертации.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 18 печатных работ, в том числе 3 из них – в ведущих рецензируемых изданиях

перечня ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, 1 монография, 2 тезиса в сборниках научно-практических конференций и 3 патента РФ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения с основными выводами, списка использованных источников из 211 наименований; изложена на 174 страницах машинописного текста и содержит 74 рисунка и 20 таблиц.

ГЛАВА 1 ИСТОРИЧЕСКИЙ ОПЫТ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СБОРНО–РАЗБОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В ВОЕННЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЦЕЛЯХ

Успех любой операции неразрывно связан с бесперебойным и своевременным обеспечением войск (сил) всеми видами довольствия. Среди них горючее занимает особое, критически важное место. Горючее – источник энергии для автомобильной и бронетанковой техники, авиации, флота, без которого любая, даже самая совершенная армия, теряет свою мобильность и ударную мощь в короткие сроки.

Исторически, основными средствами транспортировки горючего к потребителям в вооруженных силах является железнодорожный и автомобильный транспорт. Трубопроводы, в основном, осуществляли транспорт нефти и нефтепродуктов на дальние расстояния [11, 65, 82, 92, 119, 177, 181]. Только в 21 веке нефтепродуктопроводы совместно со сборно-разборными трубопроводами начали использовать для подачи топлива в войска. Однако в условиях современных конфликтов, характеризующихся высокой интенсивностью, динамичностью, масштабом театров военных действий, часто – разрушением инфраструктуры и действиями диверсионных групп, эти традиционные методы становятся крайне уязвимыми. Они требуют огромного парка техники, создают длинные и легкоуязвимые колонны, зависят от состояния дорог и подвержены значительным потерям.

Именно в этом контексте сборно-разборные трубопроводы выходят на передний план как ключевой, а зачастую и незаменимый, элемент системы материально-технического обеспечения. Эти уникальные инженерные системы представляют собой не просто комплект труб и фитингов, а сложный комплекс технологий, обеспечивающий:

1. Оперативность и масштабируемость: возможность быстрого (часто в считанные часы или дни) развертывания трубопроводных магистралей протяженностью в десятки и сотни километров от пунктов подачи (порты,

склады, НПЗ) непосредственно к районам дислокации или действий войск;

2. Высокую пропускную способность и эффективность: одновременная перекачка больших объемов различных видов горючего (автобензин, авиакеросин, дизтопливо) с минимальными потерями по сравнению с автомобильными колоннами;

3. Повышенную живучесть и скрытность: значительное снижение зависимости от уязвимого автомобильного транспорта; возможность прокладки трасс по скрытым маршрутам, вне основных дорог;

4. Всепогодность и независимость от инфраструктуры: способность функционировать в сложных климатических условиях и на труднопроходимой местности, где использование других видов транспорта затруднено или невозможно;

5. Экономическую целесообразность: несмотря на высокие первоначальные затраты на создание комплектов полевых магистральных трубопроводов, их эксплуатация на значительных расстояниях и при больших объемах перекачки оказывается существенно дешевле использования тысяч рейсов автомобильных и железнодорожных цистерн.

История применения сборно-разборных трубопроводов насчитывает десятилетия, начиная с первого опыта Великой отечественной войны и получив мощное развитие в последующие годы. Конфликты второй половины XX и начала XXI века наглядно продемонстрировали жизненную необходимость полевых магистральных трубопроводов. Опыт эксплуатации таких систем, например, в Афганистане, стал бесценным для совершенствования технологий.

В работе проводится комплексное рассмотрение теории, практики и перспектив применения сборно-разборных трубопроводов на основе анализа и установления принципов и технических решений, которые не утратили своей актуальности и сегодня, находясь в основе современных технологий быстрого развертывания трубопроводных систем для нужд Минобороны, МЧС и топливно-энергетического комплекса страны в чрезвычайных

ситуациях.

1.1 Возникновение и развитие сборно-разборных трубопроводов

Новые разработки в дополнении к традиционным методам заправки позволяли с уверенностью говорить о непрерывном и устойчивом снабжении топливом с использованием полевых сборно-разборных трубопроводов.

Одним из направлений, которое могло бы обеспечить своевременную подачу горючего в войска являлось применение трубопроводов, на что было обращено особое внимание военным руководством СССР, США и Великобритании. Впервые к разработке технических решений по созданию СРТ для ПМТ начали проявлять интерес в период Второй мировой войны, когда логистика горючего начала напрямую влиять на исход фронтовых операций. Способы мобильных поставок горюче-смазочных материалов (ГСМ) искали в то время армейские штабы разных стран мира.

Уже первые дни войны показали, что развитию трубопроводного транспорта нефтепродуктов как в плане обороноспособности страны, так и в народном хозяйстве власти не уделяли должного внимания. Статистика свидетельствует, что в довоенном 1940 году на транспорт горючего по железной дороге приходилось 40% (14, 5 млн. т), на автомобильный – 39, 5% (14, 3 млн. т), морской – 12, 7% (4, 6 млн. т), речной – 7, 2% (2, 6 млн. т), а на стационарный трубопроводный – всего лишь 0, 6% (0, 2 млн. т). Значительная часть ГСМ в качестве мобилизационного резерва была сосредоточена перед войной у западных границ Советского Союза. Единственным видом транспорта, который практически мог бы осуществить переброску этих запасов вглубь страны, был железнодорожный. Но из-за перегруженности железной дороги и налетов немецкой авиации большую часть горючего пришлось оставить противнику. При наличии же действующих или мобильных сборно-разборных трубопроводов нефтепродукты могли быть эвакуированы.

Все это происходило несмотря на то, что еще в мае 1933 г. УСГ РККА заказало в промышленности (в тресте «Нефтепроводстрой») разработку проекта сборно-разборного трубопровода и полевого коллектора (в современной терминологии – полевого складского трубопровода). Первым кто предложил использовать разборные трубопроводы для подачи горючего войскам и внутри складских перекачек был основатель службы горючего РККА комкор Мовчин Н.Н. И уже к началу зимы 1933 г. завершилась разработка проекта для магистрального трубопровода по технологии сборно-разборных труб. Длина комплекта по проекту составляла 100 км, диаметр – 75 мм, расчетная производительность – 350 тонн в сутки [40]. Одновременно велись работы по созданию полевого коллектора - сборно-разборной конструкции, предназначенной для использования в полевых условиях при приеме горючего из железнодорожных цистерн, подачи его в резервуары склада, затаривания бочек и мелкой тары. В 1935 г. в районе Армавира состоялись его испытания. По результатам испытаний протяженность комплекта была установлена 1, 5 км, диаметр труб – 75 мм [40]. Соединение труб осуществлялось с помощью специальных муфт. Полевой коллектор был рекомендован к принятию на снабжение (Рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Первый отечественный сборно-разборный трубопровод военного назначения (полевой коллектор)

После успешных испытаний отечественная промышленность наладила выпуск полевых коллекторов для нужд армии. В 1937 году отделом снабжения горючим Отдельной Краснознаменной Дальневосточной армии в районе г. Уссурийск Приморского края было проведено первое учение с прокладкой сборно-разборного трубопровода диаметром 76 мм через р. Раздольная (она же – р. Сайфун).

Осенью того же года в Московском военном округе были проведены учения с развертыванием ПМТ и полевого склада горючего в районе г. Гороховец Владимирской области [40]. Опыт обеспечения горючим войск во время боев у озера Хасан в 1938 году и у реки Халхин-Гол в 1939-м свидетельствовал о необходимости создания и оснащения Вооруженных Сил новыми мощными средствами транспортировки горючего в больших объемах на значительные расстояния.

К сожалению, к началу войны Красная армия так и не получила в свое распоряжение ПМТ. На вооружении находилось лишь незначительное количество сборно-разборных трубопроводов протяженностью 1, 5 км, хорошо зарекомендовавших себя в финскую кампанию при перевалке нефтепродуктов из железнодорожных цистерн в мягкие резервуары. Эти небольшие по протяженности и быстромонтируемые трубопроводы могли быть использованы для пересечения некрупных рек.

Особую страницу в деятельности Управления снабжения горючим РККА и его начальника генерал-лейтенанта М.И. Кормилицина во время войны занимает обеспечение горючим войск Ленинградского фронта и блокадного Ленинграда [15, 46, 66, 96, 97, 150, 183, 189]. Была разработана следующая схема устройства бензопровода: бензин по железной дороге подвозился к устроенному на восточном берегу озера на мысе Кареджа складу горючего и из железнодорожных цистерн перекачивался в зарытые в землю резервуары. Из этих резервуаров бензин подавался на насосную станцию, где было установлено два насоса высокого давления. Под давлением 12–15 атмосфер бензин подавался в трубопровод, уложенный по дну озера. На

западном берегу озера бензин по трубопроводу длиной 8 км подавался на ближайшую железнодорожную станцию. Неподалеку от станции располагался приемный склад горючего, состоящий из небольших вертикальных резервуаров и наливной эстакады, чтобы заправлять одновременно 10 железнодорожных цистерн или 20 автомобилей. Подводный трубопровод состоял из цельнотянутых стальных труб длиной в 5-7 м, рассчитанных на перекачку жидкости под высоким давлением. Толщина стенок труб была 7-8 мм, их внутренний диаметр составлял 101 мм (4 дюйма). Проектная производительность трубопровода составляла 350 т бензина в сутки (по нему попеременно прокачивали четыре разных вида горючего – бензин, лигроин, керосин и дизельное топливо). Схема трубопровода представлена на Рисунке 1.2.

Всего, с июня 1942 по март 1943 года, по трубопроводу было подано 47, 4 тыс.т горючего. Трубопровод, проложенный по дну Ладожского озера сыграл важную роль в разгроме немецко-фашистских войск на Ленинградском фронте и еще раз подтвердил мысль о необходимости создания магистральных сборно-разборных трубопроводов.



Рисунок 1.2 – Технологическая схема Ладожского трубопровода

Все полевые трубопроводы, разработанные в СССР до войны, нашли также свое применение. Они прокладывались бойцами Красной армии в ходе Великой Отечественной войны через реки Волхов, Оку, Онегу, Дон, Днепр, Вислу и Дунай. Трубопроводы представляли собой сборно-разборные системы, состоявшие из стальных труб длиной 6 м, соединенных между собой быстроразъемными муфтами. В комплект включалась запорная арматура, гибкие резиновые рукава и раздаточные гребенки. Они оснащались также бензоперекачивающими станциями, бензо-мотопомпами и стальными горизонтальными резервуарами (Рисунок 1.3).

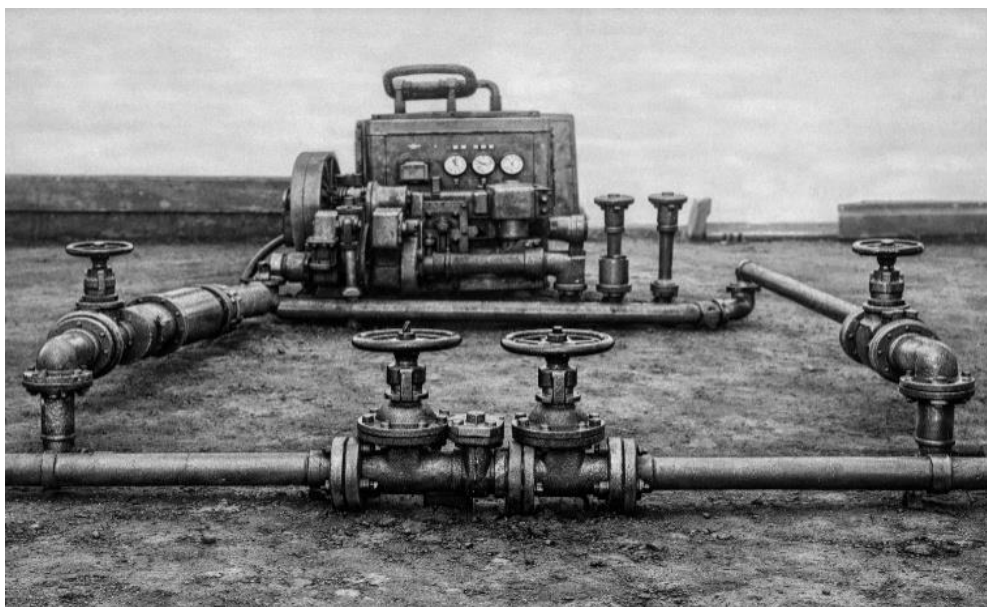


Рисунок 1.3 – Первый отечественный сборно-разборный трубопровод с бензоперекачивающей станцией

Во время военных маневров в штате Южная Каролина (США) в 1941 году были применены экспериментальные быстроразъемные трубопроводы для перекачки бензина. Длина 3-х дюймовой секции трубопровода составляла 5 м и была способна выдержать значительное давление, при этом секция весила всего 20 кг, что позволяло переносить ее одним человеком. На каждом конце секции был расположен фланец толщиной 1/8 дюйма, который предназначался для соединения труб (Рисунок 1.4) [14, 40, 137, 209].



Рисунок 1.4 – Схема соединения труб с помощью соединительных муфт

Схема разворачивания трубопровода представлена на Рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Снабжение армии США горючим с использованием сборно-разборных трубопроводов

После атаки Японии на Перл-Харбор (декабрь 1941 г.) ситуация на северном театре военных действий изменилась кардинально, что ускорило строительство инфраструктуры [40, 92].

В то же время самыми безопасными местами добычи в регионе был регион Норман-Уэлс, Канада, месторождения которого были известны еще в 1789 году, но добыча началась лишь в августе 1920 года. Ежедневный дебит порядка 840 баррелей был достаточным для загрузки небольшого

перерабатывающего завода, обеспечивающего горючим местное население. Было решено полностью раскрыть потенциал месторождения и проложить от него трубопровод длиной 965 км до строящегося нефтеперерабатывающего завода компании «Standard Oil» в Уайтхорс, а затем соорудить еще один, меньший по диаметру, вдоль сооружаемой Аляскинской трассы до военно-воздушной базы Лэдд Арми Эйрфилд, для поставок нефтепродуктов. Трубопровод был диаметром всего 4 дюйма (10 см). Сырая нефть с низкой гравитацией из Нормандских скважин имела температуру застывания значительно ниже точки замерзания и могла течь по узкому трубопроводу, не нагреваясь. Трубопровод был проложен на поверхности земли, чтобы упростить строительство и техническое обслуживание. Для перекачки сырой нефти в Уайтхорс требовалось десять насосных станций. С приближением окончания Второй мировой войны необходимость в трубопроводе пропала. В связи с удаленностью и сложных условий эксплуатации затраты на обеспечение горючим из Канола были значительно выше, чем на доставку горючего танкерами. 8 марта 1945 года военное министерство США приняло решение закрыть проект [40, 92].

Бирманская кампания – боевые действия (с января 1942 по июль 1945 года) в ходе Второй мировой войны на территории Бирмы между британскими войсками (в том числе индийскими и бирманскими частями, а также китайскими войсками и американскими соединениями) с одной стороны и японскими войсками (включая про японские бирманские и индийские части) с другой в очередной раз подтвердила необходимость использования сборно-разборных трубопроводов [40].

Еще в самом начале активной военной кампании в мае 1942 года, японские войска блокировали в южной (приморской) и центральной Бирме все морские и сухопутные маршруты снабжения НРА. Поэтому, чтобы обеспечить доставку горючего в армию генералиссимуса Чана, союзникам пришлось проложить самый протяженный в истории военный трубопровод (Рисунок 1.6).

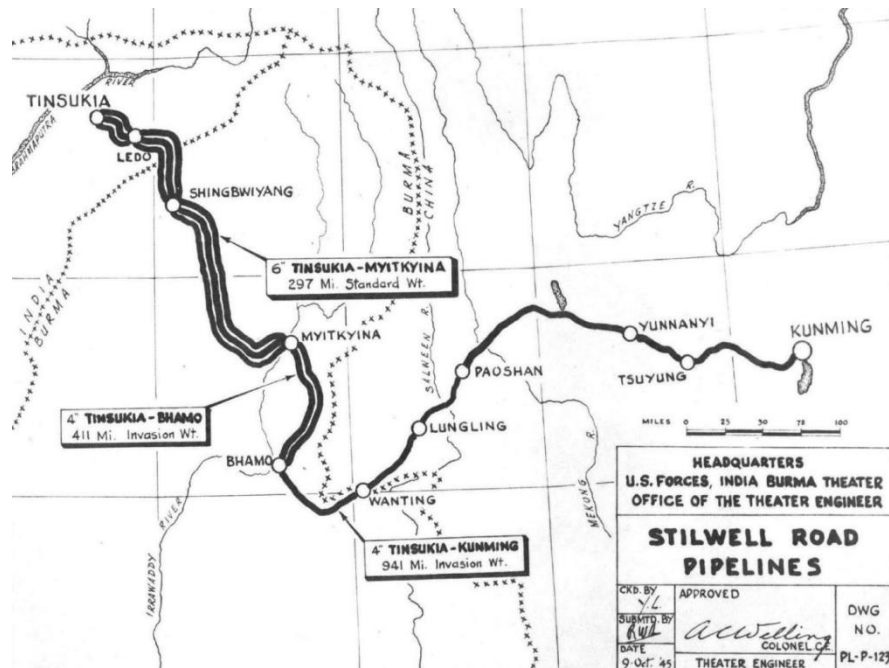


Рисунок 1.6 – Трубопроводная система от Ассама до Куньмина

Решение о прокладке двухниточного трубопровода длиной 3 тыс. км было принято в августе 1943 года. В декабре 1943 года началось строительство трубы.

По предварительному проекту для магистрали предполагалось использовать трубы внутренним диаметром 100 мм; расстояние между насосными станциями составляло 32 км. Однако после первых испытаний оборудования в полевых условиях было рекомендовано увеличить диаметр труб до 150 мм, одновременно уменьшив мощность, вес и размер насосных станций, чтобы облегчить их доставку. Снижение мощности предложили компенсировать уменьшением расстояния между станциями вдвое—до 16 км. На Рисунке 1.7 изображен трубопровод неподалеку от города Мьиткина в Бирме. На нем была установлена коллекторная задвижка (сентябрь 1944 года). К августу 1945 года вся Бирма и Южный Китай были очищены от японских оккупантов. В декабре 1945 года, трубопровод, был разобран [40].

Еще большие масштабы приобрело использование американцами и англичанами трубопроводов для подачи горючего в Европе. Общая протяженность трубопроводов в Европе достигла 10 000 км.

Снабжение нефтепродуктами союзных сил после высадки их на континенте являлось одной из основных проблем войны и требовало использования нестандартных технических решений.



Рисунок 1.7 – Коллекторная задвижка (сентябрь 1944 года) на трубопроводе неподалеку от города Мьиткина в Бирме

При организации снабжения горючим англо-американских войск после их высадки на континент особое внимание уделялось разработке конструкций специальных трубопроводов, уложенных по дну проливов Ла-Манш и Па-де-Кале, по которым планировалось подавать горючее из Великобритании на материк. Более двух лет проектирования, строительства и экспериментов было потрачено частными предприятиями и государственными учреждениями на совершенствование труб, оборудования и методов прокладки. Таким образом, британские ученые, нефтяные компании и вооруженные силы инициировали инновационный на то время способ развертывания подводного трубопровода под проливом Ла-Манш между Англией и Францией для обеспечения десантной операции «Оверлорд» – высадки союзников на пляжи Нормандии в июне 1944 года. Проект получил кодовое имя «Плут» (аббревиатура от Pipe Lines Under The Ocean, что означает подводный морской трубопровод для

снабжения союзников). [80, 195, 199, 206, 207, 208].

Между английским Плимутом и французским Шербургом под Ла-Маншем был проложен трубопровод. До 8 мая 1945 года в Европу по «Плуту» перекачано 781 миллион литров горючего (Рисунок 1.8). По дну Ла-Манша и Па-де-Кале от Великобритании до французского побережья было проложено 20 трубопроводов. По окончании войны эти трубопроводы были проложены сначала до Булони, а затем – на север через Гент, Антверпен, Эйхховен до Эммериха и на юг от Шербура через Шартр, Шалон-на-Марне до Майнца.

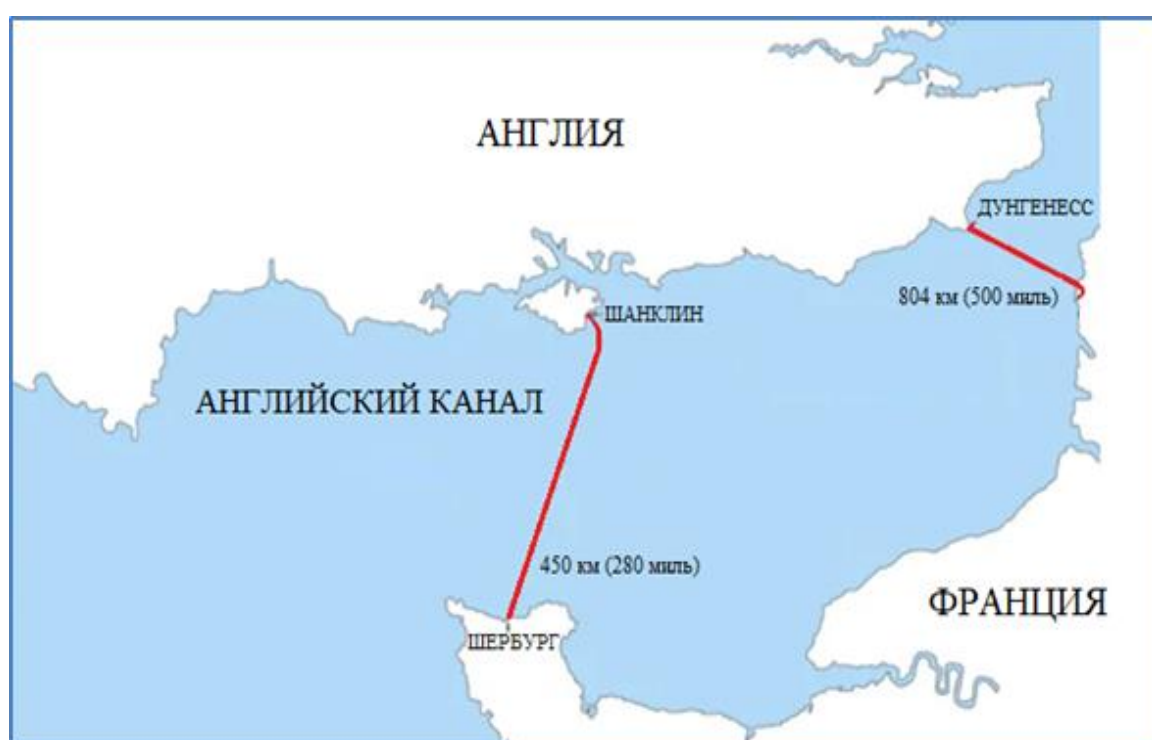


Рисунок 1.8 – Схема развертывания трубопровода

Были разработаны два типа трубопровода: NAIS (наименование произошло от Hartley, Anglo-Iranian, Siemens, компании, чей телеграфный конвейер был модифицирован для «Плута») и NAMEL (обозначающий комбинацию имен двух главных инженеров Хэммика Х.А. и Эллиса Э.Д.).

NAIS возник в результате предложения Артура Клифорда Хартли о гибкой трубе со свинцовым сердечником, которую можно было бы проложить кабелеукладчиком (Рисунок 1.9) [40].



Рисунок 1.9 – Трубопровод HAIS

Трубопровод HAIS был похож на подводный телеграфный кабель и состоял из трех основных оболочек (Рисунок 1.10).

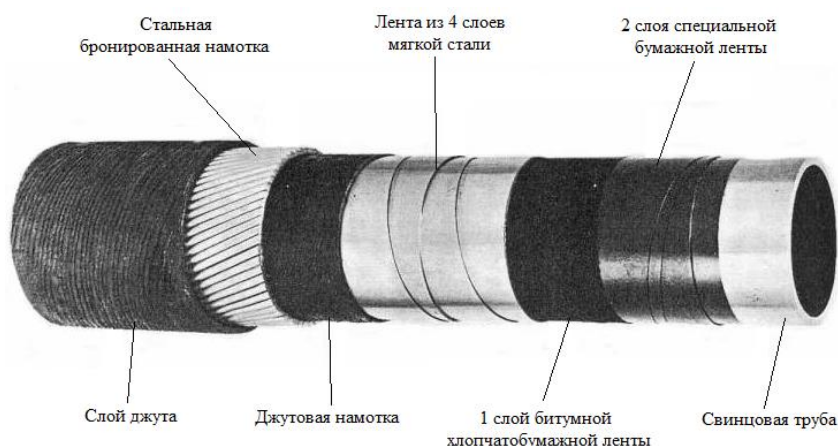


Рисунок 1.10 – Строение трубопровода HAIS

Через трубопровод могли перекачивать 3500 галлонов (16000 литров) горючего в день при давлении 500 фунтов на квадратный дюйм (3400 кПа) и выдерживать подводное давление 1950 фунтов на квадратный дюйм (13400 кПа). Всего было произведено 710 миль трубы HAIS, 140 миль – в США, а остальная часть – в Англии.

HAMEL изготавливали отрезками длиной двадцать футов, а затем сваривали вместе, образуя отрезки длиной 4000 футов, которые хранились на стеллажах на берегу до тех пор, пока не были погружены на суда-укладчики.

В отличие от HAIS, труба HAMEL была слишком жесткой, чтобы ее можно было свернуть в трюме корабля, поскольку она не могла выдержать

скручивание вдоль продольной оси, возникающее при каждом повороте катушки. Департамент нефтяной войны предложил наматывать его на плавучий стальной барабан, который можно было бы буксировать судами-буксирами или устанавливать на барже-хоппере. Получившийся стальной барабан был известен как «Conundrum». В трубе HAMEL (Рисунок 1.11) вместо дефицитного свинца использовалась легкодоступная тонкая мягкая сталь, и ее укладывали с помощью специального плавучего устройства – барабана «Conundrum».

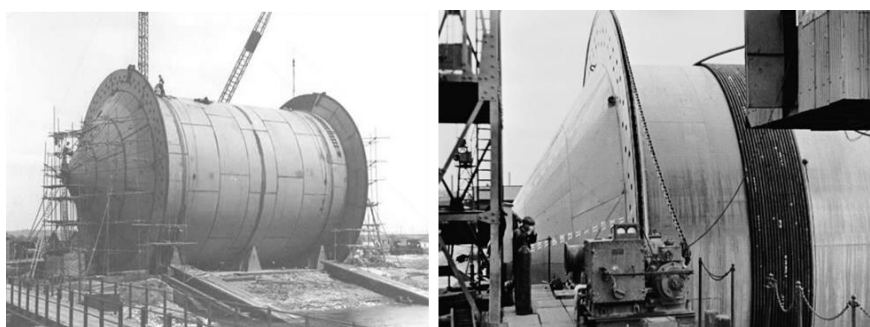


Рисунок 1.11 – Намотка трубопровода HAMEL на барабан (Conundrum)

Система «Плут» состояла из трех секций, первая из которых пролежала по территории Англии. Этот участок перекачивал горючее с нефтеперерабатывающих заводов, резервуаров для хранения и портов западного побережья и доставлял его на побережье Ла-Манша. Третий участок системы «Плут» начинался на французской стороне Ла-Манша и доходил до линии фронта союзников. Между первым и третьим участками трубопроводной системы «Плут» было проложено соединяющее звено, состоящее из двадцать одной нити (линии).

Всего в период с 6 июня 1944 года по 28 февраля 1945 года на континент было перекачено в общей сложности 2 352 875 тонн нефтепродуктов. Операция «Плут» доставила примерно одну треть горючего от общей потребности войск и она была не только революционным и эффективным средством транспортировки горючего на расстояние в тридцать одну милю по морю, но и обеспечивала бесперебойную подачу горючего из резервуаров

Англии независимо от действий противника против танкеров и независимо от погодных условий.

Применение трубопроводов для военных целей внедрялось практически одновременно в начале боевых действий Второй Мировой войны в странах – союзниках СССР, США и Великобритании. Несмотря на технологии изготовления трубопроводов (сварка, соединение с помощью муфт, гибкие трубопроводы) все построенные и испытанные трубопроводы обеспечили своевременную и надежную поставку горючего в воинские подразделения [40].

Эти трубопроводы явились прообразом современных сборно-разборных полевых магистральных трубопроводов, конструкция которых постоянно совершенствуется, что обеспечивает их успешное применение как в боевых условиях, так в чрезвычайных ситуациях. Ведущие позиции в разработке и масштабном использовании сборно-разборных магистральных трубопроводов военного назначения заняли в то время США. Вместе с союзниками по антигитлеровской коалиции они использовали трубы диаметром 100 и 150 мм. Как правило, такие временные системы создавались на не оборудованных в транспортном отношении театрах военных действий, к примеру, в Северной Африке и Индокитае. Но даже в Западной Европе и Италии, где существовала достаточно развитая сеть путей сообщения, войска союзников предпочитали сборно-разборные трубопроводы ввиду их технико-экономических преимуществ по сравнению с автомобильным и железнодорожным транспортом [40]. Кроме того, трубопроводы – малоуязвимая цель для авиации противника. По некоторым данным, разрыв бомбы весом до 45 кг даже на расстоянии 1, 2 м от трассы не вызывает повреждения системы. К августу 1945 года в войсках союзников СССР по антигитлеровской коалиции находилось в эксплуатации около 17, 5 тыс. км сборно-разборных трубопроводов, при этом более половины из них имели диаметр 150 мм. По ним подавалось порядка 70% всего горючего, расходуемого вооруженными силами [40].

1.2 Применение сборно-разборных трубопроводов при выполнении задач материально-технического обеспечения

В послевоенные годы на оснащение Красной Армии поступает много новых образцов вооружения, военной и специальной техники. В связи с этим остро встает вопрос совершенствования системы снабжения армии ГСМ. Для изучения вопросов по организации рационального применения ГСМ 1 января 1946 года был создан Научно-исследовательский институт горюче-смазочных материалов Красной Армии (в настоящее время – ФАУ «25ГосНИИхиммотологии Минобороны России») [1, 21, 42, 44, 55, 154, 155]. В послевоенные годы интенсивного перевооружения армии и флота одним из приоритетных направлений деятельности созданной научной организации стала разработка новых военных сборно-разборных трубопроводов [3, 4, 6, 7, 14, 16, 25, 26, 27, 46, 48, 51, 84, 114, 134, 135, 148, 170, 172, 173, 179].

В начале 50-х годов И.В. Сталин инициировал задачу по созданию системы полевых трубопроводов нового поколения. Одним из инициаторов этого направления стал инженер-полковник В.В. Никитин, назначенный в 1949 г. на должность заместителя начальника Управления снабжения горючим Вооруженных Сил СССР (УСГ ВС СССР) [73, 116, 117].

В конце 1951 г. Совет Министров СССР принял постановление об изготовлении опытного образца сборно-разборного трубопровода диаметром 102 мм общей длиной 100 км. Прообразом первого поколения послужил образец трубопровода американского производства с соединением «Виктолик», производительность перекачки которого составляла от 700 до 2000 т/сут [73, 74, 95, 165].

В соответствии с Постановлением Совета Министров СССР в 1952 г. был изготовлен первый образец сборно-разборного трубопровода диаметром 100 мм. К разработке и изготовлению трубопровода привлекались различные министерства. Проект трубопровода разрабатывался под руководством Министерства нефтяной промышленности. Трубы по техническому заданию,

согласованному с военным министерством, были изготовлены предприятием Министерства черной металлургии, передвижные насосные установки – Министерства авиационной промышленности. Военно-научное сопровождение разработки и производства трубопровода проводил Научно-исследовательский институт ГСМ Минобороны. В 1953–1955 гг. первый образец ПМТ-100 прошел все испытания и был принят на снабжение советской армии. Уже в период испытаний трубопровода ПМТ-100 по инициативе В.В. Никитина началась разработка сборно-разборного трубопровода диаметром 150 мм (ПМТ-150) [116, 117]. Это было первое поколение полевых магистральных трубопроводов. Производительность перекачки горючего составляла по трубопроводу диаметром 100 мм – 800 тонн в сутки, диаметром 150 мм – 2000 тонн в сутки, длина одного комплекта – 150 км, темп развертывания одним трубопроводным батальоном достигал 35–40 км в сутки. Официально свою историю трубопроводные войска ведут с 14 января 1952 г. В 1961 году были сформированы две трубопроводные бригады. К концу 50-х годов в Советской Армии действовало 11 отдельных трубопроводных батальонов, а к началу 90-х годов – уже 24 трубопроводные бригады, 6 отдельных трубопроводных батальонов, 3 роты и 6 взводов [13, 35, 122].

С началом холодной войны в 1947 году ПМТ получили свое развитие для обеспечения горючим военных баз на Аляске. Эти базы использовали огромное количество нефтепродуктов, и их поставка всегда была проблемой. Недолговечный трубопровод «CANOL» поставлял некоторое количество горючего во время Второй мировой войны (Рисунок 1.12) [40, 92].

Когда в 1947 году инженерный корпус армии США начал масштабные строительные проекты по всей Аляске для укрепления оборонной инфраструктуры, поставка горючего стала критически важной. Трубопровод был определен как лучший способ транспортировки горючего, как и во время Второй мировой войны. Инженерный корпус армии США отвечал за строительство трубопровода [40].

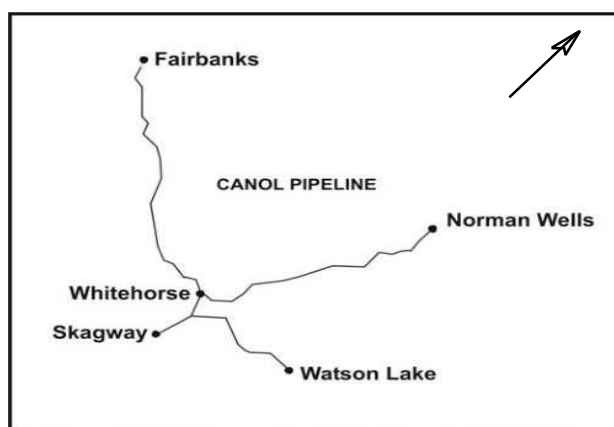


Рисунок 1.12 – Трубопровод «CANOL»

Проектирование трубопровода Хейнс-Фэрбенкс началось в 1950 году, а строительство 626-мильной линии заняло 22 месяца с 1953 по 1955 год. После завершения строительства трубопровод эксплуатировался армией США для снабжения армейских и военно-воздушных баз дизельным топливом, автомобильным бензином, авиационным бензином и реактивным топливом – подавляющее большинство горючего составляло реактивное топливо (JP4). С 1955 по 1973 год трубопровод Хейнс-Фэрбенкс диаметром 8 дюймов транспортировал горючее из глубоководного порта в Хейнсе Форт-Грили, на авиабазу Эйлсон и авиабазу Лэдд (Рисунок 1.13).



Рисунок 1.13 – Трубопровод Хейнс-Фэрбенкс (1955–1961)

В июле 1954 года завершилась восьмилетняя война вьетнамцев против французского колониального господства. Согласно Женевским мирным соглашениям, территория Вьетнама была временно разделена по 17-й параллели (там была создана демилитаризованная зона) на две части. Северный Вьетнам перешел под контроль коммунистов и стал называться Демократической Республикой Вьетнам (ДРВ), а Южный Вьетнам остался под властью назначенной французами местной администрации.

В 1957 г. в Южном Вьетнаме началась партизанская война, в которую вскоре вмешались, с одной стороны, США со своими союзниками по блоку НАТО, а с другой – Народная армия Демократической Республики Вьетнам при значительной поддержке СССР, КНР и других социалистических стран.

Военные грузы шли из ДРВ на юг по территории Лаоса и Камбоджи. В Вашингтоне и Сайгоне этот путь называли «тропой Хо Ши Мина» (Рисунок 1.14), в Ханое – «маршрутом Труонг Сон», а в народе – «дорогой длиной десять тысяч миль». В Северном Вьетнаме ее называли «тропой Чыонгшон» (вьет) – по названию горного хребта, протянувшегося по западной границе страны. Официальные названия: «Стратегическая дорога Чыонгшон» или «Шоссе № 559». Дорога Чыонгшон была создана в день рождения президента Хо Ши Мина (19 мая 1959 года) [40].

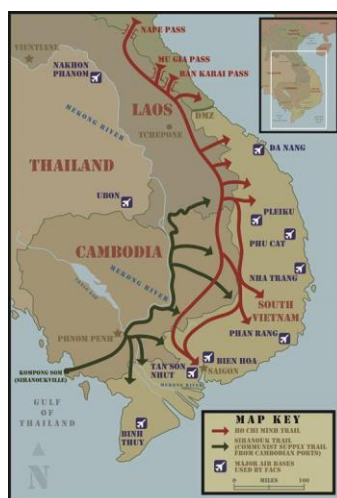


Рисунок 1.14 – Схема «тропы Хо Ши Мина». Отдельным цветом выделена сеть, созданная в Камбодже «Тропа Сиханука»

Этот маршрут представлял собой комплекс переплетенных между собой троп и дорог общей протяженностью около 12 тыс. миль на площади в 1700 кв. миль. В эту транспортную сеть вошел нефтепровод с отводами протяженностью до 5 тыс. км. от Куангнинь, Лангшон до Биньфыюк. К марту 1975 года войска Чыонгшона завершили строительство системы нефтепроводов, соединяющих Восточный и Западный Чыонгшон. В ее состав вошли 316 насосных станций и 101 склад емкостью более 300 тыс. м³. Прокачка дизельного горючего, бензина и керосина первоначально велась по одной и той же трубе, но затем трубопровод разветвили до 6 ниток. Труба начиналась близ порта Винь, затем шла на юго-запад к деревне Чепон, расположенной на стыке границ Лаоса и Вьетнама, где размещалась основная логистическая база Народной армии ДРВ на тропе Хо Ши Мина. Далее трубопровод шел в район Муонг Нонг, где находился основной склад ГСМ. К 1974 году вьетнамцы протянули трубу до границы Камбоджи и Южного Вьетнама. За 7 лет проведения стратегической транспортировки горючего (1968 - 1975 гг.) по трубопроводу Чыонгшон в условиях отражения постоянных атак противника на Юг было доставлено 5, 5 млн м³ нефтепродуктов. 30 апреля 1975 г. Сайгон пал и вскоре был переименован в Хошимин. Объединение Вьетнама под эгидой ДРВ было завершено. В 2011 году Вьетнамская ассоциация рекордов признала дорогу Чыонгшон уникальным военным маршрутом с самой большой протяженностью и самой высокой точкой - почти 2180 м.

Через Вьетнам при помощи полевых систем трубопроводного транспорта СССР осуществлялось снабжение горючим Лаосской Народно-демократической Республики [40].

