

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи



Левин Максим Юрьевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ МОТОРНОГО ТОПЛИВА
ПРИ ХРАНЕНИИ**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

Диссертация
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук,
профессор Нагорнов С.А.

Липецк - 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	8
1 СОСТОЯНИЕ НАУЧНОЙ ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	17
1.1 Анализ технического состояния резервуарного парка для хранения моторного топлива на нефтескладах сельскохозяйственного назначения	17
1.2 Влияние изменения физико-химических показателей моторного топлива в процессе хранения на работоспособность сельскохозяйственной техники	24
1.2.1 Изменение фракционного состава и испаряемости топлив.....	24
1.2.2 Изменение содержания фактических смол и склонность топлив к образованию отложений.....	27
1.2.3 Изменение плотности топлив	29
1.2.4 Изменение содержания воды и коррозионные свойства топлив	29
1.2.5 Изменение содержания механических примесей	30
1.3 Причины изменения физико-химических свойств моторного топлива при хранении в стальных резервуарах и их классификация	31
1.4 Динамика изменения параметров моторного топлива от испарения при хранении в стальных наземных горизонтальных резервуарах	34
1.5 Динамика изменения содержания воды в моторном топливе при хранении в стальных наземных горизонтальных резервуарах.....	38
1.6 Анализ существующих методик расчета потерь моторного топлива из стальных резервуаров	40
1.7 Сравнительный анализ эффективности современных технических средств и методов сокращения потерь моторного топлива от испарения и возможность применения их для резервуаров сельских нефтескладов	47
1.8 Выводы. Цель и задачи исследования	55
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ХРАНЕНИИ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ	58

2.1 Факторы, влияющие на интенсивность испарения моторного топлива при хранении в стальных горизонтальных наземных резервуарах	58
2.2 Физико-химические процессы, протекающие при хранении топлива	64
2.3 Анализ влияния различных факторов на давление насыщенных паров топлива	66
2.4 Интенсификация испарения за счет реакций окисления	69
2.5 Метод расчета количества тепла переданного стенкам резервуара с учетом конвекции атмосферного воздуха	73
2.6 Метод расчета теплоотдачи от стенок резервуара моторному топливу	80
2.7 Расчет потерь моторного топлива от испарения с изменяемой поверхности в стальных наземных горизонтальных резервуарах	83
2.8 Причины несоответствия теоретических расчетов и реальных потерь моторного топлива от испарения.....	97
2.9 Расчет норм естественной убыли для резервуаров сельскохозяйственного назначения.....	103
2.10 Выводы	110
3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ПОТЕРЬ МОТОРНОГО ТОПЛИВА ПРИ ХРАНЕНИИ	112
3.1 Теоретические основы вихревого эффекта	112
3.2 Математическая модель температурного разделения в вихревой трубе.....	116
3.3 Корректировка математических моделей вихревого эффекта и проведение теоретических (имитационных) исследований	118
3.4 Пути увеличения эффекта охлаждения в вихревых трубах.....	119
3.5 Расчет и оптимизация пластинчато-ребристых теплообменных аппаратов для конденсации паров воды из атмосферного воздуха	120
3.6 Автоматизация резервуарного парка сельскохозяйственных нефтескладов	120

3.7 Концепция умного нефтесклада для снижения потерь моторного топлива при хранении.....	127
3.7.1 Метод интеллектуального управления нефтескладом с применением нейронной сети	128
3.7.2 Обеспечение экологически чистой энергией для автономной работы автоматизированного нефтехозяйства.....	133
3.7.3 Концепция виртуально облачной системы автоматизации	135
3.8 Выводы.....	143
4 МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТАННЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ МОТОРНОГО ТОПЛИВА	145
4.1 Общая методика исследований.....	145
4.2 Методика проведения экспериментов по охлаждению потока вихревой трубой	147
4.3 Методика проведения эксперимента по конденсации углеводородов	147
4.4 Методика проведения эксперимента по динамике изменения физико-химических показателей хранимого топлива.....	151
4.5 Методика проведения эксперимента по динамике изменения физико-химических показателей хранимого топлива в зависимости от испарения	152
4.6 Методика прогнозирования изменения параметров качества топлива от испарения при хранении с применением нейронной сети.....	152
4.6.1 Методика формирования массива данных для обучения нейронной сети	153
4.6.2 Программа для построения нейронной сети	154
4.7 Исследование поля температур в резервуаре.....	154
4.8 Программа для сбора технологических параметров с резервуара.....	155
4.8.1 Методика создания базы данных, их хранение и обработка	157
4.8.2 Датчики для сбора информации с резервуара.....	158

5 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ПОТЕРЬ МОТОРНОГО ТОПЛИВА ПРИ ХРАНЕНИИ	163
5.1 Обработка результатов исследований оборачиваемости резервуарного парка среднестатистического нефтесклада в сельском хозяйстве и снижения качества топлива при хранении	163
5.2 Сравнение соответствия существующих норм естественной убыли моторного топлива реальным потерям при его хранении в резервуарах сельских нефтескладов	168
5.3 Обработка результатов экспериментальных исследований вихревой трубы.....	182
5.4 Результаты испытаний вихревого модуля для конденсации углеводородов.....	184
5.6 Результаты исследования температурного поля в наземном горизонтальном цилиндрическом резервуаре	189
5.7 Результаты исследования динамики изменения физико-химических показателей дизельного топлива и бензина при хранении за год.....	192
5.8 Результаты исследования сохранения физико-химических показателей дизельного топлива и бензина вихревым модулем при его хранении за год.....	195
5.9 Результаты исследования динамики изменения физико-химических показателей дизельного топлива и бензина при хранении от испарения.....	197
5.10 Результаты исследования сохранения физико-химических показателей дизельного топлива и бензина вихревыми установками при его испарении	201
5.11 Экономическая эффективность внедрения в производство технических средств сохранения качества топлива	204

5.12 Рекомендации производству, перспективы дальнейшей разработки темы	208
5.13 Выводы	208
6 РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МОТОРНОГО ТОПЛИВА ПРИ ЕГО ХРАНЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ.....	210
6.1 Описание среды и процессов при хранении топлива для постановки задачи моделирования	210
6.2 Выбор критериев для построения нейросетевой модели системы	212
6.3 Прогнозирование потерь бензина из стальных горизонтальных резервуаров емкостью менее 100 кубических метра с различным уровнем наполнения.....	214
6.4 Метод оценки качества топлива при хранении с применением нейронной сети	226
6.5 Метод построения каскада нейронных сетей для прогнозирования объема испарившегося топлива из горизонтального цилиндрического резервуара	230
6.6 Совершенствование метода моделирования нагревания топлива в динамической среде с применением нейронных сетей.....	235
6.7 Выводы	237
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	239
Список использованной литературы.....	242
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	281
ПРИЛОЖЕНИЕ А	282
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	284
ПРИЛОЖЕНИЕ В	292
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	299
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	304
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	307
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	311

ПРИЛОЖЕНИЕ К	316
ПРИЛОЖЕНИЕ Л	321
ПРИЛОЖЕНИЕ М	339

Введение

Актуальность темы исследования. Несмотря на то, что качество моторного топлива, производимого в нашей стране, существенно улучшилось, число отказов мобильной сельскохозяйственной техники из года в год растет из-за использования недоброкачественных автомобильных бензинов и дизельных топлив. Этот своеобразный парадокс является следствием следующих основных совокупных причин: несовершенная технология хранения моторного топлива, отсутствие должного контроля его качества и снижение технического уровня оборудования сельских нефтескладов.

Процессы испарения, окисления и обводнения относятся к основным причинам ухудшения свойств моторного топлива при хранении. Указанные процессы обусловлены «дыханиями» резервуаров: операции приема и отпуска топлива сопровождаются большими «дыханиями», операции хранения – малыми «дыханиями». Вследствие отсутствия научно обоснованных эффективных технических средств для предотвращения качественных и количественных потерь моторного топлива полностью исключить эти потери при хранении пока не удастся.

Испарение топлива приводит к экономическому ущербу и к загрязнению углеводородами окружающей среды. Несмотря на то, что снижение потерь моторного топлива является основным направлением экономии энергоресурсов и защиты окружающей среды от загрязнения углеводородами, до настоящего времени наземные горизонтальные резервуары емкостью менее 75 м³, применяемые в сельском хозяйстве, не обеспечены ни теоретической базой для расчета потерь топлива при хранении, ни техническими средствами для их предотвращения. Для нефтескладов в сельском хозяйстве отсутствуют простые, но эффективные технические средства для конденсации паров топлива и предотвращения изменения его физико-химических свойств. Отсутствует подход для

количественного анализа существующих потерь современными цифровыми технологиями.

Поэтому разработка научно обоснованных путей предотвращения потерь моторного топлива и загрязнения окружающей среды при его хранении является весьма своевременной и актуальной научной проблемой, на решение которой сконцентрировано внимание ведущих отечественных и зарубежных ученых. Важное место в работе занимают вопросы теории и практики моделирования процессов хранения топлива в резервуаре с применением искусственных нейронных сетей и интеллектуализации управления устройствами сохранения качества топлива.

Исследования по теме диссертации выполнены в ФГБОУ ВО ЛГТУ в 2013-2019 гг. в соответствии с Государственной программой РФ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года», а также «Межведомственным координационным планом фундаментальных и приоритетных прикладных исследований по научному обеспечению развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на 2011-2015 годы», по проблеме IX «Научное обеспечение машинно-технологической модернизации сельского хозяйства Российской Федерации», задание IX.04.07 «Разработать технологии, новые материалы, приборы и оборудование для хранения и эффективного использования моторного топлива и смазочных материалов».

Степень разработанности темы. Развитием и исследованием процессов предотвращения потерь моторного топлива от испарения занимались отечественные и зарубежные ученые Ф.Ф. Абузова, И.П. Бударов, В.А. Бунчук, П.В. Валявский, В.Б. Галеев, М.А. Гиззатов, Б.П. Загородских, В.П. Коваленко, Н.Н. Константинов, А.А. Коршак, Р.Е. Левитин, А.Е. Ломовских, С.А. Нагорнов, В.В. Остриков, В.В. Пархоменко, В.Б. Рыков, Н.М. Фатхиев, Л.Р. Хакимьянова, Ф.М. Хафизов, А.Л. Хохлов, А.П. Уханов, В.Г. Цегельский, И.А. Чарный, В.И. Черников, R. Huntington, H. Boardman, J. Wiggins, N. Prater, N. Petru, D. Barns, R. Bielawski, W.J.V.

Broadley и другие, а также организации ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, ФГБНУ ВНИИТиН, ВУНЦ ВВС ВВА и другие. Результаты проведенных исследований внесли значительный вклад в описание физической сущности испарения и выявили взаимосвязь различных параметров и степень их влияния на процесс тепломассопереноса при испарении топлива. В результате проведенных исследований и полученных практических рекомендаций потери снизились с 2 % (что было характерным для XX века) до 1,5 % (в начале XXI века) от объемов добычи нефти, что свидетельствует о сложности решаемой проблемы.

Совокупность теоретических и практических исследований, связанных с потерями моторного топлива при хранении в наземном горизонтальном резервуаре малой вместимости с переменной площадью испарения, не коррелируют с существующими знаниями о физическом механизме этого процесса в вертикальных резервуарах с постоянной площадью испарения. Возникают противоречия между расчетами, выполненными по используемым нормам естественной убыли моторного топлива, и фактическими значениями его потерь от испарения при хранении в наземных горизонтальных цилиндрических резервуарах, так как в этих нормах не учтены особенности данного класса резервуаров. Это подтверждает практическую потребность в новых знаниях о механизме испарения.

Научная гипотеза исследования предполагает, что снижение качественных и количественных потерь топлива от процесса испарения может быть достигнуто за счет разработки новых методов, технологических процессов, устройств, использования цифровых технологий для контроля его качества.

Целью исследований является повышение эффективности хранения моторного топлива за счет снижения его количественных и качественных потерь путем разработки и внедрения научно обоснованных методов и технических средств, обеспечивающих мониторинг и сохранение его эксплуатационных свойств.

Задачи исследований:

1. Провести анализ способов и средств в области предупреждения потерь моторного топлива при его хранении и определить возможность их применения для сельскохозяйственных резервуаров.

2. Теоретически обосновать физико-химические процессы, протекающие при хранении моторного топлива с учетом его испарения.

3. Обосновать теоретически и разработать метод расчёта массы топлива в фазовом переходе первого рода при получении им энергии от его окисления.

4. Разработать математическую модель потерь моторного топлива от испарения с изменяемой поверхностью в стальных наземных горизонтальных резервуарах вместимостью до 75 м³.

5. Провести теоретические исследования и лабораторные испытания конденсатора блочно-модульного построения на базе вихревого эффекта для генерации холодного воздушного потока с температурой, достаточной для конденсации топлива и атмосферной влаги. Провести технико-экономическую оценку эффективности его использования.

6. Обосновать методологию формирования интеллектуальной системы автоматизации резервуарного парка сельскохозяйственных нефтескладов, обуславливающих снижение потерь моторного топлива.

7. Разработать метод оценки параметров качества хранимого топлива в наземных горизонтальных цилиндрических резервуарах с применением нейронных сетей.

Объект исследований: процесс хранения и изменения эксплуатационных свойств моторного топлива в наземных горизонтальных резервуарах малой вместимости.

Предмет исследований: закономерности изменения физико-химических и эксплуатационных показателей моторных топлив при хранении в наземных горизонтальных резервуарах с переменной площадью поверхности испарения.

Научную новизну результатов исследований представляют:

1. Математическая модель процесса испарения топлива из стальных наземных горизонтальных резервуаров в зависимости от переменной площади испарения.

2. Обоснование параметров технических средств для предотвращения потерь моторного топлива. Установлена зависимость температуры холодного потока от количества ступеней и входного давления в вихревой модуль.

3. Результаты исследований динамики изменения эксплуатационных показателей топлива в зависимости от его испарения и обводнения.

4. Теоретические основы виртуально-облачной системы автоматизации стальных наземных горизонтальных резервуаров для обеспечения мониторинга эксплуатационных свойств и количественных параметров топлива.

5. Метод оценки эксплуатационных показателей топлива в процессе его хранения с применением нейронных сетей.

6. Метод построения каскада нейронных сетей для оценки объема испарившегося топлива из горизонтального цилиндрического резервуара.

Теоретическую значимость имеют:

1. Совершенствование механизма процесса испарения для повышения эффективности хранения моторного топлива в горизонтальных наземных резервуарах малой вместимости.

2. Математическая модель физико-химических процессов, происходящих при хранении моторных топлив.

3. Теория интеллектуальных систем для автоматизации резервуаров сельскохозяйственных нефтескладов с целью снижения потерь топлива.

4. Научное описание влияния экзотермической реакции окисления углеводородов как одного из факторов интенсификации процесса испарения моторного топлива.

Практическую значимость имеют:

1. Метод расчета потерь моторного топлива от процесса испарения из

резервуаров в зависимости от переменной площади поверхности испарения с учетом изменения характеристик окружающей среды.