В 1976 г. введена в строй трубопроводная система для подачи нефтепродуктов на территорию Лаоса. В составе армии Вьетнама имелись трубопроводные полки. Они выполнили основную роль в сооружении этой системы, которая располагалась на территориях двух государств. Во Вьетнаме трубопровод ПМТ-100 протяженностью порядка 100 км был развернут в 1976

году на направлении «Винь– Лиам –Сентин– граница с Лаосом». В конце участка на границе имелся склад горючего и узел учета. Далее трубопровод протяженностью около 140 км пролегал по территории Лаоса до пункта Кхамкэт, где находился резервуарный парк вместимостью 700 м³, а от него до селения Пхугу со складом вместимостью 3900 м³. Отсюда нефтепродукты транспортировались далее наливным автотранспортом и по реке Меконг (Рисунок 1.15). Как во Вьетнаме, так и в Лаосе примерно на половине трассы прокладка труб велась заглублено, даже под рисовыми чеками [40]. Это диктовалось требованиями сохранить земли сельскохозяйственного назначения, а в «необитаемых» зонах – сберечь от постороннего воздействия.

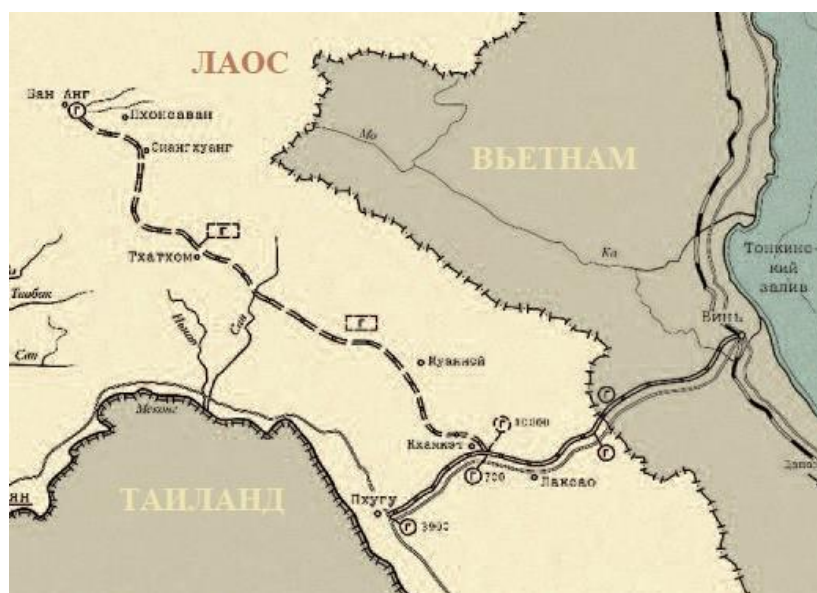


Рисунок 1.15 – Схема трубопровода Вьетнам-Лаос

Перекачка горючего по ПМТ велась периодически и в небольших объемах – примерно около 1000 т в течение месяца. При этом производительность перекачки составляла порядка 300-350 т/сут. Насосные установки работали на пониженных режимах. Когда срок эксплуатации приблизился к 10 годам, лаосские специалисты подняли вопрос о необходимости его замены и вместе с тем увеличения протяженности. Советской стороне была высказана просьба направить группу опытных

специалистов для оказания помощи. В начале 80-х годов Советский Союз поставил в Лаос четыре комплекта трубопровода ПМТ-100 (по 100 км) и один ПМТ-150 (150 км). Трубы, средства перекачки и трубопроводное оборудование хранились в различных пунктах: на вьетнамской территории в портах Винь и Дананг, на лаосской – в районе Пхонсавана. Таким образом, техника и оборудование для реализации новых планов имелись в наличии.

Лаос, не имея собственных ресурсов и выхода к морю, был вынужден импортировать нефтепродукты (в основном для Народной Армии Лаоса) (НАЛ) через Вьетнам. В 80-е годы прошлого столетия нефтепродукты доставлялись советскими танкерами во вьетнамский порт Винь, но дальнейшая их перевозка была весьма затруднительной ввиду слабого развития транспортной сети.

Очередной задачей являлась прокладка второй линии ПМТ от границы до Кхамкэта. Общая протяженность вновь проложенного трубопровода составила 136 км. По мере сборки труб в линию проводилась пневматическая опрессовка линии по участкам, а затем гидравлические испытания трубопровода и технологических обвязок. Еще раз были подтверждены высокие характеристики и надежность советских сборно-разборных трубопроводов [40].

Советский Союз поставлял в дружественные ему страны различную военную технику, в том числе комплекты ПМТ, а при необходимости направлял и своих специалистов.

Удачная конструкция ПМТ Советской Армии, простота сборки и эксплуатации, надежность и возможность работы в самых разнообразных климатических и географических условиях вызвали интерес к ним со стороны Китая, Вьетнама, Лаоса и других стран.

Интерес к получению советских ПМТ проявляли и другие государства. В первую очередь их внедрение происходило в вооруженных силах стран Варшавского Договора. Комплекты трубопроводов находились на хранении на военных складах и базах горючего в Германии, Польше и Болгарии. В

Чехословакии имелась трубопроводная бригада, на оснащении которой состоял трубопровод ПМТ-100. В конце 70-х годов Чехословакия приобрела у Советского Союза техническую документацию на трубопроводы с соединением «Раструб» и организовала их собственное производство [40].

Несколько в ином направлении заинтересовалось советскими трубопроводами руководство Арабской Республики Египет. Их планировалось использовать для подачи воды войскам, действующим в пустынной безводной местности. На первом этапе следовало развернуть ПМТ для обеспечения водой частей и подразделений дивизии, дислоцировавшейся на Синайском полуострове. Для этих целей был закуплен в СССР и доставлен морским транспортом комплект трубопровода ПМТ-100. Египетское руководство решило использовать ПМТ для подачи воды не только войскам, но и населению некоторых оазисов. Приобретя опыт, египтяне несколько позже закупили в СССР трубопровод ПМТ-150. В этот раз, поскольку преимущества советских трубопроводов и целесообразность их применения были очевидны. Египет расширил и сферу применения советских ПМТ – их стали использовать для перекачки светлых нефтепродуктов и даже нефти [40].

Один из самых последних примеров применения отечественных ПМТ – приобретение в Российской Федерации в 2007 г. Грецией комплекта противопожарного оборудования, в состав которого входило 5 км полевого магистрального трубопровода диаметром 150 мм.

Приведенные примеры – яркое свидетельство того, что отечественные ПМТ достаточно хорошо зарекомендовали себя в самых разных ситуациях не только у нас, но и за рубежом, а их популярность в мире как эффективного вида транспорта постоянно растет.

1.3 Применение ВС СССР сборно-разборных трубопроводов в Афганской войне

Дислокация большого контингента советских войск в Афганистане

породила острую необходимость их надежного бесперебойного снабжения горюче-смазочными материалами в больших объемах. Кроме того, в соответствии с межправительственным соглашением СССР поставлял нефтепродукты войскам и предприятиям Афганистана. В результате в общем объеме поставок материальных средств 40-й армии горючее составляло 55%, притом, что боеприпасы – 15%, продовольствие – 10%, прочие грузы – 20%.

Для решения проблемы доставки горючего было принято решение развернуть на территории Афганистана ПМТ. В августе 1982 года с созданием 276-й трубопроводной бригады (тпбр) началась прокладка ПМТ от Пули-Хумри в Баграм [36, 40, 76, 77182, 183].

276-я трубопроводная бригада (276-я тпбр) – военное формирование трубопроводных войск в составе Вооруженных сил СССР, в период Афганской войны (1979–1989). 276-я бригада была создана для выполнения задач по строительству, ремонту и эксплуатации трубопроводов вдоль главной автомобильной дороги, связывавшей города Кабул и Термез, в целях функционирования воинских частей 40-й Армии в период Афганской войны.

Бригада была рассредоточена по трубопроводу, идущему вдоль автомобильной дороги Хайратон– Пули-Хумри– Баграм.

Командирами 276-й бригады в разные годы были:

- 1) Мемех Владимир Ильич – 1982–1983;
- 2) Бойко Владимир Владимирович – 1983–1985;
- 3) Каграманьян Борис Рубенович–1985–1987;
- 4) Коваленко Сергей Николаевич – 1987–1989.

Всего через ряды 276-й трубопроводной бригады за период эксплуатации трубопровода в Афганистане на апрель 1988 года прошли службу 636 офицеров, 470 прапорщиков, 773 сержанта, 3932 солдат. Всего 5811 человек. Основные трассы трубопроводов проходили на удалении 2–30 м от дорожного полотна. Для спрямления трассы и обхода лавиноопасных участков приходилось работать вдалеке от дорог. Иногда трубы требовалось переносить на расстояние до 3 км. В основном трубы находились на обочине

дороги. В некоторых случаях они крепились к бордюрным плитам, скалам и крупным валунам. Местами трубопровод провисал над пропастями и ущельями. В других случаях он укладывался по дну ущелий и перекрытиям галерей. Иногда его приходилось располагать в придорожных арыках и кюветах (Рисунки 1.16, 1.17) [40].

Перекачивающие станции располагались в заглубленных укрытиях (Рисунок 1.18). Для охраны трубопровода вдоль дорог выставлялись выносные посты из состава мотострелковых и танковых частей. Диверсии на трубопроводе осуществлялись постоянно (Рисунок 1.19).

Трубопроводные части, оснащенные вторым поколением ПМТ, успешно прошли проверку в боевых условиях Афганистана.

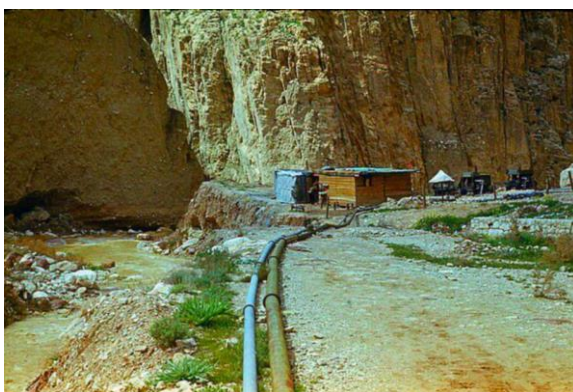


Рисунок 1.16 – Трубопровод вдоль горной реки



Рисунок 1.17 – Две линии трубопровода проложены вдоль дороги



Рисунок 1.18 – Передвижная насосная установка в укрытии



Рисунок 1.19 – Труба после взрыва на трассе трубопровода

Всего за девять лет (1980-1989 гг.) на востоке и западе страны были созданы две трубопроводные системы (ТрС) (Рисунок 1.20) на направлениях «Турагунди–Шинданд и Хайратон – Баграм», которые включали 13 складов горючего общим объемом более 160 тыс. м³ и 9 промежуточных резервуарных групп суммарной вместимостью 10 тыс. м³ [40]. Наивысшая отметка высоты на трассе трубопровода составляла 3 878 м над уровнем моря в районе перевала Саланг (в горах Гиндукуш), связывающий северную и центральную часть страны, а самая низкая – 270 м в пустынной местности в районе населенного пункта Ташкуртан. Температура окружающей среды колебалась летом до 60°C, зимой – до минус 36°C. Линии трубопровода в некоторых случаях нависали над пропастями или пролегли в зоне вечных снегов.

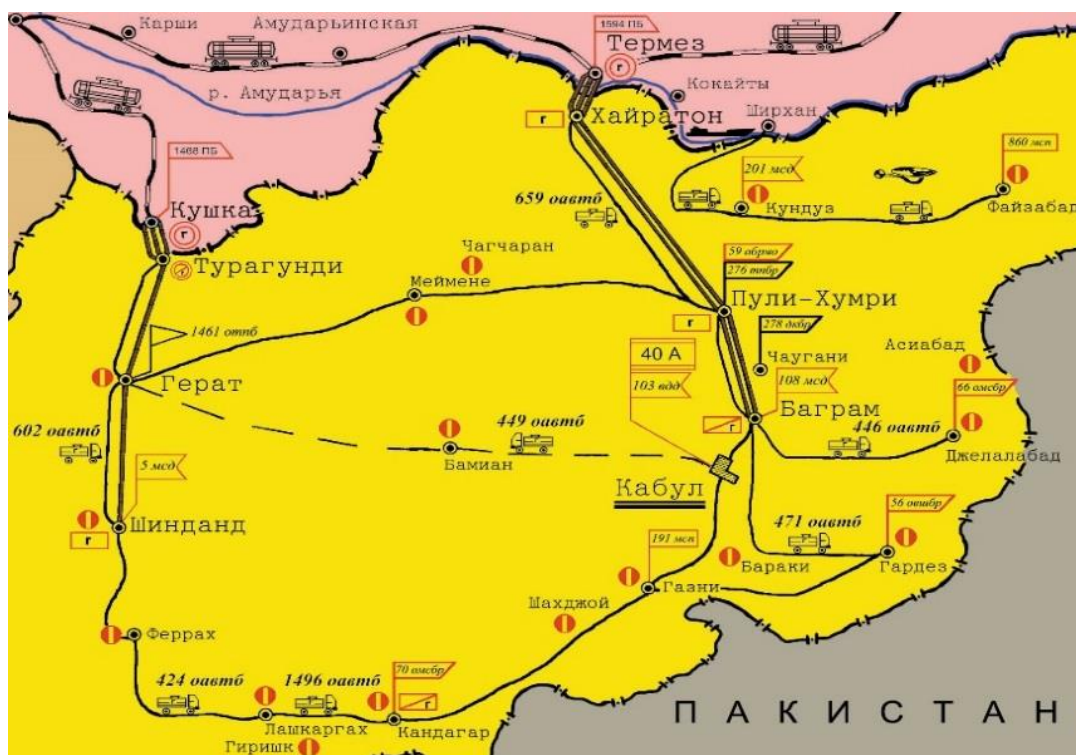


Рисунок 1.20 – Схема обеспечения горючим ограниченного контингента советских войск в Афганистане

С 12 декабря 1988 года подразделения 276-й бригады начали планомерную передачу пунктов дислокации ГНС со штатной техникой под управление, сформированного в составе правительственной армии ДРА 240-го трубопроводного полка.

В период с 19 января по 25 января 1989 года закончилась практическая передача ПМТП 240-му полку ВС ДРА.9 февраля 1989 года оставшийся личный состав бригады в количестве 912 человек на 56 единицах техники пересек государственную границу СССР. По выводу бригада была расформирована.

1.4 Интеграция магистральных нефтепродуктопроводов и полевых магистральных трубопроводов

Ключевая нагрузка в логистической цепочке доставки нефтепродуктов традиционно ложится на железнодорожные магистрали, что создает риски при

их повреждении. Его доля в общем грузообороте составляет около 85 %. При увеличении потребности в нефтепродуктах растет напряженность работы железной дороги, что может являться предпосылкой к срыву поставок горючего подразделениям для выполнения задач по предназначению. Опыт использования и апробации инициированной интеграции МНПП с ПМТ для обеспечения горючим соединений (частей) на стратегических и специальных учениях показал эффективность данного способа [6, 62, 68, 86, 91, 101, 141, 157, 159, 163, 164, 182, 187]. В 2017 году в рамках стратегического учения «Запад–2017» при решении задач материально-технического обеспечения войск (сил) был осуществлен прием в ПМТ дизельного топлива из магистрального нефтепродуктопровода (МНПП) через специальный колодец и его транспортирование на полевой склад горючего с последующим заливом в автомобильный транспорт.

Колодец представлял собой узел отбора нефтепродуктов с врезанным в линейную часть МНПП патрубком-отводом, оборудованным задвижками с манометрами, регулятором давления и расходомером.

Создание интегрированных трубопроводных систем с использованием МНПП и ПМТ является перспективным направлением развития единой, гидравлически замкнутой трубопроводной системы на основе существующей технической базы МНПП с подключением к ней резервуарных парков нефтеперерабатывающих заводов, комбинатов Росрезерва и в том числе аэродромных узлов (Рисунок 1.21). Такая структура с фронтальными и рокадными направлениями подачи горючего позволяет построить глубоко эшелонированную трубопроводную сеть, способную устойчиво функционировать, а также осуществлять маневр запасами горючего и обеспечивать ее дальнейшее развитие в необходимых направлениях (Рисунок 1.22).

В рамках специальных учений «Кавказ–2020» был развернут ПМТ, протяженностью 10 км и также подключен к специальному колодцу МНПП.



Рисунок 1.21 – Подключение ПМТ к МНПП через специальный колодец



Рисунок 1.22 – Выдача горючего из полевого магистрального трубопровода в автомобильный транспорт

Характерно, что военные аналитики стран НАТО также отводят трубопроводам одну из главных ролей в вопросе обеспечения горючим действий группировок войск на различных театрах военных действий. Примером такого подхода является использование трубопроводов при проведении операции «Буря в пустыне». Сборно-разборный трубопровод с соединением «Виктолик» был развернут в качестве ответвления от стационарного трубопровода (насосная станция Курсаньях) [68]. На протяжении 94 км было проложено по совмещенной трассе две линии, при этом одна линия – трубопровод армии США, вторая – армии Великобритании. Далее до базы снабжения Альфа была проложена одна линия протяженностью 200 км (трубопровод армии США). Общая протяженность трубопровода с отводами составила 410,6 км. Американские специалисты подчеркивали, что

в сложившихся условиях обеспечить горючим значительное количество привлекавшийся боевой и специальной техники без использования трубопроводов в отведенные сроки было бы практически невозможно [17, 20, 64, 69, 104, 123, 144, 145, 146, 174, 178, 184, 185, 190, 191].

Таким образом, отечественный и зарубежный опыт использования сборно-разборных трубопроводов показывает, что их роль, и значение в вопросах обеспечения горючим действий войск неуклонно возрастает. При этом сфера их применения в современных условиях существенно расширяется. Суммарная доля ПМТ и МНПП в доставке горючего войскам (силам) может составить 60–80 %.

Надо отметить, что вопросы получения и выдачи горючего из МНПП в различные виды транспорта для обеспечения потребности войск (сил) на сегодняшний день остаются актуальными. Таким образом, проведенный анализ показал, что подача нефтепродуктов по МНПП необходимая составляющая процесса обеспечения войск горючим, которую необходимо развивать и совершенствовать.

1.5 Применение трубопроводов при выполнении задач материально-технического обеспечения за рубежом

Для поддержки военной операции США «Несокрушимая свобода» перед штурмом Ирака строительство полевого магистрального нефтепровода стало критически важным элементом тылового обеспечения, создающего возможность наступления с западной точки на границе Ирака и Кувейта.

Использовалась система быстрой транспортировки, обеспечения, хранения бестарного горючего. Производительность системы составляла 720 000 галлонов в день. Система перевозилась на военных фургонах.

Другой фактор, который учитывался при сооружении трубопроводов – максимальный поток горючего. Для этого устанавливались насосные станции, состоящие из главных насосов, перегоняющих до 800 галлонов в минуту,

пусковая установка для запуска очистного устройства и ресивер.

Поставки горючего по сборно-разборным трубопроводам явились решающим фактором быстрого продвижения войск к столице Ирака Багдаду. В этих условиях усилия логистов были направлены на обеспечение адекватного в складывающейся обстановке планирования операций поддержки действий войск горючим, четкую организацию распределения его на ТВД и правильное управление всеми имеющимися ресурсами [20, 64, 68, 69, 169, 174, 175, 184, 185, 192, 194, 196, 199-205]. Огромным преимуществом было то, что армия США в Ираке имела практически неограниченные ресурсы горючего, поставляемого от местных нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ).

Тактический сборно-разборный трубопровод системы IPDS состоял из трех участков общей протяженностью 257 км. Параллельно морской пехотой был проложен «гибкий» трубопровод системы Nose Reel System (HRS) длиной 145 км.

Республика Афганистан так же, как и Ирак, находилась в зоне ответственности центрального единого боевого территориального командования США CENTCOM. На первом этапе пополнение запасов горючего в Афганистане осуществлялось от стратегических источников (в 2006–2007 годах это были Кувейт, Турция, Пакистан) и составляло в среднем от 12 до 30 дней. Горючее поступало по железной дороге и сливалось в резервуары хранилищ, расположенных примерно в 6 км от границы с Афганистаном, а в дальнейшем доставлялось войскам автотопливоцистернами по горным дорогам, где конвои подвергались нападениям противника и воздействию плохих погодных условий [40].

Для доставки горючего от Пакистанского НПЗ войскам армии США в Афганистане ежедневно требовалось 2 000 автотопливоцистern. Всего же объем поставок горючего в то время составлял 7, 6 тыс. м³ (2 млн. галлонов) в день. В 2009 году агентству DLA Energy удалось увеличить стратегические запасы горючего в районе Кабула с 7, 6 тыс. м³ (2 млн. галлонов) до 19 тыс. м³ (5 млн. галлонов). По инициативе поставщиков горючего агентство DLA

Energy проложило сборно-разборный трубопровод длиной 22 км до военных складов горючего оперативного назначения Defense Fuel Supply Points (DFSP), которые стали получать авиационный керосин, доставлявшийся в район операций от коммерческих танкеров по договорам с региональными поставщиками (Рисунок 1.23). При этом средняя вместимость одного танкера составляла примерно 45, 5 тыс. м³ (12 млн. галлонов). Введение в строй указанного сборно-разборного трубопровода позволило увеличить количество поступающего ранее только автотопливоцистернами горючего с 3, 8 тыс. м³ (1 млн. галлонов) до 5, 7 тыс. м³ (1, 5 млн. галлонов) в сутки.



Рисунок 1.23 – Трубопровод агентства DLA Energy в Афганистане

Крупнейшим потребителем горючего в северной и центральной части Афганистана являлась американская авиабаза Баграм, ежедневные потребности которой к середине 2010 года оценивались в 1, 9 тыс. м³ (500 тыс. галлонов) авиационного керосина. В 2007 году агентство DLA Energy организовало коммерческие терминалы горючего недалеко от этой авиабазы, проложив к ним сборно-разборный трубопровод длиной 5, 6 км, что значительно снизило нагрузку на автотопливоцистерны. С указанной целью агентство DLA Energy организовало прямую доставку горючего на склады ряда баз передового развертывания – Forward Operation Bases (FOBs): Fenty (Фенти, Джелалабад), Sharana (Шарана, пров. Пактика) и Shank (Шэнк, пров.

Логар) [40].

Внутренняя система распределения нефти в США (IPDS) состоит из трех основных подсистем: тактического нефтяного терминала, участков трубопровода и насосных станций. IPDS представляет собой легкую, быстро развертываемую систему трубопроводов и терминалов, используемую на неразвитых театрах военных действий. Он может взаимодействовать с существующим источником горючего, таким как нефтеперерабатывающий завод, или с ОПДС ВМФ. Инженеры устанавливают алюминиевые трубопроводы и насосные станции. Инженерная компания, занимающаяся поддержкой строительства трубопроводов, может установить трубопровод протяженностью от 3 до 5 миль алюминиевой трубы за 24 часа. Алюминиевая труба упакована в транспортные контейнеры ISO в комплектах по 5 миль. Для транспортировки требуется 13 контейнеров ISO 5 миль трубы со всеми соответствующими клапанами и фитингами. Интервалы работы насосных станций зависят от гидравлики системы. Нормальный интервал на ровной местности составляет 15 миль. Система имеет модульную конструкцию и может быть адаптирована для любого населенного пункта операция. Основными компонентами являются трубопроводы, насосные станции и специальные узлы.

Страны блока НАТО в достаточной степени оценили уроки Второй мировой войны и важность развития стационарных нефтепродуктопроводов на территории Западной Европы. Здесь с 1951 года началось интенсивное строительство разветвленной сети МНПП. В конечном итоге была создана сеть нефтепродуктопроводов протяженностью более 11 тыс. км (диаметр от 100 до 300 мм) с резервуарными парками вместимостью более 5,5 млн м³. Сеть представляет собой три самостоятельные системы (Таблица 1.1), расположенные на Северо-Европейском, Центрально-Европейском и Южно-Европейском театрах военных действий (ТВД) [40, 192, 193, 194]. В мире трубопроводная система НАТО является одной из самых сложных и обширных сетей для транспортировки нефтепродуктов и важнейшим

элементом военной инфраструктуры альянса. Во время эксплуатации топливо транспортируется, главным образом, в направлении «запад-восток». От морских портов на побережье Северного моря (Роттердам, Антверпен, Гент, Дюнкерк, Гавр) через страны Бенилюкса оно поступает в Германию. Военные трубопроводы в направлении юг-север тянутся от французского порта Лавера (Lavera) на берегу Средиземного моря. Особенностью военно-ориентированной системы является ее способность к прокачке продуктов в противоположном направлении, если это необходимо. В результате появляется возможность компенсировать частичные сбои в сети.

Военные трубопроводы Центральной Европы подключены к морским портам на Северном море, Атлантическом и Средиземноморском побережье, а также к нефтеперерабатывающим заводам в Германии и Франции. Эта связь с международными рынками нефти обеспечивает гибкую и экономически обоснованную поставку горючего по рыночным ценам и рентабельность его хранения в трубопроводной сети [192, 194].

Таблица 1.1– Распределение военных трубопроводов по ТВД

Театр военных действий	Протяженность трубопроводов, км	Общая емкость складов ГСМ, тыс. м ³	Количество разгрузочных пунктов в портах
Северо-Европейский	707	329	19
Центрально-Европейский	7 078	1 493	11
Южно-Европейский	3 767	662	10
Всего	11 552	2 484	40

Учитывая значительные преимущества трубопроводного транспорта перед другими видами, командование объединенных вооруженных сил НАТО

предприняло значительные усилия для оборудования Европейских ТВД стационарными трубопроводными системами военного назначения.

1.6 Применение ПМТ для ликвидации последствий стихийных бедствий и техногенных аварий

Вооруженные Силы всегда играли и продолжают играть ключевую роль в устранении последствий природных и техногенных катастроф благодаря высокой оперативности, мобильности и резервам материально-технических и энергетических ресурсов, обладая самыми передовыми технологиями двойного назначения, а также опытом действий в экстремальных ситуациях.

Использование ПМТ для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций начинается с лета 1967 г., когда произошел сильный пожар в населенном пункте Ульяновской области. Для сокращения плеча подвоза и бесперебойного обеспечения водой пожарных машин от ближайшего озера до села была развернута линия трубопровода.

Впервые в отечественной практике ПМТ были широко использованы для ликвидации ЧС летом и осенью 1972 г., когда массовые лесные пожары приобрели масштабы экологической катастрофы на территориях Московской, Рязанской, Ивановской, Горьковской и Пензенской областей. Полученный трубопроводными соединениями и частями практический опыт предопределили их использование для аналогичных задач в 1976, 1980, 1981, 1991, 2001, 2002, 2010 гг. в различных регионах страны [75, 85, 87, 102, 108, 118, 133, 136, 158].

В конце мая 1991 г. горели торфяники в Смоленской, Московской и Тверской областях. Для подачи воды, силами личного состава 89 тпбр, дислоцировавшейся в Смоленской области, был развернут участок трубопровода длиной 4 км.

В 1992 г. успешно использовались полевые трубопроводы для выполнения аналогичных задач в союзном государстве – в Республике

Беларусь.

В июне 2001 г., в результате мощных взрывов на площадках хранения склада боеприпасов в Забайкальского края, произошло возгорание лесных массивов, огонь от которых распространился на деревянные строения близлежащих населенных пунктов. Для ликвидации возникших массовых пожаров подразделением 253 тпбр, дислоцированной в Республике Бурятия, был развернут трубопровод ПМТП-150 протяженностью 7, 5 км со среднесуточной производительностью перекачки 950 тонн. За два месяца в район ЧС было подано 46500 тонн воды.

В 2002 г. личный состав 131 тпбр (пос. Центральный Нижегородской области) участвовал в тушении лесных и торфяных пожаров в двух районах региона. Для подачи воды была развернута линия ПМТП-150 с четырьмя ответвлениями общей протяженностью 14,5 км.

ПМТ разворачивались при ликвидации Чернобыльской аварии, вовремя землетрясении в Спитаке и в других случаях чрезвычайных ситуаций. При строительстве чернобыльского саркофага трубопроводные войска обеспечивали подачу до 4 000 кубометров не зараженной радиацией воды ежедневно, взятой за несколько десятков километров от Чернобыльской атомной станции.

В ходе ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС потребовалось подать большое количество воды в зону аварийно-восстановительных работ, для обеспечения работы бетонного завода, пунктов специальной обработки (ПуСО) и банно-прачечных отрядов. В августе 1986 г. тремя отобюрозованными трубопроводными ротами в зону аварии было подано 114 тыс. т воды. В среднем протяженность трассы ПМТ составляла 40 км. Одной трубопроводной ротой (Белорусский ВО) был развернут трубопровод ПМТА-150 от р. Днепр (в районе пос. Асаревичи) до ПуСО и банно-прачечного отряда, находящимися между населенными пунктами Пирки и Сувиды. За 3 месяца работы было подано более 70 тыс. т воды.

Для подачи воды в зону землетрясения в Армении (1989 г.) была

отмобилизована трубопроводная бригада Закавказского военного округа, которой было развернуто 8 линий трубопровода ПМТП-100 суммарной протяженностью 24 км. Производительность перекачки составляла 210 м³/ч, что обеспечило работу 85 точек выдачи воды населению.

1.7 Использование сборно-разборных трубопроводов в нефтегазовом комплексе

На заре XX века комплексы ПМТ начали активно использоваться в интересах предприятий нефтегазовой отрасли для временных и аварийных решений. ПМТ использовались для сооружения временных трубопроводов на нефтепромысловых объектах при освоении нефтяных месторождений и в системах сбора и подготовки нефти, для прокладки отводов от стационарных магистральных трубопроводов, в качестве технологических трубопроводов на пунктах сбора, насосных станциях и нефтебазах. Эффективно применение комплектов ПМТ и в качестве средств технического прикрытия стационарных магистральных нефтепродуктопроводов и нефтепроводов с целью быстрого восстановления их функционирования при ликвидации аварий и неисправностей, при проведении ремонтно-восстановительных работ. Основным преимуществом ПМТ перед стационарными трубопроводами является возможность прокладки в короткие сроки с применением сравнительно небольшого количества сил и средств, при этом сводятся к минимальному объему земляные, сварочные, изоляционные, укладочные и другие виды работ. Трубопроводное оборудование комплектов ПМТ обладает высокой транспортабельностью [4, 11, 37, 45, 51, 62, 72, 79, 86, 90, 98, 101, 103, 111, 114, 152, 156, 157, 159, 160, 161, 162, 166, 182, 187].

В большинстве случаев сооружение стационарных трубопроводных систем на начальном этапе освоения нефтяных месторождений связано с определенным экономическим риском, а использование наливного автомобильного транспорта приводит к значительному увеличению

себестоимости нефти. Комплекты ПМТ могут применяться для создания в короткие сроки и с минимальными капитальными затратами временных трубопроводов, как и отдельных линий, так и целых трубопроводных систем на различные расстояния (от десятков до сотен километров).

В настоящее время ПМТ также активно используются в промышленной сфере для транспортирования нефти и нефтепродуктов в труднодоступных районах с суровыми природно-климатическими условиями; для технического прикрытия магистральных нефтепродуктопроводов (МНПП), а также подачи нефтепродуктов и воды при ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. ПМТ успешно применялись при сооружении временных нефтепроводов в сложных природно-климатических условиях в районах со слабо развитой транспортной инфраструктурой: «Талакан – Витим» (Ленский улус, Республика Якутия), «Мусюршор – Сандивей» (Ненецкий автономный округ), «Яракта – Верхнемарково» и «Дулисьма – Яракта» (Усть-Кутский район, Иркутская обл.). Основные характеристики нефтепроводов представлены в Таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Основные характеристики нефтепроводов, сооруженных из оборудования комплектов ПМТ

Показатель	Наименование нефтепровода			
	Талакан – Витим	Мусюршор – Сандивей	Яракта – Верхнемарково	Дулисьма – Яракта
Тип комплекта ПМТ	ПМТП-150			
Протяженность трубопровода, км	110	50, 5	112	78, 3
Производительность перекачки нефти, т/сут(млн. т/год)	1650 (0, 3)	700 (0, 25)	600 (0, 2)	1000 (0, 35)
Количество насосных станций, шт.	6	1	2	2
Продолжительность	56	37	42	45

Показатель	Наименование нефтепровода			
	Талакан – Витим	Мусюршор – Сандивей	Яракта – Верхнемарково	Дулисьма – Яракта
сооружения, сут.				
Ввод в эксплуатацию	1996 г.	2000 г.	2002 г.	2003 г.
Режим эксплуатации	Весна – осень	Круглогодичный	Круглогодичный	Круглогодичный

В отечественной практике сооружение промысловых нефтепроводов из оборудования комплектов ПМТ впервые было осуществлено в 1996 г. для транспортировки нефти от Талаканского нефтяного месторождения до наливного терминала на р. Лене в пос. Витим (Республика Саха (Якутия)).

Опыт развертывания и эксплуатации временных нефтепроводов в сложных природно-климатических условиях показал высокую эффективность применения оборудования и техники комплектов ПМТ. Конструктивное исполнение трубопровода ПМТП-150 убедительно подтверждают целесообразность использования военных трубопроводов в качестве техники двойного назначения, они обладают широким спектром применения и их возможности еще не полностью раскрыты и реализованы.

1.8 Применение сборно-разборных трубопроводов для обеспечения водой населения Республики Крым

Вследствие политических действий Украинских властей в отношении жителей Крыма, в 2014 году были перекрыты шлюзы Северо-Крымского канала, что создало угрозу водоснабжения, за счет которой обеспечивалось до 80% всей потребности полуострова. Вода из канала использовалась не только в интересах агропрома (орошение степной части полуострова), но и служила источником пополнения запасов водохранилищ, являющихся основным поставщиком воды для нужд жилищно-коммунального хозяйства [18, 19, 99, 101, 147].

С целью достижения водной независимости Крыма от Украины и

предотвращения ЧС, 1 мая 2014 г. было принято решение привлечь отдельный трубопроводный батальон для развертывания сети ПМТ и подачи по ним питьевой воды от имеющихся артезианских скважин до населенных пунктов Судакско-Феодосийского района, где наиболее остро сложилась обстановка с водообеспечением. Батальону предписывалось развернуть трубопровод ПМТП-150 общей протяженностью 66 км и обеспечить подачу воды на трех разобщенных направлениях. Развертывание ПМТ в направлении с. Кринички–г. Старый Крым велось вручную в одну линию методом последовательного наращивания. Учитывая протяженность трубопровода, на каждой линии потребовалось развернуть начальную насосную станцию, состоящую из установки ПНУ-100/200М. Суточная производительность перекачки по каждой линии ПМТ составила 1 300 м³. Вода поступала на Феодосийские очистные сооружения, откуда подавалась населению города.

В 2015 году для строительства сети ПМТ от подземных водозаборов до Северо-Крымского канала общей протяженностью 372 км и подачи воды 150 тыс. м³ в сутки были привлечены два отдельных трубопроводных батальона. К 1 июня был завершен монтаж и начата перекачка воды по остальным 16 линиям трубопровода, общей протяженностью 125 км. Общий объем подаваемой воды по всем 24 линиям составил 60 000 м³/сутки (Рисунок 1.24).



Рисунок 1.24 – Подача воды по ПМТ в Северо-Крымского канала

Всего было развернуто 48 линий трубопровода ПМТП-150 общей протяженностью 353 км. Самое масштабное использование ПМТ пришлось на 2020 г. С 11 июля по 10 августа было осуществлено строительство трубопроводной сети ПМТ для обеспечения водой населения центральной части полуострова. Для наполнения водой Симферопольского водохранилища от Тайганского гидроузла потребовалось развернуть 15 линий трубопровода: 3 линии ПМТП-100 и 12 линий ПМТП-150, протяженностью каждой по 54, 6 км. Общая протяженность трубопровода составила 819 км. Всего потребовалось задействовать 5, 5 комплектов ПМТ, в том числе 4, 5 комплекта ПМТП-150 и 1 комплект ПМТП-100. Для обеспечения заданной подачи воды, в соответствии с гидравлическим расчетом, потребовалось развернуть 3 насосные станции по 15 передвижных насосных установок в каждой (Рисунок 1.25).

В сентябре 2019 года в рамках стратегических учений «Центр – 2019» отдельный трубопроводный батальон Западного военного округа, совершив 700-километровый марш, получил задачу развернуть ПМТ для подачи горючего через р. Волга на склад горючего. Общая протяженность линии ПМТ составляла 32 км, из них 2, 7 км по реке. Такая задача выполнялась впервые в истории современных трубопроводных войск (Рисунок 1.26).



Рисунок 1.25 – Насосная станция на трассе трубопровода



Рисунок 1.26 – Развертывание трубопровода ПМТП-150 через р. Волга

Таким образом, проведенный анализ, как отечественной практики, так и зарубежной показал, что, несмотря на определенные трудности, перекачка горючего по сборно-разборным трубопроводам является эффективным средством транспортировки горючего как при выполнении боевых задач, так и при чрезвычайных ситуациях. Сравнительный анализ тактико-технических характеристик СРТ, используемых РФ, США и ФРГ приведен в Таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Сравнительный анализ тактико-технических сборно-разборных трубопроводов РФ, США и ФРГ

Наименование характеристики, размерность	Образцы вооружения, военной и специальной техники							
	ПМТ-150-150	ПМТП-100-150	ПМТП-150-150	ЛЭ ТСР-МК-100	QD 1, 026 (США)	QD 2, 036 (США)	Стальной сборно- разборный	Мягкий сборно- разборный
Год принятия на снабжение (вооружение)	1958 г.	1975 г.	1972 г.	2020 г.	1947 г.	1988 г.	1963 г.	1989 г.

Наименование характеристики, размерность	Образцы вооружения, военной и специальной техники							
	ПМТ-150-150	ПМТП-100-150	ПМТП-150-150	ЛЭ ТСР-МК-100	QD 1, 026 (США)	QD 2, 036 (США)	Стальной сборно-разборный	Мягкий сборно-разборный
Производитель	63 котельно-сварочный завод, г. Ивано-Франковск, Украина			АО «НПП «Алтик» РФ	США	США	ФРГ	США
Производительность перекачки, т/сут	2000	1200	2600	1200	910	2000	1100	1800
Рабочее давление (стандартные/облегченные трубы), МПа	2, 5/-	6, 0/-	6, 0/-	6, 0/-	7, 0/4, 2	7, 0/4, 2	5, 3/-	1, 4-2, 0
Длина комплекта, км	150	150	150		12, 9	27, 2	50, 0	-
Масса комплекта, т	2470	1100	2500		167, 8	517, 9	480, 0	-
Масса (стандартные/облегченные трубы), кг	78, 0 / -	36, 2 / -	80, 9 / -	24, 0 / -	90, 8 / 37, 2	136/77	91/-	320/-
Длина трубы, м	6, 0	6, 0	6, 0	6, 0	6, 1	6, 1	6, 1	200
Наружный диаметр трубы, мм	152, 0	102, 0	152, 0	107, 0	101, 6	152, 4	101, 6	152
Толщина стенки трубы (стандартные/облегченные трубы), мм	3, 25/-	2, 2/-	3, 2/-	5, 0/-	5, 5/1, 5	4, 0/2, 5	5, 6 / -	3, 0-5, 0 / -
Темп монтажа, км/сут	до 5, 0	до 10, 0	до 8, 0	до 12, 0	до 12, 0	до 3, 3	до 15, 0	до 32, 0
Способ соединения	Муфта	«Раструб»	«Раструб»	«Раструб»	Муфта	Муфта	Муфта	Муфта
Среднее расстояние между насосными станциями, км	10, 0	12, 0	15, 0	12, 0	12, 6	25, 5	12, 0	-

ГЛАВА 2 СЕТЕВОЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ПОЛЕВЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ВОЕННЫХ УГРОЗ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ИХ КОНФИГУРАЦИИ

2.1 Актуальные проблемы применения полевых магистральных трубопроводов

Современные военные противостояния отличаются принципиально иным уровнем технологического развития оружия и систем поражения, требующим новых подходов к защите инфраструктуры, включая системы нефтепродуктообеспечения. Особое место в этой системе занимают ПМТ, которые традиционно развертываются как линейные объекты, соединяющие складскую инфраструктуру тыловых районов с прифронтовыми зонами.

В условиях развития высокоточного оружия, беспилотных летательных аппаратов и систем спутникового наведения, линейная архитектура ПМТ становится чрезвычайно уязвимой. Повреждение даже одного участка может привести к полному выходу из строя системы подачи горючего, что в свою очередь негативно скажется на боеспособности воинских частей и соединений. Альтернативные способы доставки горючего (железнодорожным, автомобильным или воздушным транспортом) не обеспечивают необходимую пропускную способность и сами являются высоко уязвимыми к точечным ударам противника.

Актуальность проблемы обусловлена тем, что обеспечение бесперебойной поставки горючего остается ключевым элементом успешного выполнения как тактических, так и стратегических задач. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых подходов к проектированию и эксплуатации ПМТ, способных противостоять современным военным угрозам [35, 39, 40, 42, 43, 48, 52, 61].

Целью настоящей главы является разработка комплексной методологии

перехода от традиционных линейных ПМТ к сетевым структурам с функциональным резервированием, обеспечивающим высокую живучесть системы в условиях воздействия высокоточного оружия.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Обосновать необходимость перехода к сетевой архитектуре ПМТ;
2. Разработать математическую модель оценки живучести трубопроводных систем при различных конфигурациях;
3. Исследовать существующие алгоритмы поиска оптимальных трасс для сетевых структур;
4. Разработать модифицированный алгоритм проектирования конфигурации сетевых трубопроводов с учетом тактико-эксплуатационных требований;
5. Провести оценку эффективности предложенных решений.

2.2 Анализ современного состояния проблемы и обоснование необходимости сетевого функционального резервирования

Полевые магистральные трубопроводы классически монтируются в виде линейных конструкций, связывающих тыловые складские объекты с прифронтовыми районами вблизи зоны боевых действий [100, 171]. Главное преимущество транспортировки горючего по трубопроводам – это высокая пропускная способность и скрытность. Однако линейный способ развертывания ПМТ делает работоспособность всей системы в целом крайне чувствительной к повреждениям.

Современные средства поражения, такие как беспилотные или артиллерийские системы с лазерным и спутниковым наведением, способны точно выводить из строя стратегически важные элементы инфраструктуры, обеспечивающие доставку необходимых для военных действий ресурсов. Анализ современных вооруженных конфликтов показывает широкое

применение беспилотных летательных аппаратов для диверсий на логистических маршрутах. В такой обстановке линейный трубопровод становится приоритетной целью, требующей минимальных ресурсов для нейтрализации его функций. Выход из строя одного участка линейного трубопровода парализует всю систему подачи горючего. Например, в ходе операций на Ближнем Востоке неоднократно фиксировались случаи, когда единичный удар беспилотника по участку трубопровода приводил к прекращению подачи горючего на протяжении нескольких дней, что критически влияло на оперативную обстановку.

Альтернативные способы доставки горючего железнодорожным, автомобильным или воздушным транспортом имеют существенные ограничения:

- недостаточная пропускная способность по сравнению с трубопроводами;
- высокая уязвимость к воздействию высокоточного оружия;
- большие потери живой силы при выводе из строя транспортных средств;
- значительные затраты по доставке единицы горючего.

Таким образом, возникает необходимость в разработке новых подходов к построению систем нефтепродуктообеспечения, способных сохранять функциональность в условиях современных военных угроз.

Ответом на эти вызовы должна стать модернизация системы ПМТ за счет обеспечения функционального резервирования трубопроводной системы в целом. Преобразование системы ПМТ в распределенные сетевые конфигурации по принципу «интернет-сетей» обеспечит формирование многочисленных узлов и дублирующих как альтернативных, так и резервных маршрутов перекачки, что позволяет перенаправлять подачу горючего при повреждении одного или нескольких участков.

Замкнутые трубопроводные системы с резервными ответвлениями обеспечат ее живучесть: если дрон уничтожит какой-либо участок, подача

горючего может компенсироваться через соседние линии. Следует отметить разницу функционального резервирования от обычно применяемого в технических системах способа дублирования. При дублировании узлы и насосные установки располагаются в непосредственной близости, обеспечивая «горячий» резерв в случае выхода из строя основного оборудования из-за технической неисправности. При дублировании резервное оборудование простаивает в основное время работы системы.

Предлагаемый концепт функционального резервирования трубопроводной системы за счет формирования сетевой трубопроводной структуры подразумевает постоянную работу всей системы в целом, исключая простой резервных узлов и подсистем. Это принципиальное отличие обеспечивает более эффективное использование ресурсов и повышение общей живучести системы.

Важным преимуществом использования сетевого развертывания ПМТ является повышение ее живучести. Даже множественные повреждения не смогут целиком парализовать систему. Под живучестью понимается свойство полевой трубопроводной системы сохранять или восстанавливать в установленные сроки способность доставки заданного количества горючего в условиях воздействия противника.

Ремонт поврежденных участков полевых трубопроводов составляет не более трех суток, что в совокупности с предложенной системой сетевого развертывания полевых трубопроводов исключит выведение из строя системы подачи горючего к районам боевых столкновений с помощью сети полевых магистральных трубопроводов.

Главным недостатком сетевой структуры ПМТ является увеличение капитальных затрат: суммарная длина разветвленной системы трубопроводов будет значительно превышать длину линейного трубопровода. Однако стоит отметить, что даже при внедрении автоматического оружия в XIX веке существовало мнение, что оно вызовет перерасход боекомплекта и его внедрение экономически нецелесообразно и приведет к поражению в войнах.

Но сегодня очевидно, что благодаря внедрению и дальнейшему существенному улучшению тактическо-боевых характеристик автоматического оружия обеспечивалось успешное выполнение подразделениями боевых задач.

Также и для ПМТ, первоочередной задачей является повышение их живучести, хоть и за счет повышения капитальных затрат. При этом следует учесть, что при сетевой структуре ПМТ требуемый расход для подачи горючего суммируется из различных участков трубопровода. Таким образом, требования к насосному оборудованию и к прочностным характеристикам трубопроводных секций будут гораздо ниже. А значит на некоторых участках вместо стальных массивных трубопроводов можно использовать полиэтиленовые трубопроводы или гибкие плоскостворачиваемые трубопроводы, что частично компенсирует увеличение общей длины трубопроводной системы [43].

На Рисунке 2.1 представлены примеры линейной (существующей) и предлагаемой сетевой структур ПМТ. В качестве источника горючего выбран МНПП, в котором имеются тройники (отводы) в специальных колодцах (Рисунок 2.2) [159].

По Рисунку 2.1 очевидно, что точечный удар на любом участке линейного трубопровода (Рисунок 2.1а) вызовет отказ всей системы. Точечный удар по разветвленной системе трубопроводов (Рисунок 2.1б) не вызовет полного отказа системы, а наличие распределенных по местности резервуарных парков (Рисунок 2.3), имеющих необходимый противоаварийный запас, обеспечат полную функциональность трубопроводной системы на период, в течение которого будет произведен ремонт поврежденного участка [8, 149].

Для обеспечения непрерывности поставок горючего в период ремонта поврежденных участков трубопровода предлагается использовать эластичные (мягкие) резервуарные парки в качестве источников пополнения запасов горючего.

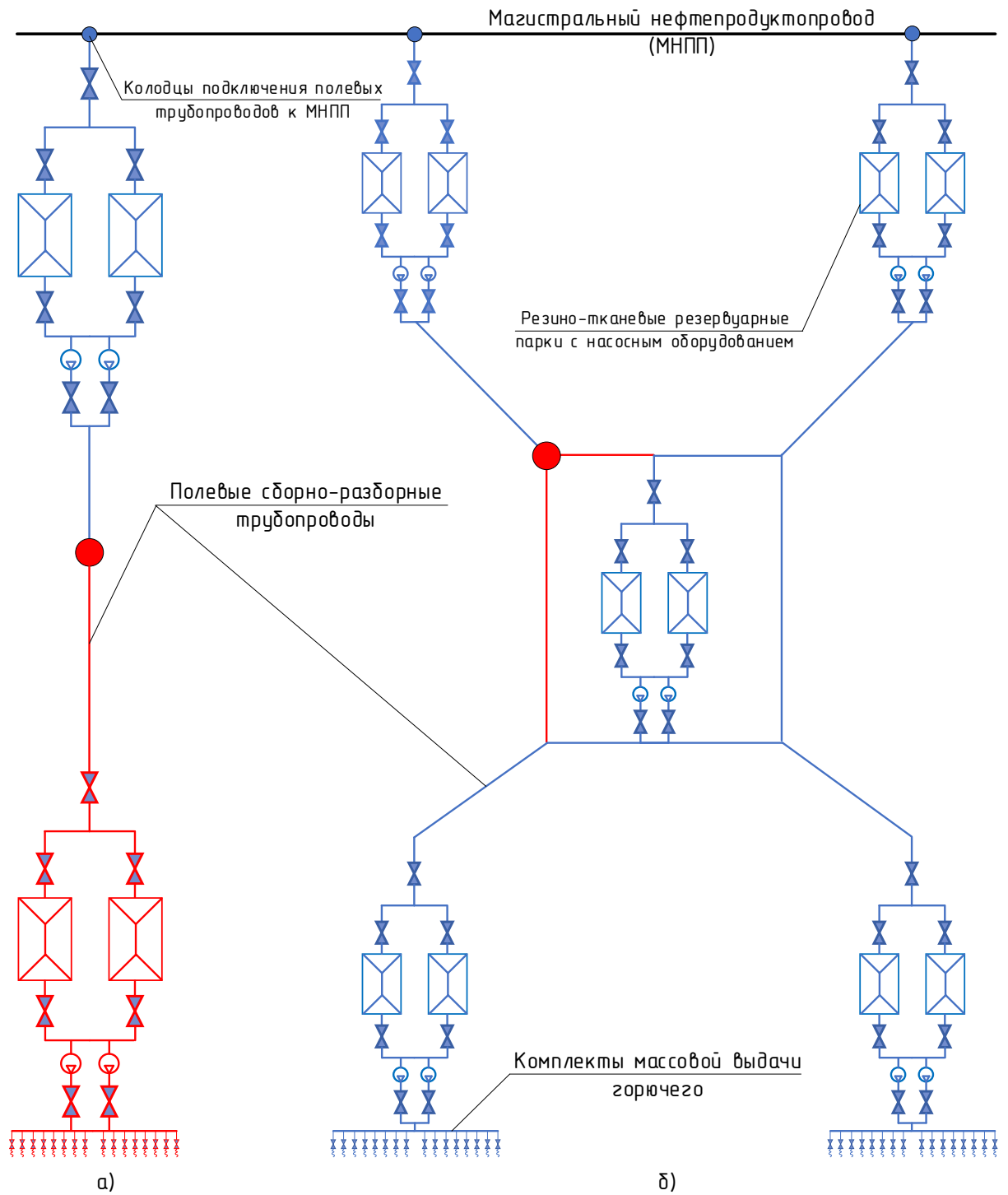
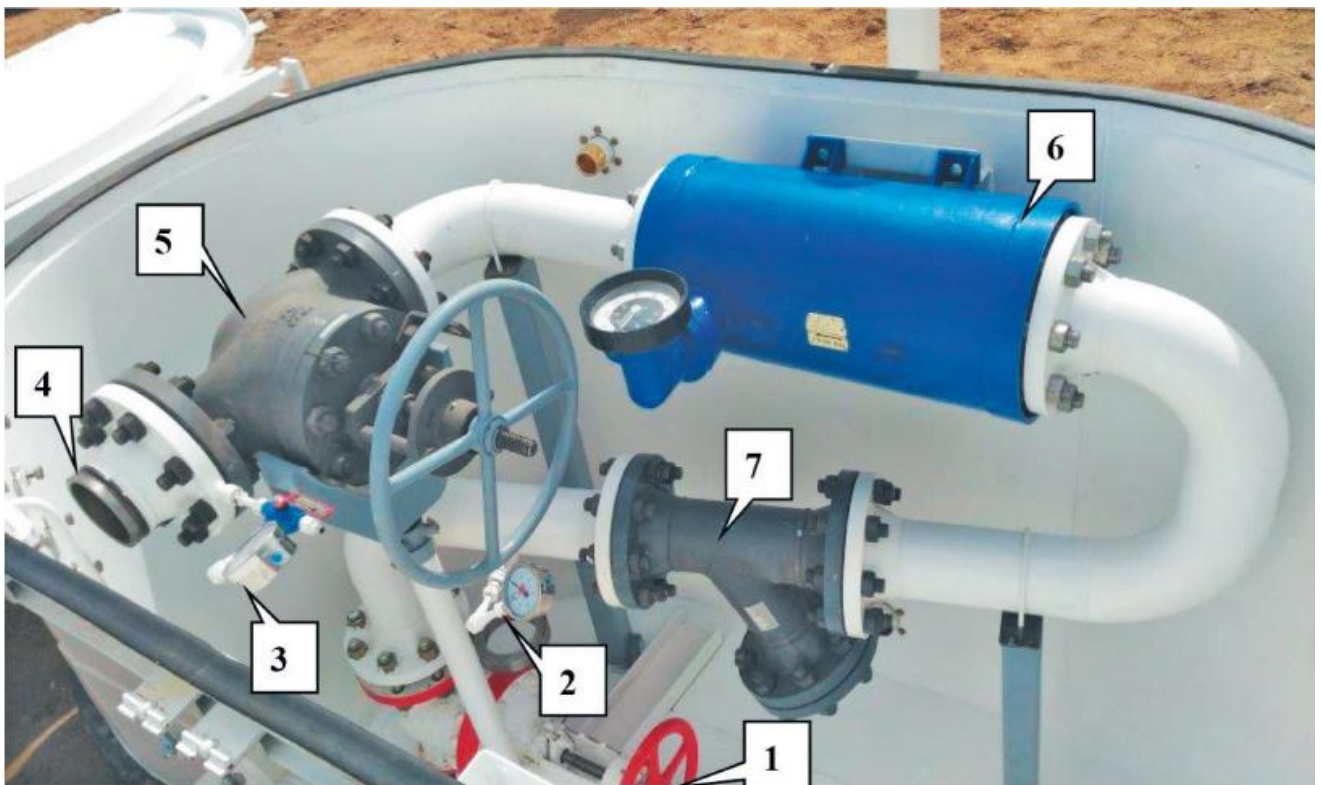


Рисунок 2.1 – Линейная и сетевая структуры способов развертывания полевых магистральных трубопроводов



1 – задвижка DN 150; 2, 3 – манометры; 4 – быстроразъемное соединение МПТ-15,4; 5 – регулятор давления; 6 – расходомер; 7 – фильтр сетчатый
Рисунок 2.2 – Общий вид специального колодца подключения полевых магистральных трубопроводов к магистральному нефтепродуктопроводу

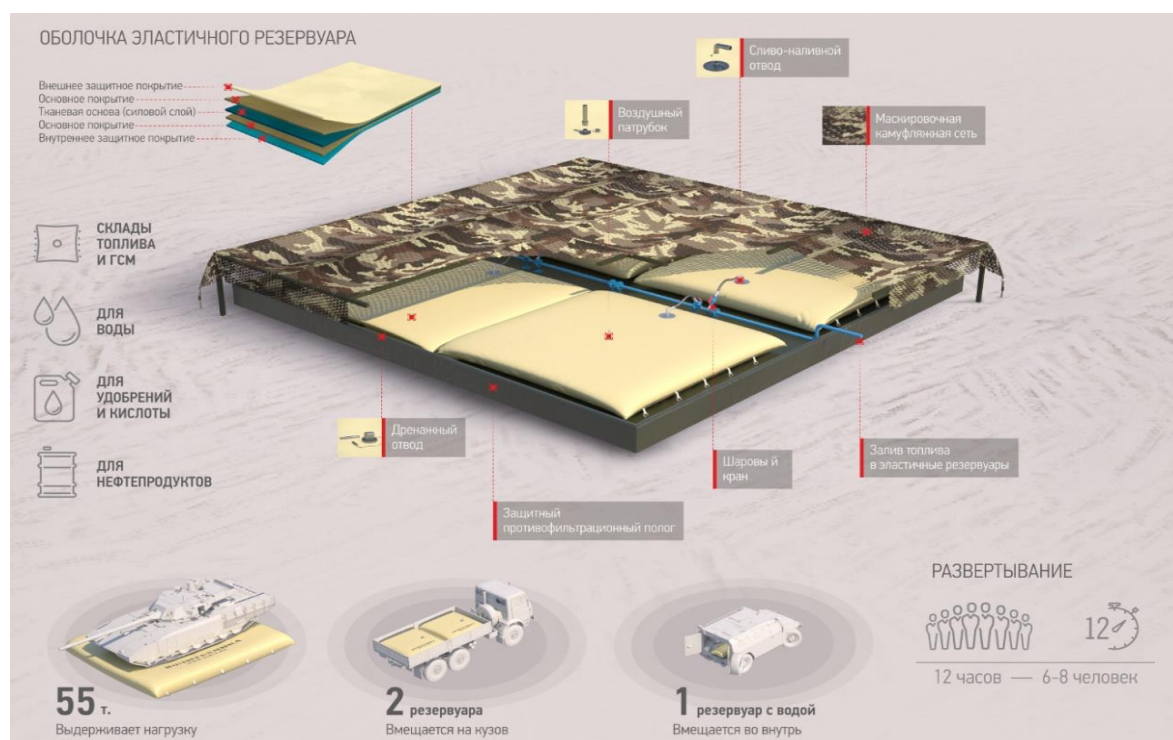


Рисунок 2.3. Общий вид резиноканевых резервуарных парков

Эти резервуары обладают следующими преимуществами:

- высокая мобильность и быстрота развертывания;
- относительная дешевизна по сравнению со стационарными резервуарами;

- возможность быстрой маскировки и перемещения;
- устойчивость к воздействию ударной волны при близких разрывах;
- возможность комплектования различной вместимости в зависимости от задач.

Более подробно информация о технических характеристиках и конструктивных особенностях применяемых в военных целях эластичных резервуаров, включая и разработанные автором диссертации решения, представлены в Главе 4.

В случае более массированных точечных ударов по различным элементам сетевого трубопровода для преодоления ограничений пропускной способности, оставшихся в работоспособном состоянии участков трубопровода можно предусмотреть ввод в поток перекачиваемой жидкости противотурбулентных присадок, снижающих гидравлическое сопротивление, тем самым обеспечивая живучесть даже в таких сложных критических ситуациях.

Для понимания принципиальных отличий в подходах к проектированию линейных и сетевых трубопроводов проведем сравнительный анализ ключевых параметров (Таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Сравнительный анализ задач проектирования линейных и сетевых трубопроводов

Основная цель	Минимизация длины и стоимости строительства	Максимизация живучести и надежности
Критерии оптимизации	Стоимость, гидравлическое сопротивление, энергозатраты	Надежность, ремонтпригодность, гибкость, устойчивость к повреждениям
Топология	"Точка-точка" с минимальным количеством ответвлений	Многосвязная сеть с замкнутыми контурами и альтернативными маршрутами
Методы расчета	Динамическое программирование, классические гидравлические расчеты	Задача Штейнера, теория графов, вероятностные модели живучести

Основная цель	Минимизация длины и стоимости строительства	Максимизация живучести и надежности
Гидравлические особенности	Простые однозначные зависимости потока от перепада давления	Сложное распределение потоков по ветвям сети с возможностью перераспределения
Требования к ремонтпригодности	Локализация повреждений на конкретном участке	Возможность перераспределения потоков при повреждении любого участка
Тактические характеристики	Высокая уязвимость к точечным ударам	Устойчивость к множественным повреждениям

Как показано в Таблице 2.1, сетевая структура требует принципиально иного подхода к проектированию, учитывающего возможность перераспределения потоков при повреждении отдельных участков. При этом существенно усложняется гидравлический расчет системы, поскольку потоки в разветвленных трубопроводах распределяются в соответствии с сопротивлением отдельных ветвей и требуемыми расходами в точках потребления.

2.3 Математическое моделирование живучести трубопроводных систем

Понятие надёжности технических систем закреплено в ГОСТ 27.002-2015 и охватывает свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. В классической трактовке надёжность описывает поведение системы под воздействием пассивных нагрузочных агентов – физической деградации, усталостных трещин, коррозии и случайных эксплуатационных перегрузок. Инструментарий классической теории — функция надёжности $P(t)$, интенсивность отказов λ , среднее время безотказной работы MTBF – разработан в предположении о стационарном стохастическом характере отказообразующих воздействий.

Живучесть полевых сборно-разборных трубопроводов в условиях современных вооружённых конфликтов принципиально отличается от классической надёжности. Основная причина — смена природы нагрузочного

агента: место случайного физического процесса занимает рациональный противник, целенаправленно выявляющий и атакующий наиболее уязвимые элементы системы. Данный тезис находит теоретическое обоснование в работе [211], где показали, что поведение критической инфраструктуры при преднамеренных атаках качественно отличается от поведения при случайных отказах и требует отдельного методологического аппарата.

Принципиальные различия двух подходов систематизированы в Таблице 2.2.

Таблица 2.2 Сравнительная характеристика классической надёжности и живучести полевых МТ

Параметр	Классическая надёжность (ГОСТ 27.002)	Живучесть полевого сборно-разборного трубопровода
Природа нагрузочного агента	Случайный, стохастический (коррозия, усталость, температурные нагрузки)	Преднамеренный, управляемый рациональным противником
Адаптивность агента	Отсутствует — физические процессы не реагируют на архитектуру системы	Высокая — противник целенаправленно ищет наиболее уязвимые узлы
Основной показатель	$P(t)$, λ , MTBF	пж (число атак до отказа), Ж (интегральный показатель)
Характер отказа	Преимущественно постепенный (деградационный)	Внезапный, сосредоточенный, локальный
Конфигурация системы	Фиксированная	Динамически адаптируемая (перемаршрутизация)
Тип резервирования	Структурное дублирование узлов	Функциональное сетевое (маршрутная избыточность)
Ремонтная стратегия	Плановое техническое обслуживание	Аварийное восстановление в боевых условиях (≤ 3 суток)
Нормативная база	ГОСТ 27.002, ГОСТ Р 27.302	Отсутствует — требует специальной методологии

В работе [211] показано, что масштабно-инвариантные (scale-free) сети демонстрируют принципиально различное поведение при случайных отказах и при целенаправленных атаках на узлы с наибольшим числом связей. При случайных отказах такие сети крайне устойчивы; при целенаправленных атаках — существенно уязвимее, чем случайные сети той же плотности. Это напрямую подтверждает стратегический риск линейного трубопровода: в его «топологии» с единственным путём любая прицельная атака по любому элементу является атакой на наиболее связный узел. Переход к сетевой

архитектуре с множеством путей изменяет класс системы и существенно снижает данный риск.

Под живучестью понимается важнейшая характеристика надежности, отражающая возможность системы сохранять свою работоспособность при появлении отказов или повреждений в отдельных или нескольких узлах [78]. В некоторых источниках вместо понятия живучести используется термин «сохраняемость». Описать ее одной универсальной математической функцией сложно, так как это комплексное свойство, которое зависит от выбранной конфигурации трубопроводной сети, природы отказов и требуемого уровня функциональности системы.

Для количественной оценки живучести трубопроводных систем необходимо разработать математическую модель, учитывающую вероятностный характер воздействия и архитектурные особенности системы. Рассмотрим два сценария: линейная трубопроводная система и сетевая система с функциональным резервированием.

В случае линейной конфигурации системы трубопровода полный сбой функционирования фиксируется уже при первом поражении любого сегмента трассы. Примем, что вероятность поражения трубопровода при атаке всегда одинакова и равна p . Тогда функция плотности вероятности (PDF) и кумулятивная (интегральная) функция распределения (CDF) описываются геометрическим распределением:

$$P(n) = p \cdot (1 - p)^n, \quad (2.1)$$

$$F(n) = 1 - (1 - p)^{n+1}, \quad (2.2)$$

где p – вероятность поражения трубопровода при атаке;

n – число неудачных атак перед поражением трубопровода.

Для трубопроводной системы с сетевой структурой (Рисунок 2.1б) можно выделить k равнозначных трубопроводных подсистем, соединяющих источники и потребители горючего. Полный отказ трубопроводной системы целиком произойдет только при одновременном выведении из строя всех подсистем.

Вероятность поражения при атаке трубопровода конкретной подсистемы из числа всех подсистем определяется следующим образом (условие равнозначности подсистем):

$$p' = p/m, \quad (2.3)$$

где p – вероятность поражения конкретной подсистемы трубопровода при атаке;

m – число равнозначных трубопроводных подсистем.

Поскольку полный отказ происходит при одновременном выведении из строя всех подсистем, то количество попаданий при таком событии должно соответствовать количеству подсистем. Вероятность такого события, или, другими словами, отказа трубопроводной системы целиком, в зависимости от числа атак описывается отрицательным биномиальным распределением:

$$P(n) = C_{r-1}^{n+r-1} \cdot \left(\frac{p}{m}\right)^r \cdot \left(1 - \frac{p}{m}\right)^n, \quad (2.4)$$

где r – количество необходимых попаданий, в нашем случае можно принять равной количеству подсистем;

C_{r-1}^{k+r-1} – количество сочетаний без повторений из $(k + r - 1)$ элементов по $(r - 1)$.

Кумулятивная (интегральная) функция для такого распределения не описывается классическим уравнением, а рассчитывается специальными программами, например, Excel. Математически ее выражают через неполную бета-функцию:

$$F(n) = I_p(r, n + 1), \quad (2.5)$$

где I_p – бета-функция, зависящая от двух переменных.

Формулы (2.1) и (2.2) являются частными случаями формул (2.4) и (2.5) при $r = 1$, поэтому далее при определении функции плотности вероятности и кумулятивной функции распределения поражения трубопровода от количества атак будут использоваться общие формулы.

В предложенной постановке вероятностных моделей живучести трубопроводной системы можно описать в виде интегрального и

вероятностного показателей. Вероятностный показатель можно определить в виде значения n , при котором вероятность отказа достигает значения 0,99. С использованием понятия обратной функции можно представить в виде следующего уравнения:

$$n_{\text{ж}} = f^{-1}(P(n) \geq 0,99). \quad (2.6)$$

Интегральный показатель живучести можно представить в виде значения, которое отражает изменение кумулятивной или интегральной функции распределения по всей зависимости от количества атак до достижения вероятности отказа значения 1,0. При этом, возьмем удельный показатель живучести, приходящийся на единицу количества подсистем и на приходящуюся доля расхода в подсистеме, также пропорциональный количеству подсистем:

$$Ж = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} (1 - F(n))}{m^2}. \quad (2.7)$$

Параметр вероятности p отражает «тяжесть боевой угрозы» для данного участка: чем выше вероятность поражения при одной атаке, тем ниже ожидаемое число атак до отказа системы и тем большее число подсистем m необходимо предусмотреть для обеспечения требуемой живучести.

Примем, что параметр p является функцией трёх независимых факторов:

$$p = p(\text{Зона}) \cdot k_{\text{СП}} \cdot k_{\text{маск}}, \quad (2.8)$$

где $p(\text{Зона})$ — базовая вероятность поражения, зависящая от зоны развёртывания (расстояния от линии боевого соприкосновения, ЛБС);

$k_{\text{СП}}$ — поправочный коэффициент типа средства поражения;

$k_{\text{маск}}$ — поправочный коэффициент маскировки трубопровода.

В настоящей работе предлагается ввести систему коэффициентов боевой уязвимости полевых сборно-разборных трубопроводов. Базовые значения параметра p для различных зон развёртывания приведены в Таблицах 2.3 и 2.4. Значения обоснованы аналитически с использованием открытых данных о результатах применения высокоточного оружия в современных вооружённых конфликтах и подлежат уточнению по результатам натурных испытаний.

Таблица 2.3 – Коэффициенты боевой уязвимости полевых МТ в зависимости от условий развёртывания

Зона развёртывания	Расстояние от ЛБС	Преобладающий тип средства поражения	Базовая p (надземная укладка)	Категория участка
Глубокий тыл	> 100 км	БПЛА-разведчик + дальнобойная ракета	0,05–0,15	низкая категория
Оперативный тыл	30–100 км	Арт. удар + БПЛА-камикадзе	0,20–0,40	средняя категория
Ближний тыл	10–30 км	Прямая наводка + FPV-дрон	0,40–0,65	высокая категория
Передовой район (< ЛБС)	< 10 км	Все виды СП, в т.ч. прямой огонь	0,65–0,90	особая категория

Таблица 2.4 – Поправочные коэффициенты к параметру p

Фактор	Условие	Значение коэффициента
$k_{СП}$ — тип средства поражения	Неуправляемый снаряд / неточный удар	0,5–0,7
	Управляемый снаряд (лазер/GPS)	1,0 (базовое)
	FPV-дрон с оператором (точечный удар)	1,1
$k_{маск}$ — маскировка	Надземная без маскировки (базовое)	1,0
	Замаскированная надземная (сетки, укрытия)	0,50–0,65
	Заглублённая / подземная укладка	0,15–0,35
	Подземная + маскировка рельефом	0,05–0,15

Для проведения численной оценки примем следующее сочетание условий: зона ближнего тыла (10–30 км от ЛБС), управляемое средство поражения ($k_{СП} = 1,0$), надземная укладка без маскировки ($k_{маск} = 1,0$). Итоговое расчётное значение: $p = 0,50 \times 1,0 \times 1,0 = 0,50$. Данное значение является консервативной (верхней) оценкой для наиболее типичных условий развёртывания полевых сборно-разборных трубопроводов в зоне оперативного ближнего тыла.

Для линейной системы трубопровода ($r = 1$) функции плотности вероятности и кумулятивной функции распределения представлены на Рисунке 2.3.

Количество атак до достижения вероятности отказа, например 0,99, составляет $n + 1 = 7$, для 0,95 – 5. Показатель живучести составляет $Ж = 1$.

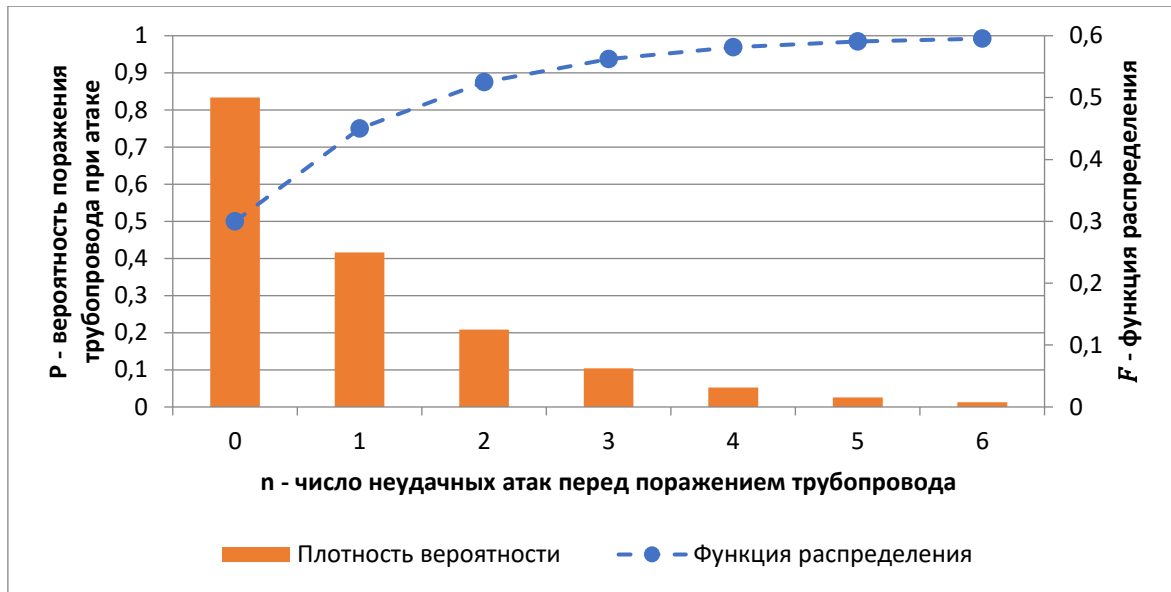


Рисунок 2.3 – Плотность вероятности и кумулятивная (интегральная) функция распределения для линейного трубопровода $m = 1$

Для сетевых конфигураций трубопроводов с $m = 2$; $m = 3$; $m = 4$ равнозначными подсистемами (Рисунок 2.1б) функции плотности вероятности и кумулятивной функции распределения представлены на Рисунках 2.4 – 2.6.