2. Способ достижения отрицательных температур в вихревых трубках, который реализован за счет ступенчатого блока их соединения, что позволяет генерировать температуру для конденсации углеводородов.

3. Способ интеллектуального управления разработанными устройствами сохранения качества топлива и нефтескладом сельского хозяйства с применением виртуально-облачной системы автоматизации, реализуемый с помощью программного продукта «Система автоматизированного управления горизонтальными резервуарами на нефтескладе» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017660610).

4. Метод оценки эксплуатационных параметров топлива при его хранении с применением нейронных сетей, обеспечивающий высокую точность расчета.

5. Разработанный вихревой модуль, обуславливающий снижение потерь топлива при хранении до 97%.

Методология и методы исследования

Теоретические аспекты проведенных исследований базируются на фундаментальных законах и положениях классической механики жидкости и газа, термодинамики, тепло- и массообмена, теоретической физики, молекулярно-кинетической теории, теории искусственных нейронных сетей, технического анализа, методов объектно-ориентированного проектирования, программирования, математического моделирования. В работе применялись ГОСТы на бензин автомобильный и дизельное топливо (ГОСТ 32513-2013, ГОСТ 32511-2013, ГОСТ 32339-2013, ГОСТ 8226-2015, ГОСТ ISO 3405-2013, ГОСТ 32404-2013, ГОСТ 32508-2013, ГОСТ ISO 3405-2013, ГОСТ 33-2016).

Программная реализация разработанных алгоритмов и программных имитационных моделей выполнена на языках Pascal в среде разработки Borland Delphi 5.0 и C# для платформы Microsoft .NET Framework.

Экспериментальные исследования проводились на созданном опытно-промышленном резервуаре в ФГБОУ ВО ЛГТУ для обоснования выбранных направлений исследований, подтверждения теоретических разработок расчета потерь топлива, построения архитектуры нейронной сети с минимальной ошибкой при прогнозировании.

Основные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:

1. Метод снижения потерь моторного топлива при его хранении с применением вихревого модуля, отвечающий экономическим и современным экологическим требованиям.

2. Математическая модель процесса испарения топлива, учитывающая переменную площадь испарения и физико-химические процессы, протекающие при хранении топлива в наземных горизонтальных резервуарах.

3. Метод моделирования процесса хранения топлива в наземных горизонтальных резервуарах с применением нейронной сети.

4. Метод оценки эксплуатационных параметров хранимого топлива в наземных горизонтальных цилиндрических резервуарах с применением нейронных сетей.

Степень достоверности результатов.

Достоверность научных положений и полученных результатов исследования подтверждена достаточным количеством проведенных экспериментов, сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований автора и других исследователей, занимающихся по данной тематике, обсуждением и одобрением результатов исследований на конференциях и их публикация в открытой печати, внедрением результатов исследований в производство, корректностью созданных математических моделей, использованием современной аппаратуры проведения исследований в соответствии с ГОСТами,

воспроизводимостью полученных результатов. Получено решение проблемы, поставленной в актуальности темы исследования.

Реализация результатов исследований. В Липецкой области: Добринский муниципальный район, ОАО «Добринское АТП», ООО «Раненбургъ», ИП КФХ Докучаев К.С., в Смоленской области: КФХ «Дроново», ИП КФХ Вьюнов С.В.; в Ростовской области: ИП КФХ Кудашкин Б.М., ИП Кудашкина Е.Б.

Апробация результатов исследований. Результаты работы были доложены, обсуждены и получили положительную оценку на: «Транспорт, экология, устойчиво развитие:» XXIII научн.-техн. конф. с международно участие (15-17 июня 2017 г., Varna, 2017); VI Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в науке и образовании» (5-9 сентября 2018 г., с. Дивноморское, Ростов-на Дону); Международной научно-технической конференции «Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства», 5-6 декабря 2018 г. Россия, г. Москва; Национальная научно-практическая конференция «Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России», (22 ноября, 2018 г., г. Рязань); I Международной научно-практической конференции «Цифровизация агропромышленного комплекса», (10-12 октября 2018 г., г. Тамбов); «Транспорт, экология, устойчиво развитие:» XXV научн.-техн. конф. с международно участие (16-18 мая 2019 г., Varna, 2019); 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA 2020); на научных конференциях ФГБОУ ВО ЛГТУ (2013-2020 гг.).

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие на всех этапах исследования, включая: постановку проблемы; разработку программы исследований; сбор и обработку данных; проведение лабораторных исследований и промышленных испытаний; обработку полученных экспериментальных данных; разработку программного

обеспечения; составление заявок на патент и свидетельство на регистрацию программ для ЭВМ; апробацию результатов исследования на международных, всероссийских, межрегиональных и вузовских научно-практических конференциях в 2013-2020 годах; подготовке публикаций.

Публикации. По результатам выполненной работы опубликовано 46 печатных работ, в том числе 2 в журналах Scopus, 1 в журнале Web of Science, 17 статей в изданиях из Перечня ВАК, 1 монография, техническая новизна подтверждена 1 свидетельством о государственной регистрации программ для ЭВМ, 1 патентом. Общий объем опубликованных работ составляет 20,92 п.л. из них автору принадлежит 11,09 п.л.

Автор выражает благодарность научному консультанту: доктору технических наук, профессору Нагорнову С.А. и к.т.н. Левиной Е.Ю. за оказанную помощь в проведении исследований и подготовке диссертации.

Соответствие паспорту специальности. Тема диссертации соответствует пунктам 2 (разработка теории и методов технологического воздействия на среду и объекты сельскохозяйственного производства) и 11 (разработка инженерных методов и технических средств обеспечения экологической безопасности в сельскохозяйственном производстве) паспорта специальности 05.20.01 – технологии и средства механизации сельского хозяйства.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка использованных источников, включающего 358 наименований. Работа изложена на 281 странице, содержит 78 таблиц, 102 рисунков, 10 приложений.

1 СОСТОЯНИЕ НАУЧНОЙ ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Анализ технического состояния резервуарного парка для хранения моторного топлива на нефтескладах сельскохозяйственного назначения

Сезонность работ по выращиванию сельскохозяйственной продукции и неравномерная закупка моторного топлива ставят задачу по формированию его резерва. Для этого в АПК используются нефтехозяйства. В него входят такие объекты как резервуарный парк, оборудование и устройства приема и отпуска моторного топлива, прочие инженерные конструкции. Главной задачей нефтесклада является сохранение качественных и количественных показателей моторного топлива. Существуют различные определения понятия качества нефтепродуктов, но наиболее точно оно сформулировано в работе Гуреева А.А. [114], в которой под качеством следует понимать совокупность свойств топлива, обуславливающих его пригодность для использования по назначению.

К основным объектам сельскохозяйственного нефтесклада следует относить наземные горизонтальные резервуары для хранения нефтепродуктов. Сохранение эксплуатационных показателей моторного топлива и предотвращение его потерь при приеме, хранении и отпуске обусловлено технологическими параметрами нефтесклада и техническим уровнем его оборудования. В АПК удобны для использования наземные горизонтальные резервуары из стали (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Нефтесклад крестьянского (фермерского) хозяйства

Ключевой особенностью горизонтального расположения резервуаров следует считать переменную площадь поверхности контакта топлива с газовым пространством. Существующие нормы естественной убыли и методы по расчету потерь топлива разработаны в основном для вертикальных резервуаров большой емкости (от 1000 м³), для которых характерна постоянная площадь поверхности испарений и незначительные суточные колебания температуры топлива. Ключевым отличием данной работы является создание теории тепло- массообменных процессов при хранении топлива в резервуарах с учетом изменяемой в широком диапазоне поверхности испарения, которая в свою очередь оказывает влияние на скорость испарения.

На 35,5 тысяч нефтехозяйств, эксплуатируемых в сельском хозяйстве СССР (среди которых только 13800 относились к типовым и реконструированным), приходилось более 450 тысяч резервуаров. В начале XXI века количество нефтехозяйств в АПК России снизилось до 20000 [232]. В основном это нефтесклады небольших размеров, на которые, как правило, доставка моторного топлива производится автомобильным транспортом. Максимальный размер каждой партии принимаемого нефтепродукта не превышает несколько тонн.

Ввиду незначительных объемов годового потребления моторного топлива отдельно взятыми сельскохозяйственными предприятиями, размеры единичных емкостей нефтесклада АПК РФ (от 3 до 75 м³) значительно меньше аналогичных емкостей нефтесклада перевалочных (от 1000 до 5000 м³) и крупных (от 10 000 до 50 000 м³) нефтебаз [184, 231, 232].

Анализ структуры резервуарного парка показывает, что на долю резервуаров вместимостью 3 и 5 м³ приходится 50 %; 10 м³ – составляют 20 %; 25 м³ и 50 м³ – соответственно, 16 % и 7 %, на долю 75 м³ приходится не более 7 % [184, 232, 233]. Следовательно, на нефтескладах сельскохозяйственных предприятий основную долю составляют резервуары малой вместимости. Удельные затраты на хранение нефтепродуктов на нефтескладах малой вместимости выше, чем на крупных нефтескладах. При хранении малыми партиями увеличиваются и естественные потери.

В частности, на нефтескладе по типовому проекту с общей вместимостью 40 м³ для хранения моторного топлива установлены два горизонтальных резервуара – по 10 м³ для хранения дизельного топлива; и два горизонтальных резервуара емкостью 5 м³ и один 10 м³ – для хранения бензина [184, 232, 233]. Резервуары сельскохозяйственных нефтескладов размещают на открытой местности, не всегда оборудуют дыхательными клапанами, не проводят защиту от воздействия температурных колебаний.

В АПК одним из основных факторов, влияющих на качество моторного топлива, является техническое состояние оборудования нефтесклада [231].

Срок службы стальных наземных горизонтальных резервуаров по действующим нормам рассчитан не более чем на двадцать лет. Однако в настоящее время в аграрном секторе России эксплуатируются нефтесклады, у которых срок в 1,5–2 раза превышен срок службы резервуаров [231].

Отказ от усовершенствования нефтескладов приводит к росту расходов от потерь моторного топлива от испарений, утечек, связанных с оборотом нефтепродуктов [231]. По причине отсутствия специалистов и регламентов по обслуживанию сельского нефтесклада в нефтехозяйствах происходит

разукомплектование незадействованного технологического оборудования
(рисунок 1.2-1.4).



Рисунок 1.2 – Топливораздаточные колонки



Рисунок 1.3 – Трубопроводы и краны



Рисунок 1.4 – Дыхательные клапаны на резервуарах

При таком техническом состоянии оборудования резервуарного парка потери углеводородного топлива от процесса испарения при хранении превышают существующие нормы естественной убыли в 1,7–2 раза. Показатели концентрации загрязняющих веществ в области хранения топливно-смазочных материалов превышают допустимые нормы в 3-5 раз [231]. Устранение данных недочетов в оборудовании за счет проведения организационных мер не обеспечит сохранение количественных и качественных показателей моторного топлива при хранении. Потери топлива происходят не только из-за неудовлетворительного технического состояния оборудования нефтескладов, а, прежде всего из-за использования устаревшей технологии хранения топлива, влияющей на интенсивность его испарения из резервуара. Полностью исключить потери топлива от испарения с помощью проведения оргтехмероприятий невозможно, так как с точки зрения термодинамики, испарение будет происходить всегда вследствие теплового движения молекул при наличии раздела фаз. При наземном размещении резервуара происходят суточные колебания хранимого в нем топлива. Нагревание топлива вызывает рост давления паровоздушной смеси в свободном от топлива пространстве. При достижении определенного давления паровоздушной смеси сработает дыхательный клапан, установленный на резервуаре, на «выдох» и выпустит часть паров в атмосферу. При остывании топлива давление паровоздушной смеси в свободном от топлива пространстве резервуара будет уменьшаться. При достижении определенного давления паровоздушной смеси сработает дыхательный клапан, установленный на резервуаре, на «вдох» и запустит часть атмосферного воздуха в резервуар. Данный процесс срабатывания дыхательного клапана называют «малым» дыханием.

Прием светлых нефтепродуктов на хранение также требует соблюдения правил, от которых зависит сокращение потерь топлива и безопасная эксплуатация нефтесклада. Процесс приема и отпуска сопровождается так называемым «большим» дыханием резервуара, под данным процессом

понимается вытеснение паров топлива в атмосферу при заполнении резервуара или подсос атмосферного воздуха внутрь при отпуске топлива.

Для соблюдения элементарной техники безопасности при сливе топлива из бензовоза в резервуар необходимо следовать правилам защиты от статического электричества, которыми предусмотрено заземление металла автоцистерны перед сливом из нее нефтепродуктов. В процессе наполнения резервуара нефтепродуктом, оператор обязан следить за его уровнем в резервуаре. Не допускается переполнение резервуара и разлива нефтепродукта [50, 133, 177, 226, 266, 316, 352].

Слив нефтепродуктов из цистерны производят через фильтр самотеком или под напором. Процесс заполнения резервуара из автоцистерны должен производиться под контролем оператора, который проводит мониторинг герметичности сливного устройства и при обнаружении утечки нефтепродукта обязан остановить слив нефтепродукта [52, 103, 127, 167, 342, 344, 345].

В типовом нефтехозяйстве КФХ процесс подготовки передачи топлива из бензовоза в резервуары приведен на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Подготовка к передаче топлива в резервуары

Подача топлива в резервуары малой емкости происходит методом перекачки топлива в открытый люк резервуара. Для этого топливораздаточный шланг автоцистерны кладут на дно резервуара (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Передача топлива из бензовоза в резервуар

Проведенная сравнительная оценка количества некондиционных проб топлива в КФХ Липецкой, Ростовской, Смоленской областях показала, что в последние годы наблюдается тенденция снижения показателей качества автомобильных бензинов и дизельных топлив, используемых в сельскохозяйственном производстве, выявлен высокий процент некондиционных проб в общем объеме (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Динамика некондиционных проб за 2015-2019 годы, % [269]

Вид топлива	2015	2016	2017	2018	2019
Дизельное топливо	19,2	33,8	34,9	35,4	35,6
Бензин	13,4	15,1	16,5	17,1	17,3

Изменение эксплуатационных свойств моторного топлива происходит из-за его хранения в стальных наземных горизонтальных цилиндрических резервуарах. Потери от испарения составляют более 75 % [25, 76, 94, 96, 115, 119, 138, 155, 161, 237, 238, 239]. Наличие низкокипящих, легколетучих компонентов в бензине приводят к тому, что его потери от испарения

являются превалирующими над потерями дизтоплива [1, 2, 17, 25, 26, 27, 44, 76, 152].

Потери от испарения являются единственным негативным процессом, вызывающим и количественные, и качественные потери вследствие вытеснения в атмосферу части паровоздушной смеси (смесь воздуха и паров нефтепродуктов) из газового пространства резервуара [155, 161, 231, 232, 319].