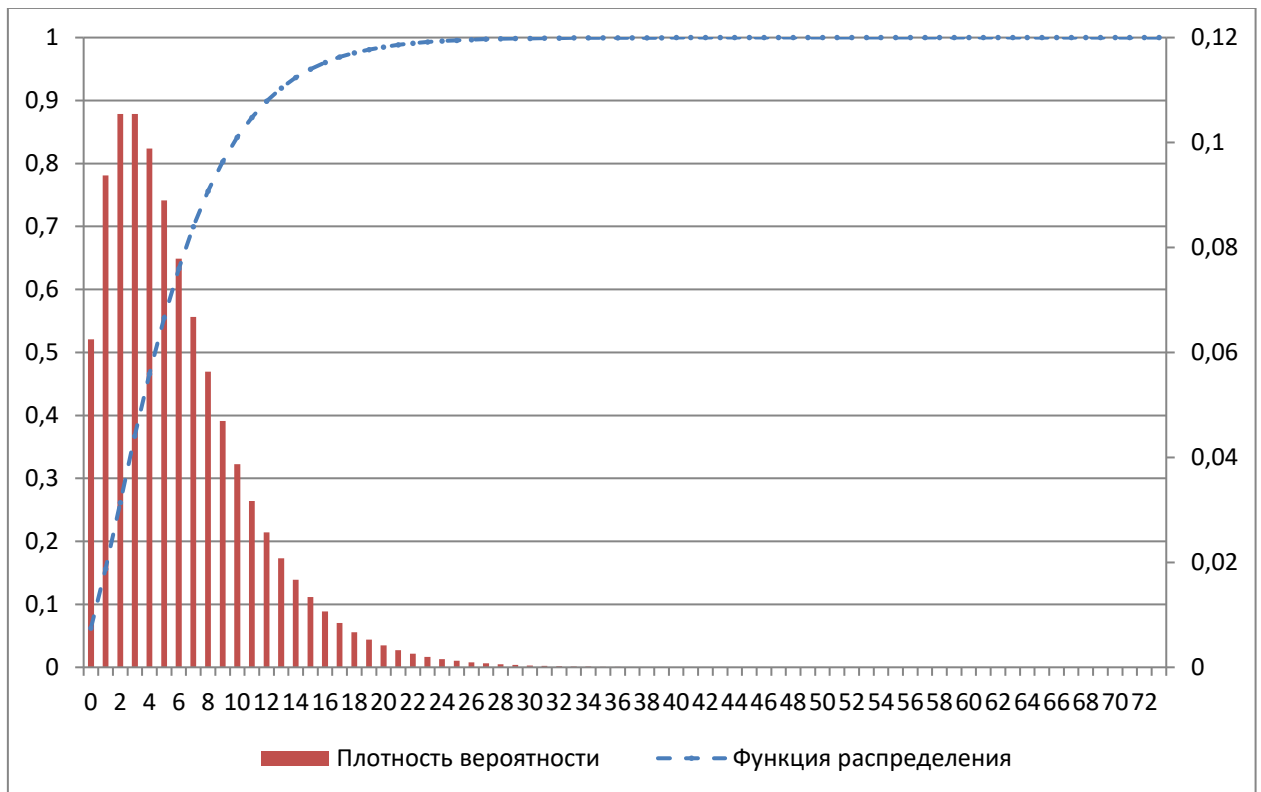


Рисунок 2.4 – Плотность вероятности и кумулятивная (интегральная) функция распределения для трубопроводной сети с $m = 2$

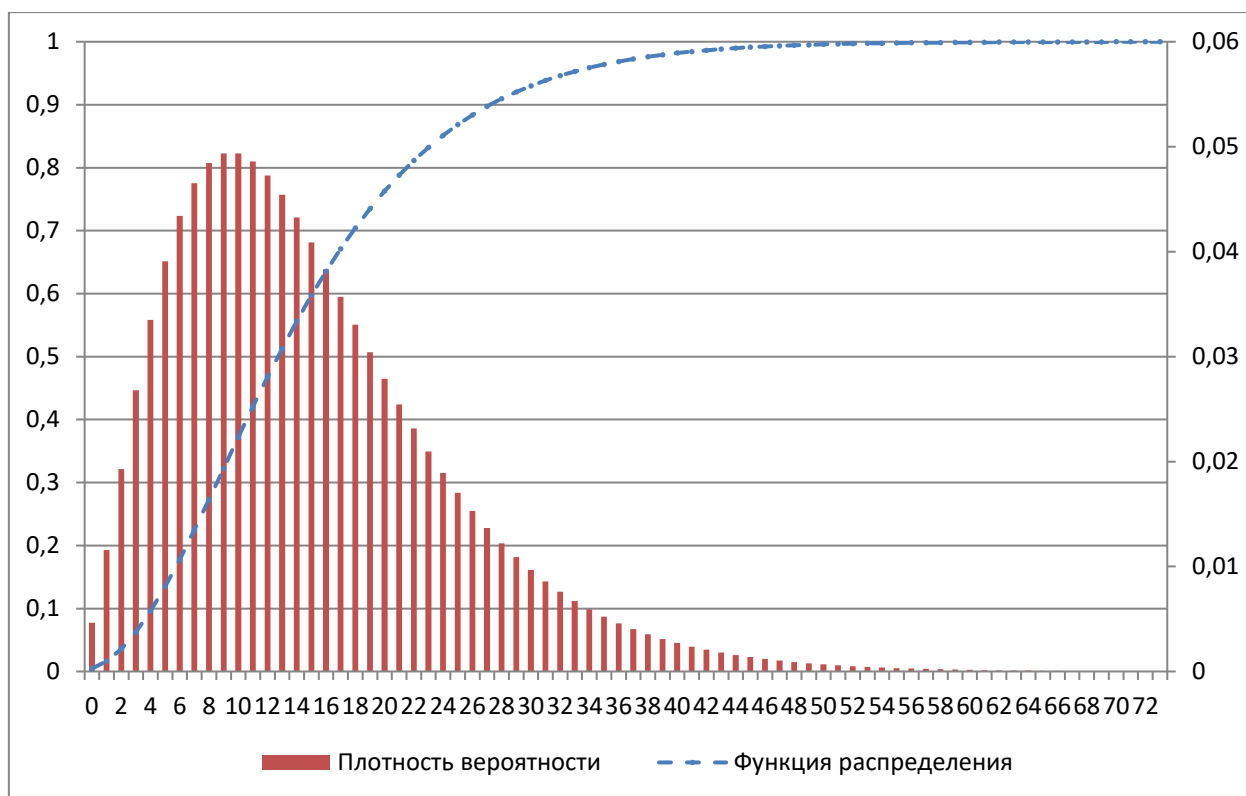


Рисунок 2.5 – Плотность вероятности и кумулятивная (интегральная) функция распределения для трубопроводной сети с $t = 3$

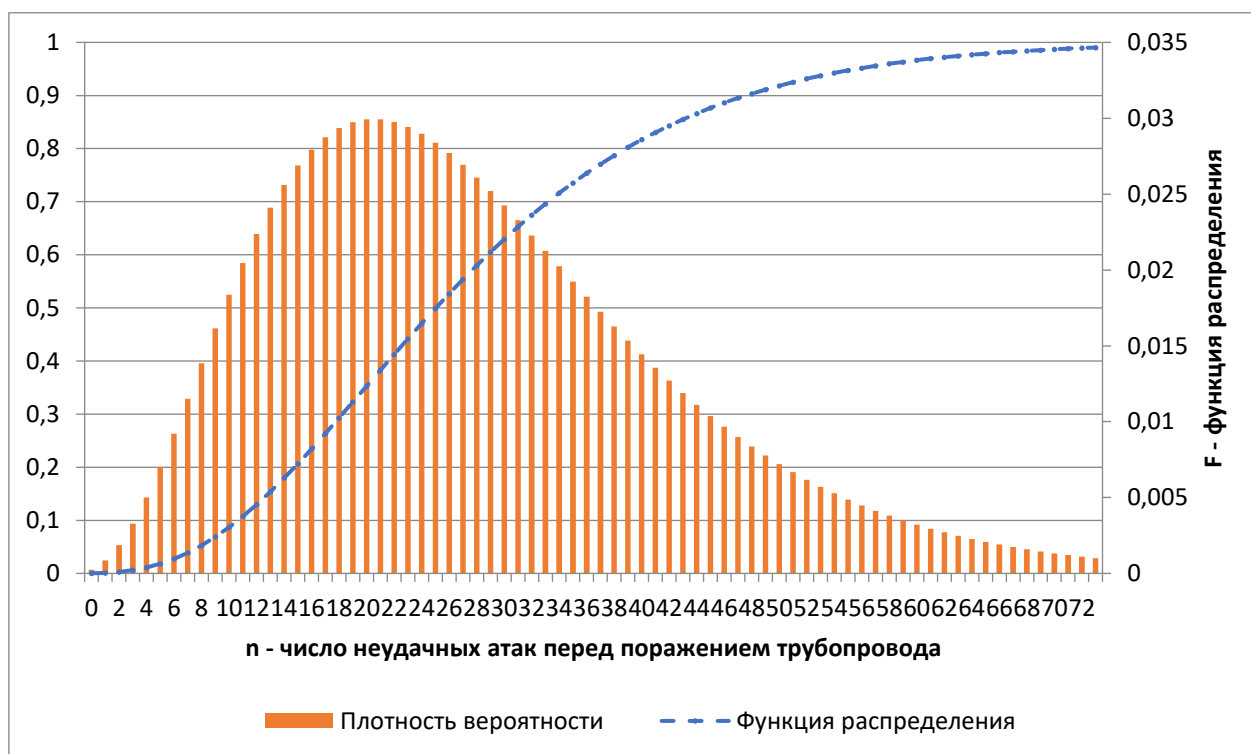


Рисунок 2.6 – Плотность вероятности и кумулятивная (интегральная) функция распределения для трубопроводной сети с $t = 4$

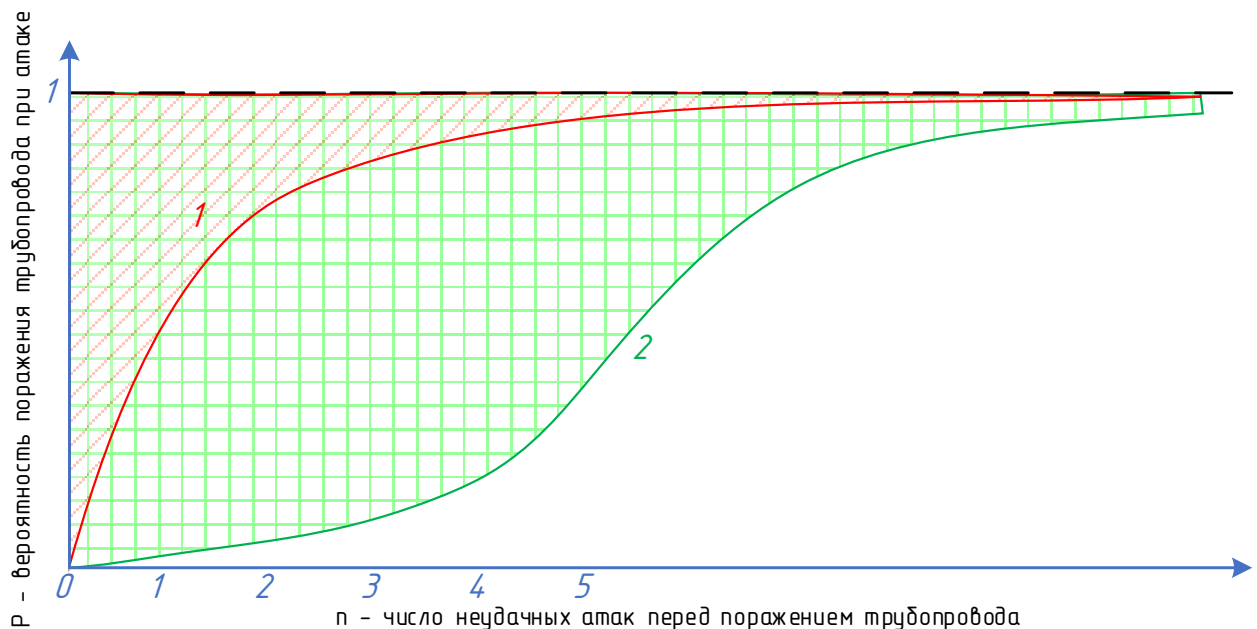
Количество атак до достижения вероятности отказа 0,99 составляет $n + 1 = 74$, а для 0,95 – 57. Показатель живучести составляет $Ж = 7$.

Таким образом, при переходе от линейной к сетевой структуре с четырьмя равнозначными подсистемами:

- число необходимых ударов для гарантированного отказа с вероятностью 0,99 увеличивается более чем в 10 раз (с 7 до 74), а с вероятностью 0,95 – в 11 раз и т.д.;
- показатель живучести увеличивается в 7 раз (с 1 до 7).

Применение сетевой структуры ведет не к количественному изменению вида кумулятивной функции распределения, а к качественному: вид функции качественно меняется (Рисунок 2.7). Результаты расчетов функций распределения для различного количества подсистем сведенные на одном графике представлены на Рисунке 2.8.

Показатель живучести можно представить в виде площади над кривой функции $F(x)$ до 1,0, которую нужно разделить на квадрат количества используемых подсистем.



1 – функция вероятности отказа для линейного трубопровода; 2 – функция вероятности отказа для сетевого трубопровода

Рисунок 2.7 – Изменение кумулятивной функции вероятности отказа технической системы целиком в зависимости от числа атак или диверсий

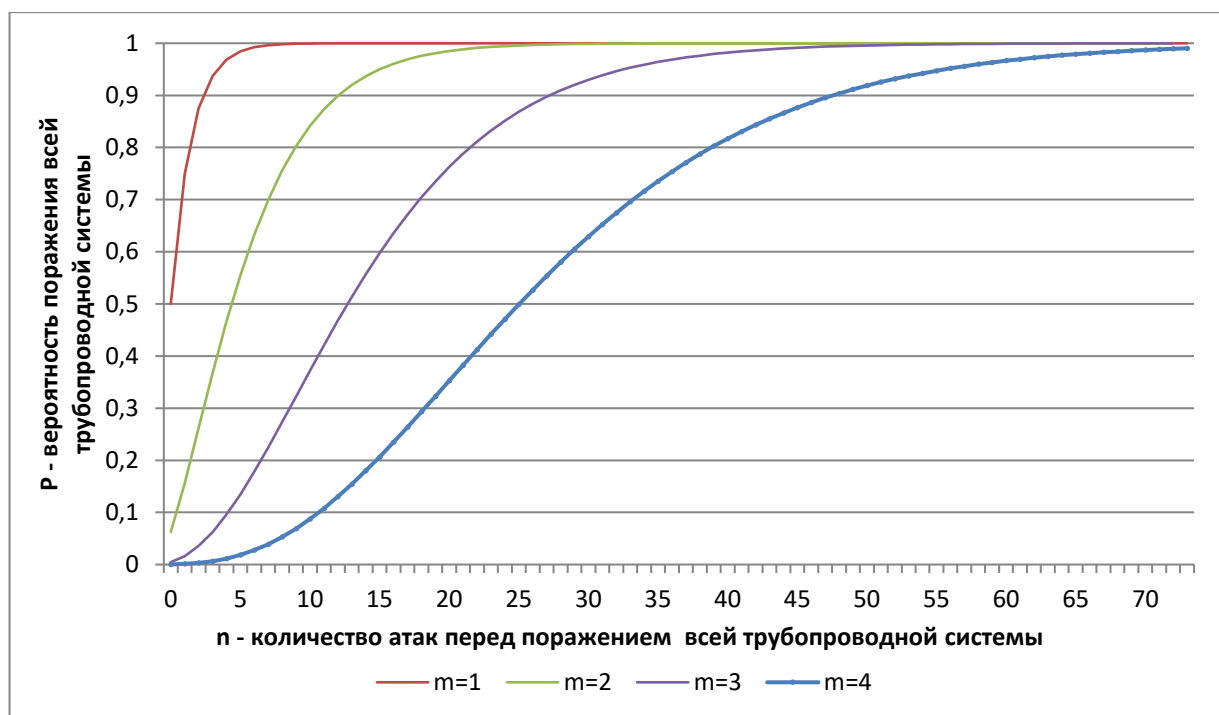


Рисунок 2.9 – Функции распределения для $m = 1; m = 2; m = 3; m = 4$

Расчеты числа необходимых атак для различного количества резервирования и различной вероятности попадания одной атаки с целью вывода из строя трубопроводной системы с вероятностью 0,95 представлено в Таблице 2.5. Для 0,99 – в Таблице 2.6. Параметр Живучести – в Таблице 2.7.

Таблица 2.5 – Число необходимых атак для поражения системы с вероятностью 0,95

Вероятность поражения при одной атаке	m – число подсистем			
	1	2	3	4
0,3	9	29	59	98
0,5	5	17	34	57
0,8	2	9	20	34

Таблица 2.6 – Число необходимых атак для поражения системы с вероятностью 0,99

Вероятность поражения при одной атаке	m – число подсистем			
	1	2	3	4
0,3	13	41	79	128

Вероятность поражения при одной атаке	m – число подсистем			
	1	2	3	4
0,5	7	23	46	73
0,8	3	13	27	44

Таблица 2.7 – Параметры Живучести для трубопроводных систем с различным количеством резервирования и различной вероятностью попадания одной атаки

Вероятность поражения при одной атаке	m – число подсистем			
	1	2	3	4
0,3	2,33	2,833	3	3,083
0,5	1	1,5	1,667	1,75
0,8	0,25	0,75	0,917	1

Полученные результаты количественно подтверждают значительное повышение живучести трубопроводной системы при переходе к сетевой архитектуре с функциональным резервированием (Рисунок 2.10).

Результаты расчетов показывают, что повышать количество подсистем более 4 не имеет смысла, так как приращение живучести становится мало.

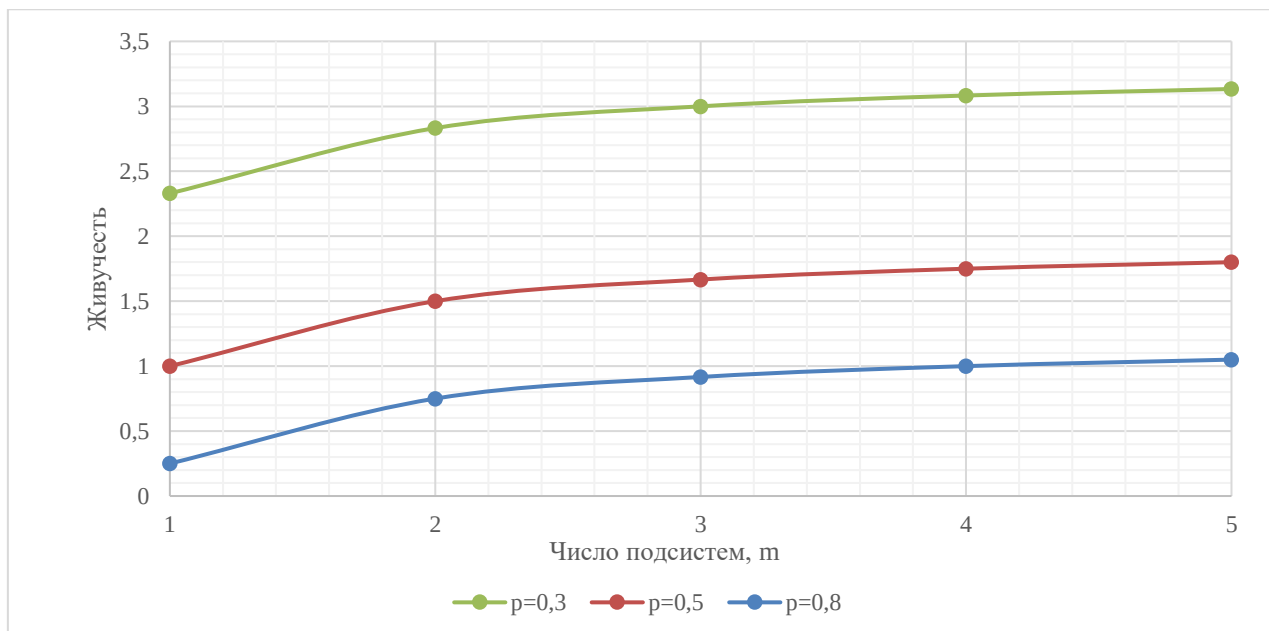


Рисунок 2.10 – Живучесть для трубопроводных систем с различным количеством резервирования и различной вероятностью попадания одной атаки

2.4 Методология оптимизации конфигурации сетевых трубопроводов

Вопрос оптимальной трассировки полевого трубопровода до пунктов снабжения с учетом ландшафта и иных условий изучен в научно-технической литературе достаточно подробно, однако требует адаптации с учетом целей и реалий военных задач различной интенсивности. Еще в СССР во время сооружения крупных магистральных трубопроводов была известна методика, представленная в работах Л.А. Бабина [9, 10], в которых предлагались методы определения оптимальных трасс магистральных трубопроводов с использованием метода динамического программирования.

Современное развитие программного обеспечения и увеличение вычислительных мощностей позволили решать задачи поиска кратчайших расстояний на персональных компьютерах [70, 71], что вызвало повторный интерес применения данных методов при проектировании трубопроводов. Однако все рассматриваемые подходы к выбору трассы магистральных трубопроводов ориентированы в основном на гражданское применение [34, 115], где доминирующим критерием является минимизация стоимости строительства и эксплуатации.

В военных условиях, особенно при развертывании ПМТ, приоритеты смещаются в сторону живучести системы, возможности быстрого восстановления после повреждений и обеспечения бесперебойной подачи горючего в условиях противодействия противника [49, 50]. Это требует разработки новых подходов к оптимизации конфигурации трубопроводных систем.

Математический способ решения задачи нахождения оптимальной конфигурации трубопроводной системы заключается в приведении топографической местности к графу, где вершинами являются точки местности с конкретными географическими координатами, соединенными с соседними вершинами ребрами с назначенными весами, учитывающих

стоимость капитальных затрат на сооружение трубопровода с учетом типа местности (лес, луг, болото и т.п.).

В качестве исходных данных местность, где планируется развернуть сеть ПМТ, должна быть представлена в виде растровой карты весов, где каждый пиксель (ячейка) является узлом, а ребра соединяют соседние пиксели (ячейки), включая и диагональные (8-связность). Каждое ребро имеет вес, который рассчитывается как среднее значение весов двух соединяемых узлов.

Вес пикселя (ячейки) должен определяться исходя из параметров оптимизации, представленных в Таблице 2.8.

В качестве исходных данных также должны быть заданы 2 множества точек на карте:

1. источники горючего $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$;
2. потребители горючего $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$.

Таблица 2.8 – Основные параметры, учитываемые при оптимизации трассы сетевого трубопровода

Топографические	Перепады высот, наличие препятствий (овраги, реки, озера и т.п.), грунтовые условия прокладки	Определяют длину и стоимость строительства, эффективность и надежность работы сети трубопроводов
Эксплуатационные	Доступность для ремонта, возможность расширения и параллельной прокладки трубопроводов	Влияют на эффективность работы сети, скорость восстановления после повреждений
Тактические	Уязвимость для обстрела, маскирующие свойства местности, защищенность средствами противовоздушной обороны и т.п.	Влияют на показатели живучести, вероятность обнаружения и поражения

Необходимо связать источники горючего с потребителями сетью трубопроводов на заданной местности, чтобы суммарный вес системы был минимален. При этом сеть должна оставаться связной при повреждении любого одного участка, то есть предпочтительно наличие резервных маршрутов соединяющих группу источников с группой потребителей горючего.

Рассмотрим существующие алгоритмы поиска оптимальных маршрутов, начиная от простых к более сложным.

Волновой алгоритм Ли основан на алгоритме «Поиск в ширину» (BFS – Breadth-First Search).

Цель – обходить граф «слоями» или «волнами». Сначала посещаются все соседи начальной вершины, потом соседи соседей и так далее.

Принцип работы:

- инициализация: для каждой вершины задается информация о проходимости, отмечаются начальная и конечная вершины маршрута, для начальной вершины задается атрибут, равный нулю;
- распространение волны: запускаем цикл, где для каждой ячейки, имеющей атрибут номера текущей волны, помечаем соседние ячейки с присвоением их атрибутов, равным номеру следующей предстоящей волны; завершаем цикл пока не пометится конечная вершина или не будет возможности распространения волны;
- восстановление пути: от конечной вершины маршрута к начальной на каждом шаге выбирается вершина, имеющая атрибут расстояния на единицу меньше текущей вершины.

Волновой алгоритм работает только для невзвешенных графов, где все ребра имеют одинаковый «вес» = 1. Таким образом, алгоритм позволяет найти кратчайший путь с минимальным количеством ребер. Сложность алгоритма: $O(V + E)$, где V - количество вершин, E - количество ребер.

Алгоритм Дейкстры относится к классу жадных алгоритмов и был разработан для учета веса ребер. Алгоритм схож с волновым, но добавляется новый дополнительный атрибут, учитывающий вес ребер. Отличие заключается в том, что вершина может посещаться несколько раз, если новый путь к точке лучше, чем наилучший предыдущий путь.

Алгоритм Дейкстры работает только для взвешенных графов с неотрицательными весами ребер, в которых гарантированно находит кратчайший путь. Сложность алгоритма: $O((V+E) \log V)$.

Алгоритм A^* был разработан для увеличения скорости нахождения оптимального маршрута. В этом алгоритме граница расширяется к конечной точке больше, чем в других направлениях. Вместо атрибута веса ребер используется эвристическая функция, например сумма расстояния до конечной вершины и веса ребер. Алгоритм A^* исследует вершины в порядке возрастания эвристической функции. Вершины, ближайшие к цели, будут исследованы первыми, благодаря чему алгоритм быстрее находит решение, чем алгоритм Дейкстры.

При проектировании сетевой структуры трубопроводов классическая задача поиска трассы между двумя точками трансформируется в задачу, которая заключается в нахождении сети с минимальной суммой весов ребер, соединяющей группу различных точек. Математическая формулировка данного класса задач заключается в нахождении минимального остовного дерева (Minimum Spanning Tree – MST).

Алгоритмы Прима и Краскала находят минимальное остовное дерево для всех вершин графа. Однако рассматриваемая задача заключается в нахождении минимального дерева, которое соединяет заданное подмножество вершин, при чем оно должно включать и другие вершины графа, как для возможности соединения заданных вершин, так и для уменьшения общего веса.

Таким образом, мы приходим к обобщенной задаче о минимальном остовном дереве, известной как задача Штейнера для графов. Данная задача относится к классу NP-трудных проблем комбинаторной оптимизации, что делает особенно актуальной разработку эффективных эвристических алгоритмов для ее решения в условиях ограниченного времени на проектирование.

Наиболее известным упрощенным решением задачи Штейнера является алгоритм Мельхорна [198], который для решения сначала делит граф на новый более разреженный подграф с областями Вороного. Далее в полученном подграфе поиск выполняется по алгоритму Коу: для каждой пары заданных

вершин строятся маршруты с минимальными расстояниями, получая тем самым новый подграф, для которого находится минимальное остовное дерево. Далее в получившемся остовном дереве заменяются ребра с меньшим весом для исходного начального графа, где могут быть добавлены точки Штейнера. Использование алгоритма Мельхорна позволяет сократить сложность алгоритма до $O(V \log V + E)$.

При использовании алгоритма Мельхорна для проектирования сетевой структуры полевых магистральных трубопроводов авторы столкнулись со следующей трудностью. Источники горючего группировались в одной области, а потребители – в другой. Алгоритм соединял отдельно источники друг с другом и отдельно потребителей друг с другом, а затем создавалась одна «перемычка» между двумя трубопроводными сетями (Рисунок 2.11).

Это объясняется тем, что в классической задаче Штейнера вершины, подлежащие соединению, равнозначны между собой. В текущей же постановке задачи, вершины имеют разное назначение – источники горючего и потребители горючего, что требует принципиально иного подхода к построению сети.

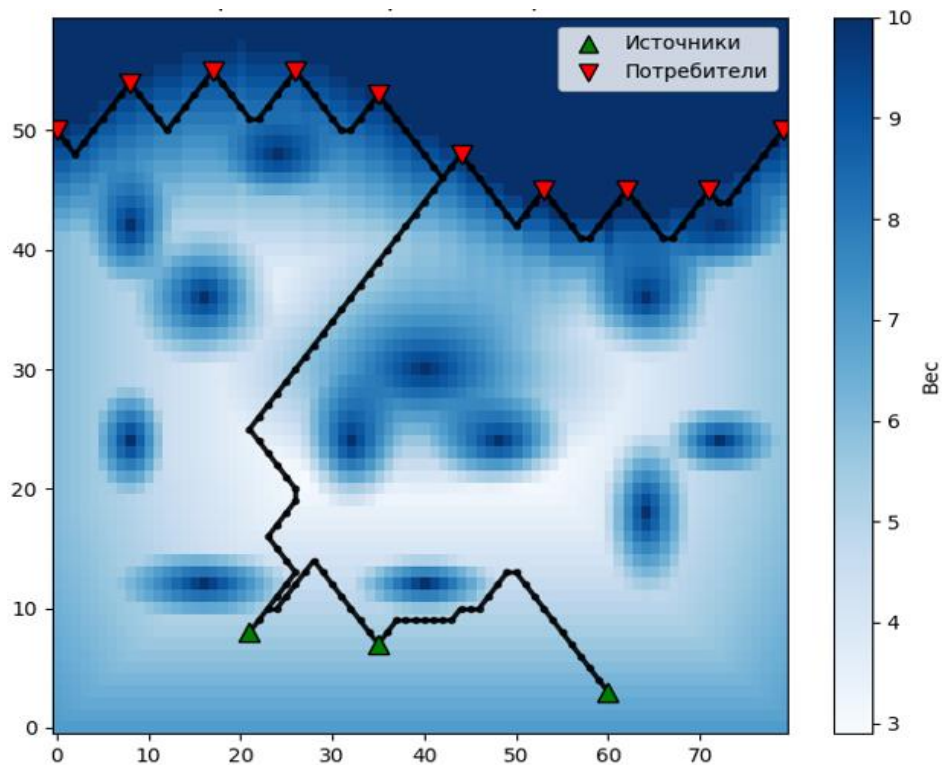


Рисунок 2.11 – Сеть Штейнера, сформированная по алгоритму Мельхорна

Такая конфигурация сети, полученная по алгоритму Мельхорна, не обеспечивает необходимой живучести системы, так как разрушение единственной «перемычки» между сетью источников и сетью потребителей приведет к полному отказу всей системы. Это противоречит основной цели перехода к сетевой архитектуре – повышению живучести через создание множества альтернативных маршрутов доставки горючего.

2.5 Разработка модифицированного алгоритма проектирования сетевых структур

Для устранения проблемы равнозначности узлов (всех поставщиков и получателей) предложен адаптированный подход на основе модификации алгоритма Прима на основе нахождения минимального остовного дерева (MST) с дополнительно заданными сетевыми ограничениями.

Суть модификации заключается в том, что алгоритм Прима используется для построения минимального остовного дерева только для подграфа со всеми возможными парами «источник – потребитель». При этом вводится дополнительное ограничение: ребра, которые соединяют два источника или два потребителя, исключаются из рассмотрения.

Алгоритм начинает работу с одного источника и постепенно расширяет дерево, добавляя ребра с наименьшим весом, которые соединяют текущее дерево с узлами вне дерева. При этом ребра, которые соединяют два источника или два потребителя, исключены из рассмотрения. Например, если два источника или потребителя находятся близко друг к другу, то прямое ребро между ними отсутствует. Модифицированный алгоритм будет вынужден соединить их через промежуточный узел, который может быть расположен, например, немного в стороне. Это увеличит длину пути, но данное решение соответствует требованию поставленной задачи обеспечения живучести системы.

На Рисунке 2.12 представлена блок-схема модифицированного

алгоритма определения конфигурации трубопроводной сети.

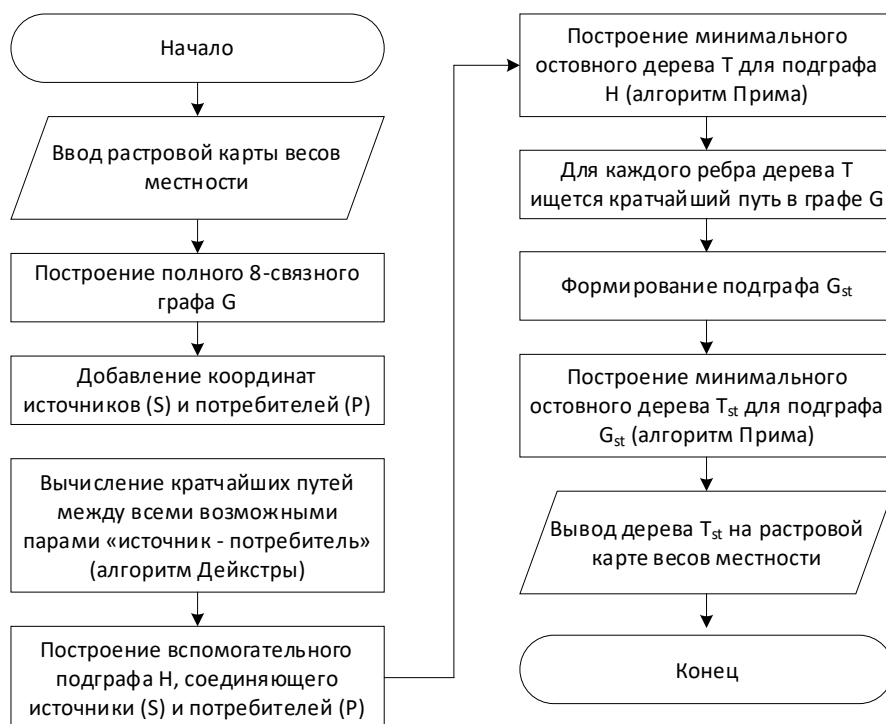


Рисунок 2.12 – Блок-схема модифицированного алгоритма определения конфигурации трубопроводной сети

Основные этапы алгоритма:

1. Инициализация: Загрузка исходных данных (растровая карта весов местности, координаты источников и потребителей горючего).

2. Построение графа: Преобразование растровой карты в взвешенный граф с 8-связностью.

3. Формирование подграфа: Создание подграфа, содержащего только ребра между источниками и потребителями (исключение ребер между двумя источниками или двумя потребителями).

4. Применение модифицированного алгоритма Прима:

– выбор начальной вершины (произвольного источника);

– инициализация множества построенных вершин;

– цикл построения дерева:

– поиск ребра с минимальным весом, соединяющего построенную часть дерева с непостроенной;

– проверка ограничений (ребро не должно соединять два источника или двух потребителей);

– добавление ребра и вершины в дерево;

– повторение до подключения всех вершин.

5. Постобработка: Удаление избыточных ветвей, оптимизация конфигурации с учетом гидравлических параметров.

6. Вывод результатов: Формирование конфигурации сети трубопроводов.

Пусть $G = (V, E)$ – взвешенный неориентированный граф, где V – множество вершин (узлов местности), E – множество ребер (возможных участков трубопровода), $w: E \rightarrow \mathbb{R}^+$ – весовая функция, задающая стоимость строительства участка трубопровода.

Пусть $S \subset V$ – множество источников горючего, $P \subset V$ – множество потребителей горючего, причем $S \cap P = \emptyset$.

Определим множество допустимых ребер $E' \subset E$ как:

$$E' = E \setminus \{(u, v) \mid (u \in S \text{ и } v \in S) \text{ или } (u \in P \text{ и } v \in P)\} \quad (2.8)$$

То есть из множества ребер исключаются все ребра, соединяющие два источника или двух потребителей.

Задача состоит в нахождении связного подграфа $G' = (V', E'')$, где $S \cup P \subseteq V' \subseteq V$, $E'' \subseteq E'$, такого что суммарный вес ребер минимальный:

$$\min \sum w(e) \text{ для всех } e \in E'' \quad (2.9)$$

при условии, что для любой пары вершин (s, p) , где $s \in S$, $p \in P$, существует путь в G' , и при удалении любого ребра из E'' для любой пары (s, p) по-прежнему существует хотя бы один путь (условие живучести).

Модифицированный алгоритм Прима для решения этой задачи:

1. Выбрать произвольную начальную вершину $v_0 \in S$
2. Инициализировать множество построенных вершин $U = \{v_0\}$
3. Инициализировать множество ребер дерева $T = \emptyset$
4. Пока $U \neq V'$: а. Найти ребро (u, v) с минимальным весом, такое что:

– $u \in U, v \notin U$

– $(u, v) \in E'$

Добавление ребра (u, v) не нарушает условие живучести b . Добавить вершину v в U с. Добавить ребро (u, v) в T ;

5. Вернуть T как минимальное остовное дерево

На Рисунке 2.13 представлена конфигурация сетевого трубопровода, полученная с помощью разработанного модифицированного алгоритма.

Как видно из Рисунка 2.9, предложенный алгоритм обеспечивает:

- равномерное распределение потоков между источниками и потребителями;
- наличие множества альтернативных маршрутов доставки горючего;
- отсутствие «узких мест» в виде единственных перемычек между группами источников и потребителей;
- учет топографических особенностей местности при выборе трассы.

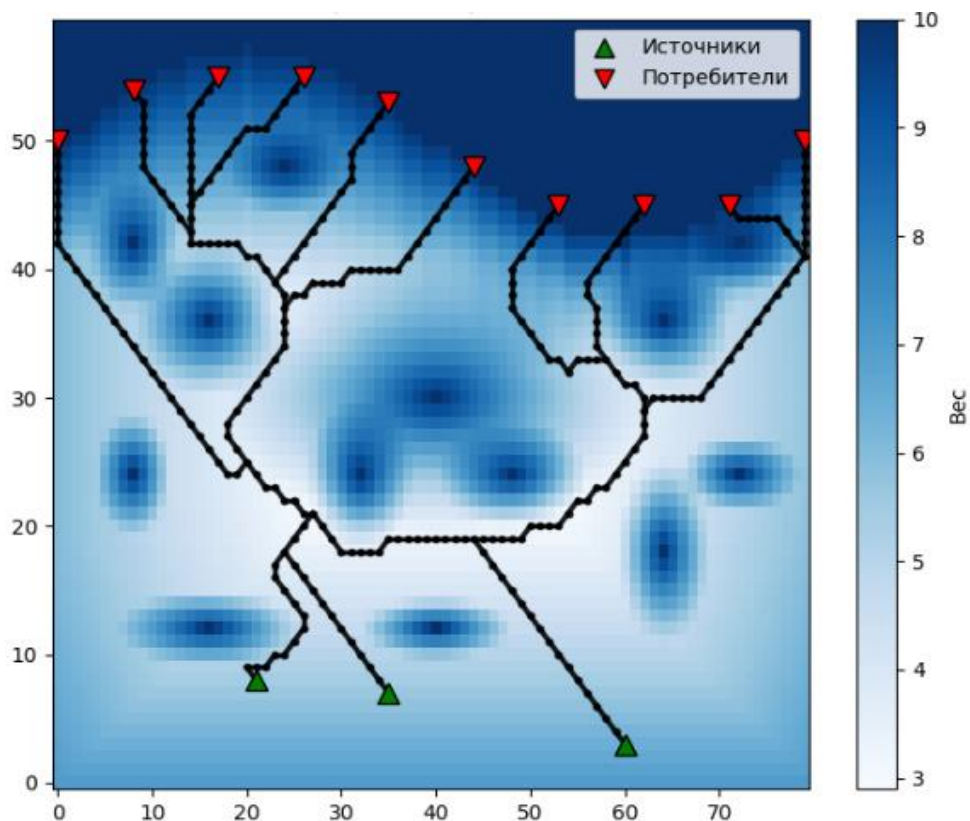


Рисунок 2.13 – Блок-схема модифицированного алгоритма определения конфигурации трубопроводной сети

Такая конфигурация сети обеспечивает высокую живучесть системы: повреждение любого отдельного участка трубопровода не приведет к полному отказу системы, а только к частичному снижению пропускной способности с возможностью перераспределения потоков по оставшимся маршрутам.

При практическом проектировании трассы сети полевых магистральных трубопроводов необходимо учитывать следующие аспекты:

1. Размещение узловых точек должно обеспечивать минимальную уязвимость от одновременного поражения нескольких узлов и удобство доступа для ремонтных бригад. Рекомендуется размещать узлы в естественных укрытиях рельефа, вблизи дорог для обеспечения доступности, но с достаточным удалением друг от друга для минимизации риска одновременного поражения.

2. Использование естественных укрытий рельефа местности для снижения вероятности обнаружения и поражения участков трубопровода. Трассы трубопроводов следует прокладывать вдоль оврагов, лесных массивов, склонов холмов, используя естественные маскирующие свойства местности.

3. Создание полевых резервуарных парков в ключевых узлах сети для обеспечения непрерывности подачи горючего на время ремонта поврежденных участков. Как показано на Рисунке 2.3, резиноканевые резервуары обладают необходимой мобильностью и быстротой развертывания.

4. Гидравлическая сбалансированность сети должна обеспечивать возможность перераспределения потоков при повреждении отдельных участков без возникновения гидравлических ударов и других нештатных ситуаций. Это требует тщательного гидравлического расчета сети с учетом возможных сценариев повреждений.

5. Унификация элементов сети позволяет сократить номенклатуру запасных частей и упростить ремонтные работы. Рекомендуется использовать стандартные секции трубопроводов, унифицированные соединительные элементы, типовые конструкции насосных станций и резервуарных парков.

2.6 Практические рекомендации и перспективы развития

Для практической реализации предложенных сетевых структур полевых магистральных трубопроводов необходимо разработать и внедрить следующие технологические решения:

1. Мобильные насосные станции с возможностью быстрого развертывания и перенастройки для работы в сетевой конфигурации. Такие станции должны быть оснащены системами автоматического регулирования давления и расхода, обеспечивающими стабильную работу при изменении конфигурации сети.

2. Системы автоматического управления и контроля (АСУК) для мониторинга состояния сети, обнаружения повреждений и автоматического перераспределения потоков. Система должна включать:

- датчики давления и расхода на ключевых участках сети;
- систему передачи данных в реальном времени;
- программное обеспечение для автоматического расчета оптимальных режимов работы при повреждениях
- систему оповещения о повреждениях и рекомендаций по восстановлению работоспособности

3. Гибкие трубопроводные секции для быстрого восстановления поврежденных участков. Развитие технологий производства полиэтиленовых и композитных трубопроводов позволит создать легкие, прочные и быстро монтируемые секции для замены поврежденных участков.

4. Автономные источники энергоснабжения для насосных станций, обеспечивающие их работу при нарушении централизованного энергоснабжения. Это может включать дизель-генераторы, солнечные панели, ветрогенераторы и системы накопления энергии.

Успешное внедрение сетевых структур полевых магистральных трубопроводов требует решения следующих организационных вопросов:

1. Подготовка персонала – переподготовка инженерно-технического

состава для работы с сетевыми конфигурациями трубопроводов, включая обучение методам быстрого восстановления, управления сложными сетями и применения современных технологий мониторинга.

2. Нормативно-правовая база – разработка новых наставлений, руководств и стандартов для проектирования, развертывания и эксплуатации сетевых полевых трубопроводов, заменяющих устаревшие документы, ориентированные на линейные системы.

3. Система материально-технического обеспечения – создание новой номенклатуры запасных частей, оборудования и материалов, необходимых для развертывания и эксплуатации сетевых структур, включая резервные насосные станции, гибкие трубопроводы, мобильные резервуары.