1.2 Влияние изменения физико-химических показателей моторного топлива в процессе хранения на работоспособность сельскохозяйственной техники

В процессе хранения моторного топлива непрерывно протекают многочисленные физические и химические процессы его взаимодействия с окружающей средой [83, 135, 167, 242]. В результате попадания атмосферного воздуха в резервуар, который состоит в основном из кислорода, азота, углекислого газа и паров воды происходит окисление топлива и дальнейшая полимеризация при его контакте с кислородом. Атмосферная влага накапливается на стенках резервуара, вызывая коррозию. В результате данных процессов меняются физико-химические показатели топлив, что негативно влияет на их эксплуатационные свойства и может привести к выходу из строя дорогостоящей сельскохозяйственной техники [231-233, 292]. Рассмотрим основные характеристики топлив, изменение которых влияет на работоспособность техники.

1.2.1 Изменение фракционного состава и испаряемости топлив

Фракционный состав является одной из характеристик испаряемости топлива, определяет время выхода двигателя на рабочую температуру, пусковые свойства при различных температурах окружающей среды, отказоустойчивость в работе двигателя при различных условиях

эксплуатации. Для определения фракционного состава автомобильных бензинов используют значения показателей температуры начала его кипения, отгоном 10, 50 и 90 % объема [135, 155, 157, 231, 234].

Температура начала кипения летних бензинов должна быть в пределах 30...35°C. Использование такого бензина исключает возможность возникновения паровых пробок в топливной системе, что снижает риск возникновения перебоев в работе двигателя, а также сохраняются пусковые свойства бензина.

Состав по фракциям 10% отгонки бензина определяет составляющую параметра запуска двигателя внутреннего сгорания. Данный фракционный состав расположен в диапазоне температур 70...75 °C для летнего сорта бензина и 55 °C для зимнего сорта бензина.

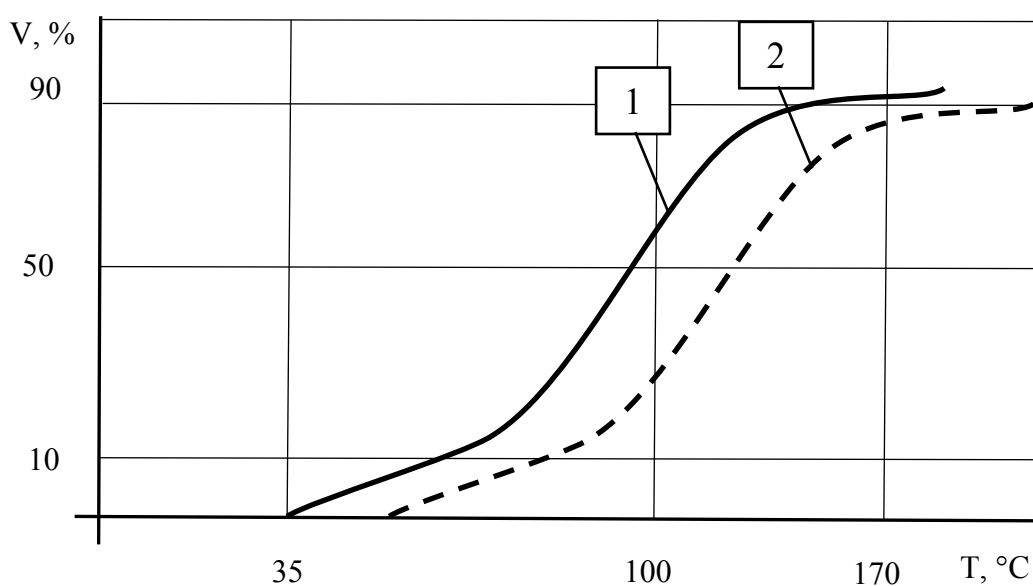
Температура отгонки 50 % фракций бензина является параметром по скорости начала достижения двигателем его рабочей температуры, а также стабильность его эксплуатационных характеристик при различных условиях. Скорости начала достижения двигателем его рабочей температуры находится в обратно пропорциональной зависимости от температуры 50% перегонки фракций. Данная температура не должна превышать значение в 115 °C для летнего сорта бензина и 100 °C для зимнего сорта бензина.

Состав по фракциям 90% отгонки бензина является показателем полноты сгорания бензина в камере ДВС. Температура фракционного состава 90% отгонки бензина не превышает 160 °C у для летнего сорта бензина и 180 °C для зимнего сорта бензина. Качество топлива и его расход находится в обратно пропорциональной зависимости от разницы температуры отгонки 90 % фракций бензина до температуры конца его кипения [115, 116, 231, 232].

На рисунке 1.7 приведено изменение кривой разгонки бензина, после снижения легких фракций в процессе испарения. Кривая сместилась в сторону более высоких температур.

В процессе хранения топлива испаряются его легколетучие компоненты, протекают реакции окисления, полимеризации и конденсации.

Это приводит к увеличению температур перегонки 10, 50 и 90 % топлива, т.е. к утяжелению его фракционного состава. Использование бензинов с повышенной температурой кипения приводит к понижению октанового числа. Тяжелые фракции бензина испаряются не полностью, конденсируются на деталях цилиндропоршневой группы; смывают с них смазку; проникают в картер и разжижают смазочное масло. Все это влечет за собой повышение износа деталей и нагароотложения в двигателе, увеличение расхода топлива [40, 82, 115, 116, 133].



1 – кривая разгонки бензина, с фракционным составом, соответствующим ГОСТу; 2 – кривая разгонки бензина, после снижения легких фракций от испарения

Рисунок 1.7 – Изменение кривой разгонки бензина

Такое изменение фракционного состава негативно влияет на температуру пуска, увеличивает время его прогрева, ухудшает приемистость двигателя. Экономические показатели работы двигателя в этом случае снижаются на 25...40 % (таблица 1.2) [115].

Таблица 1.2 – Последствия применения бензинов тяжёлого фракционного состава [115]

Конец кипения, °С	Образование нагара, мг/г	Износ, %	Расход горючего, %
170	22	50	93
175	23	50	94
200	45	100	106
225	60	200	107
250	82	500	140

Значения температур выкипания 65% и 96 % фракций нормируется для дизельного топлива. Данные показатели являются характеристиками для определения пусковых свойств дизельного топлива, а также склонности к формированию паровых пробок в системе подачи топлива двигателя, надежность и экономичность его работы [115].

Процессы, происходящие при хранении дизельного топлива, приводят к утяжелению его фракционного состава, так же, как и при хранении бензина. «Использование топлив с точкой начала кипения на 30 % выше установленной ГОСТом, снижает ресурс дизельного двигателя на 58 %» [116].

1.2.2 Изменение содержания фактических смол и склонность топлив к образованию отложений

Содержащиеся в топливе смолистые вещества, продукты окисления и полимеризации, образовавшиеся при хранении, образуют так называемые фактические смолы.

Тяжелые молекулы этих соединений не испаряются, они откладываются на двигателе и топливопроводящей аппаратуре. В зоне высоких температур они образуют твердые нагары [115], а это в свою очередь приводит к росту скорости износа деталей двигателя, а также к возрастанию расхода моторного топлива.

Увеличение содержания смол в составе моторного топлива в 2...3 раза приводит к сокращению срока службы двигателя внутреннего сгорания на

15...20 %. При отложении фактических смол на стержне клапана происходит его зависание, и как следствие, поломка двигателя.

Образующийся нагар приводит к закоксуыванию распылителей форсунок, загрязнению продувочных окон, в результате снижается мощность, возрастает вероятность аварийных поломок. Помимо этого, образующийся нагар обладает невысокой теплопроводностью, а это в свою очередь приводит к уменьшению теплоотвода от камеры сгорания цилиндров; возникают условия, приводящие к детонации.

Применение бензина, в котором превышено содержание фактических смол относительно нормативной документации способствует возрастанию отложений в коллекторах [115, 133] и совокупному уменьшению ресурса двигателя внутреннего сгорания (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Зависимость работоспособности двигателя внутреннего сгорания от концентрации фактических смол в автомобильном бензине

Концентрация фактических смол, мг/100 см ³	Вероятный пробег до появления неисправности ДВС, тыс. км	Масса отложений в впускном коллекторе, мг
до 10	30000	40
11–15	25000	60
16–20	16000	130
21–25	8000	140
26–50	5000	420
51–120	2000	–

Содержание фактических смол в моторном топливе может увеличиваться в процессе хранения из-за протекания реакций окисления, конденсации и полимеризации. Присутствие в моторном топливе фракций деструктивной переработки нефти, высокая температура хранения или нарушение его условий (наличие в емкостях воды, механических примесей, ржавчины, интенсифицирующих процессы окисления и смолообразования) – всё это приводит к снижению качественных показателей топлив и ухудшает

экономичность, работоспособность и долговечность сельскохозяйственной техники [116].

1.2.3 Изменение плотности топлив

Увеличение плотности моторного топлива приводит к повышенному содержанию тяжелых фракций и примесей в нем, и как следствие к снижению экономичности работы двигателя, при этом дымность газов возрастает [115, 116].

1.2.4 Изменение содержания воды и коррозионные свойства топлив

При хранении моторных топлив содержание растворенной, эмульсионной и отстойной воды увеличивается, особенно при нарушениях организации процесса его хранения.

Наличие в топливе воды, особенно зимой, может вызвать нарушение топливоподачи, так как возможно образование ледяных пробок. Присутствие воды ухудшает низкотемпературные и противоизносные свойства топлива, а также фильтруемость; приводит к росту накопления электростатического заряда при фильтрации и операциях закачки [116].

Присутствие воды вызывает резкую интенсификацию коррозионных процессов, обуславливающих снижение срока службы резервуаров, топливных баков, прецизионных пар топливной аппаратуры [116].

В лабораторных условиях установлено, что воздействие паровоздушной смеси вызывает интенсивность коррозии в 10–12 раз выше, чем воздействие чистого топлива, и ниже в 4–5 раз по сравнению с воздействием подтоварной воды. В подтоварной воде растворяется в год около 200 г металла с 1 м² поверхности резервуара. За год в резервуаре емкостью 25 м³ образуется до 4 кг продуктов коррозии [133, 231, 232].

Ионы металла, образующиеся в топливе в результате коррозии, являются катализаторами окисления топлива, что приводит к увеличению содержания в нем фактических смол. Нерастворимые продукты коррозии образуют в топливе мелкодисперсную взвесь, забивающую фильтры; очистить от нее топливо отстаиванием невозможно. Агрегированные

частицы продуктов коррозии увеличивают общее количество механических примесей, снижающих срок службы двигателя.

1.2.5 Изменение содержания механических примесей

Автотракторный дизель в агропромышленном производстве эксплуатируется в сложных условиях загрязненности воздуха и топлива. Присутствие механических примесей в топливе не допускается по требованиям нормативной документации. Однако в процессе хранения и заправки техники в топливо попадают абразивные микрочастицы, включая пыль, ржавчину, которая возникает при накоплении атмосферной влаги в топливе и на стенках резервуара, вследствие «малых» дыханий, количество которых по разным литературным источникам может достигать 60% [116, 133, 231, 232] от нормативных значений, что в свою очередь приводит к ускоренному износу двигателя.

На систему питания приходится до 95 % отказов дизелей, около половины из них происходит из-за загрязненности топлива. Изменение зазора в распылителях обуславливает существенное влияние на показатели работы дизеля — мощность снижается на 6 %, удельный расход топлива увеличивается на 12 %, часовой расход топлива — на 7 %. При достижении концентрации абразивных частиц в дизельном топливе около 0,02 % износ поршневых колец увеличивается до 150 раз [210].

Установлено, что максимальный размер частиц механических примесей в топливе не должен превышать для карбюраторных двигателей 15...25 мкм, для дизельных — 3 мкм. Столь высокие требования к дизельным топливам объясняются наличием прецизионных пар топливной аппаратуры, к которым оно поступает, имеющим зазоры 1,5...2,5 мкм [210]. Размер механических примесей во избежание заклинивания, царапин и абразивного износа топливной аппаратуры должен быть меньше радиального зазора плунжерной пары.

Количество механических примесей, попадающих в топливо в процессе хранения, непосредственно зависит от состояния внутренних стенок и

степени герметичности резервуаров [133, 210, 231, 232]. Это, в свою очередь, зависит от состояния резервуарного парка сельских нефтескладов, а также от правильной организации хранения топлив.

Таким образом, изменение таких параметров топлива как фракционный состав, вязкость, октановое число, наличие механических примесей или воды, которое происходит при его хранении, выводит из строя дорогостоящую автотракторную технику. Поэтому в дальнейшем будем подразумевать перечисленные параметры топлива при оценке динамики их изменения.

1.3 Причины изменения физико-химических свойств моторного топлива при хранении в стальных резервуарах и их классификация

Некоторая доля потерь нефтепродуктов неизбежна – это естественная убыль, которая утверждена в нормативной документации [237-239].

По определению, к естественной убыли нельзя отнести потери углеводородного топлива, которые произошли при несоблюдении требований технических условий, стандартов при хранении, а также потери, которые произошли при ремонте или проведении зачистки резервуара. Расчет потерь в нормах естественной убыли приводится для группы резервуаров объем которых не превышает 75 м³ [231, 232].

На рисунке 1.8 представлена классификация основных видов потерь светлых нефтепродуктов, доставляемых и хранимых на сельских нефтескладах.

По результатам анализа известных литературных данных сгруппируем причины потерь топлива на сельскохозяйственном нефтескладе (таблица 1.4) [78, 138, 184, 228, 286, 299, 354].

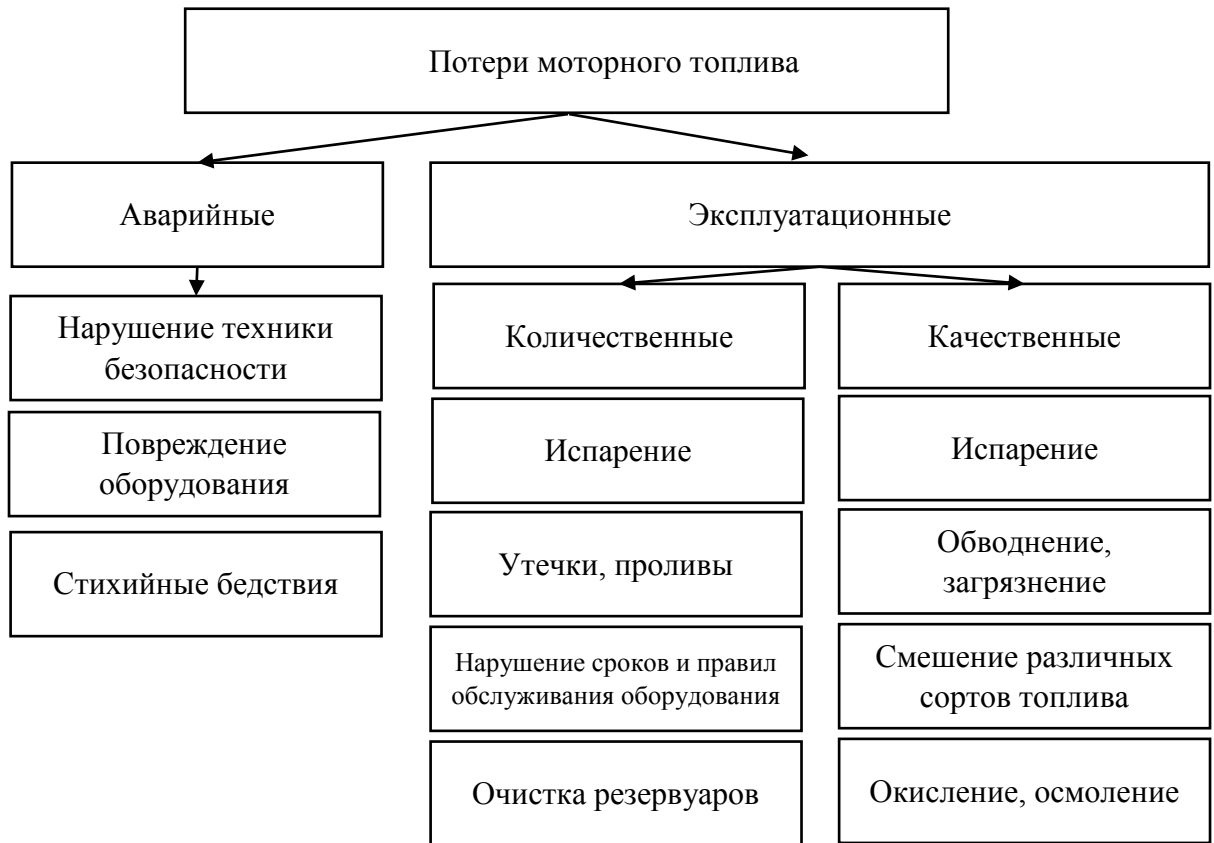


Рисунок 1.8 – Схема классификации основных видов потерь светлых нефтепродуктов, происходящих при хранении топлива

Таблица 1.4 – Причины и объем потерь топлива при хранении на нефтескладе сельскохозяйственного назначения

Причина	Вид потери	Объем потерь, % от хранимого количества топлива
Заправка резервуара открытым способом	Испарение, расплескивание, утечки	0,2...0,3
Неплотное закрытие горловины резервуара	Испарение, расплескивание, утечки	0,6...1,7
Неисправность средств перекачки	Неполный слив, утечки, испарение	0,1...0,4
Неполное заполнение резервуара (на 20...60 %)	Испарение	0,6...1,6
Не окрашенный в светлый цвет резервуар	Испарение	1,0

Изменения эксплуатационных свойств моторного топлива в процессе его хранения обусловлены наличием контакта хранимого топлива с атмосферным воздухом; попаданием в топливо продуктов коррозии стенок резервуара; окислением углеводородов и другие.

Снижение качества топлива, которое наиболее типично для сельских нефтехозяйств, это загрязнение и изменение фракционного состава вследствие его испарения.

Сгруппируем факторы, которые оказывают основное влияние на снижение показателей качества нефтепродуктов при их хранении на нефтескладе сельскохозяйственного назначения и представим в виде схемы на рисунке 1.9.

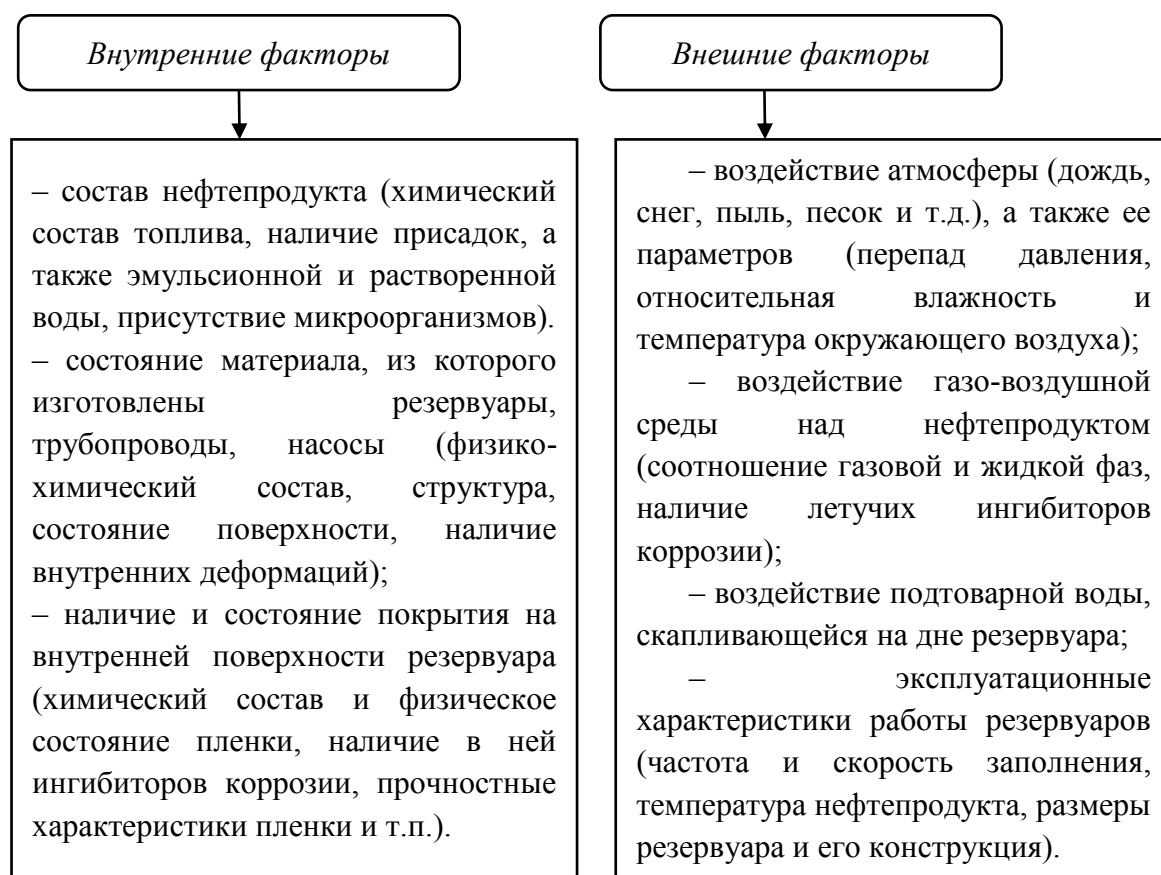


Рисунок 1.9 – Факторы, оказывающие основное влияние на снижение показателей качества нефтепродуктов

Основная причина изменения физико-химических свойств моторного топлива – применение устаревших технических средств для его хранения, а также значительные недостатки существующих технологий их хранения [132, 133, 231-233].

Многие виды загрязнений как причину снижения качества топлива можно устранить организационно-техническими мероприятиями. Однако испарение и обводнение топлива и, как следствие снижение его качества при хранении в наземных горизонтальных цилиндрических резервуарах, будет происходить всегда из-за суточного колебания температур и дыханий резервуара. Поэтому необходимо разработать теоретические основы и метод расчета испарения топлива из наземных горизонтальных цилиндрических резервуаров.

1.4 Динамика изменения параметров моторного топлива от испарения при хранении в стальных наземных горизонтальных резервуарах

Изучение практического опыта показало, что в АПК анализ моторного топлива проводят, в частности, как элемент затрат автотракторного парка, в целом нефтепродукты не представляют самостоятельного объекта анализа. Недостаточное внимание, уделяемое техническому состоянию оборудования нефтескладов АПК, является одной из основных причин снижения долговечности и эффективности использования энергетических средств, обуславливая перерасход моторного топлива, повышенные эксплуатационные расходы и трудоемкость технического обслуживания, ухудшение экологической обстановки при их эксплуатации и ряд других негативных факторов [232]. На протяжении ряда лет эта тенденция не теряет своей актуальности. Например, еще в 1965 г. на долю заводов, выпускающих новые тракторы, приходилось лишь 22 % мощности тракторного производства, 34 % – на долю заводов, производящих запасные части, и 44 %

– на долю ремонтных предприятий. В дальнейшем этот объем работ только увеличивался [232].

Полностью устранить потери от испарения на современном уровне развития технических средств и технологий хранения моторного топлива пока не удастся. Объяснить этот негативный факт можно с позиций термодинамики: движущей силой фазового перехода является стремление системы перейти в состояние с минимальной свободной энергией. При постоянной температуре одна фаза вытесняет другую, так как свободная энергия в рассматриваемых фазах распределяется различным образом между внутренней энергией и энтропией [39, 61, 90, 123, 145, 186-189, 246, 274, 295, 306].

Процесс, который интенсифицирует испарение при наземном хранении – это суточное колебание температуры топлива и парогазовой смеси в резервуаре под воздействием солнечной радиации и возникновение движения паровоздушной смеси у поверхности, т.е. унос паров углеводородов от поверхности раздела фаз и движение воздуха к поверхности раздела фаз, что вызывает испарение новых порций топлива.

Результаты анализов многочисленных проб, взятых в нефтескладах АПК различных регионов страны, свидетельствовали о крайне низкой культуре приема, хранения и отпуска моторного топлива. Неоднократно отмечались случаи непригодности моторного топлива для использования по прямому назначению. В обследованных нефтескладах сельхозтоваропроизводителей Липецкой, Ростовской, Смоленской областях использовалось до 17,5 % некондиционных нефтепродуктов. Физико-химические показатели качества светлых нефтепродуктов не соответствовали требованиям НТД, в основном, по фракционному составу, содержанию воды и механических примесей (в таблице 1.5 приведены наиболее характерные отклонения показателей качества моторных топлив от требований НТД) [232].

Таблица 1.5 – Соответствие показателей качества топлива требованиям

НТД

Показатель, имеющий отклонение от требований ГОСТ	Норма по ГОСТ	Фактические данные анализа
<i>Бензин автомобильный АИ-92 ГОСТ 32513-2013</i>		
1 Фракционный состав (ГОСТ 2177-99)		
1.1 Остаток в колбе	не более 1,5 %	от 1,6 до 12 %
1.2 Остаток и потери	не более 4,0 %	от 4,5 до 14 %
1.3 Температура н.к.	35 °С	до 48 °С
1.4 Перегонка 10% объема при темп-ре	не выше 70 °С	до 90 °С
Перегонка 50 % объема при темп-ре	не выше 115 °С	до 118 °С
Перегонка 90 % объема при темп-ре	не выше 180 °С	до 190 °С
2 Содержание воды (ГОСТ 2477-2014)	Отсутствие	Присутствует
3 Концентрация фактических смол мг/100 см ³	не более 10	от 17,3 до 80
4 Содержание механических примесей	Отсутствие	Присутствуют
<i>Дизельное топливо (летнее) ГОСТ 32511-2013</i>		
1 Коэффициент фильтруемости ГОСТ 19006-73	не более 3	от 4 до 15,6
2 Фракционный состав по ГОСТ 2177-99		
65 % перегоняется при температуре	не выше 250 °С	до 300 °С
3 Вязкость кинематическая, сСт ГОСТ 33-2016	340	356
4 Содержание механических примесей	Отсутствие	Присутствуют
5 Содержание воды (ГОСТ 2477-2014)	Отсутствие	Присутствует

Снижение показателей качества моторных топлив было вызвано, главным образом, потерями от испарения, попаданием в них атмосферной влаги и пыли. До 42 % автомобильных бензинов не соответствовали требованиям НТД по фракционному составу. Многие пробы были засорены более тяжелыми фракциями, что обусловлено как неудовлетворительными условиями хранения, в результате чего испарялись легкие фракции, так и наличием в бензине дизельного топлива или керосина. «До 15 % моторных топлив содержали воду и механические примеси в количествах, превышающих требуемую по НТД норму» [232].

В дальнейшем качество хранимого моторного топлива, используемого в АПК России, продолжало снижаться. В середине 90-х годов наблюдалась тенденция поставок на нефтесклады АПК некондиционного топлива (в 1995 г. – до 26 %). В таблице 1.6 в качестве примера приведены значения

фактических потерь бензина АИ-92 от испарения при его хранении за год на нефтескладе в резервуаре номинальной вместимостью 25 м³ в зависимости от технического состояния резервуара и исправности оборудования [232].

Таблица 1.6 – Сравнение фактических потерь бензина АИ-92 от испарения с нормами естественной убыли в резервуаре 25 м³

Состояние резервуара и его оборудования	Малые «дыхания», кг	Большие «дыхания», кг	Обратный «выдох», кг	Газовый сифон, выдувание	Общие потери, кг	Потери по нормам естественной убыли, кг
Неокрашенный, без нефтеарматуры, прокладок и т.д.	529	131	28	2750	3565	не более 72
Окрашенный, с дыхательным клапаном типа ДК, газовое пространство негерметично	372	88	19	530	1094	не более 72
Герметичный, окрашенный, с дыхательным клапаном типа ДК-М, $P_{кд} = 0,25$ кг/см ²	53	36	15	-	104	не более 72

Степень заполнения резервуарного парка является существенным фактором, влияющим на потери нефтепродуктов в процессе их хранения. Потери из-за испарения происходят вследствие нагрева топлива в резервуаре и большой величины газового пространства. Даже при исправном дыхательном клапане величина потерь будет больше вследствие его частого срабатывания из-за повышенного давления внутри резервуара.

В таблице 1.7 в качестве примера приведены значения потерь бензина от испарения (при его хранении на нефтескладе в резервуаре 25 м³) за год в зависимости от степени заполнения резервуара и климатической зоны [232].

Таблица 1.7 – Динамика потерь бензина от «малых дыханий» в зависимости от степени заполнения резервуара номинальной вместимостью 25 м³ и климатической зоны

Степень заполнения резервуара		Годовые потери бензина, кг	
		Климатическая зона	
%	м ³	Средняя	Южная
90	22,453	50	67
80	19,958	89	134
70	17,464	131	196
60	14,969	179	258
40	9,979	269	389
20	4,990	359	521

Выявлено, что со снижением степени заполнения резервуара естественные потери бензина возрастают в 7...8 раз. Данные свидетельствуют о степени несовершенства существующих способов борьбы с потерями от испарения [232]. Проблема снижения потерь моторного топлива от процесса испарения при его хранении является весьма актуальной, своевременной и носит приоритетный характер, является одной из важнейших народно-хозяйственных задач государственного значения. Оценки экспертов показывают, что полное снижение потерь углеводородов от испарения будет соответствовать производству до 20 % топлива [231, 232]. Предотвращение потерь от испарения является одним из основных направлений экономии и рационального использования ценнейшего углеводородного сырья и защиты окружающей среды от загрязнения летучими углеводородами.