4. Взаимодействие с другими видами обеспечения – интеграция системы сетевых трубопроводов в общую систему материально-технического обеспечения, а также системой ПВО для защиты трубопроводной инфраструктуры.

Хотя переход к сетевой архитектуре полевых трубопроводов влечет к росту капитальных затрат, целесообразно выполнить комплексный анализ экономической эффективности с учетом следующих возможных рисков:

- снижение потерь от простоя системы при повреждениях;
- уменьшение затрат на аварийное восстановление;
- повышение оперативной устойчивости воинских частей;
- снижение зависимости от других более дорогих способов доставки.

Предварительные расчеты показывают, что при коэффициенте живучести 0,9 (вероятность сохранения работоспособности при случайных повреждениях) экономический эффект от внедрения сетевых структур проявляется уже на втором-третьем году эксплуатации за счет снижения прямых и косвенных потерь от прекращения подачи горючего.

Разработанный подход к проектированию сетевых структур полевых магистральных трубопроводов открывает следующие перспективные направления дальнейших исследований:

1. Адаптивные алгоритмы проектирования, позволяющие оперативно перестраивать конфигурацию сети при изменении тактической обстановки, появлении новых угроз или изменении расположения потребителей горючего.

2. Учет динамических факторов в моделях живучести, таких как:

- изменение интенсивности воздействия во времени;
- перемещение точек потребления горючего в условиях маневренных боевых действий;
- Эволюция тактики применения высокоточного оружия противником.

3. Интеграция с системами искусственного интеллекта для автоматического прогнозирования повреждений, оптимизации режимов работы сети и планирования ремонтных работ.

4. Разработка методов многоуровневого резервирования, сочетающих сетевую архитектуру трубопроводов с другими способами доставки горючего (автомобильным, воздушным транспортом) для создания гибридных систем нефтепродуктообеспечения.

5. Исследование влияния новых материалов (композитов, наноматериалов) на живучесть и ремонтпригодность трубопроводных систем, включая разработку самовосстанавливающихся материалов для трубопроводов.

В условиях роста точности вооружений полевые магистральные трубопроводы не теряют актуальности, но требуют переосмысления их архитектуры. Сетевой принцип, заимствованный из IT-сферы, превращает полевые трубопроводы в устойчивую систему, способную противостоять точечным ударам. Инвестиции в такие технологии — не просто модернизация инфраструктуры, а необходимое условие для обеспечения боеспособности Вооруженных сил в войнах будущего.

В ходе исследования были получены следующие основные результаты:

1. Теоретически обоснована необходимость перехода от традиционных линейных полевых магистральных трубопроводов к сетевым структурам с функциональным резервированием для обеспечения высокой живучести в

условиях современных военных угроз.

2. Разработана математическая модель оценки живучести трубопроводных систем на основе вероятностных распределений, показавшая, что переход к сетевой структуре с четырьмя равнозначными подсистемами увеличивает число необходимых ударов для гарантированного отказа системы в 12 раз, а интегральный показатель живучести – более чем в 28 раз.

3. Проведен анализ существующих алгоритмов поиска оптимальных трасс для линейных и сетевых трубопроводов, выявившая непригодность классического алгоритма Мельхорна для военных задач из-за неравнозначности вершин (источников и потребителей).

4. Разработан модифицированный алгоритм на основе алгоритма Прима с дополнительными ограничениями, запрещающими прямое соединение двух источников или двух потребителей, что вынуждает систему создавать связи через промежуточные узлы, обеспечивая необходимое сетевое резервирование.

5. Предложена методика комплексного учета топографических, эксплуатационных и тактических параметров при проектировании сетевых трубопроводов, обеспечивающая оптимальный баланс между стоимостью строительства и живучестью системы.

6. Сформулированы практические рекомендации по технологическим, организационным и экономическим аспектам внедрения сетевых структур полевых трубопроводов, а также определены перспективные направления дальнейших исследований.

Сетевое резервирование полевых магистральных трубопроводов — это эволюция, которая превращает уязвимую «артерию» в «капиллярную систему», способную адаптироваться к ударам современного ведения боевых действий. Инвестиции в такую архитектуру — необходимое условие победы в войнах будущего.

ГЛАВА 3 ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТИВОТУРБУЛЕННЫХ ПРИСАДОК В СИСТЕМАХ СБОРНО–РАЗБОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ПЕРЕКАЧКЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ

В магистральных трубопроводных системах, предназначенных для транспортировки нефти и нефтепродуктов, отличающихся значительной протяженностью и энергоемкостью, в связи с вынужденным разворотом на восток и перегрузкой востребованных экспортных маршрутов, растущего внимания к вопросам энергоэффективности и снижения углеродного следа, все актуальнее становится применение специальных полимерных добавок, которые существенно снижают гидравлическое сопротивление стальных трубопроводов, что позволяет повысить пропускную способность участков и способствуют сокращению энергозатрат на перекачку. Такие полимерные добавки называют противотурбулентными (ПТП) или антифрикционными присадками (АФП); в зарубежной литературе и нормативной документации подобные вещества принято относить к агентам снижения гидравлического сопротивления «Drag reduction agents» (DRA, более общее название).

3.1 Начало применения противотурбулентных присадок в трубопроводах при перекачке нефти и нефтепродуктов

В тридцатые годы XX столетия по военным заказам в различных государствах осуществлялись научные изыскания, направленные на поиск специальных веществ для снижения сопротивления, которые можно было бы использовать для покрытия снарядов и увеличения дальность стрельбы. Однако, даже при наличии эффекта в лабораториях, на практике из-за высоких температур при стрельбе, использование таких веществ было признано нецелесообразным. После окончания 2-й Мировой войны, в 1948 г. на Первом Международном реологическом конгрессе, проходившем в Голландии, английский химик Брайан Аткинсон Томс выступил с докладом об открытом

им эффекте резкого (до 50%) снижения коэффициента λ гидравлического сопротивления при течении в монохромбензолераствора высокомолекулярного полимера полиметилметакрилата низкой концентрации (0, 01%) [210]. Эффект в честь первооткрывателя был назван «эффектом Томса» и послужил стартом дальнейших исследований их возможного применения для снижения гидравлического сопротивления в различных областях экономики. Первоначально исследовались те вещества, для которых было очевидно использование в теплоэнергетике, коммунальном хозяйстве, пищевой промышленности – ПАА (полиакриламид), ПЭО (полиэтиленоксид), различные природные полисахариды (например, гуаровая смола).

В 60-70-е гг. по мере развития нефтегазовой промышленности и роста протяженности магистральных трубопроводов для перекачки углеводородов, исследования стали проводить и с различными углеводородными жидкостями. В системе магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов ПАО «Транснефть», Каспийского трубопроводного консорциума, а также на некоторых трубопроводах для перекачки газового конденсата и других углеводородных жидкостей, используются ПТП (АФП) [13, 23, 88, 93, 94, 112, 167]. В настоящее время основными производителями являются ООО «Транснефть – Синтез» дочерняя компания ПАО «Транснефть», расположенная на территории ОЭЗ «Алабуга» в Татарстане [140], и нефтесервисная компания «Миррико», расположенная в столице Татарстана городе Казани.

С 50-х гг. и до настоящего времени количество публикаций о результатах исследований, проведенных в разных частях мира, превышает десятки и сотни тысяч. Благодаря активному развитию химической науки в последние десятилетия, поиск новых рецептур и новых прикладных областей применения ПТП становится все только больше.

До настоящего времени применение ПТП в ПМТ в системе материально-технического обеспечения не осуществлялось. Однако ПТП могут применяться для увеличения подачи нефтепродуктов для потребителей в

структуре Минобороны России или гражданских нужд при ликвидации последствий стихийных бедствий и иных нештатных ситуациях, разрешение которых относится к ведению МЧС России [47, 52, 53].

3.2 Применение противотурбулентных присадок на магистральных нефтепроводах

На текущий момент выпускаемые разными производителями ПТП можно глобально классифицировать на два основных типа по их товарной форме (концентрированные гели или готовые к применению суспензии).

В составе хорошо растворимых (гелеобразных) ПТП в углеводородном растворителе, подбираемом, как правило, под конкретный продукт и получаемом из исходной углеводородной жидкости, растворяют активный высокомолекулярный полимер концентрацией 7-10%.

В составе суспензионных (дисперсионных) ПТП высокомолекулярный полимер добавляют в углеводородный растворитель в большей концентрации – до 25%, но для недопущения его возможного расслоения дополнительно применяют химические стабилизаторы – ПАВы, кислоты, соли жирных кислот или другие вещества аналогичного действия [32, 142].

Примерный химический состав ПТП приведен в Таблице 3.1 [32].

Таблица 3.1 – Примерный химический состав ПТП

Компонент	Примерное содержание, %	
	Растворная (гелеобразная)	Суспензионная (дисперсионная)
Высокомолекулярный полимер	7 – 10	20 – 25
Растворитель на углеводородной основе (бензин, керосин, дизель, толуол и пр.)	90 – 93	75 – 80
Стабилизатор (ПАВы и кислоты)	0	10 – 15

Ключевыми задачами использования ПТП на действующих и вновь проектируемых магистральных нефтепроводах и продуктопроводах являются снижение гидравлических потерь и рост производительности. Основной целью применения ПТП при перекачке нефти и нефтепродуктов в системе магистральных трубопроводов является снижение гидравлического сопротивления и рост производительности перекачки, т.е. расхода, с которым перекачиваются продукты. Несмотря на то, что концентрация добавляемых ПТП определяется в ppm (грамм на тонну), т.е. миллионных долях по объему, для недопущения снижения качества исходных транспортируемых нефти или нефтепродуктов, применение ПТП регламентировано соответствующими нормативными документами тех компаний, которые их применяют.

Первое промышленное применение гелеобразной ПТП марки «CDR» было впервые осуществлено американской компанией «Сопосо» в 1979 г. при строительстве Трансалайского трубопровода. Применение ПТП позволило уменьшить общие инвестиционные затраты, так как увеличение расхода перекачиваемой нефти с ПТП позволило исключить строительство двух нефтеперекачивающих станций. В 1980-90-е гг. в ряде стран, в том числе в СССР, были проведены опытно-промышленные исследования ПТП различной концентрации при перекачке как нефти, так и нефтепродуктов [31, 32]. В большинстве случаев такое применение давало положительный локальный эффект, тиражировать который, однако, не было возможным из-за отсутствия общей гидравлической теории перекачки жидкостей с ПТП, отсутствия возможностей производства ПТП в больших объемах, а также результатов обработки практики широкого применения самих ПТП.

Как объяснял первооткрыватель эффекта сам Б.А. Томс, основная причина снижения гидравлического сопротивления заключалась в снижении турбулентных пульсаций в пристеночной области потока перекачиваемой жидкости за счет разворачивания (распрямления) клубков длинномерных тяжелых молекул самого полимера, который как бы «отбрасывался» к стенкам. Именно по причине влияния на пристеночный слой, где и

зарождаются турбулентные вихри (пульсации), такие полимеры и были названы противотурбулентными.

Предложенное Б.А. Томсом объяснение эффекта некоторое время считалось вполне рациональным, ровно до тех пор, пока большая часть применяемых при перекачке полимеров относились к гелеобразному типу, т.е. требовали заблаговременного растворения в растворителе. По мере появления суспензионных (дисперсионных) полимеров, длина цепочек молекул которых существенно меньше, чем у гелеобразных, а сами ПТП не только «отбрасываются» к стенкам, но и равномерно двигаются по всей структуре потока, такое объяснение уже не давало ответов на все вопросы.

В диссертационной работе Н.Н. Голунова [32], данное противоречие было снято за счет предложенного объяснения механизма действия ПТП различного типа в структуре потока перекачиваемой жидкости. Механизм и область действия ПТП поверхностного и объемного действия приведены на Рисунках 3.1 и 3.2 соответственно.

Гелеобразные ПТП можно считать полимерами поверхностного действия, т.е. активно работающими в пристеночной зоне поверхности трубопровода, где они и изменяют структуру турбулентного потока (и практически не работающими в зоне «ядра» потока по оси трубы). Дисперсионные (суспензионные) ПТП можно считать полимерами объемного действия, так как из-за меньшей массы и длины клубки молекул распространяются более равномерно по всей структуре потока, активно действия как в пристеночной области, так и по всему потоку.

В настоящее время на территории нашей страны производятся ПТП обоих типов. Подбор химической рецептуры ПТП определяется с учетом физико-химических параметров перекачиваемых по трубопроводам жидкостей (нефти, нефтепродуктов, газового конденсата) и расчетных (заданных) значений увеличения пропускной способности трубопровода. В зависимости от конкретных условий перекачки концентрация присадки составляет от 5 до 150 ppm (грамм на тонну жидкости).

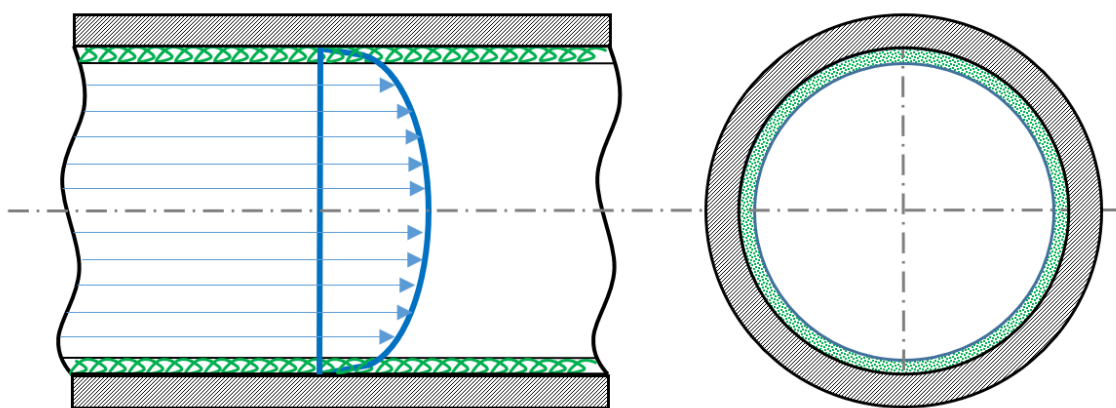


Рисунок 3.1 – Область действия гелеобразных (растворных) ПТП (поверхностного действия)

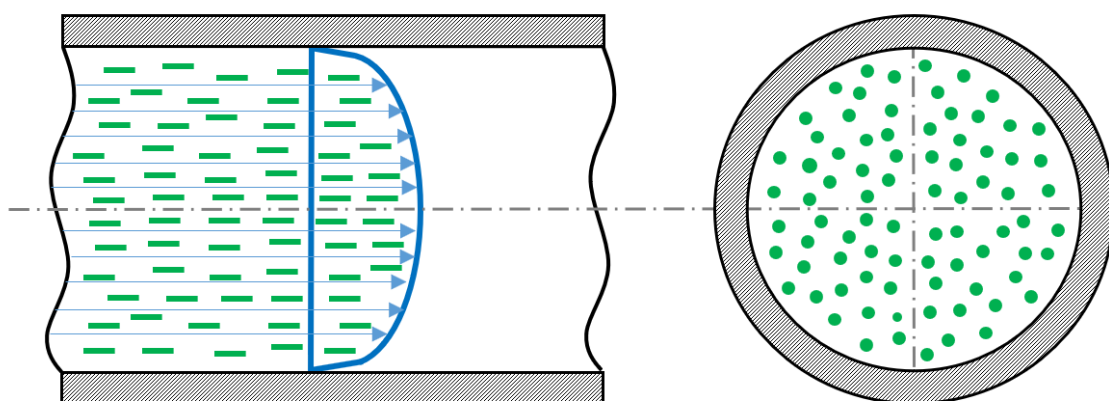


Рисунок 3.2 – Область действия дисперсионных (суспензионных) ПТП объемного действия

Известны следующие примеры добавления ПТП на магистральных нефтепроводах:

- в 1986 г. на МН «Лисичанск – Тихорецк» применение ПТП с концентрацией 43 *ppm* позволило повысить расход перекачки на 24%;
- применение ПТП компании «Миррико» на МН «Пурпе – Самотлор» с концентрацией от 10 до 30 *ppm* позволило увеличить расход до 22-36%;
- концентрация ПТП на магистральной нефтепроводе Каспийского трубопроводного консорциума составляет 5-7 *ppm*, в результате чего обеспечивается увеличение расхода перекачки на 10-15%.

Преимуществом применения ПТП является их относительно низкая стоимость (около 500 тыс. руб за тонну), что позволяет увеличить расход перекачки без увеличения количества электроэнергии, потребляемой насосными агрегатами на перекачивающих станциях. Производство установок по вводу ПТП в настоящее время локализовано на территории страны и позволяет обеспечивать ввод ПТП в магистральные трубопроводы, работающие на давлении от 6,3 до 10 МПа.

В процессе применения ПТП на объектах трубопроводного транспорта углеводородов должна обеспечиваться ее гидравлическая эффективность. На нее влияют такие параметры, как концентрация θ и химическая структура (молекулярная рецептура) ПТП, ее устойчивость к деградации под действием различных внешних факторов, температура и вязкость транспортируемой жидкости, содержание в ней асфальтосмолопарафиновых веществ, параметры гидравлического режима перекачки (давление, скорость потока), геометрические параметры (диаметр, шероховатость стенки) трубопровода, совокупное сочетание указанных факторов. Определение эффективности ЭПТП является весьма трудоемкой и сложной задачей, а саму ПТП и ее концентрацию необходимо подбирать, всесторонне исследуя все указанные факторы [28, 115]. На практике значение величины гидравлической Э эффективности ПТП определяют по принятой в нормативных документах формуле:

$$\varepsilon(\theta) = \frac{\lambda_0(0) - \lambda(\theta)}{\lambda_0(0)}, \quad (3.1)$$

где θ – объемная концентрация ПТП;

$\lambda_0(0)$ – коэффициент гидравлического сопротивления в трубопроводе при отсутствии ПТП (т.е. ее концентрация $\theta = 0$);

$\lambda(\theta)$ – коэффициент гидравлического сопротивления с ПТП в концентрации $\theta \neq 0$.

Так как сам коэффициент λ гидравлического сопротивления зависит от числа Re Рейнольдса, относительной шероховатости ε поверхности внутренней

стенки и концентрации θ ПТП, то формулу (3.1) можно также представить в следующем виде:

$$\Xi = \frac{\lambda_0 - \lambda(Re, \varepsilon, \theta)}{\lambda_0}, \quad (3.2)$$

где $\lambda(Re, \varepsilon, \theta)$ – коэффициент гидравлического сопротивления жидкости с ПТП объемной θ концентрации;

$\lambda_0 = \lambda(Re, \varepsilon, \theta)$ – коэффициент гидравлического сопротивления жидкости без ПТП.

Или же уравнение (3.2) можно представить в другом виде:

$$\lambda(\theta) = \lambda_0(0) \cdot [1 - \Xi(\theta)]. \quad (3.3)$$

Конкретные расчетные и практические значения эффективности ЭПТП могут существенно отличаться с учетом перечисленных выше факторов.

Стоит отметить, что из практики применения ПТП известно, что на ее эффективность ПТП могут оказывать влияние температурные условия в процессе транспортировки, хранения и ввода ПТП в поток перекачиваемой жидкости в трубопроводе. Отмечено, что в отдельных случаях некоторые ПТП подвержены влиянию температуры окружающей среды и перекачиваемой жидкости, а также могут проявлять депрессорные свойства, не давая содержащимся в нефти или дизельном топливе парафинам образовывать гранулы или формировать тяжелый осадок на внутренней поверхности стенок трубопровода [31, 32]. Усредненные по результатам практики значения эффективности Ξ ПТП в зависимости от ее концентрации θ при температуре выше 0°C для гелеобразных (растворных) и дисперсионных (суспензионных) ПТП представлены в Таблице 3.2.

Коэффициент $k(\theta)$ эффективности для конкретной марки ПТП, формулы для расчета которого приведены в формулах (3.1) – (3.3) можно также представить в виде зависимости $k(\theta) = 1 - \Xi(\theta)$ через его гидравлическую Ξ эффективность (Рисунок 3.3). Можно отметить, что в первоначальный момент времени, когда концентрация θ ПТП меняется не значительно, происходит

существенный рост ее эффективности. По мере роста концентрации θ ПТП, график эффективности принимает более пологий вид, так как происходит насыщение потока присадкой и ее эффективность снижается.

Таблица 3.2 – Значения эффективности товарных форм ПТП при различной концентрации [120].

Вид ПТП	Концентрация θ ПТП, ppm (г/т)	Эффективность ЭПТП, %, не менее
гелеобразная (растворная)	20	12
	40	20
дисперсионная (суспензионная)	5	12
	10	20

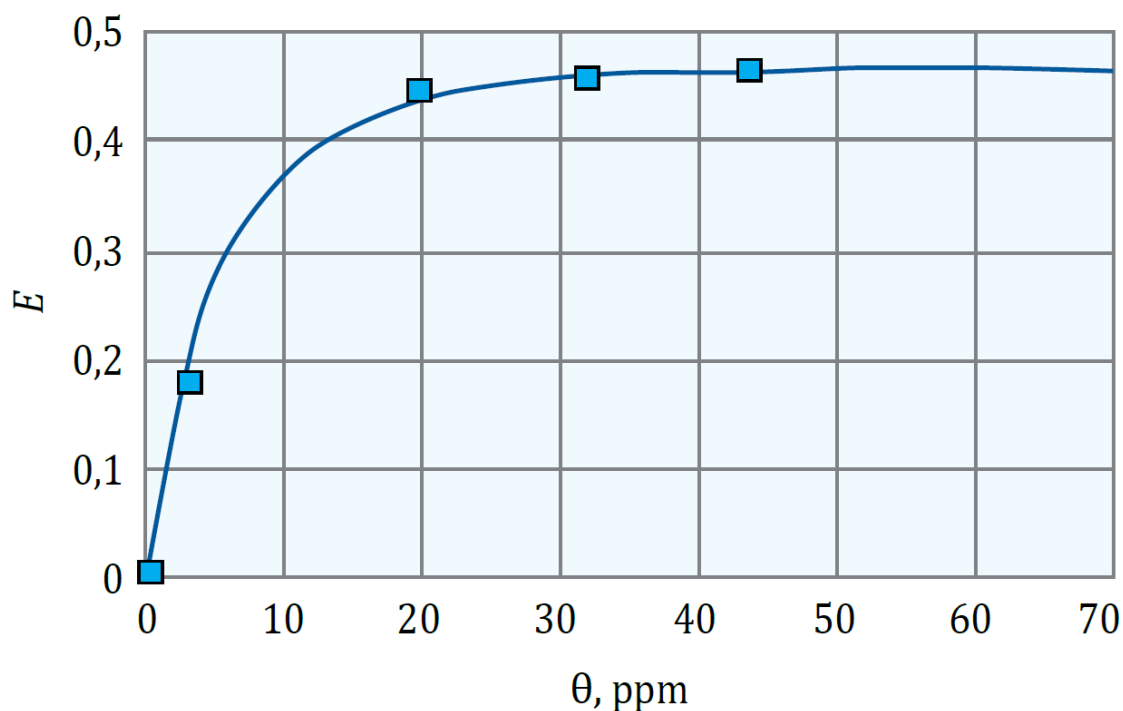


Рисунок 3.3 – Зависимость гидравлической $\mathcal{E}$ (E) эффективности ПТП от ее θ концентрации

Для некоторых применяемых на объектах магистрального трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов марок ПТП в Таблице

3.3 представлены значения коэффициента $k(\theta)$ эффективности в зависимости от концентрации θ ПТП, а на Рисунке 3.4 показан график зависимости коэффициента $k(\theta)$ от концентрации θ ПТП. Целесообразно отметить, что для приведенных марок ПТП ее эффективность зависит от концентрации θ ПТП. Данные различия связаны с различиями в рецептуре самой ПТП.

На примере опыта компании «Транснефть» отметим, что определение эффективности собственных марок ПТП в соответствии с ОТТ-23.040.00-КТН-104-17. «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Присадки противотурбулентные. Общие технические требования» проводится для ПТП с концентраций $\theta = 1, 0 \text{ ppm}$; $\theta = 2, 0 \text{ ppm}$; $\theta = 4, 0 \text{ ppm}$ и $\theta = 6, 0 \text{ ppm}$. При задаваемом «проектном» значении эффективности ПТП в диапазоне от 30 до 40%, концентрация ПТП, как правило, находится в диапазоне $\theta = 5, 0 - \dots - 6, 0 \text{ ppm}$.

Таблица 3.3 – Значения коэффициента $k(\theta)$ для ПТП некоторых марок

θ , ppm	«FLO XL»	«CDR-102»	«Neccadd-547»
5	115	-	-
10	230	-	-
15	340	-	-
20	250	60	-
25	500	-	-
30	500	100	-
40	-	140	5
50	-	190	-
60	-	250	75
70	-	280	-
80	-	340	-
90	-	380	-
100	-	-	150
180	-	-	340

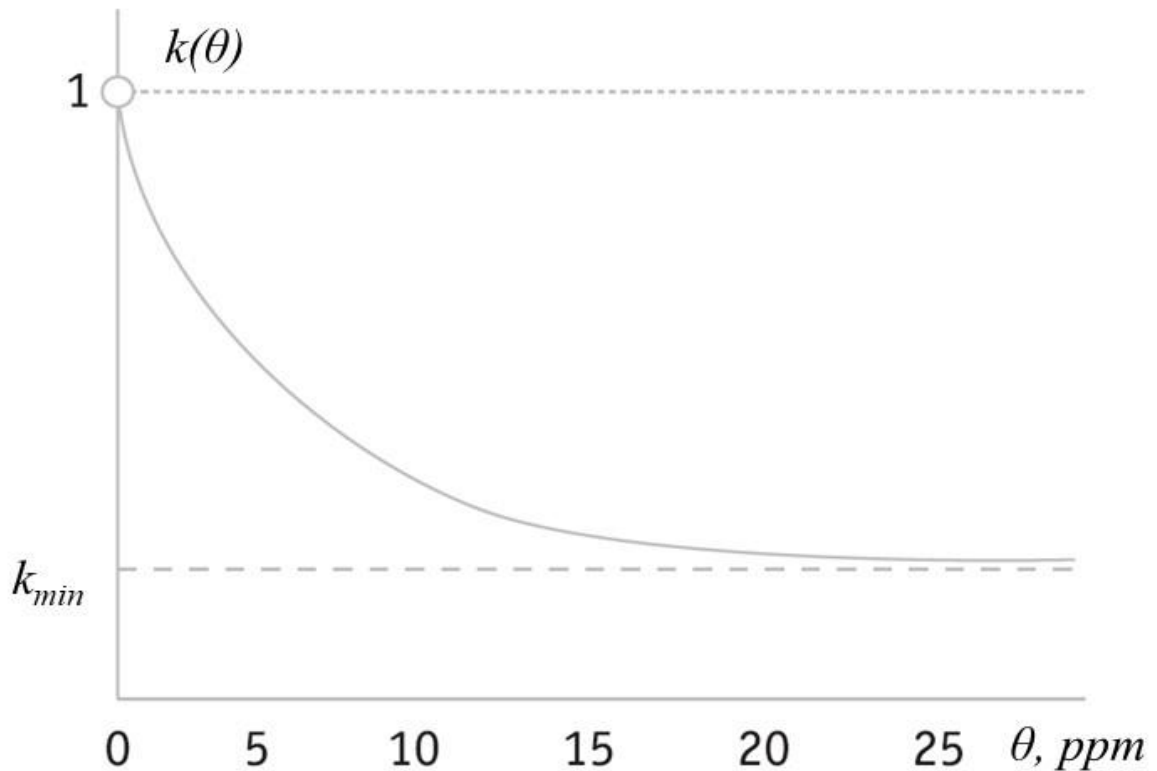


Рисунок 3.4 – График зависимости коэффициента $k(\theta)$ ПТП от ее θ концентрации

Как уже отмечалось выше, химическая структура ПТП подвержена разрушению в турбулентном потоке в трубопроводе, проходя через различные местные сопротивления (различные изменения геометрии), а также через рабочие колеса насосов, обеспечивающих перекачку жидкости. В технической литературе и нормативных документах отмечены различия понятий «деструкция», «деградация» и «разрушение» ПТП [22, 24, 30]. В задачи настоящей работы не входило изучение специфических процессов для данных терминов, так как такая задача представляет собой отдельную область исследований.

Требования нормативных документов по применению ПТП на магистральных нефте- и нефтепродуктопроводах предусматривают обязательное наличие паспортов пожарной и химической безопасности [121]. Выбор установок для ввода ПТП в трубопровод и самих ПТП должно

сопровождаться следующими документами:

- паспорта химической и пожарной безопасности, сейсмостойкости;
- паспорт качества на каждую партию ПТП [120, 121], в том числе рекомендуемый температурный диапазон ее применения;
- юридическая информация о предприятии-изготовителе ПТП;
- технические условия для применения ПТП, в том числе графики эффективности Э ПТП в зависимости от ее θ концентрации, акты и протоколы опытных лабораторных и промышленных исследований.

На подводящих трубопроводах дозирующих насосов установок по вводу ПТП должны устанавливаться специальные фильтрующие элементы для очистки ПТП от возможных механических примесей.

Так как существуют отличия в товарной форме для гелеобразных (растворных) и суспензионных (дисперсионных) ПТП, то различаются и сами технологические установки для ввода ПТП в магистральный трубопровод. Эксплуатационные особенности установок для ввода ПТП приведены в Таблице 3.4.

Стоит также отметить технологические особенности эксплуатации установок для ввода ПТП. В технологической схеме ПТП суспензионной (дисперсионной) товарной формы предусматривается дополнительная рециркуляция ПТП для исключения ее расслоения за счет гравитационных сил.

Таблица 3.4 – Эксплуатационные особенности установок для ввода ПТП

Товарная форма ПТП	Рабочее давление, МПа	Диапазон подачи ПТП в трубопровод, м ³ /ч	Погрешность подачи (расхода) ПТП, %, не более
Суспензионная (дисперсионная)	6, 3	0, 001 – 0, 025	3
		0, 02 – 0, 1	
	10	0, 001 – 0, 1	

Товарная форма ПТП	Рабочее давление, МПа	Диапазон подачи ПТП в трубопровод, м ³ /ч	Погрешность подачи (расхода) ПТП, %, не более
Суспензионная (дисперсионная) и гелеобразная (растворная)	10	0, 025 – 0, 1	5

В технологической схеме ПТП гелеобразной (растворной) товарной формы такое техническое решение по ее рециркуляции не требуется, но для поступления ПТП в насос-дозатор установки дополнительно предусматривается ее подача инертным газом, как правило, азотом.

В соответствии с договорами на перекачку нефти и нефтепродуктов трубопроводная компания формирует товарные потоки, предусматривающие контроль качества на этапе как получения исходного сырья от каждого из поставщиков, так и в конечной точке сдачи товарной продукции. При этом обеспечиваются требования, исключаящие:

- отложение длинномерных молекул ПТП на внутренней поверхности линейной части трубопровода (при неправильном определении эффективной концентрации);
- влияние ПТП на КПД технологического оборудования на НПС;
- изменение качества товарной продукции на входе и выходе системы магистральных трубопроводов;
- рост скорости коррозионных процессов (при неправильной определении рецептуры ПТП или ее избыточной концентрации);
- токсического воздействия на персонал.

Основными целями применения ПТП на действующих и проектируемых магистральных трубопроводах для перекачки нефти и нефтепродуктов являются:

- повышение пропускной способности линейной части магистральных трубопроводов без увеличения рабочего давления на нефтеперекачивающих станциях при обеспечении заданной картой режимов проектной пропускной

способности и без изменения его геометрических параметров, в том числе исключения реализации инвестиционно емких мероприятий по строительству дополнительных перемычек, лупингов и вставок;

– компенсация «лимитирующих» участков – участков с технологически обусловленной минимальной пропускной способностью.

До настоящего момента применение ПТП на полевых магистральных трубопроводах (ПМТ) / сборно-разборных трубопроводах (СРТ) Минобороны России для обеспечения горючим войск не осуществлялось. Данные трубопроводы представляют собой один из основных элементов надежности системы бесперебойного обеспечения горючим на разных уровнях управления [62, 63, 163, 164].

В настоящее время для эффективного взаимодействия между различными федеральными и региональными органами власти в стратегически важных регионах страны реализуется инициатива Минобороны России по интеграции гражданской и военной инфраструктуры хранения, перекачки и подачи различных моторных топлив [44, 55].

Данная инициатива позволяет обеспечить создание и функционирования многоуровневой сети обеспечения горючим войск в различных регионах. Возможное применение ПТП на таких сборно-разборных трубопроводах (ПМТ) обеспечит повышение их пропускной способности при соответствующем технико-экономическом расчете, в том числе технологических режимов работы передвижных насосных установок.

Важно отметить, что химическая рецептура применяемых ПТП должна исключать влияние на применяемых в воинских частях образцах как специализированной техники, так и на эксплуатационные характеристики использующихся моторных топлив. Кроме того, для обеспечения КПД двигателей военной техники, компонентный состав ПТП не должна оказывать влияние на уже применяемые различные присадки, добавляемые в моторные топлива для снижения уровня влияния различных микроорганизмов (дрожжей, грибов, бактерий) [22, 132, 155].

3.3 Экспериментальные исследования применения противотурбулентных присадок в системах сборно-разборных трубопроводов при перекачке нефтепродуктов

Для установления концентрации ПТП в трубопроводах большого диаметра следует брать в расчет время «активации» полимера, то есть период его развертывания в потоке на всей протяженности участка между соседними станциями, что может потребовать до нескольких часов с момента их ввода.

Как было показано в параграфе 3.2 настоящей работы, процедура допуска ПТП до промышленного применения на магистральных нефте- и нефтепродуктопроводах включает в себя расчет/обоснование величины гидравлической эффективности, который сопровождается экспериментальными исследованиями. В настоящее время тестирование, т.е. исследование гидравлической эффективности, осуществляется, как правило, по трем сценариям: на специально создаваемых гидравлических стендах (в нашей стране один такой стенд находится в г. Уфа на территории НТЦ ООО «НИИ Транснефть»), в специализированных исследовательских лабораториях на дисковых реометрах и ротационных вискозиметрах.

На Рисунке 3.5 показан пример трубного стенда для испытаний ПТП.

На Рисунке 3.6. показана схема работы дискового реометра. Его конструкция позволяет поместить исследуемую жидкость с различными концентрациями ПТП в емкость (кожух), одна поверхность которого неподвижна, а другая вращается с задаваемой в ходе эксперимента скоростью.

На Рисунке 3.7. показана схема работы ротационного вискозиметра. В процессе исследования эффективность ПТП жидкость находится в цилиндре, конструкция которого представляет «стакан в стакане», внешняя грань которого не подвижна, а внутренняя вращается с заданной угловой скоростью.

По итогам проведения различных экспериментов делаются выводы о расчетном и фактическом значениях эффективности конкретной марки ПТП и осуществляется технико-экономическое обоснование ее применения на

реальных объектах трубопроводного транспорта углеводородов, в т.ч. с фактическими значениями рабочего давления во время эксплуатации, физико-химических свойств жидкости, их плотности, вязкости, содержанием парафинов и асфальтенов, данными о диаметре и шероховатости внутренней поверхности самого трубопровода.

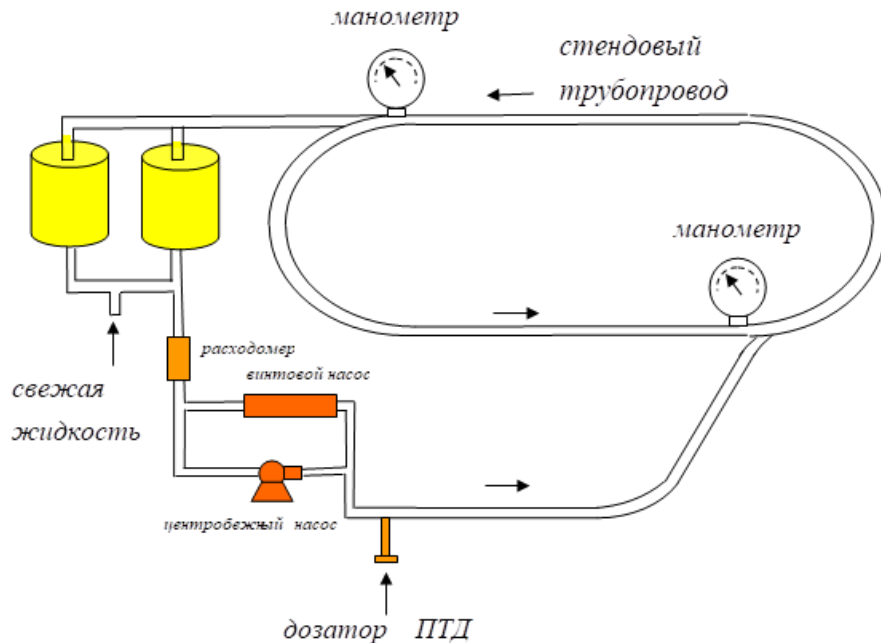


Рисунок 3.5 – Пример трубного стенда для гидравлических испытаний ПТП и определения ее эффективности

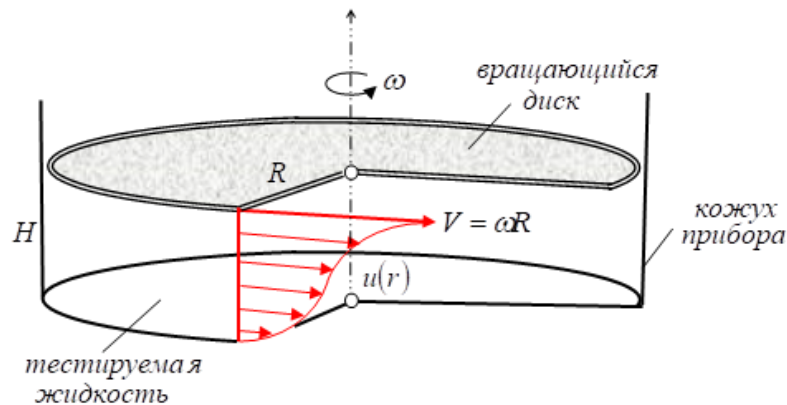


Рисунок 3.6 – Схема работы дискового реометра для определения эффективности ПТП

На практике различные исследования ПТП (лабораторные и стендовые) проводятся на тех или иных установках (стендах), конфигурация которых не позволяет полностью промоделировать процесс течения жидкостей с ПТП из-

за ограничений протяженности испытательных трубопроводов, имеющих существенно меньшие размеры, чем эксплуатируемые в магистральные трубопроводы для перекачки нефти или нефтепродуктов. Применение же ПТП в сборно-разборных трубопроводах существенно меньше диаметра, чем магистральные трубопроводы, гораздо ближе к таким исследованиям [138, 188].