1.5 Динамика изменения содержания воды в моторном топливе при хранении в стальных наземных горизонтальных резервуарах

Согласно правилам эксплуатации резервуаров, его заполнение топливом происходит до уровня 90-95% от объема из-за температурного

расширения топлива. Поэтому в резервуаре всегда присутствует поверхность раздела фаз газ-жидкость, над топливом образуется парогазовое(паровоздушное) пространство – смесь углеводородов и атмосферного воздуха.

Парогазовое пространство горизонтального цилиндрического резервуара находится в непосредственном контакте с углеводородным топливом. Паровоздушная смесь над топливом в резервуаре является смесью воздуха, водяных паров и углеводородов. В результате суточных перепадов температур происходят «дыхания» резервуара и создаются условия для попадания атмосферной влаги в резервуар и ее конденсации на стенках резервуара. Таким образом происходит обводнение топлива при его хранении.

Между водой, растворенной в топливе, и атмосферной влагой быстро наступает динамическое равновесие.

«Основным источником обводнения топлива является атмосферная влага, содержащаяся в воздухе в виде водяных паров. В 1 м³ воздуха, в зависимости от температуры, может содержаться различное количество влаги» [207]:

Температура, °С	–20	0	5	10	20	30
Концентрация воды, г/м ³	1,6	4,8	6,7	9,4	19	35

При увеличении толщины слоя топлива скорость насыщения его атмосферной влагой уменьшается. Установлено [207], что концентрация воды в топливах c_v , % зависит от парциального давления паров воды p_v , Па и давления насыщенных паров воды p_n , Па:

$$c_v = c_{max} p_v / p_n = c_{max} \cdot \varphi, \quad (1.1)$$

где c_{max} – максимально возможное содержание воды в топливе, %; $\varphi = p_v / p_n$ – относительная влажность воздуха, %.

За месяц резервуар объемом 25 м³, наполненный топливом, может поглотить от 0,01 до 0,05 % воды, что делает топливо некондиционным.

1.6 Анализ существующих методик расчета потерь моторного топлива из стальных резервуаров

С ростом добычи нефти в середине XX века происходило увеличение количества перевалочных нефтебаз и нефтескладов. «Потери топлива от испарения при хранении и сливно-наливных операциях наносили стране ощутимый экономический ущерб» [191]. «Поэтому появилась необходимость теоретического описания и расчета потерь, разработки методов и средств сокращения данных потерь. Чем больше резервуар, тем больше будут из него потери от испарения в количественном выражении. Внимание ученых было обращено на резервуары вертикального типа объемом от 400 м³ и выше, которые применяются на крупных нефтебазах» [191]. В настоящее время основной вклад в разработку теоретических формул, методик определения потерь топлива от испарения внесли ученые Ф.Ф. Абузова, И.П. Бударов, В.А. Бунчук, П.В. Валявский, В.Б. Галеев, М.А. Гиззатов, Б.П. Загородских, В.П. Коваленко, Н.Н. Константинов, А.А. Коршак, А.В. Кулагин, Р.Е. Левитин, А.Е. Ломовских, С.А. Нагорнов, В.В. Остриков, В.В. Пархоменко, В.Б. Рыков, Н.М. Фатхиев, Л.Р. Хакимьянова, Ф.М. Хафизов, А.Л. Хохлов, А.П. Уханов, В.Г. Цегельский, И.А. Чарный, В.И. Черникин, R. Huntington, H. Boardman, J. Wiggins, N. Prater, N. Petru, D. Barns, R. Bielawski, W.J.V. Broadley и другие, а также организации ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, ФГБНУ ВНИИТиН, ВУНЦ ВВС ВВА [8, 14, 16, 20-35, 76-79, 81, 94-96, 131, 152, 161-163, 172, 173, 180, 210, 320-323].

Рассмотрим известные методики для расчёта потерь топлива от испарений и проанализируем их точность и возможность применения для наземных горизонтальных резервуаров.

Потери нефтепродукта от «большого» дыхания $M_{б.д.}$, кг из резервуаров типа РВС по формуле В.И. Черникина определяются [343]:

$$M_{б.д.} = \left[V_{п.см} - V_2 \left(\frac{P_{2г} - P_{1г}}{P_{2г} - p_p} \right) \right] \frac{p_p}{P_{2г}} \rho, \quad (1.2)$$

где V_2 – объем газового пространства (ГП) резервуара перед заполнением нефтепродуктом, м^3 ; $V_{\text{п.см}}$ – объем паровоздушной смеси, вышедшей из резервуара, м^3 ; ρ – плотность паровоздушной смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$; $P_{2\text{Г}}$ – абсолютное давление в ГП в конце заполнения, Па; $P_{1\text{Г}}$ – абсолютное давление в ГП до заполнения, Па; p_p – среднее расчетное парциальное давление паров нефтепродукта, Па [343].

В данном уравнении количество потерь является зависимостью от давления насыщенных паров углеводородов в газовом пространстве резервуара.

Чтобы получить искомое значение по данной методике, необходимо выполнить расчет и определить концентрацию паров топлива в газовом пространстве резервуара, которая зависит от ряда динамических параметров окружающей среды и топлива, скорости его налива, площадь испарения и т.д. Методическая база таких расчетов не приведена, но без учета потерь от малых дыханий погрешность расчета будет значительной.

Н.Н. Константинов разработал следующую методику для расчета потерь нефтепродукта за сутки от «малого» дыхания резервуара [152]:

$$M_{\text{м.д.}} = D_{\text{м}} \Delta V, \text{ кг} \quad (1.3)$$

«где $M_{\text{м.д.}}$ – потери нефтепродукта от малого дыхания, кг; $D_{\text{м}}$ – среднее массовое содержание паров нефтепродукта в вытесняемом объеме паровоздушной смеси $\text{кг}/\text{м}^3$; ΔV – вытесняемый объем паровоздушной смеси, м^3 » [152].

$$\Delta V = V \ln \left(\frac{P_a - p_{\text{к.в}} - p_{\text{min}}}{P_a + p_{\text{к.д}} - p_{\text{max}}} \frac{T_{\text{Г max}}}{T_{\text{Г min}}} \right), \text{ м}^3 \quad (1.4)$$

где « p_{min} , p_{max} – минимальное и максимальное парциальное давление нефтепродукта в газовом пространстве резервуара в течение суток, Па; $T_{\text{Г min}}$, $T_{\text{Г max}}$ – минимальная и максимальная температура ГП резервуара в течение суток, К; P_a – атмосферное давление, Па; $p_{\text{к.в}}$ – вакуум в газовом пространстве, соответствующий нагрузке вакуумного клапана, Па; $p_{\text{к.д}}$ –

избыточное давление в газовом пространстве, соответствующее нагрузке клапана давления, Па; V – объем газового пространства, м³» [152].

Среднее массовое содержание паров нефтепродукта в паровоздушной смеси, вытесняемой из резервуара [152], определяется по формуле:

$$D_M = \frac{p_{max} + p_{min}}{R_n (T_{rmax} + T_{rmin})}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad (1.5)$$

где газовая постоянная паров топлива $R_n = \bar{R}/M$, Дж/кг·К; M – молярная масса, кг/моль; \bar{R} – универсальная газовая постоянная, Дж/моль·К.

По данному уравнению невозможно предсказать количество срабатываний дыхательного клапана. Каждое открывание клапана на «выдох» будет выбрасывать порцию топлива в атмосферу. Поэтому расчет по данной методике будет обладать значительной погрешностью. Более поздними исследованиями было отмечено, что «при расчете принимается, что парциальное давление равно давлению насыщенных паров топлива в паровоздушном пространстве. Тогда как парциальное давление паров не всегда достигает давления насыщенных паров нефтепродукта в паровоздушной смеси. И в каждом конкретном случае его следует рассчитать» [152]. В работе указано, что данные методы расчета потерь применимы для резервуаров вертикального типа.

В трудах Ф.Ф. Абузовой и ее последователей при расчете испарения топлива предложено использовать коэффициент массоотдачи, для расчета которого были получены соответствующие критериальные уравнения [20, 22-24]:

$$G = \beta \cdot F_p \frac{C_s - C}{1 - C} \cdot \tau, \quad (1.6)$$

где G – потери топлива, кг; β – коэффициент массоотдачи, кг/(м²·ч); F_p – площадь «зеркала» нефти в резервуаре, м²; C_s, C – концентрация насыщенных паров углеводородов и средняя концентрация паров в газовом пространстве резервуара соответственно, τ – время, ч. [20, 22-24].

Предложенные зависимости также не лишены ряда недостатков. Первое, что можно выделить – определенный интервал изменения

характеристик, которые влияют на испарение моторного топлива: при решении уравнения со значением переменной скорости подачи моторного топлива около нулевых значений получается решение по расчёту требуемого коэффициента массоотдачи приблизительно равное нулевому значению, что противоречит фактическим данным. Не разработана зависимость по определению массоотдачи при хранении моторного топлива при температуре парогазового пространства в резервуаре, которая равна температуре окружающего воздуха. Также ряд уравнений получен в результате проведения экспериментов с бензинами, которые сняты с производства, в которых допускалось содержание серы, тетраэтилсвинца.

Формула для расчёта потерь бензина от «большого» дыхания за период 12 месяцев по методике Министерства энергетики [69] записывается в виде:

$$G = 0.294 \cdot 10^{-7} P_{38} m (K_t^{max} K_a + K_t^{min}) K_p^{cp} K_{об} V / \rho_{ж}, \text{ т/год} \quad (1.7)$$

где « $K_{об}$ – коэффициент, зависящий от годовой оборачиваемости резервуаров $n = V / (\rho_{ж} V_p N_p)$; $\rho_{ж}$ – плотность бензина, т/м³; P_{38} – давление насыщенных паров бензина при температуре 38 °С, мм рт. ст.; m – молекулярная масса паров жидкости, г/моль; K_t^{max} – коэффициент для пересчета концентраций насыщенных паров бензина в резервуарах при $t = 38$ °С к фактической температуре закачиваемого бензина соответственно в холодное и теплое время года, полученный экспериментальным путём; K_a, K_p^{cp}, K_t^{min} – коэффициенты, полученные экспериментальным путём и зависящие от давления насыщенных паров; V – количество нефтепродукта, закачиваемого в резервуары в течение года, т/год; V_p – объем резервуара, м³; N_p – количество резервуаров» [69].

Неточность методики заключается в приравнивании объема вытесняемой паровоздушной смеси объему закачиваемого топлива; в то время как исследованиями ряда авторов отмечено, что «при заливке топлива в резервуар газовая смесь сначала сжимается, и только потом, при

достижении давления срабатывания дыхательной арматуры, вытесняется в атмосферу» [69].

Формула для расчёта потерь бензина от «малого» дыхания за период 12 месяцев по методике Министерства энергетики [69] записывается в виде:

$$G = 10^{-6}(Y_2 V_x + Y_3 V_T)K_p^{max} + G_{xp}K_{нп}N_p, \text{ т/год} \quad (1.8)$$

где « K_p^{max} , $K_{нп}$ – коэффициенты, полученные экспериментальным путем; Y_2 , Y_3 – средние удельные выбросы из резервуаров для холодного и теплого периода года, г/т; V_x, V_T – количество закачиваемой жидкости в резервуар в холодный период года и теплый период, т; G_{xp} – выбросы паров нефтепродуктов при хранении бензина в одном резервуаре, т/год» [69].

Введенные коэффициенты приводят к большой погрешности в расчетах. Они обобщают различные климатические зоны страны и группируют большое количество резервуаров.

Коршак С.А. разработал «критериальное уравнение для описания процессов массоотдачи в резервуарах в общем виде» [173]

$$Kt = f_1(\Delta\pi, Sc, Fr \cdot Re, Re_{cp}), \quad (1.9)$$

«где Kt – безразмерный комплекс (критерий), характеризующий динамику испарения; $Fr \cdot Re$ – комплексный критерий, характеризующий интенсивность перемешивания нефтепродукта в заполняемом резервуаре, Re – число Рейнольдса, характеризующее интенсивность омывания поверхности жидкости струей подсасываемого воздуха при опорожнении резервуара, Sc – число Шмидта» [173].

Коршаком С.А. были разработаны «критерии подобия для описания процесса массоотдачи в резервуарах при неподвижном хранении бензина» [173]

$$Kt_{пп} = 2.17 \cdot 10^{-3} \Delta\pi^{0.403} Sc^{0.0932}, \quad (1.10)$$

а также для случая заполнения резервуара

$$\frac{Kt_3}{Kt_{пп}} = 1 + 0.524 (Fr Re)^{0.265} \Delta\pi^{-0.289} Sc^{0.422}, \quad (1.11)$$

и опорожнения резервуара

$$\frac{Kt_{от}}{Kt_{пр}} = 1 + 7.45 \cdot 10^{-3} Re_{ср}^{0.569} Sc^{0.197}. \quad (1.12)$$

Автором «получены критериальные уравнения массоотдачи, которые в отличие от ранее существовавших справедливы во всем диапазоне изменения модуля движущей силы испарения Δp , а также удовлетворяют правилу предельного перехода. Уточнены методы расчета потерь бензина от испарения с использованием полученных критериальных уравнений. Установлена аналитическая связь между массоотдачей от поверхности бензина в резервуарах с понтонами и долей поверхности нефтепродукта, не закрытой затвором» [173].

Коршак С.А. предложил критерий подобия, который характеризует динамику испарения топлива [173]:

$$Kt = \frac{J}{\rho_{пвс} D_M} \sqrt[3]{\frac{v_{пвс}^2 M_{пвс} T_B}{g M_y T_{ж}}}, \quad (1.13)$$

где « $\rho_{пвс}$, $M_{пвс}$ – соответственно плотность и молярная масса паровоздушной смеси кг/м³, кг/моль; g – ускорение свободного падения м/с²; M_y – молярная масса паров бензина, кг/моль; T_B , $T_{ж}$ – температуры соответственно окружающего воздуха и бензина °С. Величина J вычисляется по конкретным формулам для каждого случая: простой резервуар с закрытой дыхательной арматурой; заполнение резервуара (открыт клапан давления); опорожнение резервуара (открыт клапан вакуума)» [173].

Результаты расчетов по различным методикам были проведены в различных работах [69, 219]. Приведем данные для резервуара РВС-20000 в таблице 1.8.

Анализ таблицы показал, что наибольшей точностью расчетов обладает методика, разработанная Коршаком С.А. В рассматриваемой методике параметры уравнений определены для резервуаров вертикального типа емкостью более 1000 м³. В методике нет зависимости процесса испарения от переменной площади поверхности раздела фаз, которая характерна для наземных горизонтальных цилиндрических резервуаров. Не учтено влияние

амплитуды колебаний температуры моторного топлива, которая находится в зависимости от объема хранимого топлива.