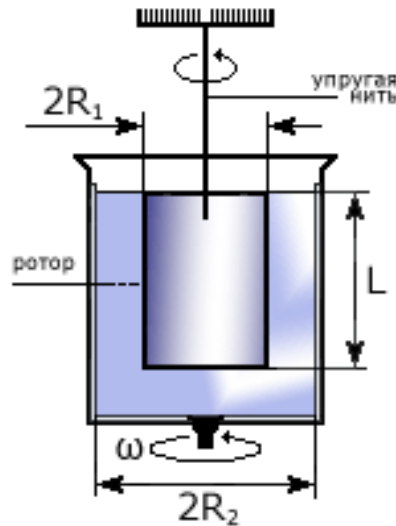


Рисунок 3.7 – Схема работы ротационного вискозиметра для определения эффективности ПТП

Проведем гидравлический расчет СРТ малого диаметра длиной 110 км, причем сам трубопровод будем считать горизонтальным, т.е. его начальная z_n высотная отметка и конечная z_k отметка равны. По рассматриваемому трубопроводу с помощью передвижной насосной установки (ПНУ) перекачиваются три разных вида моторных топлив: бензин с расчетной плотностью $\rho = 740 \text{ кг/м}^3$ и вязкостью $\nu = 0,6 \text{ сСт}$, керосин с расчетной плотностью $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ и вязкостью $\nu = 2,0 \text{ сСт}$, дизельное топливо с расчетной плотностью $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$ и вязкостью $\nu = 6,0 \text{ сСт}$). Сам трубопровод изготовлен из разных материалов: стальной ПМТ-1 условным диаметром 100 мм и рабочим давлением 2,5 МПа, полиуретановый с условным диаметром 100 мм и рабочим давлением 6,2 МПа, полиуретановый с условным диаметром 200 мм и рабочим давлением 2,8 МПа. Для увеличения

расхода перекачки по СРТ будем использовать ПТП с концентрацией θ , равной 10, 15 и 30 ppm. Коэффициент $k_o(\theta)$ примем равным 230. Принятые в расчете исходные данные показаны в Таблице 3.5.

В Таблицах 3.6 – 3.8 приведены результаты гидравлического расчета для СРТ (ПМТ) при перекачке, соответственно, бензина, керосина и дизеля.

Таблица 3.5 – Принятые исходные данные гидравлического расчета увеличения пропускной способности СРТ различного исполнения

Параметр	ПМТ-1	ПСТ 100	ПСТ 200
Материал трубопровода	сталь	полиуретан	полиуретан
Наружный диаметр, мм	102	102	202
Толщина стенки, мм	2	5	7
Внутренний диаметр при атмосферном давлении, мм	98	92	188
Давление рабочее максимальное, МПа	2, 5	6, 3	2, 8
Внутренний диаметр при рабочем давлении, мм	98	116	216
Абсолютная шероховатость внутренней поверхности, мм	0, 05	0, 02	0, 02
Объем перекачки 1 ПНУ, м ³ / час	51	101	362

Таблица 3.6 – Расчетные значения расхода перекачки бензина в зависимости от концентрации θ ПТП

ПМТ-1		ПСТ 100		ПСТ 200	
Объем перекачки, м ³ / час	Изменение величины расхода ΔQ перекачки к начальному, %	Объем перекачки, м ³ / час	Изменение величины расхода ΔQ перекачки к начальному, %	Объем перекачки, м ³ / час	Изменение величины расхода ΔQ перекачки к начальному, %
$\theta_0 = 0 \text{ ppm}$					
51	-	101	-	362	-
$\theta_1 = 10 \text{ ppm}$					
60	17, 6	117	15, 8	420	16, 0
$\theta_2 = 15 \text{ ppm}$					

ПМТ-1		ПСТ 100		ПСТ 200	
Объем перекачки, м ³ / час	Изменение величины расхода ΔQ перекачки к начальному, %	Объем перекачки, м ³ / час	Изменение величины расхода ΔQ перекачки к начальному, %	Объем перекачки, м ³ / час	Изменение величины расхода ΔQ перекачки к начальному, %
63	23, 5	121	19, 8	430	18, 8
$\theta_3 = 30ppm$					
65	27, 5	125	23, 8	439	21, 3

Таблица 3.7 – Расчетные значения расхода перекачки керосина в зависимости от концентрации θ ПТП

ПМТ-1		ПСТ 100		ПСТ 200	
Объем перекачки, м ³ / час	Изменение величины расхода ΔQ перекачки к начальному, %	Объем перекачки, м ³ / час	Изменение величины расхода ΔQ перекачки к начальному, %	Объем перекачки, м ³ / час	Изменение величины расхода ΔQ перекачки к начальному, %
$\theta_0 = 0 ppm$					
43	-	83	-	325	-
$\theta_1 = 10 ppm$					
54	25, 6	101	21, 7	370	13, 8
$\theta_2 = 15 ppm$					
57	32, 6	105	26, 5	382	17, 5
$\theta_3 = 30 ppm$					
59	37, 2	109	31, 3	395	21, 5

Графики зависимости изменения расхода Q перекачки (м³/ч) от концентрации θ ПТП (ppm) приведены на Рисунке 3.8 для бензина, на Рисунке 3.9 для керосина, на Рисунке 3.10 – для дизельного топлива. Сводные графики изменения расхода Q (м³/час) от концентрации θ ПТП (ppm) для бензина, керосина и дизеля по 3м различным СРТ показаны на Рисунке 3.11.

Таблица 3.8 – Расчетные значения расхода перекачки дизельного топлива в зависимости от концентрации θ ПТП

ПМТ-1		ПСТ 100		ПСТ 200	
Объем перекачки, м ³ / час	Изменение величины расхода ΔQ перекачки к начальному, %	Объем перекачки, м ³ / час	Изменение величины расхода ΔQ перекачки к начальному, %	Объем перекачки, м ³ / час	Изменение величины расхода ΔQ перекачки к начальному, %
$\theta_0 = 0 \text{ ppm}$					
37	-	74	-	273	-
$\theta_1 = 10 \text{ ppm}$					
49	32, 4	88	18, 9	325	19, 0
$\theta_2 = 15 \text{ ppm}$					
51	37, 8	92	24, 3	337	23, 4
$\theta_3 = 30 \text{ ppm}$					
53	43, 2	95	28, 4	349	27, 8

Также стоит отметить экспериментальные исследования, когда в качестве ПТП использовался полиакриламид (ПАА) различных марок в различной концентрации при перекачке воды и насыщенного раствора NaCl. Использование ПАА в качестве добавки для воды представляет интерес при разворачивании сборно-разборно-трубопроводов малого диаметра в таких целях, как:

- тушение различных типов пожаров силами МЧС России, когда необходимо подать существенно большее количество воды для подавления открытого огня;

- подача воды для гражданских нужд и, в первую очередь, для сельскохозяйственных, когда в условиях жары или засухи необходимо с помощью сборно-разборных трубопроводов подать существенно большее количество воды для полива и орошения сельскохозяйственных растений.

Сам полиакриламид не опасен (не горюч, не взрывоопасен), относится к 4 классу опасности, может поставляться в порошкообразной или жидкой

форме, причем жидкая форма подразделяется на раствор и эмульсионный полимер.

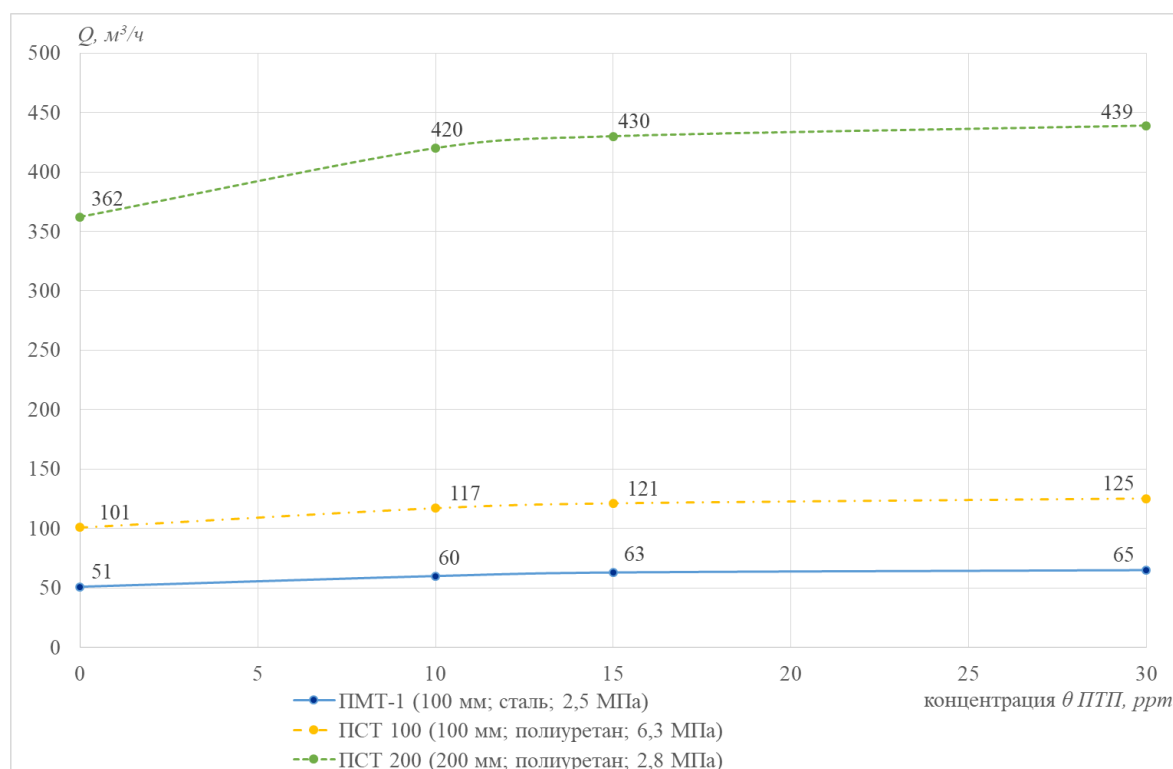


Рисунок 3.8 – График изменения расхода Q перекачки бензина по СРТ при изменении концентрации θ ПТП

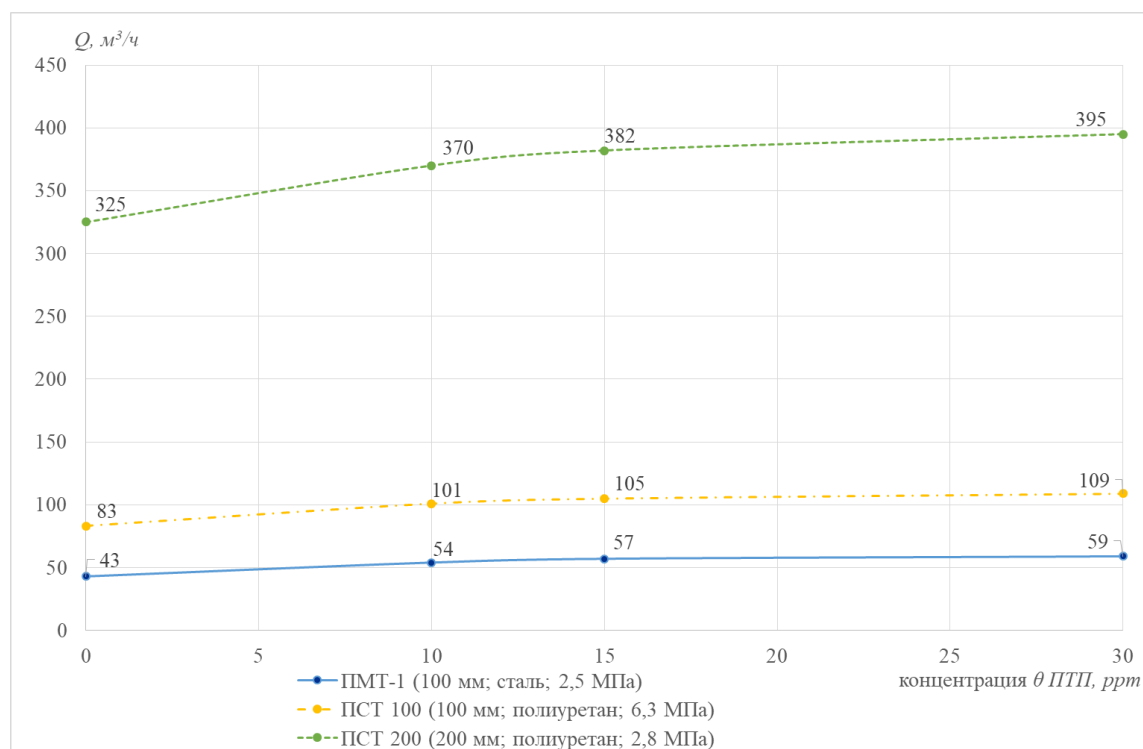


Рисунок 3.9 – График изменения расхода Q перекачки керосина по СРТ при изменении концентрации θ ПТП

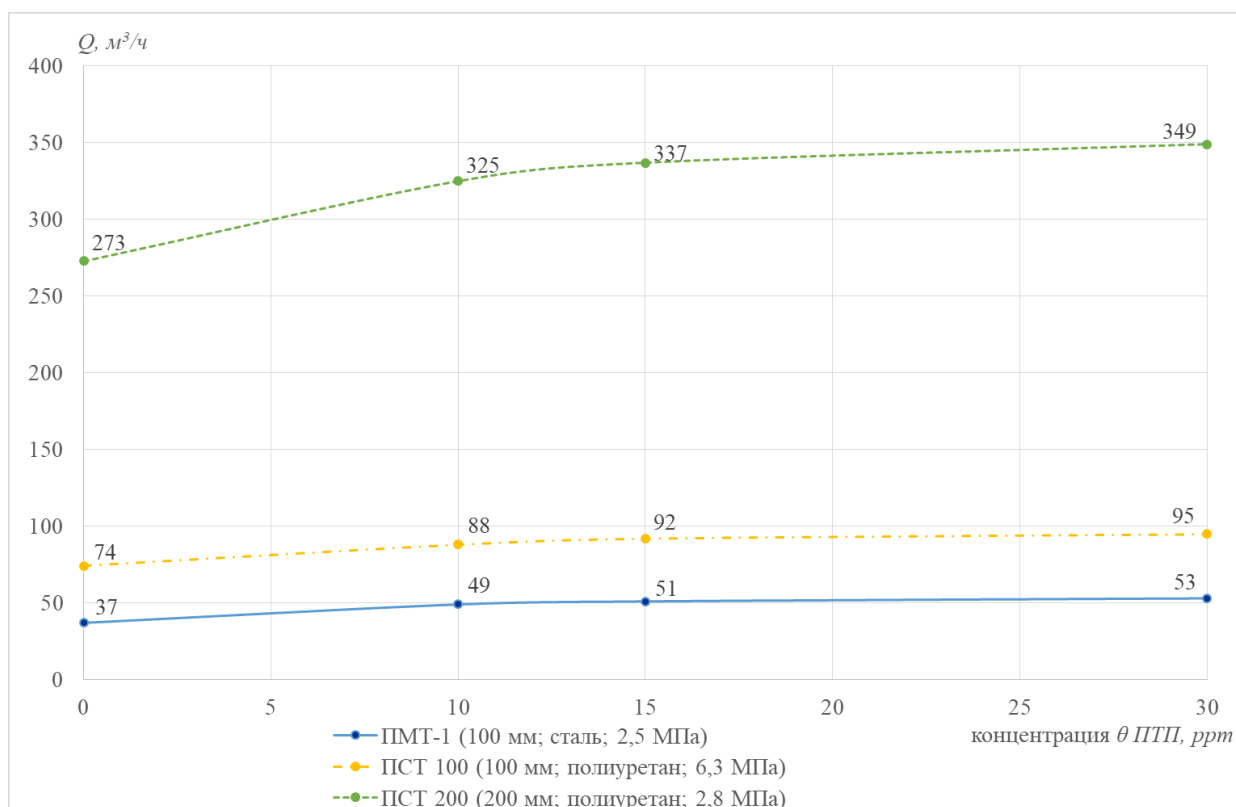


Рисунок 3.10 – График изменения расхода Q перекачки дизельного топлива по СРТ при изменении концентрации θ ПТП

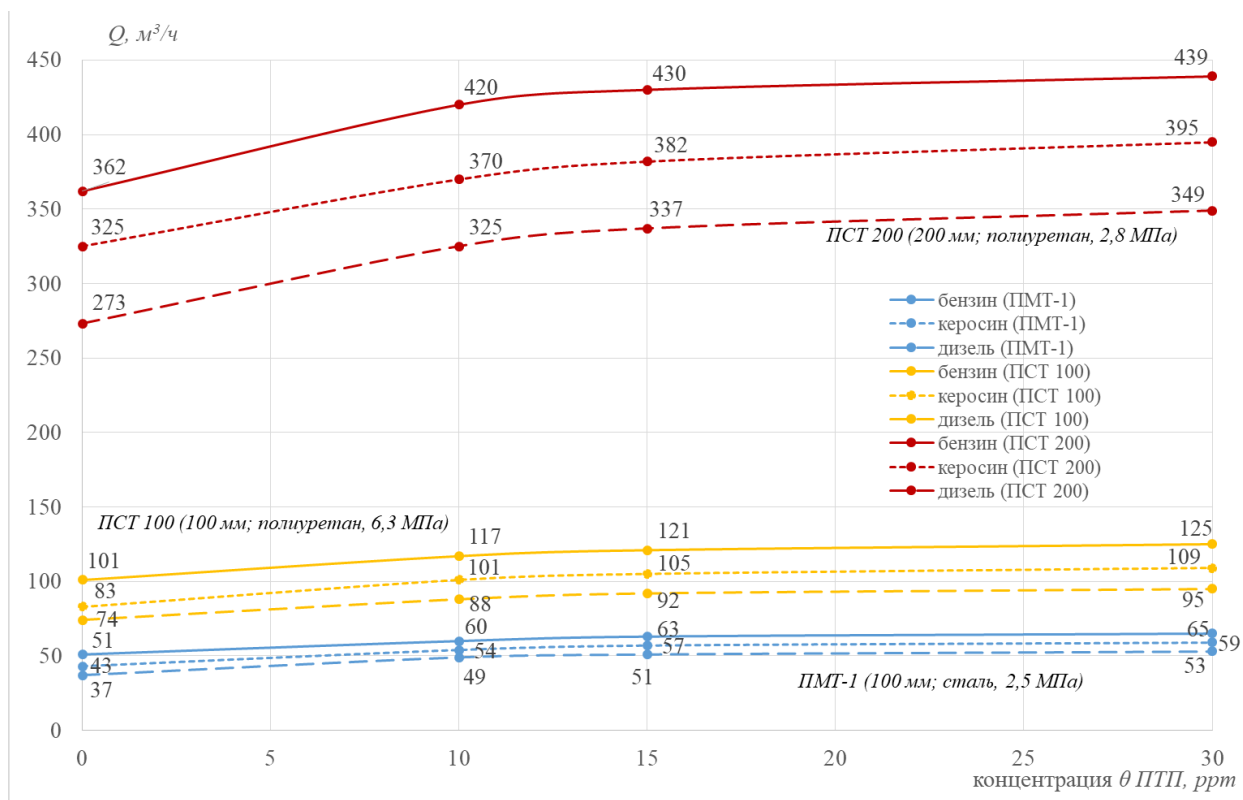


Рисунок 3.11 – График изменения расхода Q перекачки трех топлив по СРТ при изменении концентрации θ ПТП

Т.е. полиакриламид может использоваться в первом случае (при тушении пожаров), так как его добавлении в воду не влияет на «качество» применяемой для борьбы с пламенем воды.

Во втором случае необходимо отдельно проводить химические исследования, хотя, с учетом характеристик полиакриламида и его малой концентрации, вред сельскохозяйственным растениям вряд ли будет нанесен.

3.4 Передвижная перекачивающая насосная установка с дозатором

Выполненный анализ и проведенные исследования дали возможность установить, что использование противотурбулентных присадок значительно снижает гидравлическое сопротивление в трубопроводе, увеличивает объем перекачки нефтепродуктов без изменения диаметра магистрали и мощности, затрачиваемой насосами, тем самым обеспечивая высокую эффективность существующих объектов инфраструктуры, в связи с чем, их применение может рассматриваться и для повышения эффективности систем ПМТ.

При соблюдении равномерного и постоянного введения необходимого количества присадки предотвращается образование отложений и повышается надежность функционирования трубопроводных систем. Регулярное применение присадок защищает внутренние поверхности трубопроводов от коррозии и износа, продлевая срок службы оборудования и сокращая расходы на ремонт и замену компонентов.

Перечисленные обстоятельства подтверждают потребность в создании перспективного мобильного техсредства – передвижной насосной установки с интегрированным на единое шассе дозатором для подачи ПТП. Такая модификация позволит повысить экономичность и общую надежность системы перекачки горючего.

В соответствии с заданными техническими требованиями был разработан патент на полезную модель, в котором на основе существующего образца насосной установки ПНУ-100/200м, смонтированной на шасси

автомобильного прицепа 2-ПН-2М предложено установить дозатор и емкость для гидравлической присадки, способной снижать гидравлическое сопротивление при перекачке больших объемов жидкости, в том числе горюче-смазочных материалов внутри трубопровода [60].

Передвижная перекачивающая насосная установка изображена на Рисунках 3.12 – 3.14.

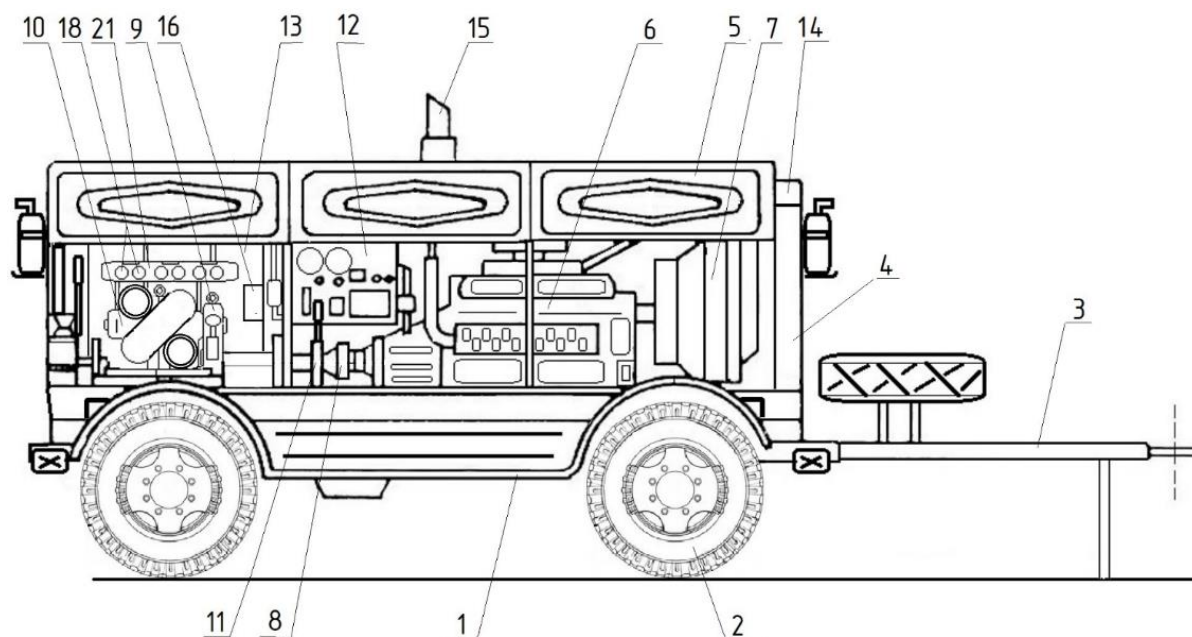


Рисунок 3.12 – Передвижная перекачивающая насосная установка, вид справа по ходу движения

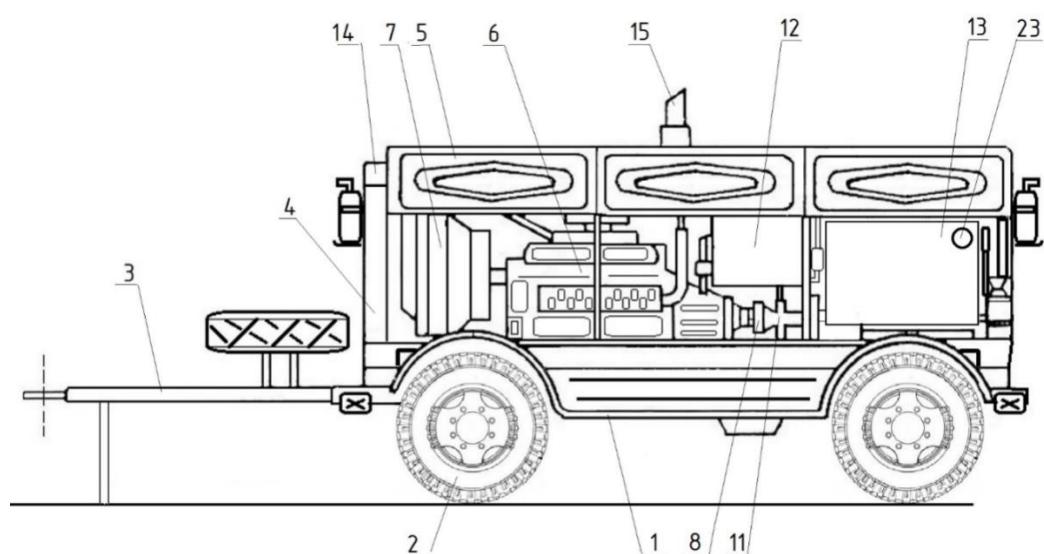


Рисунок 3.13 – Передвижная перекачивающая насосная установка вид слева по ходу

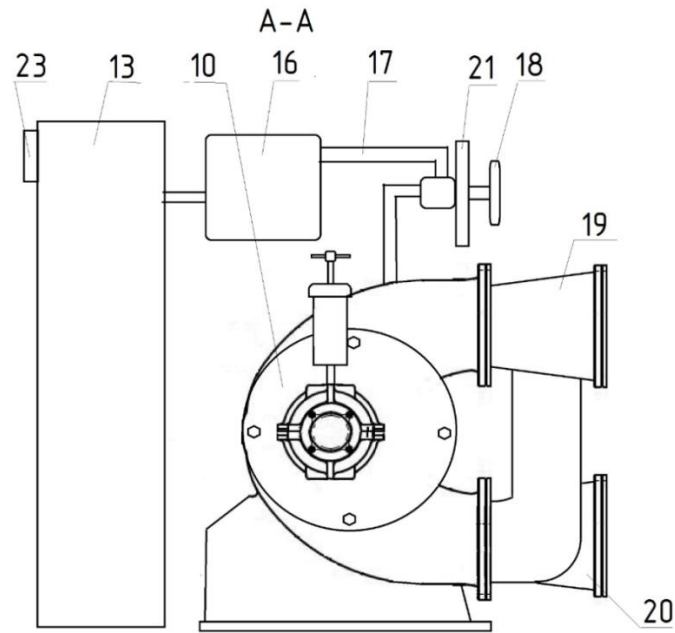


Рисунок 3.14 – Сечение А-А передвижной перекачивающей насосной установки вид сзади

На Рисунке 3.12 представлена передвижная перекачивающая насосная установка, вид справа по ходу движения: 1 – прицепное базовое шасси, 2 – колесо; 3 – дышло; 4 – корпус; 5 – капот; 6 – силовая установка; 7 – радиатор; 8 – муфта сцепления; 9 – редуктор; 10 – насос; 11 – сцепление; 12 – приборный щиток; 13 – емкость для присадки; 14 – бак; 15 – выхлопная труба; 16 – дозатор; 18 – вентиль; 21 – панель вентиляей.

На Рисунке 3.13 представлена передвижная перекачивающая насосная установка вид слева по ходу движения: 1 – прицепное базовое шасси, 2 – колесо; 3 – дышло; 4 – корпус; 5 – капот; 6 – силовая установка; 7 – радиатор; 8 – муфта сцепления; 11 – сцепление; 12 – приборный щиток; 13 – емкость для присадки; 14 – бак; 15 – выхлопная труба; 23 – горловина емкости.

На Рисунке 3.14 представлено сечение А-А передвижной перекачивающей насосной установки вид сзади: 10 – насос; 13 – емкость для присадки; 16 – дозатор; 17 – трубопровод малого диаметра; 18 – вентиль; 19 – всасывающий патрубок; 20 – напорный патрубок; 21 – панель вентиляей; 23 – горловина емкости.

Передвижная перекачивающая насосная установка содержит прицепное базовое шасси (1), у которого имеются колеса (2), дышло (3) и корпус (4). Для доступа к основным узлам и агрегатам данной насосной установки у корпуса (4) имеются открывающиеся капоты (5). Внутри корпуса (4) установлены силовая установка (6) с радиатором (7) и выхлопной трубой (15), муфта сцепления (8), сцепление (11), редуктор (9) и насос (10), имеющий всасывающий патрубок (19) и напорный патрубок (20). Рядом со сцеплением (11) установлен приборный щиток (12), а над насосом (10) зафиксирована панель (21) с вентилями (18). Сверху корпуса (4) жестко зафиксирован бак (14) с горловиной бака (22). Рядом с насосом (10) установлены емкость для присадки (13) с горловиной (23), дозатор (16) и трубопровод малого диаметра (17). Дозатор (16) предназначен для автоматической добавки необходимого количества присадки в поток перекачиваемой жидкости по трубопроводу.

Редуктор (9), установленный между насосом (10) и силовой установкой (6), позволяет поддерживать заданный режим работы насоса (10) при перекачке жидкости по магистральному трубопроводу.

В качестве дозатора (16), рекомендуется применять, как вариант дозатор жидкости Ду-15.

Таким образом, предложенная передвижная перекачивающая насосная установка имеет сравнительно простую и надежную конструкцию, обладает новыми техническими характеристиками и отличается от прототипов, обеспечивая возможность добавления гидравлической присадки в магистральный трубопровод при перекачке больших объемов жидкости, способствующей снижению гидравлического сопротивления и увеличению пропускной способности трубопровода без дополнительного строительства лупинга. Автоматизированный контроль дозы вводимой присадки позволит избежать излишнего расхода присадки.

ГЛАВА 4 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПО СБОРНО-РАЗБОРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

Оптимальным способом формирования рационального комплексного методологического подхода к технологии перевозки нефтепродуктов выступает модернизация парка техники для технического переоснащения трубопроводных частей и подразделений современными средствами связи, инженерной, автомобильной и специальной техникой для обеспечения высокой эффективности операций и мобильности работ путем внедрения перспективных методов и технологий; улучшения показателей качества и обеспечению эксплуатационно-технических характеристик трубопровода при перекачке нефтепродуктов; модернизация системы управления процессами транспортирования нефтепродуктов по трубопроводу.

Одним из основных направлений совершенствования ПМТ является обеспечение живучести - свойству сохранять и быстро восстанавливать работоспособность в условиях воздействия противника. Большое значение для повышения живучести имеет сокращение сроков восстановления работоспособности ПМТ за счет оснащения трубопроводных частей и подразделений современными вспомогательными техническими средствами (механизации, автоматизации, обнаружения аварий, оперативного ремонта при авариях и др.) [5, 40, 43, 47, 54, 57, 59, 63, 67, 86, 109, 110, 143, 161, 168, 180].

Повышение технического уровня ПМТ, в том числе для предотвращения и ликвидации последствий стихийных бедствий и техногенных аварий обеспечивается проведением научных исследований, находящихся в тесной связи с общими концептуальными направлениями совершенствования системы материально-технического обеспечения.

В связи с этим активно ведется работа по выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, разрабатываемых в

целях повышения технического уровня ПМТ и сформированы основные показатели повышения их эффективности:

- высокие темпы развертывания при небольших объемах трудозатрат;
- возможность развертывания и эксплуатации в любых природно-климатических условиях, с рельефом различной сложности при минимальном объеме инженерных работ;
- наличие высокоэффективной малозатратной технологии развертывания, простота подготовки обслуживающего персонала;
- автономность эксплуатации вне зависимости от наличия внешних источников энергоснабжения;
- модульность конструкции, обеспечивающая возможность сооружения линий ПМТ различной протяженности;
- высокая живучесть, надежность и экологическая безопасность;
- возможность многократного свертывания (развертывания) и перемещения любым видом транспорта на новые направления использования;
- повышение производительности перекачки горючего по трубопроводу за счет снижения вероятности ошибок при определении местоположения и режимов работы насосных станций, при использовании на нем новых ПНУ;
- увеличение оперативности управления за счет внедрения системы дистанционного мониторинга и автоматизации управления технологическими процессами перекачки горючего по трубопроводу;
- использование цифровой системы приема-передачи информации с возможностью обнаружения факта и места утечек с точностью до 50 м и оперативного их устранения;
- увеличение темпов свертывания трубопровода за счет сокращения времени и снижения трудозатрат на погрузочно-выгрузочные, монтажно-демонтажные работы.

Устойчивое функционирование трубопроводов во многом зависит от стабильности режимов подачи нефтепродуктов. Увеличение интенсивности

подачи может достигаться путем применения присадок, способствующих снижению турбулентности потока жидкости и уменьшению гидравлических потерь, а также с помощью автоматизированного управления технологическими процессами транспортирования нефтепродуктов. Эти задачи решаются посредством внедрения системы мониторинга параметров трубопровода, используемой с применением современных инновационных, цифровых технологий, информационно-измерительных, управляющих комплексов, перспективных средств дистанционного контроля режимов работы насосной станции и герметичности линейной части трубопровода. При дальнейшем ее совершенствовании возможно доведение системы до уровня, позволяющего автоматизировать процесс обнаружения места повреждения на линии трубопровода и осуществлять централизованное управление технологическими процессами его применения.

4.1 Анализ и выбор направлений совершенствования системы транспортировки нефтепродуктов по сборно-разборным трубопроводам в системе материально-технического обеспечения

Современные подходы к обеспечению военных операций требуют развития научно-технологических основ для организационно-технического построения полевых трубопроводных систем, повышения их устойчивости в общей системе материально-технического обеспечения.

При решении этой задачи, основными принципами, определяющими сущность преобразований системы обеспечения нефтепродуктами, являются:

- максимальное использование существующей инфраструктуры, повышение ее возможностей в первую очередь за счет развития существующих объектов и модернизации;
- обеспечение устойчивости системы нефтепродуктообеспечения в условиях воздействия современных средств поражения за счет повышения живучести и надежности подсистем транспортирования нефтепродуктов;

- оптимизация транспортных связей между поставщиками и потребителями нефтепродуктов, снижение затрат на доставку.
- обеспечение высокой степени маневренности запасов нефтепродуктов может достигаться за счет:
 - предварительного анализа уязвимых зон, действующих маршрутов транспортировки нефтепродуктов;
 - развертывание дополнительных резервных магистралей, способных гарантировать бесперебойную подачу нефтепродуктов в случае выхода из строя основной линии;
 - создания мобильных складских мощностей для оперативного перемещения запасов в зависимости от изменений оперативной обстановки;
 - оптимизации логистических схем для оперативного принятия решения при изменении в потребности в нефтепродуктах;
 - рационального сочетания и технико-технологической совместимости стационарной и полевой материально-технических баз обеспечения нефтепродуктами, планируемых к использованию.

Для своевременного развертывания (передислокации) войск (сил) должно быть предусмотрено заблаговременное создание на территории страны транспортно-складской системы, обеспечивающей эффективную и своевременную доставку требуемых объемов нефтепродуктов в заданных направлениях транспортно-складская система нефтепродуктообеспечения ВС РФ и экономики страны является важной составной частью топливно-энергетического комплекса и объединяет в единый комплекс предприятия нефтеперерабатывающей промышленности, объекты хранения нефтепродуктов(резервуарные парки) НПЗ, базы хранения, коммуникации и средства всех видов транспорта (включая МНПП и ПМТ), переоборудованные для хранения и транспортирования нефтепродуктов участки стационарных газопроводов, склады ЦМТО и автомобильные средства заправки и транспортирования горючего непосредственных потребителей (соединений и

частей).

Реализация данных мер обеспечит повышение устойчивости системы нефтепродуктообеспечения Вооруженных Сил и национальной экономики в условиях современных угроз, гарантируя непрерывное снабжение необходимыми ресурсами.

Анализ доктринальных подходов НАТО к способам воздействия на противника показывает, что с началом боевых действий в первую очередь выводятся из строя объекты ТЭК страны, при этом объектами поражения трубопроводных систем могут быть головные и промежуточные насосные станции, резервуарные парки, отдельные критические участки линейной части, выход из строя которых приводит к нарушению функционирования трубопровода и значительному ущербу от простоя его сети (так, потери от вынужденного простоя, выраженные в недопоставке горючего потребителю, для системы МНПП с условным диаметром труб 500 мм могут достигать 20 тыс. т/сутки).

Решение указанной проблемы возможно за счет повышения живучести объектов транспортно-складской системы путем быстрого восстановления их работоспособности. Традиционные способы восстановления работоспособности МНПП силами штатных формирований в зависимости от объема проведения ремонтных работ требуют значительных временных затрат (до 30 суток) с привлечением большего количества дополнительной техники (до 50 единиц) и трудовых ресурсов (до 100 человек) и, как следствие, приводят к увеличению материальных расходов на обеспечение работоспособности системы.

Альтернативными и наиболее предпочтительными способами восстановления работоспособности МНПП по временной схеме являются способы его технического прикрытия с использованием комплектов ПМТ.

Интегрированное применение полевых магистральных трубопроводов с МНПП экономического комплекса страны неоднократно позволило значительно повысить эффективность обеспечения горючим и снизить

нагрузку на железнодорожный транспорт, в том числе при выполнении специальных задач.

Основными путями реализации указанного направления являются:

- оснащение трубопроводных частей эффективными многофункциональными и унифицированными образцами специальной техники, оборудования и имущества, увеличение ресурса их использования за счет внедрения современных и малозатратных способов эксплуатации и технического обслуживания;

- применение современных научно-технических достижений, передовых технологий и материалов при создании новых поколений специальной техники;

- обеспечение темпов переоснащения трубопроводных частей оптимальными по составу комплексами вооружения, специальной техники и оборудования нового поколения, адаптированных к условиям выполнения трубопроводными частями задач и отвечающих современным требованиям обеспечения войск (сил) горючим;

- содержание на объектах МНПП комплектов оборудования для оперативной врезки ПМТ.