Таблица 1.8 – Результаты сравнения расчетов потерь топлива по методикам [219]

Замер	Расчет по промышленным данным	Расчет по методике С.А. Коршака		Расчет по методике Ф.Ф. Абузовой		Расчет по формуле В.И. Черникина	
		Полные потери, кг	Погрешность, %	Полные потери, кг	Погрешность, %	Полные потери, кг	Погрешность, %
1-2	704,4	701,9	0,4	406,9	42,2	437,4	37,9
3-4	6392,9	6095,8	4,7	3918,3	38,7	1784	72,1
5-6	6844,3	6801,4	0,6	4151,2	39,4	1729,7	74,7

Рассмотренные выше математические модели и методики расчета потерь моторного топлива от процесса испарения при его хранении показывают достоверные результаты применительно к резервуарам вертикального типа емкостью более 1000 м³. Более ранние математические модели разработаны при заданных начальных условиях и не обладают универсальностью расчетов. В зависимостях фигурируют такие параметры как температура окружающей среды, в то же время не анализируется значение нагрева поверхности, происходящее под воздействием солнечной радиации, не учтена переменная площадь поверхности испарения. Поэтому расчеты потерь моторного топлива от процесса испарения при его хранении в наземных горизонтальных резервуарах объемом менее 75 м³ являются недостоверными. Это подтверждено экспериментами, проведенными С.А. Коршаком, которые показали, что критериальные уравнения, полученные для резервуаров большого объема (от 1000 и более м³), не работают применительно к резервуарам малой вместимости даже вертикального исполнения. По мнению Коршака А.А. нельзя использовать механизм массопереноса в РВС более 1000 м³ к РГС от 3 до 75 м³.

Методика расчёта потерь из подземных РГС автозаправочных станций разрабатывалась Гиззатовым М.А. [104], на основе развития теории Абузовой Ф.Ф. Законченное аналитическое выражение для расчета потерь бензинов из заглубленных резервуаров получено Кулагиным А.В. [178, 180, 182]. Но указанные методики предназначены для расчета потерь только при заполнении резервуаров, что делает их не применимыми для расчета общих потерь топлива при его хранении в наземных горизонтальных резервуарах.

Таким образом, в настоящее время не существует методики, описывающей процессы испарения в горизонтальных наземных цилиндрических резервуарах. Целый сектор сельскохозяйственных нефтескладов не обеспечен теоретической базой для оценки потерь топлива от испарения, следовательно, невозможно принять обоснованные меры для сохранения его качества.

1.7 Сравнительный анализ эффективности современных технических средств и методов сокращения потерь моторного топлива от испарения и возможность применения их для резервуаров сельских нефтескладов

Разработкой оборудования для сокращения потерь от испарения занимались с 60-х годов XX-ого века [8, 16, 20-35, 76-79, 81, 94-96, 152, 161-163, 172, 173, 180, 236, 320-323].

Проведем классификацию методов и устройств для предотвращения ухудшения качества моторного топлива от испарения на рисунке 1.10.

Исторически сложилось, что устройства снижения потерь топлива от испарений разрабатывались для резервуаров крупных нефтескладов. Проанализируем возможность применения данных устройств для резервуаров сельских нефтескладов.

Уменьшение площади соприкосновения жидкой и газовой фазы в резервуаре. Сокращение потерь от испарения происходит за счет

уменьшения площади контакта моторного топлива и паровоздушной среды в резервуаре. Топливо в резервуаре накрывают понтоном или плавающей крышей. Также возможно применять микрошарики. По расчетам ряда авторов установлено, что «резервуары с плавающей крышей и понтоном наиболее эффективны при годовом коэффициенте оборачиваемости резервуара больше 12» [157].



Рисунок 1.10 – Схема методов и устройств для предотвращения ухудшения качества моторного топлива

Несмотря на простоту конструкции и ее эффективность, использование данного метода на стальных наземных горизонтальных резервуарах невозможно. Это связано с тем, что в горизонтально расположенном резервуаре переменная площадь поверхности раздела жидкой и газовой фазы зависит от степени его наполнения.

Хранение топлива под избыточным давлением.

Избыточное давление можно создать за счет установки дыхательного клапана. В то же время, расчеты показали [256], что большие избыточные давления приводят к усложнению конструкции и повышению стоимости резервуара, что неприемлемо для сельского хозяйства.

Достоинства:

- В Правилах технической эксплуатации нефтебаз указывается, «что диски-отражатели уменьшают потери бензина от испарения на 20...30 %» [316].

Недостатки:

- низкая эффективность в жаркую погоду;
- усложнение конструкции резервуара.

Так как интенсивное использование сельскохозяйственных нефтебаз происходит в летний период, для которого характерна высокая температура окружающей среды, то диск отражатель не будет эффективен. Следовательно, данный метод также не подходит для нефтескладов сельскохозяйственного значения.

Уменьшение амплитуды температурных колебаний в газовом пространстве резервуара. Данный способ хранения достигается следующим образом: теплоизоляция резервуара; охлаждение корпуса резервуара водой в летнее время или подземное хранение.

Достоинства:

- Снижение потерь топлива

Недостатки:

- Повышенные затраты на обеспечение обслуживания резервуара, сложности при определении протечек при подземном хранении
- Коррозия резервуара от воды при орошении

Несмотря на то, что при подземном размещении резервуаров достигается изотермическое хранение, снижается амплитуда температурных колебаний и выбросы топлива, в сельском хозяйстве данный способ хранения не применяется из-за сложности технического обслуживания резервуаров, повышения капиталовложений.

Улавливание паров испарившегося топлива, выходящих из резервуара.

Данная система имеет эффект на нефтебазах с высоким коэффициентом оборачиваемости, при одновременном приеме и отпуске

нефтепродуктов. Широкое распространение в этом классе получила газоуравнительная система, представляющая собой сеть из газопроводов, соединяющих через огневые предохранители газовое пространство резервуаров между собой при одновременном выполнении сливных операций. Пары топлива из заполняемых резервуаров перемещаются в освобождающийся резервуар, и потери от «больших дыханий» исключаются.

Объединение групп резервуаров со стационарной крышей одной общей газоуравнительной системой обеспечивает их взаимозаменяемость при технологических операциях слива-налива и является средством сокращения потерь топлива от испарения. В этом плане газоуравнительные системы особенно эффективны при наличии газосборников. Однако ввиду нехватки надежных газосборников газоуравнительные линии часто эксплуатируются без них. В этом случае эффективность работы зависит от совпадения операций закачки-отбора в группе резервуаров, объединенных газовой обвязкой. Схемы газоуравнительных систем выбираются в зависимости от вместимости, производительности, компоновки и назначения резервуарных парков.

Сокращение потерь нефтепродуктов от испарения газоуравнительными системами в сочетании с улавливанием и конденсированием паров позволяет использовать сконденсированный нефтепродукт, который является готовым сырьем для потребителя. Конденсат может подаваться обратно в резервуар с целью предотвращения обеднения топлива легкими фракциями.

Наибольший эффект газоуравнительная система даст в резервуарных парках, в которых работа по приему и отпуску топлива совпадает как по времени, так и по производительности. Такой режим работы характерен для резервуарных парков головных станций магистральных нефтепроводов, а также для сырьевых парков нефтеперерабатывающих заводов.

Газоуравнительная система с газосборниками требует при малых значениях коэффициента совпадения закачки и отбора значительного объема газосборников для приема ПС при "больших дыханиях" группы резервуаров.

Это ведет к значительным капитальным затратам и расходу металла. Эффективность же газоуравнительной системы без газосборников полностью зависит от совпадения операций закачки и отбора в группе резервуаров. Использование газоуравнительных систем групп резервуаров осложняется также тем, что необходимо объединять ими резервуары одного типа, предназначенные для хранения однородного нефтепродукта (НП).

Использование систем газоулавливания, конденсации паров, как правило, экономически целесообразны на крупных нефтебазах, где в эксплуатации находятся резервуары большой вместимости — более 1000 м³. Разработаны установки улавливания паров топлива за счет их охлаждения и последующей конденсации, для которой требуется поддержание низких температур от минус 40 °С.

Для сельскохозяйственных нефтескладов возврат конденсата топлива обратно в резервуар является решением проблемы качественных и количественных потерь. К примеру установка рекуперации паров бензина для АЗС ККР-30 способна сконденсировать до 90% паров бензина при рабочей температуре -35 °С. Установка рассчитана на пропускную способность 30 м³/ч. Однако ее стоимость составляет 2,5-3 млн. рублей и она испытана на заглубленных резервуарах, в которых температура ПВС не повышается выше 20-25 °С. В составе холодильной установки используется фреон, утечка которого может нанести урон окружающей среде.

Общим недостатком использования газгольдеров являются высокие затраты металлопродукции, а эластичные газосборники не получили распространения из-за короткого срока службы [256].

Системы улавливания легких фракций (УЛФ) представляют собой технические средства, которые обеспечивают компримацию легких фракций углеводородов до «выдоха» из резервуара.

Компримация в данном случае является накоплением паров топлива с целью последующего возврата в резервуар, либо отделение углеводородов от смеси воздуха и топлива, либо реализация смеси потребителям.

Широкое применение получили компрессорные системы улавливания легких фракций. Технологическая схема типовой установки состоит из паросборных трубопроводов, сепаратора, компрессора, приборов контроля, вспомогательного оборудования и системы подачи газа в резервуары для заполнения его газового пространства в периоды, когда там возможно образование вакуума и, таким образом, предотвращает засасывание воздуха в резервуар в более холодное время и при выкачке нефтепродуктов из резервуара.

На практике существуют различные способы, основанные на абсорбционном принципе улавливания паров жидкими абсорбентами.

Основными преимуществами этих способов являются достаточно полное улавливание паров углеводородов (УВ), возможность их утилизации и сравнительная простота технологического оформления процесса. Система регенерации абсорбента считается дорогостоящей, что приводит к удорожанию системы.

Абсорбционно-конденсационный метод основан на низкотемпературной абсорбции паров светлых НП, заключающийся в конденсации паров УВ захлаживанием газовым бензином. Данный метод обеспечивает улавливание выделяющихся паров на 90 %.

Адсорбционные методы улавливания летучих веществ применяются в тех случаях, когда необходимо достаточно полное их извлечение из смеси с газами или воздухом. В качестве сорбента при адсорбции применяют в основном активированные угли. Современные активированные угли в отношении газообразных углеводородов обладают достаточно высокой поглощающей способностью. Они обеспечивают возможность выделения УВ из паро-воздушных смесей даже при низкой концентрации в самые жаркие месяцы года. Десорбция углей производится водяным паром.

Несмотря на довольно значительные потери бензина и дизельного топлива от испарения, горизонтальные резервуары, как правило, не имели до

недавнего времени никаких средств сокращения потерь, кроме дыхательных клапанов.

Анализ эффективности средств, уменьшающих потери нефтепродуктов от испарения и соответствующее загрязнение окружающей среды, убедительно представлен в работе профессора А.А. Коршака. Автор подчеркивает, что:

-«применение дисков-отражателей является практически бесполезным, так как за время простоя достигнутое при опорожнении неравномерное распределение концентрации углеводородов по высоте газового пространства резервуаров полностью самоустраиваются вследствие диффузии;

-газовая обвязка в виде системы трубопроводов, соединяющих газовые пространства с одинаковым нефтепродуктом, дает эффект только при совпадении операций заполнения-опорожнения различных резервуаров в группе. В этой связи устанавливать ее на резервуарах АЗС совершенно бесполезно, так как при сливе бензина из топливозаправщиков операции по его реализации через топливораздаточные колонки полностью прекращаются;

-благодаря подключению к газовой обвязке газосборника она превращается в газоуравнительную систему. Даже при отсутствии совпадения операций заполнения-опорожнения газосборник способен аккумулировать некоторое количество паров бензина, сокращая тем самым его потери. Однако надежные конструкции газосборников в нашей стране отсутствуют. Нет их и за рубежом, так как приоритет там отдан понтонам;

-главное отличие в применении понтонов в России и за рубежом заключается в разной технологии сооружения резервуаров. Если на Западе применяют полистовую сборку, добиваясь при этом их идеальной цилиндрической формы, то в России до недавних пор применялись исключительно технология возведения резервуаров путем разворачивания рулонной заготовки заводского изготовления. Издержками последней

являются дефекты формы емкостей, вследствие чего между уплотняющим затвором понтонов и стенкой существуют многочисленные зазоры, через которые надпонтонное пространство насыщается парами бензина. Фактически при коэффициенте оборачиваемости 20 для резервуара РВС 5000 сокращение потерь бензина составляет всего 63 % вместо обещанного 90 %, а для резервуара РВС 1000 лишь 38 %. В связи с достаточно высокой стоимостью стальных понтонов (не говоря уж об алюминиевых) можно утверждать, что на резервуарах небольшой вместимости (1000 м³ и менее) применение понтонов экономически не целесообразно;

-наиболее перспективными являются системы улавливания легких фракций, под которыми понимается совокупность оборудования, обеспечивающего отбор и утилизацию паров бензина из резервуаров до того как произойдет их «выдох» в атмосферу. Общими недостатками существующих систем улавливания являются высокая стоимость, наличие энергопотребляющего оборудования, необходимость автоматизации» [155, 157, 165, 166, 170].

Таким образом, для РВС, а тем более для наземных горизонтальных резервуаров в сельском хозяйстве не разработано эффективного средства сохранения качества топлива. В первую очередь это связано с невозможностью конструктивного применения устройств из-за переменной площади поверхности испарения.

Наиболее эффективным направлением является конденсация испарившегося топлива для его возврата в резервуар. Вихревые трубки обладают перспективой использования в качестве генератора холода для конденсации углеводородов. Однако в доступной научной литературе отсутствуют сведения о возможности применения этого метода для предотвращения потерь топлива от испарения. Долговечность, отказоустойчивость и экологичность оборудования является главными критериями возможности применения вихревых трубок для сохранения качества топлива при хранении в условиях сельского хозяйства.

Также существует потребность в эффективном управлении техническими устройствами по предотвращению потерь топлива, которое возможно за счет использования современных цифровых технологий.

1.8 Выводы. Цель и задачи исследования

В результате проведенного анализа хранения светлых нефтепродуктов в АПК сделаны выводы:

1. Современное состояние резервуарного парка в сельском хозяйстве обуславливает количественные потери и снижение качества топлива. Так основная доля потерь (от 40% до 80 %) и ухудшение качества моторного топлива происходят при его хранении в стальных резервуарах. Существенная доля снижения показателей качества моторного топлива обусловлена испарением из резервуаров. Среди потерь от испарения доминирующими являются потери автомобильного бензина, затем дизельного топлива.

2. Установлен высокий процент некондиционных проб в общем объеме используемого в АПК моторного топлива (доля некондиционных проб возросла по автомобильному бензину от 14 % в 2015 г. до 17,3 % в 2019 г., по дизельному топливу от 19 % в 2015 г. до 35,6 % в 2019 г.).

3. Снижение качества топлива приводит к повышенному износу автотракторной техники. Так увеличение температуры кипения бензина до 250 °С увеличивает износ двигателя на 500%, а расход горючего на 140%.