Ожидаемыми практическими результатами при этом будут:

- на этапе подготовки трубопровода к развертыванию: сокращение сроков ввода в эксплуатацию в 2 раза за счет оптимизации распределения сил и средств при развертывании и повышения оперативности принятия управленческих решений;

- на этапе развертывания трубопровода: увеличение темпов развертывания в 1, 5-2 раза за счет сокращения времени и снижения трудозатрат на погрузочно-выгрузочные, монтажно-демонтажные работы, перераспределения высвобожденных сил и средств, что позволит подать войскам горючее на 2-е сутки;

- на этапе эксплуатации трубопровода: повышение производительности перекачки горючего на 25% за счет снижения вероятности ошибок при определении местоположения и режимов работы насосных станций; использование новых перекачивающих насосных установок и перекачивающих станций горючего; увеличение оперативности управления технологическими процессами перекачки горючего по трубопроводу (более чем в 2 раза) за счет внедрения системы дистанционного мониторинга; повышение производительности перекачки горючего до 12 % за счет применения ПТП; сокращение потерь горючего при устранении аварий за счет внедрения современных средств ликвидации последствий проливов;
- на этапе свертывания трубопровода: увеличение темпов свертывания в 1, 2 раза за счет сокращения времени и снижения трудозатрат на погрузочно-выгрузочные и демонтажные работы.

4.2 Техническое переоснащение трубопроводных подразделений, частей (соединений)

Бесперебойная работа полевых трубопроводов в значительной степени обусловлена устойчивостью системы и режимов подачи топлива, скоростью и качеством управления процессами. Увеличение интенсивности подачи может достигаться путем управления технологическими процессами транспортирования горючего. Эта задача решается посредством внедрения системы мониторинга параметров трубопровода, используемой с применением современных инновационных, цифровых технологий, информационно-измерительных, управляющих комплексов, перспективных средств дистанционного контроля режимов работы насосных станций и герметичности линейной части трубопровода. При дальнейшем ее совершенствовании возможно доведение системы до уровня, позволяющего автоматизировать процесс обнаружения места повреждения на линии трубопровода и осуществлять централизованное управление

технологическими процессами его применения [2, 37, 38, 40, 51, 55, 56, 61, 81, 89, 90, 91, 124-131, 156, 159, 161, 163, 164, 180].

В рамках технического переоснащения трубопроводных подразделений (частей) совместно с предприятиями-промышленности проводится:

- разработка новой унифицированной передвижной насосной установки малой производительности ПНУ-80 (взамен ПНУ-75, ПНУ-100/200М, ПНУ-100/200К и ПНУ-140);
- разработка новой трубомонтажной машины ТММ-100 с устройством замыкания «револьверного» типа;
- разработка нового монтажного инструмента и запорно-регулирующей арматуры;
- оснащение трубопроводных соединений беспилотными летательными аппаратами (далее – БпЛА) для рекогносцировки трассы и контроля за эксплуатацией трубопровода;
- восстановление рабочей конструкторской документации на комплект ПМТП-100-150 с целью дальнейшего серийного производства и модификации.

Также осуществляется оснащение трубопроводных подразделений, частей (соединений) кранами-манипуляторами КМВ-20К.

Перекачивающая насосная установка малой производительности ПНУ-80, предназначена для перекачки нефтепродуктов по СРТ и оборудована современной системой автоматики с использованием информационно-измерительных комплексов, цифровых технологий, средств связи и навигационного обеспечения, что позволяет в автоматическом режиме строить профиль трассы трубопровода с координатами точек установки насосных станций, для каждой из которых должны определяться оптимальная подача и напор, обеспечивающие заданную суточную производительность перекачки (Рисунок 4.1).

Трубомонтажная машина ТММ-100 предназначена для

механизированного монтажа труб полевого магистрального трубопровода повышенной производительности номинальным диаметром 100 мм с раструбным соединением (Рисунок 4.2). Схема загрузки труб в трубомонтажную машину ТММ-100 представлена на Рисунке 4.3.



Рисунок 4.1 – Передвижная насосная установка малой производительности
ПНУ-80



Рисунок 4.2 – Трубомонтажная машина ТММ-100

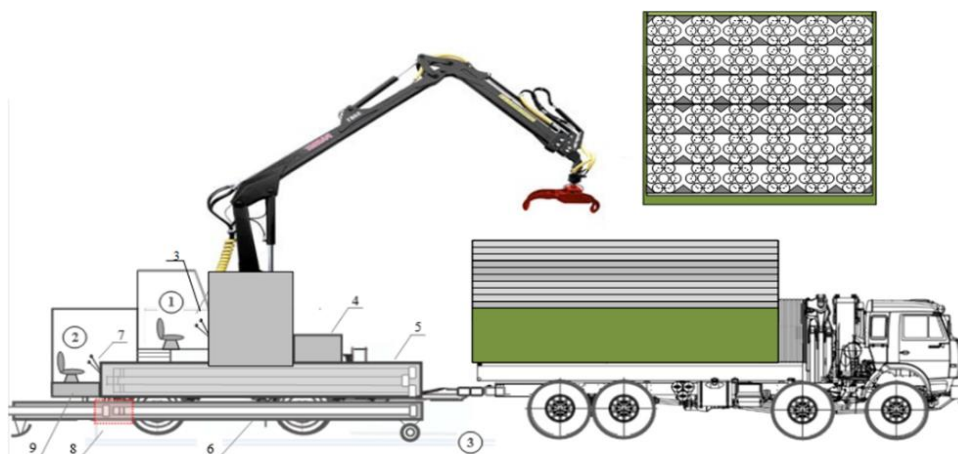


Рисунок 4.3 – Схема загрузки труб в трубомонтажную машину ТММ-100

Монтируется на шасси двухосного автомобильного прицепа и включает: гидроманипулятор (1), оснащенный специальным захватом для кассет труб, ротатор (2) для обеспечения поворота, пост управления гидроманипулятором (3), двухпоточную насосную станцию (4) на погрузочной площадке прицепа, раскладной приемник-накопитель труб (5) для размещения кассеты с системой подачи по одной трубе на монтажный стол, раскладной монтажный стол (6), пост управления (7) устройством механизированного монтажа труб (8), ящик для хранения монтажного инструмента, вставок и угольников (9), место для сбора заглушек кассет.

Применение комплекса позволит увеличить темп монтажа СРТ в 1, 5 раза. «Револьверный» тип хранения и погрузки увеличивает возможность перевозки труб в 1, 4 раза. Темп механизированного монтажа – 15–20 км/сут.

В кузов автомобиля КамАЗ-63501 размещается 30–35 сборок револьверного типа» с общим количеством труб от 210 до 245 шт.

Создание трубомонтажной машины, осуществляющей соединение труб гидравлическим способом (взамен выпускаемой ранее на Украине МСТ-100, осуществляющей монтаж труб ударным способом) повышает безотказность работы образца, что в комплексе с возможностью механизированной загрузки труб обеспечивает высокий темп развертывания трубопровода в целом. Принятие трубомонтажной машины ТММ-100 на снабжение позволит

качественно улучшить монтаж линейного оборудования и исключить ударные нагрузки на раструбные соединения. Это позволит не только повысить и продлить срок службы стальных труб, но и осуществлять механизированный монтаж перспективных металлокомпозитных труб.

Постановка ТММ-100 на серийное производство позволит обеспечить трубопроводные войска высокоэффективными передвижными средствами монтажа трубопровода, исключаящими ручной труд и нарушение техники безопасности при организации работы личного состава. Таким образом, указанные принципиальные отличия от описанных прототипов позволяют упростить конструкцию и повысить безотказность работы трубомонтажной машины ТММ-100 в сравнении с аналогами, что в свою очередь существенно повысит темп развертывания трубопровода.

Для технического оснащения работ на этапе подготовки трубопровода к развертыванию, включающего в себя выбор трассы трубопровода и путей подвоза труб; оценку обстановки и принятие решения на развертывание трубопровода; разработку плана-графика развертывания трубопровода; проведение гидравлического расчета трубопровода; построение профиля трасы, технологических схем, Таблиц рабочих режимов работы насосных станций, требующих по времени в общей сложности до 72 часов, проведены мероприятия по разработке автоматизированного рабочего места со специальным программным обеспечением в составе КШМ МТ-67 для должностных лиц трубопроводных частей и БПЛА (Рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Использование БПЛА для разведки трассы трубопровода

Их использование позволило за счет снижения вероятности ошибок при определении местоположения и режимов работы насосных станций, а также за счет оптимизации распределения сил и средств при развертывании трубопровода и повышения оперативности принятия управленческих решений сократить время проведения подготовительного этапа в 2 раза.

Для определения количества выдаваемого из ПМТ горючего апробирована работа мобильного узла учета нефтепродуктов (Рисунок 4.5), обеспечивающего измерение массы и объема перекачиваемого продукта, его температуру и плотность, а также давление в трубопроводе с одновременным отображением всех параметров на АРМ оператора КШМ и формированием формализованных документов материального учета.



Рисунок 4.5 – Узел учета нефтепродуктов, подключенный к ПМТ

С целью дистанционного контроля и информационного обеспечения перекачкой горючего по ПМТ продемонстрирован в работе натурный образец контрольно-диспетчерского пункта (КДП) трубопроводной роты. Установленные в линию трубопровода счетчики-расходомеры и поточные плотномеры-термометры (Рисунок 4.6) позволяют в режиме реального времени снимать показания плотности, температуры, суммарного объема перекаченного продукта и автоматически заносить в журнал учета транспортируемого горючего.



Рисунок 4.6 – КДП

Режимы работы насосной станции (НС) через блок управления передаются на КДП и также автоматически вносятся в журнал учета работы НС с ежечасным обменом информации.

Узел контроля противоаварийной работы трубопровода сигнализирует при возникновении перепада давления между НС, с отображением на электронной карте аварийного участка с точностью до 60 метров. Данные автоматически вносятся в журнал учета аварий и неисправностей на эксплуатационном участке трубопроводной роты. При возникновении аварийной ситуации данные оперативно поступают через оператора НС, КДП на КП *отпб* для принятия решения.

Оснащение трубопроводных подразделений кранами-манипуляторами КМВ-20К (Рисунок 4.7) и автокранами КС-45719-7М позволило сократить время выполнения операций по погрузке (выгрузке) труб, размещенных в пакетах (контейнерах), в автотранспорт до 2 ч.

Для несения патрульно-аварийной службы на трассе трубопровода, в качестве патрульно-аварийного автомобиля задействован артиллерийский тягач на базе КАМАЗ-6350 с бронированным модулем (Рисунок 4.8). Его оснащение современным аварийным оборудованием и модернизированным монтажным инструментом позволяет сократить время на устранение аварий

на трубопроводе и обеспечивает защиту личного состава от огневого поражения.



Рисунок 4.7 – Погрузка труб на автомобиль-трубовоз КМВ-20К

Взамен существующих средств механизированного монтажа труб разработан универсальный комплекс механизированной раскладки и монтажа труб. Его применение позволило увеличить темп монтажа труб по сравнению с темпом монтажа при использовании КРМ в 1,5 раза.



Рисунок 4.8 – Патрульно-аварийный автомобиль

Традиционный для ПМТ метод преодоления автодорожных и ж/д путей подразумевает их вскрытие с задействованием спецслужб и техники, что увеличивает время работ в связи с необходимостью поиска водоотводных арок или привлечения парка техники. Сокращению сроков развертывания трубопровода способствует внедрение новой технологии преодоления естественных и искусственных преград с использованием малогабаритных установок горизонтального бурения для бестраншейной прокладки его линии при оборудовании переходов через барьерные участки и техники для заглубления трубопровода на отдельных участках. При этом общее время на преодоление дорог с твердым покрытием (без повреждения дорожного полотна), а также ж/д путей, сокращается как минимум вдвое.

Существующий способ естественных и искусственных препятствий стальным трубопроводом предусматривает его перетягивание с применением подвесной конструкции и задействование в данной операции 2–3 КРМ со снижением темпа развертывания до 8 км в сутки или – 10 часов работы.

Кроме того, использование плоскосворачиваемых рукавов на основе термопластичного полиуретана с высокомодульным кордом и раструбным соединением облегчило преодоление барьерных участков на трассе трубопровода (оврагов, рек, расщелин и иных препятствий) при монтаже линии трубопровода и позволяет сократить время преодоления естественных и искусственных преград в 2, 5 раза, а массу и объем применяемых элементов арматуры в 6 раз. Одним из решений является плоскосворачиваемый трубопроводный комплект КМППТ-100 (Рисунок 4.9), который предназначен для быстрого развертывания гибкой трубопроводной линии на труднодоступных участках местности и обеспечения перекачки горючего при возникновении нештатных и чрезвычайных ситуаций. Механизированное развертывание (свертывание) плоскосворачиваемых рукавов обеспечивает темп монтажа (демонтажа) со скоростью 15 (10) км/ч.



Рисунок 4.9 – Комплект КМПТ-100

Специфика применения сборно-разборных трубопроводов для обеспечения нефтепродуктами войск (сил) на театрах военных действий обуславливает одновременное развитие полевой складской инфраструктуры для временного хранения запасов нефтепродуктов. Созданные ПМТ в сочетании со складскими трубопроводами, различными комплектами оборудования образовали комплекс технических средств службы горючего, без которого в настоящее время не мыслится успешное выполнение задач по транспортированию и хранению горючего, заправке военной техники. Полевые склады горючего, как правило, оборудуются мягкими (эластичными) резервуарами [5, 40, 54, 105, 106, 107, 113, 176]. В отличие от стальных резервуаров, мягкие (эластичные) резервуары можно относительно легко и быстро транспортировать и разворачивать [186]. В Таблице 4.1 и на Рисунках 4.10 - 4.13 представлен сравнительный анализ характеристик эластичных резервуаров разных стран мира и их внешний вид.

Таблица 4.1 – Сравнительный анализ характеристик эластичных резервуаров разных стран мира

Наименование характеристики, размерность	Образцы вооружения, военной и специальной техники			
	ЭР (Россия)	ЭР (Франция)	МР (Великобритания)	ЭР (США)
Год принятия на вооружение	2010	1982	1975	1985

Наименование характеристики, размерность	Образцы вооружения, военной и специальной техники			
	ЭР (Россия)	ЭР (Франция)	МР (Великобритания)	ЭР (США)
Производитель	ООО НПФ «Политехника»	Musthane	Dunlop	ATL
Вместимость, куб.м	4, 6, 10, 25, 50, 150, 250	1-150	2, 3-225	2-500
Масса 1 кв.м, кг	1, 2	1, 5	2, 5	1, 2
Диапазон рабочих температур, град. С	От -60 до +60	От -40 до +60	От -40 до +50	От -40 до +60
Проницаемость, г/кв.мсут.	35	50	100	35
Адгезия, Н/см	30	25	15	30



Рисунок 4.10 – ЭР (Россия)



Рисунок 4.11 – Полевой склад горючего из эластичных резервуаров



Рисунок 4.12– Эластичный резервуар на платформе полуприцепа

Экспедиционная направленность строительства вооруженных сил США и связанное с этим требование повышения мобильности запасов материальных средств для проведения военных операций за пределами территории страны значительно увеличивают роль и значение эластичных резервуаров для создания мобильных запасов горючего и организации авиатранспортабельных заправочных систем.

Эластичные резервуары применяются в сухопутных войсках США для хранения и перемещения запасов горючего в различных структурах материально-технического обеспечения войск: для организации полевых терминалов и складов топлива; штатных складов горючего для трубопроводных систем; авиатранспортабельных систем заправки; с целью транспорта горючего по морю и перевозке автотранспортом, а также для переброски горючего парашютным способом.

Ниже на Рисунках 4.13 – 4.16 представлены эластичные резервуары разных стран мира.



Рисунок 4.13 – ЭР (Франция)



Рисунок 4.15 – МР (Великобритания)



Рисунок 4.16 – ЭР (США)

Этапы сооружения полевого склада армии США представлены на Рисунках 4.17 и 4.18.



Рисунок 4.17 – Развертывание полевого склада горючего армии США



Рисунок 4.18 – Развернутый полевой склад горючего США

Для обеспечения безопасного и надежного функционирования резервуарных парков, состоящих из эластичных резервуаров необходимо рассмотреть следующие вопросы: обеспечение достоверного измерения количества нефтепродукта в эластичном резервуаре; применение новых материалов для изготовления эластичных резервуаров в различных климатических зонах; обеспечение защиты резервуарных парков при эксплуатации их в районах военных действий.

Для подачи горючего от резервуарных парков до начальной насосной станции ПМТ разработана перекачивающая станция горючего ПСГ-180 с подачей 180 м³/ч и напором 110 м (Рисунок 4.19). В составе ПСГ-180

применяется модифицированный центробежный насос ЦН-180/110 с повышенными эксплуатационными и техническими характеристиками. Она обладает повышенной эффективностью и всасывающей способностью насосного оборудования, смонтирована на современной транспортной базе.



Рисунок 4.19 – Перекачивающая станция горючего ПСГ-180

Использование предложенных подходов позволяет сократить потери горючего при авариях и неисправностях, а внедрение прогрессивных способов и технологий – обеспечить реализацию основных мероприятий по улучшению показателей качества трубопровода.

Таким образом, приоритетным направлением в развитии трубопроводных частей (соединений) является достижение уровня их технического оснащения, обеспечивающего способность к переброске в короткие сроки, развертывание и выполнение задач по предназначению на любом стратегическом направлении, где может возникнуть угроза безопасности страны.

В части разработки новой военной техники в интересах службы горючего в период с 2015 г. по 2026 г. отечественными предприятиями промышленности под руководством заказчика – Управления (ракетного топлива и горючего) Департамента ресурсного обеспечения Министерства

обороны Российской Федерации был создан достаточно высокий научно-технический задел, позволивший создать, испытать и принять на снабжение множество многофункциональных технических средств службы горючего (Рисунок 4.20) [2, 38, 40, 41, 45, 58, 83, 89, 92, 130, 175].

Разработка современных образцов позволила унифицировать номенклатуру автомобильных средств заправки и транспортирования горючего, в частности:

- автоцистерны для горючего АЦ-14-63501, АЦ-17-65115 заменили АЦ-10, 5-53212, АЦ-10-260, АЦ-10-4320, АЦ-9-5320 и др.;
- автотопливозаправщик аэродромный АТЗ-10-53501 заменил АТЗ-10-4320М, АТЗ-9, 3-260М, ТЗА-7, 5-5334, ТЗА-7, 5-500А, АЦ-10-260М, АЦ-10-4320М, АЦ-9-5337, АЦ-8-5334, АЦ-8-500А и др.;
- автотопливозаправщик массовой выдачи АТЗ-12-10-63501 заменил полевые заправочные пункты ПЗП-10, ПЗП-10А, ПЗП-14 и ПЗП-20 и др.;
- автотопливомаслозаправщик АТМЗ-7-65224 заменил АТМЗ-5, 5-4320, АМЗ-7-5557, АТМЗ-10-6350 и др.;
- автотопливозаправщик АТЗ-8-4320 заменил АТЗ-5-4320, АТЗ-9, 3-260М, АЦ-10-260М, АЦ-10-4320М, АЦ-9-5337, АЦ-8-5334, АЦ-8-500А и др.;
- аэродромные автотопливозаправщики АТЗ-20-6560, АТЗ-20-65201-avia заменили АТЗ-22-44202, ТЗ-22-258Б, АТЗ-20-54112;
- гусеничный топливомаслозаправщик ГТМЗ-14-30ПМ заменил топливомаслозаправщик ГТМЗ-20-БТ361;
- перекачивающая станция горючего средней производительности ПСГ-180 заменила ПСГ-160, ПСГ-240, ПСГ-300.

Кроме того, для обеспечения горючим малочисленных подразделений при выполнении задач, разработаны автотопливозаправщики малой вместимости АТЗ-1, 5 и АТЗ-2 (Рисунок 4.21), позволяющие повысить скрытность, маневренность и оперативность заправки техники.



Автотопливозаправщик
АТЗ-12-10-63501



Автоцистерна АЦ-14-63501



Универсальный
автотопливозаправщик АТЗ-12-63501у



Автотопливозаправщик
аэродромный АТЗ-10-53501



Автотопливомаслозаправщик
АТМЗ-7-65224



Гусеничный топливомаслозаправщик
ГТМЗ-14-30ПМ



Автотопливозаправщик
АТЗ-8-4320



Автотопливозаправщик
АТЗ-7,5-5557



Автотопливозаправщик
АТЗ-10-43118



Автоцистерна АЦ-17-65115



Аэродромный
автотопливозаправщик АТЗ-20-6560



Аэродромный автотопливозаправщик
АТЗ-20-65201-avia

Рисунок 4.20 – Современные автомобильные средства заправки и
транспортирования горючего



Рисунок 4.21 – Автотопливозаправщики малой вместимости АТЗ-1, 5 (слева) и АТЗ-2 (справа)

Модернизация системы перекачки нефтепродуктов по ПМТ выступает одним из главных факторов роста устойчивости тылового обеспечения в условиях возрастающих рисков и новых угроз. Развитие трубопроводных частей должно основываться на комплексном подходе, включающем повышение живучести трубопроводов, сокращение сроков восстановления их работоспособности, внедрение цифровых технологий управления и мониторинга, а также интеграцию системы ПМТ с сетью магистральной нефтепродуктопроводной инфраструктурой страны.

Результаты проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ подтверждают, что техническое переоснащение трубопроводных подразделений современными насосными установками, средствами механизации, автоматизации, дистанционного контроля и беспилотной авиацией позволяет существенно повысить темпы развертывания, эксплуатации и свертывания трубопроводов, снизить трудоемкость работ и минимизировать потери горючего при аварийных ситуациях. Применение новых технологических решений обеспечивает рост производительности перекачки, повышение оперативности управления и сокращение сроков подготовки трубопроводов к применению в 1, 5–2 раза.

Таким образом, приоритетным направлением развития трубопроводных частей (соединений) является формирование высокоомобильной, технологически оснащенной и устойчивой системы трубопроводного

транспорта горючего, способной обеспечивать надежное снабжение войск и экономики страны на любом стратегическом направлении. Реализация предложенных мер создает необходимые предпосылки для повышения обороноспособности государства и устойчивости топливно-энергетического обеспечения в условиях воздействия современных средств вооруженной борьбы.

На основании выполненных исследований сформирована комплексная методология повышения надежности и эффективности сборно-разборных магистральных продуктопроводов, основанная на:

- структурной оптимизации конфигурации;
- функциональном резервировании;
- гидравлической интенсификации перекачки;
- организационно-технологическом совершенствовании эксплуатации.

Реализация предложенного подхода обеспечивает создание устойчивой к внешним воздействиям системы нефтепродуктообеспечения, способной сохранять надежности и работоспособность в условиях боевых действий и чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена научная задача разработки научно обоснованных методов повышения надежности и эффективности полевых магистральных трубопроводов на основе формирования сетевых архитектур с функциональным резервированием и применения противотурбулентных присадок для адаптивного регулирования пропускной способности в условиях боевых и чрезвычайных воздействий. Полученные результаты последовательно соответствуют поставленным задачам исследования и позволяют сформулировать следующие выводы и рекомендации:

1. Выполнен системный анализ исторического опыта и современного состояния применения полевых магистральных продуктопроводов в военных и гражданских условиях. В частности, установлено, что традиционная линейная архитектура трубопроводных систем обладает высокой уязвимостью при локальных повреждениях и не обеспечивает требуемый уровень устойчивости при воздействии современных средств поражения. Подтверждена эффективность отечественных разработок сборно-разборных трубопроводов, которые обеспечивают высокую скорость развертывания, технологическую адаптивность и возможность применения в широком диапазоне климатических условий. Обосновано двойное назначение данных систем – как инструмента обеспечения войск горючим и как средства ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

2. Разработана математическая модель количественной оценки живучести полевых трубопроводных сетей с использованием вероятностных распределений (геометрического и отрицательного биномиального), которая позволяет формализованно сравнивать различные конфигурации сети. Численные расчеты показали, что при расчетной вероятности поражения при одной атаке, равной 0,5, переход от линейной к сетевой структуре с четырьмя равнозначными подсистемами приводит увеличению числа воздействий, необходимых для гарантированного отказа всей системы с вероятностью 0,99

в 10 раз. Тем самым подтверждена высокая эффективность и надежность сетевой архитектуры как структурного механизма повышения устойчивости.

3. Разработан алгоритм проектирования сетевых структур полевых магистральных трубопроводов на основе алгоритма Прима с введением ограничений на соединение однотипных узлов. Предложенный алгоритм обеспечивает формирование множественных альтернативных маршрутов транспортировки, равномерное распределение потоков между источниками и потребителями, устранение критических структурных «узких мест»; повышение структурной устойчивости системы при частичных повреждениях. Таким образом, создан надежный инструмент инженерного проектирования живучих конфигураций трубопроводных систем.

4. Проведены теоретические и экспериментальные исследования эффективности применения противотурбулентных присадок в трубопроводах малого диаметра (98-100 мм). Установлено, что при концентрации 10-30 ppm обеспечивается увеличение пропускной способности участков на 20-43 % в зависимости от типа перекачиваемого топлива (бензин, керосин, дизельное топливо). Полученные результаты исследований подтверждают возможность регулирования производительности трубопроводной системы без изменения геометрических параметров линейной части, что существенно расширяет эксплуатационные возможности полевых магистралей.

5. Разработаны практические рекомендации по переоснащению трубопроводных подразделений, включающие применение передвижных насосных установок с дозированным вводом противотурбулентных присадок, внедрение трубомонтажной машины ТММ-100 с повышенной степенью механизации, использование эффективных средств рекогносцировки трасс и дистанционного мониторинга технологических режимов. Предложенные решения направлены на повышение темпов развертывания, надежности эксплуатации и адаптивности трубопроводных систем, подтвердили свою эффективность на практике в ходе учений и реальных боевых действий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 70 лет Государственному научно-исследовательскому институту химмотологии Министерства обороны Российской Федерации : исторический очерк / под общ. ред. В. В. Середы. – М. : Перо, 2016. – 648 с.
2. Абдурахманов, Э. Ф. Топливомаслозаправщик для критических климатических условий : пат. 2020110743 Рос. Федерация / Э. Ф. Абдурахманов, В. И. Демиров, В. С. Ивагин, О. И. Николук, С. А. Романчиков ; заявл. 13.03.2020.
3. Алипов, В. И. Пути совершенствования и повышения эффективности полевых магистральных трубопроводов / В. И. Алипов, А. А. Братков, В. Г. Коваленко. – М. : Воениздат, 1975.
4. Алтик разработал полевой магистральный трубопровод третьего поколения // Нефть и газ Сибири. – 2017. – № 2 (27).
5. Арктические парки нефти и горючего на базе эластичных резервуаров ПЭР-Н. Эластичные резервуары – удивительные возможности объемного хранения [Электронный ресурс] // Burneft.ru. – URL: <https://burneft.ru/archive/issues/2014-01/10> (дата обращения: 30.03.2024).
6. Асеев, О. И. Полевые магистральные трубопроводы в современных условиях развития технологий / О. И. Асеев // Вестник арматуростроителя. – 2019. – № 3 (52).
7. Афонин, М. А. Трубопроводные войска – от зарождения до современности / М. А. Афонин, И. Р. Габдрашитов, В. В. Михайлов // Научный вестник Вольского военного института материального обеспечения: военно-научный журнал. – 2018. – № 4 (48). – С. 151–155.
8. Бабенков, В. И. Военно-экономическое обоснование рациональных параметров поставок и оснащения полевых складов горючего для материально-технического обеспечения войск (сил) / В. И. Бабенков, А. В. Топоров, А. С. Мокроусов // Известия российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2020. – № 1. – С. 24–30.

9. Бабин, Л. А. Выбор трасс магистральных трубопроводов / Л. А. Бабин, П. П. Бородавкин, С. Ю. Рудерман, В. Д. Таран. – Л. : Недра, 1970. – 128 с.
10. Бабин, Л. А. Исследование методов проектирования оптимальных трасс магистральных трубопроводов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.07 / Бабин Лев Алексеевич. – Уфа, 1974. – 267 с.
11. Бахтизин, Р. Н. Развитие мировой системы нефтепроводного транспорта / Р. Н. Бахтизин, Б. Н. Мастобаев, А. Е. Сощенко, О. А. Макаренко. – М. : ООО «Издательский дом Недра», 2018. – 604 с.
12. Белоусов, Ю. П. Противотурбулентные присадки для углеводородных жидкостей / Ю. П. Белоусов. – Новосибирск : Наука, 1986. – 145 с.
13. Беляков, А. М. Полевые магистральные трубопроводы: учебник / А. М. Беляков, Н. Т. Егоров, Л. Д. Комаров. – М. : Военное издательство, 1972. – 288 с.
14. Бензин для армии [Электронный ресурс] // Neftepro.ru. – Режим доступа: <http://www.neftepro.ru/publ/22-1-0-4> (дата обращения: 25.05.2024).
15. Бланк, С. М. По дну Ладоги / С. М. Бланк, Д. Я. Шинберг // Новый мир. – 1968. – № 2.
16. Бойко, В. В. История становления и развития трубопроводных войск России / В. В. Бойко. – М. : ИРЦ Газпром, 2003.
17. Васильев, Ю. Возможности вооруженных сил США для проведения операций за пределами национальной территории / Ю. Васильев // Зарубежное военное обозрение. – 2021. – № 2. – С. 3–9.
18. Военное обозрение [Электронный ресурс] // ОК.RU. – Режим доступа: <https://ok.ru/group/53169358766164> (дата обращения: 30.03.2024).
19. Военные прокладывают в Крыму 48 линий магистральных трубопроводов для подачи воды [Электронный ресурс] // ФедералПресс. – Режим доступа: <http://fedpress.ru/news/econom/industry/1427962699->

voennye prokladyvayut v krymu-48 linii magistralnykh truboprovodov dlya podachi vody (дата обращения: 25.05.2024).

20. Вооруженные силы зарубежных стран. Справочные данные // Зарубежное военное обозрение. – 2022. – № 1. – С. 90–112.

21. Габдрашитов, И. Р. Чистое топливо – безопасность в небе / И. Р. Габдрашитов, А. О. Филиппов // Материально-техническое обеспечение Вооруженных Сил Российской Федерации. – 2022. – № 11. – С. 14–20.

22. Гареев, М. М. Математическая модель распределения в магистральном трубопроводе при перекачке с применением противотурбулентных присадок с учетом их деградации / М. М. Гареев, М. И. Валиев, Ф. А. Карпов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2021. – Т. 11. – № 4. – С. 396–406.

23. Гареев, М. М. Повышение эффективности магистральных нефтепроводов на основе использования агентов снижения гидравлического сопротивления и совершенствования системы учета нефти: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.19 / Гареев Мурсалим Мухутдинович. – Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2006. – 348 с.

24. Гареев, М. М. Условие деструкции противотурбулентных присадок / М. М. Гареев, Ф. А. Карпов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2018. – № 1. – С. 24–28.

25. Германович, П. К. Планирование опорожнения и обратная перекачка горючего по ПМТ: учебное пособие / П. К. Германович. – Ульяновск : УВВТУ, 1989.

26. Германович, П. К. Теоретические основы инженерно-технических и экономических расчетов полевых магистральных трубопроводов: учебное пособие / П. К. Германович. – Ульяновск : УВВТУ, 1985.

27. Голиков, Д. Трубопроводы быстрого развертывания / Д. Голиков // Трубопроводный транспорт нефти. – 2015. – № 9. – С. 53–57.

28. Голунов, Н. Н. Алгоритм гидравлического расчета технологического участка нефтепровода при использовании

противотурбулентной присадки / Н. Н. Голунов // Территория «Нефтегаз». – 2019. – № 1-2. – С. 94–100.

29. Голунов, Н. Н. Использование противотурбулентных присадок в зоне контакта партий разнотипных нефтепродуктов для уменьшения смесеобразования при последовательной перекачке: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19 / Голунов Никита Николаевич. – М. : РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2006. – 135 с.

30. Голунов, Н. Н. Моделирование кинетики процессов активации и деградации противотурбулентных присадок в потоке нефти или нефтепродукта в трубопроводе / Н. Н. Голунов, М. В. Лурье // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2023. – № 3-4. – С. 5–8. – DOI:10.24412/0131-4270-2023-3-4-5-8.

31. Голунов, Н. Н. О некоторых историко-технологических аспектах применения противотурбулентных присадок на магистральных трубопроводах / Н. Н. Голунов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2023. – № 2. – С. 5–11.

32. Голунов, Н. Н. Развитие научно-методических основ гидравлической теории для технологии перекачки нефти и нефтепродуктов с противотурбулентными присадками: дис. ... д-ра тех. наук / Голунов Никита Николаевич. – Уфа, 2024. – 296 с.

33. Горючее – скрытая энергия боевых машин: 75-летию службы горючего и смазочных материалов / В. В. Долгих. – Минск :Зималетто, 2011. – 248 с.

34. Григорьева, П. В. Минимизация затрат путем нахождения оптимальной трассы трубопровода / П. В. Григорьева, Д. А. Черенцов, К. С. Воронин // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Трубопроводный транспорт углеводородов». – Омск, 2017. – С. 71–77.

35. Давлятшин, И.М. Методика обоснования рационального варианта применения сил и средств службы горючего в ходе боевых действий / И. М.

Давлятшин, В. И. Демиров // Региональные аспекты управления, экономики и права Северо-западного федерального округа России. Межвузовский сборник научных трудов. – Санкт-Петербург, 2019. – № 2 (47). – С. 92–96.

36. Данильченко, И. Г. Служба горючего в афганской войне / И. Г. Данильченко, В. А. Виноградов, А. Г. Карташов, А. М. Сиренко, Г. М. Ширшов; рук.авт. коллектива А. М. Сиренко. – М. :Гралия, 2009. – 704 с.

37. Демиров, В. И. Автоматизированный контроль наличия, движения и расходования горючего – основа объективной оценки обеспеченности горючим Вооруженных Сил / В. И. Демиров // Военная мысль. – 2022. – № 2. – С. 55–58. – Рек. ВАК.

38. Демиров, В. И. Автотопливомаслозаправщик: патент на полезную модель № 2020118564 от 5 июня 2020 г. / В. И. Демиров, Ф. Е. Шарыкин, В. В. Безручкин, Н. Н. Горнов, Д. Ю. Горшков, Д. В. Комаров и др.

39. Демиров, В. И. Анализ возможности использования плоско-сворачиваемых рукавов в качестве линейной части сборно-разборных трубопроводов / В. И. Демиров, В. С. Ивагин, И. Р. Габдрашитов, А. Безручкин // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. – 2024. – № 62. – С. 434–439.

40. Становление и развитие сборно-разборных трубопроводов в интересах обороны и экономики страны : монография / В. И. Демиров, Б. Н. Мастобаев, Н. Н. Голунов, И. Р. Габдрашитов. – М. : Первый том, 2025. – 496 с. : ил.

41. Демиров, В. И. Бронированный топливозаправщик: патент на полезную модель № 2023100571 от 11 января 2023 г. / В. И. Демиров, А. Е. Клименко, В. В. Михайлов, Д. Х. Фахретдинов, А. Г. Николаев, Р. Ф. Халиков, Е. В. Романенко и др.

42. Демиров, В. И. Гарантии рационального и эффективного применения горючего в технике / В. И. Демиров // В сборнике: 60 лет химмотологии - основные итоги и направления развития. Сборник трудов I Всероссийской научно-технической конференции. Москва, 2024. С. 24-29.

43. Демиров, В. И. Гибкий трубопровод. Применение плоско-сворачиваемых рукавов для преодоления водной преграды / В. И. Демиров, В. С. Ивагин, И. Р. Габдрашитов // Материально-техническое обеспечение Вооруженных Сил Российской Федерации. – 2023. – № 10 (46). – С. 56–61.

44. Демиров, В. И. Задача государственной важности / В. И. Демиров, В. А. Маркин // Журнал «Материально-техническое обеспечение ВС РФ». – М. : ФГБУ РИЦ «Красная звезда Минобороны России», 2021. – Октябрь, № 6. – С. 91–97.

45. Демиров, В. И. Линейка перспективных технических средств службы горючего, принятых на снабжение в 2015-2020 годах, перспективы на 2021 год / В. И. Демиров, В. А. Маркин, В. В. Артемов // Материально-техническое обеспечение Вооруженных Сил Российской Федерации. – 2021. – № 4. – С. 55–61.

46. Демиров, В. И. Начало применения сборно-разборных трубопроводов для перекачки нефтепродуктов в военных условиях / В. И. Демиров, Б.Н. Мастобаев // История и педагогика естествознания. – 2024. – № 2. – С 19-24

47. Демиров, В. И. О возможном применении противотурбулентных присадок для перекачки нефтепродуктов по сборно-разборным трубопроводам малого диаметра / В. И. Демиров, Н.Н. Голунов// XVIII Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса». (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина). 21-25 апреля 2025. С.215–218.

48. Демиров, В. И. О перспективных направлениях развития технических средств и оборудования для реализации проектов строительства сборно-разборных трубопроводов / В. И. Демиров, Н. Н. Голунов, А. И. Лавренчук // Трубопроводный транспорт-2023: Тезисы докладов XVIII Международной научно-практической конференции (16–17 ноября 2023 г.). – Уфа : УГНТУ, 2023. – С. 480–481.

49. Демиров, В. И. Обоснование сетевого функционального резервирования полевых магистральных трубопроводов в условиях современных военных угроз / В. И. Демиров, Р. Р. Ташбулатов, Б. Н. Мастобаев // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2025. – № 3-4. – С. 16–21.

50. Демиров, В. И. Определение оптимальной конфигурации сети полевых магистральных трубопроводов в условиях современного театра военных действий / В. И. Демиров, Р. Р. Ташбулатов, Б. Н. Мастобаев // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2025. – № 5–6.

51. Демиров, В. И. Особенности сборно-разборных трубопроводов: инженерные решения и практика применения / В. И. Демиров, Н. Н. Голунов, Б. Н. Мастобаев // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2025. – № 1. – С. 47–55.

52. Демиров, В. И. Перспективные технологии и технические средства для монтажа сборно-разборных трубопроводов / В. И. Демиров, Н.Н. Голунов, А.И. Лавренчук// В книге: Губкинский университет в решении вопросов нефтегазовой отрасли России. Тезисы докладов VIII Региональной научно-технической конференции, посвященной 100-летию профессора Ю.П. Желтова. Москва, 2024. С. 117-118.

53. Демиров, В. И. Перспективы применения противотурбулентных присадок для транспортировки нефтепродуктов по сборно-разборным трубопроводам / В. И. Демиров, Н.Н. Голунов, Б.Н. Мастобаев // Книга: Трубопроводный транспорт - 2024. Материалы XIX Международной научно-практической конференции, приуроченной к 95-летию со дня рождения профессора В.Ф. Новоселова и к 15-летию со дня образования ООО "НИИ Транснефть". В 2-х томах. Уфа, 2024. С. 97–99.