4. Поиск механизмов тепломассопереноса и технических средств предупреждения потерь топлива от испарения на протяжении почти 100 лет осуществлялся исключительно для РВС большой вместимости. Поэтому существующие нормы естественной убыли топлива и расчеты по известным методикам в настоящее время приводятся для резервуаров вместимостью более 100 м³ в основном вертикального типа. И как следствие, потери топлива от испарений крупного класса сельских нефтескладов в 1,7–2 раза

превышают нормированные значения. Ключевой особенностью горизонтального расположения резервуаров следует считать переменную площадь поверхности контакта топлива с газовым пространством.

5. Фактор окисления топлива рассматривается как негативный эффект снижения его качества, однако не делается оценка влияния данного процесса на интенсификацию испарения.

6. Способы защиты топлива от потерь при хранении либо не применимы к резервуарам горизонтального типа, либо не эффективны в условиях сельского нефтесклада.

Таким образом, **целью диссертационного исследования** является повышение эффективности хранения моторного топлива за счет снижения его количественных и качественных потерь путем разработки и внедрения научно обоснованных методов и технических средств, обеспечивающих мониторинг и сохранение его эксплуатационных свойств.

Задачи исследований:

1. Провести анализ способов и средств в области предупреждения потерь моторного топлива при его хранении и определить возможность их применения для сельскохозяйственных резервуаров.

2. Теоретически обосновать физико-химические процессы, протекающие при хранении моторного топлива с учетом его испарения.

3. Обосновать теоретически и разработать метод расчёта массы топлива в фазовом переходе первого рода при получении им энергии от его окисления.

4. Разработать математическую модель потерь моторного топлива от испарения с изменяемой поверхностью в стальных наземных горизонтальных резервуарах вместимостью до 75 м³.

5. Провести теоретические исследования и лабораторные испытания конденсатора блочно-модульного построения на базе вихревого эффекта для генерации холодного воздушного потока с температурой, достаточной для

конденсации топлива и атмосферной влаги. Провести технико-экономическую оценку эффективности его использования.

6. Обосновать методологию формирования интеллектуальной системы автоматизации резервуарного парка сельскохозяйственных нефтескладов, обуславливающих снижение потерь моторного топлива.

7. Разработать метод оценки параметров качества хранимого топлива в наземных горизонтальных цилиндрических резервуарах с применением нейронных сетей.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ХРАНЕНИИ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ

2.1 Факторы, влияющие на интенсивность испарения моторного топлива при хранении в стальных горизонтальных наземных резервуарах

Рассмотрим герметичный горизонтальный цилиндрический резервуар, $2/3$ объема которого заполнено бензином, оставшаяся часть – воздухом. Температура во всех точках внутри резервуара не меняется.

В равновесном состоянии потенциальная энергия межмолекулярного взаимодействия бензина сравнима с их кинетической энергией. Молекулами бензина совершаются хаотичные колебания около положения равновесия. Данные колебания происходят в свободном объеме, который предоставляется молекулам от соседних частиц. Поверхность бензина под действием сил поверхностного натяжения стремится к минимуму поверхностной энергии. Между поверхностью бензина (капельная жидкость) и воздухом (газом) образуется граница раздела соприкасающихся (жидкой и газовой) фаз – свободная поверхность. Поскольку среднее расстояние между молекулами жидкости существенно меньше среднего расстояния между молекулами газа, то на свободной поверхности молекулы газа значительно слабее взаимодействуют с молекулами у поверхностного слоя бензина. Поэтому если не учитывать несущественные силы, действующие на рассматриваемую молекулу жидкой фазы со стороны молекул газа, то для такой молекулы характерным является действие сил сцепления со стороны молекул нижних слоев жидкости, равнодействующая сила которых направлена в противоположную от свободной поверхности сторону. Под действием этой равнодействующей силы молекулы, расположенные на

верхней поверхности жидкой фазы, стремятся покинуть свободную поверхность и перейти вглубь жидкости. Наличие силы сцепления удерживает молекулы капельной жидкости между собой и не дает им возможности разлетаться [42, 61].

В отличие от силы сцепления, тепловое движение молекул заставляет их разлетаться в разные стороны. Поскольку, согласно законам термодинамики, все в природе стремится к минимуму энергии, то в данном случае состояние равновесия достигается путем сокращения расстояния между молекулами пограничного слоя и их ближайшими соседями внутри жидкости [61].

Несмотря на беспорядочный (хаотический) характер движения молекул, их распределение по скоростям подчиняется определенной закономерности, установленной Максвеллом. Молекулы жидкости при неизменной температуре могут двигаться с разными скоростями. Вследствие теплового движения молекул происходит неравномерное распределение их кинетической энергии, это приводит к тому, что при любой средней температуре некоторые молекулы бензина достигнут таких значений кинетической энергии, которая превысит потенциальную энергию их связи с соседними молекулами. Находясь в непрерывном движении, у некоторых молекул бензина происходит рост их кинетической энергии от столкновения с другими молекулами до значения, при котором они преодолевают силы сцепления с другими молекулами и могут совершить работу выхода против удерживающих их в зоне раздела фаз сил поверхностного натяжения. Следует отметить, что для инициирования процесса испарения нужно сообщить необходимую энергию (для преодоления энергии связи) молекулам, которые не только расположены вблизи свободной поверхности, но и двигаются в сторону границы раздела фаз. При переходе из жидкости в пар энергия молекул пара снижается по сравнению с энергией молекул жидкости на величину, соответствующую работе выхода против

удерживающих их в зоне раздела фаз сил поверхностного натяжения [61, 187].

Испарение жидкости в герметичном резервуаре при неизменной температуре приводит к постепенному увеличению в газовой фазе концентрации молекул испаряющегося вещества в парообразном состоянии. Под понятием «пар» подразумеваем совокупность молекул, покинувших моторное топливо в процессе испарения. Объем образующегося пара ограничен пространством стенок резервуара и свободной поверхностью. С течением некоторого времени число частиц, вылетевших из жидкой фазы, становится равным числу частиц, поглощенных жидкой фазой при неизменном количестве молекул пара в парогазовой фазе.

«Чем выше давление насыщенных паров топлива, тем большее количество его испаряется, прежде чем концентрация молекул в паровой фазе достигнет состояния динамического равновесия» [117]. Функция давления насыщенных паров углеводородов определяется зависимостью состава и строения топлива, соотношения газовой и жидкой фаз и температуры.

Для испарения многокомпонентной жидкости, чем и является углеводородное топливо, характерной является зависимость скорости испарения от температуры кипения фракции, первоначально испаряются легкие фракции, молекулы которых притягиваются друг к другу с меньшей силой [187-189].

Интенсивность испарения зависит от начальной концентрации молекул данного вида топлива в газовой фазе и от скорости их диффузии. Если пар способен свободно диффундировать в паровоздушную смесь, то воздух диффундирует в направлении, обратном диффузии пара. Воздух практически не растворяется в светлых нефтепродуктах, поэтому он является компонентом паровоздушной смеси, для которого свободная поверхность не проницаема. В связи с этим массовая доля воздуха должна возрасти вблизи свободной поверхности. Однако распределение концентраций при

стационарном процессе не изменяется во времени. В отличие от воздуха, для паров светлых нефтепродуктов межфазная поверхность является проницаемой. Поэтому перемещение газа к поверхности должно компенсироваться конвективным потоком. Установлено, что в процессе массообмена между жидкостью и паровоздушной смесью, протекающего вблизи межфазной поверхности, возникает конвективный поток смеси в направлении, перпендикулярном к этой поверхности [187-189, 295].

Молекулярная и турбулентная диффузия приводит к выравниванию концентраций паров топлива в среде атмосферного воздуха. Скорость диффузии увеличивается при повышении температуры.

В отличие от закрытого резервуара, наличие циркуляции воздуха в резервуаре через неработающий дыхательный клапан, открытые люки приводит к испарению в незамкнутый над свободной поверхностью объем резервуара. Для этого случая характерным является то, что тепловое равновесие парогазовой среды с жидкой фазой не достигается, практически, никогда. В этом случае имеем пар ненасыщенный,

Испарение происходит при любой температуре жидкой фазы [61, 295], но с повышением температуры скорость его увеличивается, поскольку кинетическая энергия молекул бензина, находящихся в непрерывном хаотическом движении, зависит от температуры жидкой фазы. В то же время, температура жидкости зависит от скорости его молекул. Поскольку наиболее быстрые молекулы жидкости переходят в газовую фазу, происходит уменьшение средней энергии оставшихся молекул в жидкой фазе, и если к испаряющейся жидкости, находящейся при данной температуре и фиксированном давлении, не подводить тепло от внешнего источника или подводить его в недостаточном количестве, то происходит охлаждение жидкости [189].

Несмотря на то, что с увеличением температуры уменьшается средняя длина свободного пути испарившихся молекул и увеличивается возможность столкновения молекул, скорость испарения становится больше и процесс

испарения интенсифицируется. Поэтому при нагреве топлива за счет окружающей среды процесс испарения интенсифицируется.

Влияние отношения объемов газовой и жидкой фаз на процесс испарения проявляется следующим образом. В случае если объем газовой фазы по сравнению с объемом жидкой фазы незначительный, то при насыщении газовой фазы легкоиспаряющимися углеводородами состав жидкой фазы практически не изменяется, и в равновесии находятся паровоздушная фаза и бензин первоначального состава. В другом случае, когда объем газовой фазы значительно превышает объем жидкой фазы, для насыщения уже расходуется существенное количество легкоиспаряющихся углеводородов, обуславливающее изменение состава жидкой фазы. При увеличении значения отношения объемов фазы газа к жидкости давление насыщенных паров будет уменьшаться, что приведет к интенсификации испарения углеводородного топлива.

Влияние на испарение оказывает скорость среды, в которую оно происходит. При хранении моторного топлива в герметичных резервуарах относительное перемещение топлива и воздуха на поверхности их соприкосновения, как правило, отсутствует. В этом случае испарение зависит от площади свободной поверхности испаряющегося топлива.

При увеличении площади свободной поверхности увеличивается возможность большему числу молекул покинуть ее, поскольку масса молекул пара распространяется по большей площади, обуславливая снижение давления на жидкость. В свою очередь, снижение давления пара, во-первых, уменьшает количество кинетической энергии, необходимой молекулам для преодоления сил сцепления и отделения от поверхности жидкости. Во-вторых, уменьшается число соударений молекул паров топлива друг с другом и с молекулами воздуха в зоне свободной поверхности, под действием которых пары отбрасываются в жидкость (конденсируются).

При больших и малых «дыханиях» резервуара вблизи свободной поверхности возникает движение газовой фазы относительно поверхности

неподвижного топлива, обуславливающее интенсификацию процесса испарения за счет сообщения дополнительной энергии молекулам жидкости и удалении уже испарившихся молекул из зоны свободной поверхности, препятствуя их накоплению в этой зоне.

С понижением давления газовой фазы испарение моторного топлива интенсифицируется. С увеличением давления газовой фазы (в среде воздуха или другого инертного газа) над свободной поверхностью, испарение моторного топлива снижается. В этом случае, вследствие увеличения числа соударений с молекулами парогазовой фазы, часть молекул пара вновь возвращается в жидкость (конденсируется), а для того, чтобы вырваться из жидкой фазы в паровоздушную среду нужно сообщить молекулам большую кинетическую энергию [61, 295].

Исходя из проведенного анализа, следует, во-первых, что движущей силой фазового перехода 1 рода является стремление системы перейти в состояние с минимальной свободной энергией. Во-вторых, в отличие от газа капельная жидкость (для сохранения занимаемого ею объема) всегда формирует свободную поверхность раздела фаз, отделяющую жидкую фазу от газовой. Переход моторного топлива из жидкой фазы в паровоздушную (т.е. его испарение) происходит только со свободной поверхности раздела фаз.

К шести основным факторам, влияющим на интенсивность испарения моторного топлива, относятся:

- физико-химические свойства топлива – чем меньше притяжение (сцепление) молекул, тем выше скорость испарения. Ведущую роль в этом вопросе имеет фракционный состав и давление насыщенных паров моторного топлива;

- величина границы раздела соприкасающихся жидкой и газовой фаз – с увеличением площади свободной поверхности растет количество испарившихся молекул. В горизонтальных резервуарах данная площадь является переменной величиной;

- температура моторного топлива – с повышением температуры топлива в резервуаре возрастает скорость молекул и их кинетическая энергия. Фазовые переходы I рода, к которым относится испарение и конденсация моторного топлива, сопровождающиеся поглощением или выделением энергии, характеризуются постоянством температуры, но изменениями энтропии и объема;

- соотношение объемов паровой и жидкой фаз;

- давление внутри резервуара – с понижением давления газовой фазы над свободной поверхностью испарение моторного топлива интенсифицируется, с увеличением – скорость испарения моторного топлива снижается;

- наличие движущегося потока паровоздушной фазы вблизи свободной поверхности жидкой фазы – движение паровоздушной фазы, обусловленное вентиляцией газового пространства, интенсифицирует процесс испарения за счет сообщения дополнительной энергии молекулам жидкости и удалении уже испарившихся молекул из зоны свободной поверхности, препятствуя их накоплению в этой зоне.

Таким образом, моторное топливо, имеющее свободную поверхность раздела «жидкость-пар», испаряется всегда и при любой температуре вследствие теплового движения молекул. Снизить потери моторного топлива в условиях переменной поверхности испарения возможно лишь за счет конденсации испарившихся углеводородов и обратном возврате топлива в резервуар.

2.2 Физико-химические процессы, протекающие при хранении топлива

Как показало изучение литературных источников в разделе 1.6, в настоящее время аналитические зависимости для теоретического расчета потерь нефтепродуктов получены для ограниченного перечня операций,

связанных «большим» и «малым» дыханием при хранении нефти и нефтепродуктов в резервуарах. Часть зависимостей получено экспериментальным путем и действуют в определенном диапазоне переменных.

Для точного описания процессов, протекающих при испарении необходимо использовать совокупность законов термодинамики применительно к реальным жидкостям и газам, учитывающими химические потенциалы фаз, межмолекулярное взаимодействие. На базе теоретического обоснования физико-химических процессов, протекающих при хранении моторного топлива, выявлены факторы, влияющие на интенсификацию испарения, а также проведено обоснование новых эффективных методов предупреждения потерь топлива при хранении.

Из термодинамики известно [61, 187, 295], что движущей силой фазового перехода 1 рода является стремление системы перейти в состояние с минимальной свободной энергией. Испарение происходит с затратой тепловой энергии, при этом происходит возрастание энтальпии $dH > 0$. Переход фазы из одного состояния в другое происходит в сторону уменьшения энергии Гиббса, то есть термодинамический потенциал системы $dG < 0$. Особенности хранения моторного топлива подразумевают наличие постоянно протекающих различных химических и электрохимических реакций [135, 241, 242]. Для таких систем термодинамический потенциал определяется уравнением:

$$dG = - SdT + VdP + \mu dN, \quad (2.1)$$

где G – термодинамический потенциал, Дж/моль; P – давление, Па; μ – химический потенциал, Дж/моль; S – энтропия, Дж/К; V – объём, м³; N – число частиц; T – абсолютная температура, К.