54. Демиров, В. И. Применение мягких резервуаров для доставки и хранения нефтепродуктов в военных условиях / В. И. Демиров, Б.Н.

Мастобаев, Н.Н.Голунов // История и педагогика естествознания. 2024. – № 3-4. – С. 13–23.

55. Демиров, В. И. Роль и место службы горючего в системе материально-технического обеспечения военной организации государства в современных условиях / В. И. Демиров, В. В. Середа, А. А. Кудимов // Военная мысль. – 2020. – № 6. – С. 75–83.

56. Демиров, В. И. Устройство для определения давления насыщенных паров топлив: патент на изобретение № 2046309 от 20 октября 1995 г. / В. И. Демиров, М. А. Егоров, В. И. Кабанов, Д. В. Емец.

57. Демиров, В. И. Чем заменим ТУМ-150В? Войска нуждаются в новой машине для механизированного монтажа полевого магистрального трубопровода / В. И. Демиров, В.А. Маркин, С.А. Симачков // Материально-техническое обеспечение ВС РФ. М.: ФГБУ РИЦ «Красная звезда Минобороны России». – 2024. – Июль, № 7. – С. 96–106.

58. Демиров, В.И. Легкобронированный маслозаправщик / А.Е. Клименко, В.В. Михайлов, С.В. Губин, И.С. Вершинин, А.А. Ким, Д.А. Клименко, Р.Г. Непаридзе, М.С. Михайлов // Патент № 230128 от 18 ноября 2024 г.

59. Демиров, В.И. Методика обоснования создания складской системы обеспечения горючим военного округа / В. И. Демиров, А. А. Липский, Ю. А. Козулев // Научный вестник Вольского военного института материального обеспечения: военно-научный журнал. – 2019. – № 2 (50). – С. 73–77.

60. Демиров, В.И. Передвижная перекачивающая насосная установка / В.И. Демиров, И.Р.Габдрашитов, Б.Н. Мастобаев, Н.Н. Голунов, А.Е. Клименко // Патент № 233794 от 5 мая 2025 г.

61. Демиров, В.И. Уникальные объекты службы горючего / В. И. Демиров, Г. Н. Очеретин, В. В. Артемов, В. С. Ганин, Н. С. Рушкин // Журнал «Материально-техническое обеспечение ВС РФ». – М. : ФГБУ РИЦ «Красная звезда Минобороны России», 2022. – Сентябрь, № 9 (33). – С. 44–53.

62. Елькин, А. В. Концептуальные подходы к созданию сборно-разборных трубопроводов нового поколения / А. В. Елькин, В. В. Середа. – М. : ФАУ «25 ГосНИИхиммотологии Минобороны России»; Ярославль : Факел, 2017. – 624 с.

63. Елькин, А. В. Принципы создания и обеспечения устойчивого функционирования композитных сборно-разборных трубопроводов / А. В. Елькин, Ал. В. Елькин, В. А. Маркин. – М. : ФАУ «25 ГосНИИхиммотологии Минобороны России», 2021. – 432 с.

64. Ефременков, А. Командование воинских перевозок сухопутных войск США / А. Ефременков, В. Максимович // Зарубежное военное обозрение. – 2022. – № 8. – С. 37–43.

65. Журнал «Измерительная техника». – 1970. – № 2. – Изд-во Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР.

66. Знаменитые трубопроводы. Подводный трубопровод через Ладожское озеро [Электронный ресурс] // Transenergostroy.ru. – Режим доступа:

http://transenergostroy.ru/blog/znamenitye_truboprovody_podvodnyy_truboprovod_cherez_ladozhskoe_ozero.html (дата обращения: 17.04.2023).

67. Ивагин, В.С. Методика определения возможных потерь автомобильных средств заправки и транспортирования горючего в ходе боевых действий / В. С. Ивагин, В. А. Козулев, В. И. Демиров // Региональные аспекты управления, экономики и права Северо-западного федерального округа России. Межвузовский сборник научных трудов. – Санкт-Петербург, 2019. – № 2 (47). – С. 139–146.

68. Иванов, А. В. Опыт обеспечения горючим армии США в Ираке и Афганистане / А. В. Иванов // Военная мысль. – 2019. – № 4. – С. 116–123.

69. Иванов, С. Командование воздушных перебросок ВВС США / С. Иванов // Зарубежное военное обозрение. – 2018. – № 8. – С. 55–62.

70. Иванова, Г. С. Оптимизирующие преобразования алгоритмов решения задач на графах / Г. С. Иванова, В. А. Овчинников. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2025. – 232 с.
71. Иваньков, П. А. Местность и ее влияние на боевые действия войск / П. А. Иваньков, Г. В. Захаров. – М. : Воениздат, 1969.
72. Информационно-технический бюллетень службы горючего № 25. – Ульяновск : Военная академия тыла и транспорта (ВАТТ), 2001. – 93 с.
73. Использование полевых магистральных трубопроводов и нефтепродуктопроводов для обеспечения войск горючим / В. В. Никитин, Н. И. Мамыкин, В. А. Гладкий, В. Г. Акунин [и др.]. – М. : Воениздат, 1976.
74. История Тыла Российских Вооруженных (XVIII–XX вв.). Кн. 4: История развития системы тылового обеспечения Вооруженных Сил Советского Союза и Российской Федерации после окончания второй мировой войны (1945–2000 гг.). – СПб. : ВАТТ, 2000. – 340 с.
75. К тушению пожаров подключились трубопроводные войска [Электронный ресурс] // Вести.Ru. – Режим доступа: <http://www.vesti.ru/doc.html?id=383870> (дата обращения: 25.05.2024).
76. Каграманьян, Б. Р. Организационная структура и возможности трубопроводных соединений и частей / Б. Р. Каграманьян. – Ульяновск, 1980.
77. Каграманьян, Б. Р. Тактика трубопроводных соединений и частей: учебное пособие. Ч. 1, 2 / Б. Р. Каграманьян. – Ульяновск : УВВТУ, 1995.
78. Каштанов, В. А. Теория надежности сложных систем / В. А. Каштанов, А. И. Медведев. – М. : Физматлит, 2010. – 608 с.
79. Кильянов, М. Ю. К вопросу подготовки воды, используемой для системы заводнения, при условии обеспечения экологического мониторинга процесса / М. Ю. Кильянов, Л. В. Игrevский, В. А. Лавренчук, В. И. Демиров [и др.]. - Текст : непосредственный // Российская академия естественных наук. Вестник Российской Академии естественных наук = Bulletin of Russian Academy of Natural Sciences : общественно-научный журнал. - 2024. - Т. 24, № 1. - С. 25-33.

80. Кларк, А. Ч. Голос через океан / А. Ч. Кларк. – М. : Связь, 1964.
81. Клименко, А. Е. Топливозаправщик – амфибия: патент на полезную модель № 211671 от 16 июня 2022 г. / А. Е. Клименко, В. В. Михайлов, В. И. Демиров, И. В. Джура и др.
82. Ковалев, И. В. Транспорт в Великой Отечественной войне (1941–1945 гг.) / И. В. Ковалев. – М. : Наука, 1981. – 480 с.
83. Коваленко, В. Г. Автомобильные цистерны-заправщики для транспортирования жидких, сыпучих и газообразных грузов / В. Г. Коваленко. – М. : МАДИ, 1979. – 85 с.
84. Коваленко, В. Г. Сборно-разборные трубопроводы / В. Г. Коваленко, В. В. Бойко, Б. В. Курятов. – М. : Недра, 1972. – 200 с.
85. Концепция применения полевых сборно-разборных трубопроводов Министерства обороны РФ при ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – М. : ВИНТИ, 2003. – № 4. – С. 104–115.
86. Концепция строительства Вооруженных Сил Российской Федерации до 2030 года [Электронный ресурс] // Convdocs.org. – Режим доступа: <http://ru.convdocs.org/docs/index-216020.html> (дата обращения: 28.01.2021).
87. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов; под общ.ред. Ю. Л. Воробьева; МЧС России. – М. : ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312 с. – ISBN 5-9517-0008-6.
88. Лисин, Ю. В. Химические реагенты в трубопроводном транспорте нефти и нефтепродуктов / Ю. В. Лисин, Б. Н. Мастобаев, А. М. Шаммазов, Э. М. Мовсумзаде. – СПб. : Недра, 2012. – 359 с.
89. Макаренко, О. А. Развитие средств заправки и доставки нефтепродуктов на АЗС / О. А. Макаренко, Б. Н. Мастобаев. – СПб. : Недра, 2016. – 568 с.
90. Маркин, В. А. К вопросу механизированного монтажа полевого магистрального трубопровода / В. А. Маркин, С. А. Симачков // Труды 25

ГосНИИ МО РФ. – Вып. 3. – М. : ФГБУ РИЦ «Красная звезда Минобороны России», 2023. – С. 224–236.

91. Маркин, В. А. Применение трубопроводных частей для обеспечения войск горючим по модульному принципу / В. А. Маркин, Д. И. Мельников, Д. А. Дроздов, И. В. Горожанин // Материально-техническое обеспечение Вооруженных Сил Российской Федерации. – 2023. – № 1 (37). – С. 9–18.

92. Становление и развитие технических средств и технологий транспорта нефти и нефтепродуктов / Научно-техническая монография / Б.Н. Мастобаев, О.А. Макаренко, Ю.Д. пережогин, Р.Н. Бахтизин – Спб:Недра, 2021– 744с.

93. Мастобаев, Б. Н. История применения химических реагентов и технологий в трубопроводном транспорте нефти и нефтепродуктов: дис. ... д-ра техн. наук: 07.00.10, 02.00.13 / Мастобаев Борис Николаевич. – Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2003. – 362 с.

94. Мастобаев, Б. Н. Химические средства и технологии в трубопроводном транспорте нефти / Б. Н. Мастобаев, А. М. Шаммазов, Э. М. Мовсумзаде. – М. : Химия, 2002. – 296 с.

95. Материалы всеармейского совещания работников службы снабжения горючим (25 марта – 1 апреля 1946 года) / Управление снабжения горючим вооруженных сил СССР. – Ч. 1: Доклады. – М., 1946.

96. Материально-техническое обеспечение в Великой Отечественной войне. – М. : М-во обороны РФ, 2020.

97. Матусьяк, В. Трубопровод под Ладогой. Информационно-аналитический портал «Нефть России» [Электронный ресурс] // Oilru.com. – Режим доступа: <http://oilru.com/nr/145/3045> (дата обращения: 17.04.2023).

98. Мельников, Д. И. Автоматизированная система индикации расхода и контроля герметичности полевых магистральных трубопроводов / Д. И.

Мельников, А. И. Голеницкий // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. – № 51. – М., 1998. – С. 235–240.

99. Мельников, Д. И. Особенности операции по обеспечению питьевой водой населенных пунктов КРЫМА / Д. И. Мельников, С. Л. Копнышов, Н. И. Седых // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. – № 1.

100. Мельников, Д. И. Применение автоматизированного программного обеспечения при проведении оперативных гидравлических расчетов полевого магистрального трубопровода / Д. И. Мельников, Д. А. Дроздов, П. Ю. Мясин и др. // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2024. – Вып. 2 (148). – С. 152–168.

101. Мельников, Д. И. Развертывание полевых магистральных трубопроводов через крупные водные преграды: уроки и выводы / Д. И. Мельников, Л. В. Соев, А. С. Барашкин // Военная мысль. – 2021. – № 9. – С. 85–98.

102. Минобороны РФ для тушения пожаров проложило более 100 км трубопроводов [Электронный ресурс] // РБК. – Режим доступа: <http://www.rbc.ru/rbcfreenews/20100816134959.shtml> (дата обращения: 25.05.2024).

103. Михайлов, В. В. Организация связи в трубопроводных соединениях и частях: учебное пособие / В. В. Михайлов. – Ульяновск, 2000.

104. Михайлов, Р. Л. Система управления стратегическими перебросками вооруженных сил США: монография / Р. Л. Михайлов, А. А. Потапов. – СПб. : Научные технологии, 2024. – 134 с.

105. Михеев, Ю. М. Мягкий резинотканевый резервуар емкостью 6 м³ / Ю. М. Михеев // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 1976. – № 9. – С. 9–11.

106. Михеев, Ю. М. Опыт эксплуатации резинотканевых резервуаров / Ю. М. Михеев, П. Х. Мариченко // Транспорт и хранение нефтепродуктов и нефтехимического сырья. – 1967. – № 2. – С. 23–26.

107. Михеев, Ю. М. Передвижные резервуары и тара для хранения и транспортирования нефтепродуктов / Ю. М. Михеев, Д. И. Овчинин. – М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1983. – 68 с.

108. Можно ли навсегда избавить Подмосковье от торфяных пожаров. Методы борьбы с огнем анализируют эксперты [Электронный ресурс] // Комсомольская правда. – Режим доступа: <http://kp.ru/daily/24540.5/719763/> (дата обращения: 25.05.2024).

109. Мокроусов, А. С. Военно-экономическое обоснование технической оснащённости полевых складов горючего Министерства обороны Российской Федерации / А. С. Мокроусов, С. Н. Пришельцев, А. С. Суяров // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2020. – № 7-8 (145-146). – С. 153–158.

110. Мокроусов, А. С. Методика автоматизации системы работы складов системы материально-технического обеспечения группировки войск (сил) / А. С. Мокроусов, Д. В. Учеватов // Материально-техническое обеспечение военной организации государства в условиях современных вызовов : Сборник научных статей XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Пермь, 17 февраля 2023 года. Том Часть I. – Пермь : Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации», 2023. – С. 229–236.

111. Мурадов, А.В. Способ снижения потерь светлых нефтепродуктов в процессе их хранения на объектах разработки нефтегазовых месторождений / А.В. Мурадов, В.И. Демиров, М.Ю. Кильянов, А.И. Лавренчук, С.В. Назаров // Инженер-нефтяник. – 2024. – №2. – С. 19–23.

112. Муратова, В. И. Оценка влияния противотурбулентных присадок на гидравлическую эффективность работы нефтепродуктопроводов: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19 / Муратова Вера Ивановна. – Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2014. – 148 с.

113. Мягкие резервуары для ГСМ [Электронный ресурс] // DY100.ru. – Режим доступа: <https://dy100.ru/tech/rezervuars/myagkie-rezervuaryi-dlya-gsm.html> (дата обращения: 30.03.2024).

114. Направления развития полевых магистральных трубопроводов и трубопроводных войск в современных условиях. – М. : ООО «Воентехлит», 2000. – 105 с.

115. Нечваль, А. М. Оценка влияния путевой деструкции противотурбулентной присадки на ее гидравлическую эффективность / А. М. Нечваль, В. И. Муратова, Ян Чэнь // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2017. – № 1. – С. 43–49.

116. Никитин, В. В. 30 лет во главе Службы горючего: (Сборник трудов) / В. В. Никитин. – М. : Воентехлит, 1999. – 636 с.

117. Никитин, В. В. Горючее – фронту / В. В. Никитин. – М. : Воениздат, 1984. – 205 с.

118. Около 200 км трубопроводов проложили военные в центре России для борьбы с пожарами [Электронный ресурс] // Интерфакс. – Режим доступа: <http://www.interfax.ru/society/news.asp?id=148777> (дата обращения: 25.05.2024).

119. Отечественный трубопроводный транспорт / Б. Е. Щербина, Ю. И. Боксерман и др. – М. : Недра, 1981. – 271 с.

120. ОТТ-23.040.00-КТН-104-17. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Присадки противотурбулентные. Общие технические требования. – М. : ПАО «Транснефть», 2019.

121. ОТТ-23.040.00-КТН-232-16. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Установка для ввода противотурбулентных присадок. Общие технические требования. – М. : ПАО «Транснефть», 2019.

122. Отчет о работе 6-х Всесоюзных сборов руководящего состава службы снабжения горючим (27 февраля – 3 марта 1956 г.). – М. : УСГ МО СССР, 1956.

123. Параходов, Д. Организация воздушных перебросок военно-воздушными силами США / Д. Параходов // Зарубежное военное обозрение. – 2022. – № 6. – С. 62–66.

124. Патент 198990 от 28.06.1967 г. «Устройство для погрузки и выгрузки труб».

125. Патент 492627 от 25.11.1975 г. «Дозатор для труб к трубомонтажной машине».

126. Патент 502173 от 05.02.1976 г. «Бункер для труб».

127. Патент RU 2620185 С1 от 23.05.2017 г. «Мобильное средство для монтажа трубопроводных модулей».

128. Патент RU 2791635 С1 от 13.03.2023 г. «Трубомонтажная машина для сооружения линии нефтепродуктопроводов».

129. Патент на полезную модель RU 92036 от 26.10.2009 г. «Трубодемонтажная машина трубопровода с соединением «Раструб».

130. Пирогов, Ю. Н. Автотопливозаправщик массовой выдачи и модели вариантов его применения / Ю. Н. Пирогов, Ф. Е. Шарыкин, В. В. Безручкин, Г. Е. Шарыкин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 5. – С. 202–214.

131. Пирогов, Ю. Н. Методические подходы к оценке военно-технической эффективности применения комплектов групповой заправки летательных аппаратов армейской авиации / Ю. Н. Пирогов, Ф. Е. Шарыкин, В. В. Безручкин // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. – 2018. – Вып. № 58. – С. 493–502.

132. Плотникова, К. М. Влияние технологии производства и компонентного состава дизельных топлив на их низкотемпературные свойства / К. М. Плотникова, Н. М. Лихтерова, С. В. Шишаев, В. В. Середа // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. – 2022. – № 60. – С. 81–91.

133. Полевые магистральные трубопроводы повышенной производительности. Руководство по эксплуатации (РЭ). – М. : Воениздат, 1982. – 368 с.

134. Полевые трубопроводы: учебное пособие. – М. : Воениздат, 1987.
135. Положение о трубопроводных войсках. – М. : Воениздат, 1987.
136. Противопожарный армейский аутсорсинг. Переходя на новый облик, Минобороны сократило в войсках все трубопроводные бригады [Электронный ресурс] // Независимая газета. – Режим доступа: http://www.ng.ru/nvo/2010-08-09/1_army.html (дата обращения: 25.05.2024).
137. Профессионально о нефти [Электронный ресурс] // Neftepro.ru. – Режим доступа: <http://www.neftepro.ru/> (дата обращения: 25.05.2024).
138. Рабинович, Е. 3. Гидравлика / Е. 3. Рабинович. – М. : Госиздат, 1963.
139. Раздел «Повышение пропускной способности трубопроводов» [Электронный ресурс] // Официальный сайт группы компаний «Миррико». – URL: <https://mirrico.ru/services-products/hydrocarbons/increase/> (дата обращения: 25.05.2024).
140. Раздел «Продукция», официальный сайт ООО «Транснефть – Синтез» [Электронный ресурс] // [Synthesis.Transneft.ru](https://synthesis.transneft.ru/customers/products/?ysclid=m63ya8p5o1448975907). – Режим доступа: <https://synthesis.transneft.ru/customers/products/?ysclid=m63ya8p5o1448975907> (дата обращения: 25.05.2024).
141. Разработка плана технического прикрытия системы трубопроводного транспорта нефтепродуктопроводов в интересах обеспечения обороны Российской федерации. – М. : ФГУП «25 ГосНИИ Минобороны России», 2004.
142. Ревель-Муроз, П. А. Полимерные агенты снижения гидродинамического сопротивления для тяжелой нефти / П. А. Ревель-Муроз, Г. В. Несын, Ф. С. Зверев, А. Ю. Ляпин // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2016. – № 4 (24). – С. 42–47.
143. Ревин, В.В. Методика обоснования вместимости полевого склада горючего для обеспечения горючим группировки войск (сил) в современных операциях / В. В. Ревин, В. И. Демиров, В. А. Козулев // Региональные аспекты управления, экономики и права Северо-западного федерального округа России. – 2019. – № 2 (47). – С. 308–313.

144. Романов, В. Морские перевозки в вооруженных силах США / В. Романов // Зарубежное военное обозрение. – 2021. – № 3. – С. 69–76.
145. Романов, В. Морские перевозки вооруженных сил США судами коммерческих компаний / В. Романов // Зарубежное военное обозрение. – 2021. – № 12. – С. 63–67.
146. Романов, В. Стратегические переброски вооруженных сил США / В. Романов // Зарубежное военное обозрение. – 2021. – № 7. – С. 10–16.
147. Российские военные завершили прокладку полевых водопроводов в Крыму [Электронный ресурс] // Вестник Кавказа. – Режим доступа: <http://vestikavkaza.ru/news/Rossiyskie-voennye-zavershili-prokladku-polevykhvodoprovodov-v-Krymu.html> (дата обращения: 25.05.2024).
148. Руководство по эксплуатации полевых магистральных трубопроводов. – М. : Воениздат, 1982.
149. Рыбаков, Ю. Н. Перспективы развития полевых складов горючего / Ю. Н. Рыбаков, О. Д. Харламова, Р. И. Кюннап и др. // Научный вестник московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2014. – № 206. – С. 122–126.
150. Салихов, Р. Трубопровод для победы / Р. Салихов // Трубопроводный транспорт нефти. – 2010. – № 4. – С. 37–39.
151. Сафаров, М. М. Разработка алгоритма трассировки промысловых трубопроводов с помощью теории графов / М. М. Сафаров, К. С. Воронин // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина. – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2017. – С. 749–750.
152. Сборно-разборные трубопроводы / Д. У. Думболов, Д. И. Мельников, Д. А. Дроздов // Neftegaz.RU. – 2015. – № 5.
153. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019611688 Российская Федерация. Программа расчета среднего

времени налива нефтепродуктов для военно-экономического обоснования технической оснащённости полевых объектов службы горючего: № 2018663975: заявл. 04.12.2018: опубл. 01.02.2019 / А. С. Мокроусов, Б. С. Квашнин, С. В. Стулов [и др.]; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации.

154. Серегин, Е. П. Развитие химмотологии / Е. П. Серегин. – М. : Первый том, 2018.

155. Середа, В. А. Методика разработки присадок для моторных топлив / В. А. Середа, А. А. Рудакова // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. – 2016. – № 57. – С. 184–192.

156. Середа, В. В. Автоматизированная система мониторинга процессов применения сборно-разборных трубопроводов / В. В. Середа, Ал. В. Елькин, Г. Г. Калашник, Л. В. Сео́ев // Наука и технологии. Т. 2 : Материалы XXXIX Всероссийской конференции. – М. : РАН, 2019. – 99 с.

157. Середа, В. В. Использование сборно-разборных трубопроводов в системе нефтепродуктообеспечения / В. В. Середа, Д. И. Мельников, Д. А. Дроздов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2016. – № 3 (23). – С. 29–37.

158. Середа, В. В. Концепция развития полевых сборно-разборных трубопроводов МО РФ при ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера / В. В. Середа, Д. И. Мельников, М. А. Шахрамьян, А. А. Братков // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Информационный сборник. – Вып. № 4. – М. : ВИНТИ, 2003. – С. 104–118.

159. Середа, В. В. Организация выдачи горючего из магистрального нефтепродуктопровода и его транспортирование по полемому магистральному трубопроводу в интересах Вооруженных сил Российской Федерации / В. В. Середа, Д. И. Мельников, Д. А. Дроздов // Военная мысль. – 2019. – № 2. – С. 58–66.

160. Серeda, В. В. Полевые сборно-разборные трубопроводы – создание, развитие, применение / В. В. Серeda. – М. :Воентехлит, 2001. – 352 с.

161. Серeda, В. В. Применение средств измерения в автоматизированной системе контроля и управления транспортированием нефтепродуктов при эксплуатации сборно-разборных трубопроводов / В. В. Серeda, Г. Г. Калашник, Д. И. Мельников, Ал. В. Елькин. – М. : ФАУ «25 ГосНИИхиммотологии Минобороны России», 2018. – С. 544–562.

162. Серeda, В. В. Процессы, приводящие к потере прочности соединений полевых магистральных трубопроводов / В. В. Серeda, А. И. Кузнецов, А. В. Елькин, Д. И. Мельников // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 1999. – № 7.

163. Серeda, В. В. Сборно-разборные трубопроводы нового поколения в системе материально-технического обеспечения войск. Часть I / В. В. Серeda, А. В. Елькин, В. А. Маркин // Материально-техническое обеспечение Вооруженных Сил Российской Федерации. – 2021. – № 8. – С. 62–69.

164. Серeda, В. В. Сборно-разборные трубопроводы нового поколения в системе материально-технического обеспечения войск. Часть II / В. В. Серeda, А. В. Елькин, В. А. Маркин // Материально-техническое обеспечение Вооруженных Сил Российской Федерации. – 2021. – № 9. – С. 55–62.

165. Служба горючего Советских Вооруженных Сил (Исторический очерк): типография Ульяновского высш. воен.-техн. училища им. Б. Хмельницкого, 1986. – 296 с.

166. Создание трубопроводно-складской системы – одно из основных направлений концепции развития службы горючего на современном этапе // Информационно-технический бюллетень службы горючего. – 1996. – № 23. – Ульяновск : УФ ВАТТ, 1996. – С. 68–70.

167. Солодов, П. А. Химические решения ГК «Миррико» в области трубопроводного транспорта жидких углеводородов / П. А. Солодов, К. А. Лосев, Ю. В. Селуйманова, А. Г. Егоров, А. Ю. Жуков, А. А. Филиппов // Нефтегазовая Вертикаль. – 2014. – № 10. – С. 32–35.

168. Стулов, С. В. Логистико-интеграционная оценка уровня оптимальности процессов организации материального обеспечения войск (сил) ОДКБ в условиях гибридных угроз / С. В. Стулов, А. С. Мокроусов // Вестник СамГУПС. – 2020. – № 1 (47). – С. 45–50.

169. Судовой состав командования морских перевозок ВМС США // Зарубежное военное обозрение. – 2024. – № 3. – С. 85–91.

170. Тактика трубопроводных войск. – М. : Воениздат, 1979. – 280 с.

171. Тактико-специальное учение трубопроводных войск КВО по взаимодействию ПМТ-150 со стационарным нефтепродуктопроводом Куйбышев – Брянск – Найтоповичи (май – июнь 1969 г.). – Киев : ОСГ КВО, 1969.

172. Технические средства служб тыла: справочник / Министерство обороны СССР. – Москва : Военное издательство, 1979.

173. Технические средства тылового обеспечения: справочник / Министерство обороны Российской Федерации. – Москва : Военное издательство, 2003.

174. Устав организации системы трубопроводов НАТО и смежных топливных объектов. – 2004.

175. Хранение и транспорт горючего с использованием эластичных резервуаров в СВ США [Электронный ресурс] // Pentagonus.ru. – Режим доступа:

http://pentagonus.ru/publ/khranenie_i_transport_gorjuchego_s_ispolzovaniem_elastichnykh_rezervuarov_v_sv_ssha_2015/11-1-0-2627 (дата обращения: 30.03.2024).

176. Хранение нефтепродуктов в полевых условиях: с чего все начиналось [Электронный ресурс] // Дзен. – Режим доступа: <https://dzen.ru/a/Wvk7sp1cs0aOMFtQ> (дата обращения: 30.03.2024).

177. Цапаев, С. А. Горючее – фронту / С. А. Цапаев. – М. : М-во обороны РФ, 2020.

178. Чертанов, В. Реорганизация Командования морских перевозок ВМС США / В. Чертанов // Зарубежное военное обозрение. – 2012. – № 12. – С. 68–70.

179. Что такое разборные трубопроводы ПМТП и ПМТ. Чем они отличаются. Сборно-разборные полевые магистральные трубопроводы ПМТП-150, ПМТБ-200, ПМТ-150 и ПМТ-100 [Электронный ресурс] // PMTP150.RU. – Режим доступа: <http://www.pmt150.ru/> (дата обращения: 25.05.2024).

180. Шарыкин, Ф. Е. Проблемы и перспективы развития средств заправки и транспортирования горючего / Ф. Е. Шарыкин, В. П. Коваленко, С. А. Галко // Материалы межвузовской научно-исторической конференции. – Вольск, 2016. – С. 4–10.

181. Шахмаев, С. Н. Топливные артерии страны / С. Н. Шахмаев. – М. : Недра, 1988.

182. Шеин, К. Г. Трубопроводы спецназа / К. Г. Шеин. – Тула : Свамия, 2020. – 448 с..

183. Шеин, К. Г. Трубопроводным войскам 50 лет / К. Г. Шеин, В. В. Середа, И. Г. Данильченко; под ред. Г. Н. Очеретина. – М. : ООО «Грاليا М», 2005. – 792 с.

184. Ширшов, П. Силы заблаговременного складирования на море ВС США. Ч. 2 / П. Ширшов // Зарубежное военное обозрение. – 2016. – № 11. – С. 68–78.

185. Ширшов, П. Система заблаговременного складирования вооружения и военной техники ВС США. Ч. 1 / П. Ширшов // Зарубежное военное обозрение. – 2016. – № 10. – С. 34–42.

186. Щурова, Е. В. Развитие и совершенствование конструктивных решений по обеспечению герметичности резервуаров различного типа / Е. В. Щурова, Н. Н. Голунов. – СПб. : Недра, 2023. – 304 с.

187. Экономическая интеграция Тыла Вооруженных Сил и ОАО «АК «Транснефтепродукт» (по опыту учений) / В. Н. Данилов, К. Г. Шеин, А. М. Смуров, С. А. Лебедев // Военно-экономический вестник. – 2003. – № 10.

188. Яблонский, В. С. Проектирование, эксплуатация и ремонт нефтепродуктопроводов / В. С. Яблонский, В. Ф. Новоселов, В. Б. Галеев, Г. З. Закиров. – 1965.

189. Яковлева-Устинова, Т. Артерия жизни для осажденного Ленинграда / Т. Яковлева-Устинова // Трубопроводный транспорт нефти. – 2017. – № 5. – С. 38–41.

190. Air Force & Space Force Almanac 2023 // Air Force Magazine. – 2023. – Vol. 106, No. 6–7. – 152 p.

191. Air Mobility Command [Electronic resource] // United States Air Force. – URL: <https://www.scott.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/1592299/air-mobility-command/> (date of access: 25.05.2024).

192. Central Europe Pipeline System (CEPS) [Electronic resource] // NATO. – URL: <https://www.nato.int/> (date of access: 24.01.2023).

193. Chamberlain, P. British and American Tanks of World War II / P. Chamberlain, C. Ellis. – New York : Arco Publishing, 1969.

194. Dungeness [Electronic resource] // Liberation Route Europe. – URL: <https://www.liberationroute.com/pois/352/dungeness> (date of access: 17.04.2023).

195. Ensin Rufus Dj. Mur. Operation «Pluton» / Rufus Dj. Mur Ensin // United States Naval Institute Proceedings. – June 1954. – Vol. 80, No. 6. – P. 616.

196. Jane's Fighting Ships 2017–2018. – L. : IHS Global Limited, 2017. – 1034 p.

197. Kou, L. A Fast Algorithm for Steiner Trees / L. Kou, G. Markowsky, L. Berman // Acta Informatica. – 1981. – Vol. 15, No. 2. – P. 141–145. – URL: <https://doi.org/10.1007/BF00288961>.

198. Mehlhorn, K. A Faster Approximation Algorithm for the Steiner Problem in Graphs / K. Mehlhorn // Information Processing Letters. – 1988. – Vol. 27, No. 3. – P. 125–128. – URL: [https://doi.org/10.1016/0020-0190\(88\)90066-X](https://doi.org/10.1016/0020-0190(88)90066-X).

199. Military Sealift Command [Electronic resource] // United States Navy. – URL: <https://www.msc.usff.navy.mil> (date of access: 25.05.2024).

200. Military Sealift Command 2020–2021 Handbook. – 65 p.

201. National Defense Reserve Fleet [Electronic resource] // United States Department of Transportation. – URL: <https://cms.marad.dot.gov/national-defense-reserve-fleet/ndrf/maritime-administration%E2%80%99s-ready-reserve-force> (date of access: 25.05.2024).

202. National Defense Reserve Fleet Inventory For the Month Ending February 29, 2024. – MAR-610, Office of Ship Operations, Fleet Program Management, March 01, 2024. – 18 p.

203. National Defense Reserve Fleet Inventory For the Month Ending July 31, 2022. – MAR-610, Office of Ship Operations, Fleet Program Management, August 01, 2022. – 16 p.

204. National Defense Reserve Fleet Inventory For the Month Ending June 30, 2022. – MAR-610, Office of Ship Operations, Fleet Program Management, July 14, 2022. – 16 p.

205. NAVY Readiness Actions Needed to Maintain Viable Surge Sealift and Combat Logistics Fleets: Report to Congressional Committees, GAO-17-503 [Electronic resource] // United States Government Accountability Office. – August 2017. – 38 p. – URL: <https://www.gao.gov/products/GAO-17-503> (date of access: 25.05.2024).

206. Operation «Pluto» [Electronic resource] // Codenames.info. – URL: <https://codenames.info/operation/pluto/> (date of access: 17.04.2023).

207. Operation Pluto [Electronic resource] // United States Naval Institute. – URL: <https://www.usni.org/magazines/proceedings/1954/june/operation-pluto> (date of access: 17.04.2023).

208. Pipelines Under The Ocean [Electronic resource] // Global Energy Monitor Wiki. – URL: https://www.gem.wiki/Pipelines_Under_The_Ocean (date of access: 17.04.2023).

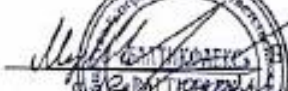
209. Powell, H. Gasoline for the Army / H. Powell // Popular Science. Mechanics & Handicraft. – 1942. – Vol. 140, No. 3. – P. 62–67.

210. Toms, B. A. Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers / B. A. Toms // Proceedings of the 1st International Congress on Rheology. – Vol. 2. – North Holland, 1949. – P. 135–141.

211. Albert R., Jeong H., Barabási A.-L. Error and attack tolerance of complex networks. Nature, 2000. Vol. 406, No. 6794. P. 378–382. <https://doi.org/10.1038/35019019>

ПРИЛОЖЕНИЕ – Акты внедрения

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ООО «БАЛТИКФЛЕКС»


Везручкин А.И.
03.02.2025 г.



АКТ

внедрения результатов диссертационной работы
Демирова Владимира Ивановича

на тему:

**«ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ
СИСТЕМЫ НЕФТЕПРОДУКТООБЕСПЕЧЕНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СБОРНО-РАЗБОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ»**

Комиссия в составе: председателя – технического директора, кандидата физико-математических наук, доцента Андреева Владимира Михайлович, членов комиссии: директора по производству Смирнова Дмитрия Юрьевича, ведущего инженера-конструктора Яновой Варвары Викторовны рассмотрела материалы диссертационной работы Демирова Владимира Ивановича на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему: «Повышение эффективности и надежности системы нефтепродуктообеспечения с использованием сборно-разборных трубопроводов».

Комиссия подтверждает, что результаты диссертации Демирова В.И. использованы в производственной деятельности ООО «БАЛТИКФЛЕКС», в частности, при разработке тактико-технических требований на комплект бесприкальной заправки топливом кораблей на рейде БЗКР-100Э и при разработке технических условий и рабочей конструкторской документации на комплект многоцелевого плоскосворачиваемого трубопровода КМПТ-100-2,5.

Председатель комиссии:

Технический директор,
кандидат физ.-мат. наук, доцент

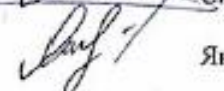

Андреев В.М.

Члены комиссии:

Директор по производству


Смирнов Д.Ю.

Ведущий инженер-конструктор


Янова В.В.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника ВВИМО



научной и учебной работе

кандидат педагогических наук, доцент

А. Немчинов

2024 г.

Экз. № 1

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы на тему:
 «Повышение эффективности и надежности системы нефтепродуктообеспечения
 с использованием сборно-разборных трубопроводов»
 на соискание ученой степени кандидата технических наук
 Демирова Владимира Ивановича

Комиссия в составе: председателя – начальника 16 кафедры (применения ракетного топлива и горючего) кандидата технических наук, доцента, полковника Николаева А.Г., членов комиссии – старшего преподавателя 15 кафедры (обеспечения ракетным топливом и горючим) кандидата технических наук, подполковника Михайлова В.В., старшего преподавателя кафедры (применения ракетного топлива и горючего) кандидата технических наук, подполковника Титаренко А.К., старшего преподавателя кафедры (применения ракетного топлива и горючего) кандидата технических наук, подполковника Афонина М.А. составила настоящий акт о том, что в филиале Федерального государственного военного казенного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации в г. Вольске результаты диссертационного исследования рассмотрены на заседании межкафедральной предметно-методической комиссии протокол №11 от 7 июня 2024 года и внедрены в учебный процесс 15 кафедры (обеспечения ракетным топливом и горючим) при проведении занятий по дисциплине «Проектирование, сооружение и эксплуатация магистральных трубопроводов» тема № 4: «Сооружение систем и объектов транспорта углеводородов» и 16 кафедры (применения ракетного топлива и горючего) при проведении занятий по дисциплине «Основы нефтегазового дела» тема № 4: «Промысловый сбор и подготовка нефти и газа».

Основные положения и результаты диссертационного исследования Демирова В.И. считать внедренными в учебный процесс 15 кафедры (обеспечения ракетным топливом и горючим) и 16 кафедры (применения ракетного топлива и горючего).

Председатель комиссии:

Начальник 16 кафедры (применения ракетного топлива и горючего)
кандидат технических наук, доцент
полковник



А. Николаев

Члены комиссии:

Старший преподаватель 15 кафедры
(обеспечения ракетным топливом и горючим)
кандидат технических наук
подполковник



В. Михайлов

Старший преподаватель 16 кафедры
(применения ракетного топлива и горючего)
кандидат технических наук
подполковник



А. Титаренко

Старший преподаватель 16 кафедры
(применения ракетного топлива и горючего)
кандидат технических наук
подполковник



М.Афонин



АКТ
внедрения результатов диссертационной работы
Демирова Владимира Ивановича в ООО «НЕАТЕХ»

Результаты диссертационной работы на тему: «Повышение эффективности и надежности системы нефтепродуктообеспечения с использованием сборно-разборных трубопроводов» на соискание ученой степени кандидата технических наук Демирова Владимира Ивановича рассмотрены комиссией ООО «НЕАТЕХ» в составе: председателя – заместителя генерального директора ООО «НЕАТЕХ» Богославского А.С., члена комиссии – главного конструктора ООО «НЕАТЕХ» Матвеева Д.А.

Заключение: Результаты диссертации Демирова В.И. использованы в деятельности ООО «НЕАТЕХ» при восстановлении рабочей конструкторской документации на комплект полевого магистрального трубопровода ПМТП-100.

Председатель комиссии:

Заместитель генерального
директора ООО «НЕАТЕХ»



А.С. Богославский

Члены комиссии:

Главный конструктор
ООО «НЕАТЕХ»



Д.А. Матвеев