Одним из основных параметров системы является химический потенциал, который выражается термодинамической функцией зависимости состояния i -го компонента в фазе известного состава при заданных внешних воздействиях:

$$\mu_{iж} = \mu_{0iж} + R \cdot T \cdot \ln a_i, \quad (2.2)$$

где a_i – активность вещества, Дж/моль; $\mu_{0iж}$ – химический потенциал вещества при $a = 1$, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); T – температура, К.

С учетом того, что давление паров парогазового пространства над моторным топливом в условиях его хранения в наземных горизонтальных резервуарах не является критическим, то следует рассматривать газовую фазу системы моторного топлива и парогазовой смеси в интерпретации законов для идеальных газов. Таким образом химический потенциал i -го компонента в газовой фазе $\mu_{iг}$ запишем следующим выражением:

$$\mu_{iг} = \mu_{0iг} + R \cdot T \cdot \ln p_i, \quad (2.3)$$

где $\mu_{0iг}$ – химический потенциал компонента i при стандартных условиях, Дж/моль; p_i – парциальное давление компонента i , Па.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что при изменении мольной доли i -го компонента в моторном топливе, которое может произойти в результате его реакции окисления приведет к изменению показателя его химического потенциала, в результате чего произойдет смещение фазового равновесия. Т.е. окисление топлива также способствует интенсификации испарения.

2.3 Анализ влияния различных факторов на давление насыщенных паров топлива

Давление насыщенных паров следует определять внешними факторами, включающих в себя давление и температуру окружающей среды и внутренними факторами – фракционным составом топлива.

Передача тепла в резервуар может происходить от окружающей среды, в том числе от солнечной радиации. При прохождении солнечного излучения через атмосферу Земли в совокупности происходят три процесса: отражение излучения в космос (приблизительно 34 %), которое не зависит от длины

волны излучения; отражение облаками и атмосферой планеты, поглощение солнечного излучения атмосферой (приблизительно 19 %), когда энергия солнечного излучения преобразуется в тепло [5,6]. Всего 27 % солнечного излучения [75], поступающего на земную поверхность, преобразуется в энергию, которая идет на испарение и нагрев воды, нагрев атмосферы, образование ветров, волн, течений и т.д. Данная энергия нагревает стенки резервуара.

Передача тепла резервуару происходит также и от окружающей среды. Проведен эксперимент в АО «Добринское АТП», который показывает наличие разницы температуры в течении суток по высоте резервуара объемом 10 м³ (от 0 до 2 м). Измерения выполнены в летний месяц июль и зимний месяц декабрь. Результаты приведены в таблице 2.1 и на рисунке 2.1, 2.2.

Таблица 2.1 – Температура окружающего воздуха по поверхности резервуара в течении суток в летний и зимний месяц, °С

Время, ч	Лето		Зима	
	Высота 0 м	Высота 2 м	Высота 0 м	Высота 2 м
0	18	16,5	-6	-4,5
1	17,5	16	-7	-4,5
2	17	15,8	-8,5	-5
3	16	15,5	-10	-5
4	15,5	15,2	-11	-5,5
5	15,5	15,2	-13	-5,5
6	16	15,9	-12,5	-5,5
7	19	18	-11	-5,5
8	24	22	-9	-6
9	26,5	24,5	-6,5	-6
10	29	26	-5,5	-5,5
11	32	26,5	-4	-5
12	35	27	-3	-4,5
13	37	27,5	-2,5	-4
14	38	28	-2,5	-4
15	38,5	29,5	-3	-3,5
16	35	28	-3,5	-4
17	30	27	-3,5	-4
18	28	25	-3,5	-4
19	24	22	-4	-4,5
20	21	20	-4,5	-4,5
21	19	19	-5,5	-5
22	18	18,5	-5,5	-5
23	17,5	18,5	-6	-5
24	16,5	18	-6,5	-5,5

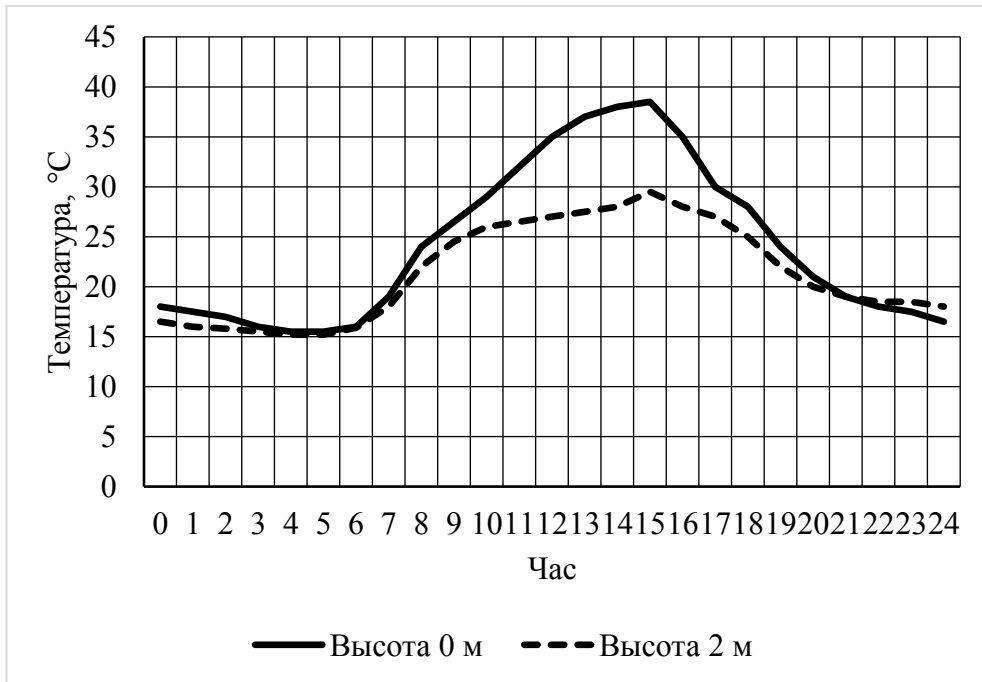


Рисунок 2.1 – График разницы температуры по высоте резервуара в течение суток в летний месяц

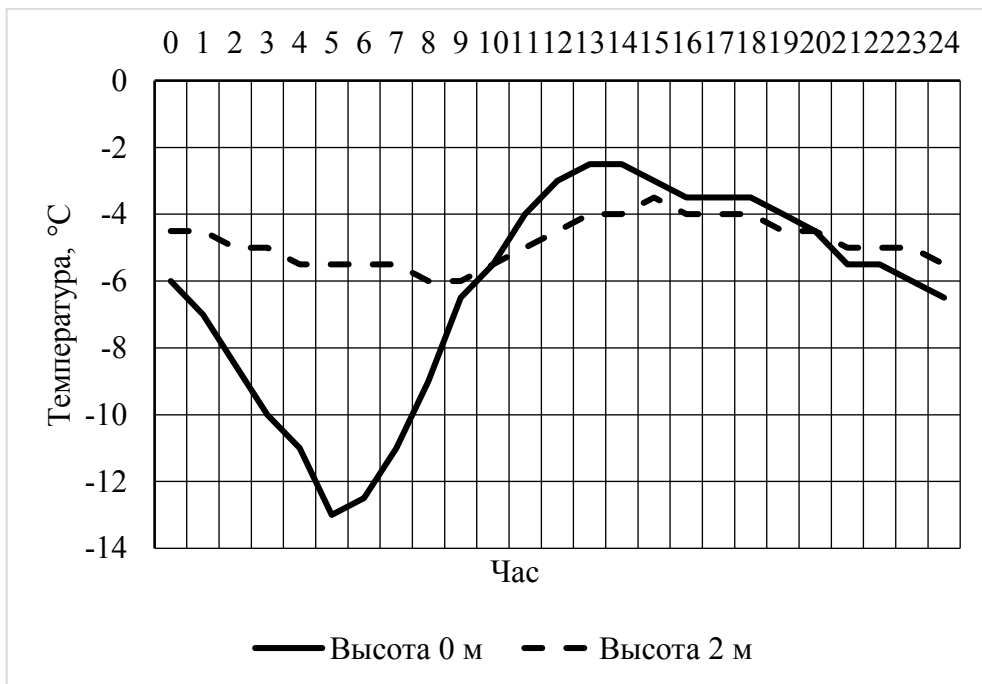


Рисунок 2.2 – График разницы температуры по высоте резервуара в течение суток в зимний месяц

Из данных эксперимента видно, что разница температуры может достигать 10 °С на высоте 2 м. Тем самым резервуар будет прогреваться неравномерно, что поспособствует возникновению конвективной диффузии в хранимом топливе. Перемешивание будет вытеснять более легкие фракции вверх, увеличивая парциальное давление, а более тяжелые будут осаждаться вниз.

Общий поток тепла, переданной резервуару будет равен сумме потока тепла от солнечной радиации и от окружающей среды.

2.4 Интенсификация испарения за счет реакций окисления

Негативное влияние окисления топлива на его эксплуатационные свойства достаточно подробно изучено. Однако процесс окисления углеводородного топлива кислородом из паровоздушной смеси над ним интенсифицирует также и процесс его испарения при хранении.

В работе [209] и Приложении А приведены тепловые эффекты некоторых реакций окисления.

В гипотезу, которая обосновывает увеличение скорости испарения светлых нефтепродуктов при хранении, положено предположение о протекании реакции окисления топлива под воздействием кислорода воздушного пространства над ним. Зная, что реакция является экзотермической и, предположительно, выделяемой энергии достаточно для достижения молекулой (молекулами) такой кинетической энергии, которая способна преодолеть силу поверхностного натяжения бензина и силу земного притяжения молекулы, чтобы перейти в газовую фазу. Тем самым общему объему хранимого бензина будет передаваться энергия на испарение не только из внешней среды, но и за счет внутренних процессов. Рассмотрим данную гипотезу с точки зрения действия сил и стремления системы к минимуму свободной энергии на примере горизонтального цилиндрического резервуара 25 м³.

Сила поверхностного натяжения бензина рассчитывается по формуле :

$$F = \sigma L, \quad (2.4)$$

где σ - коэффициент поверхностного натяжения Н/м, L - периметр смачивания, м. Для бензина $\sigma = 21 \cdot 10^{-3}$ Н/м (при 20 °С) [82].

Для резервуара 25 м³, заполненном на 50 %, при габаритах 2,76x4,99 м сила поверхностного натяжения будет равна $F = 0,33$ Н.

Сила тяжести, действующая на молекулу бензина $F = m g = 0,02 \cdot 10^{-22}$ Н [82].

Сумма двух сил является показателем работы, которую необходимо совершить молекуле после окисления для преодоления расстояния от поверхности жидкости много большим размера самой молекулы.

Так как, под полным окислением понимается горение топлива, то в процессе хранения происходит неполное окисление и количество теплоты будет несколько меньшим. Найдем количество энергии, которое будет при этом выделяться.

Исходя из суммы энергий реакции, энергия при окислении 1 моль бензина составит максимум 1000 кДж при нормальных условиях. Этого достаточно чтобы совершить работу по преодолению сил в 0,33 Н действующих на молекулу бензина и перейти в газовую фазу.

Исходя из пропорции энергии при окислении 1 моль топлива и зная молярную массу бензина равную 114 г/моль получаем [82], что при окислении 1 моль бензина может испариться (совершить работу по переходу молекулы на расстоянии много большее самой молекулы (10^{-5} м)) 37,6 грамм бензина.

При заполненном на половину резервуара 25 м³ количество кислорода в газовом пространстве над бензином (1 моль газа = 22,4 л) будет равно 117,2 моль.

Вступая в реакцию кислород способен окислить 46,88 моль бензина и при этом испарится 1762,7 г топлива.

С учетом того, что далее реакции окисления будут протекать с выделением энергии без участия кислорода, а кислород будет регулярно поступать из атмосферы при дыхании резервуара – то эффект испарения от окисления топлива может быть несколько выше.

В тоже время известно, что реакции окисления интенсивно происходят с каплями бензина. Суточный перепад температур в резервуаре создает благоприятные условия для образования капель углеводородов как над поверхностью жидкости, так и на стенках резервуаров. Поэтому процесс испарения будет проходить не только под действием солнечной энергии, но и за счет протекающих химических реакций.

Таким образом, предположение об интенсификации испарения при окислении бензина за счет преодоления сил притяжения находит свое гипотетическое подтверждение. Это согласуется с работой [208], в которой обосновывается использование инертных газов в газовом пространстве горизонтальных резервуаров, что способствует повышению взрывобезопасности хранения нефтепродуктов за счет снижения удельного энерговыделения реакции окисления.

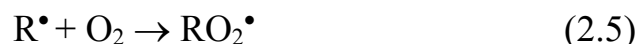
Если принять во внимание фактор, который свидетельствует о том, что при испарении не происходит заметного уменьшения температуры на поверхности топлива, не смотря на то, что испарение является эндотермическим процессом, то можно выдвинуть предположение о наличии реакций окисления не только на поверхности топлива, но и в его объеме.

В режиме цепной неразветвленной реакции окисление органического соединения RH по связи $C-H$ происходит в присутствии инициатора, в роли которого выступают катионы переходных металлов, прежде всего железа (катионы образуются в результате коррозионных процессов, особенно интенсивно протекающих в металлических резервуарах без внутреннего покрытия) [101, 107, 113, 209].

Возникающие из инициатора радикалы или атакуют окисляемое вещество RH , или сначала реагируют с O_2 и атакуют RH уже в виде

пероксильных радикалов. При этом из RH возникают алкильные радикалы R•.

Реакция присоединения кислорода к алкильному радикалу:



происходит с выделением тепла. Изменение энтальпии в этой реакции равно [107, 113, 209]:

$$\Delta H_1 = \Delta H_{ROOH} - \Delta H_{RH} - \Delta D_{R-H} \quad (\text{кДж/моль}) \quad (2.6)$$

Поскольку выполняется линейное соотношение между ΔH_{ROOH} и ΔH_{RH} , то приближенно величину ΔH_1 можно оценивать по формуле:

$$\Delta H_1 = 274 - \Delta D_{R-H} \quad (\text{кДж/моль}) \quad (2.7)$$

т. е. чем прочнее связь C–H, тем больше теплота реакции. Ниже приведены значения ΔH_1 для ряда радикалов, рассчитанные по величинам ΔH_{ROOH} , ΔH_{RH} , ΔD_{R-H} (таблица 2.2).

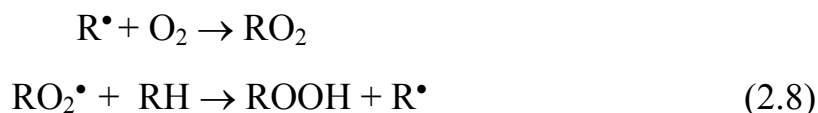
Таблица 2.2 – Значения ΔH_1 для ряда радикалов, рассчитанные по величинам ΔH_{ROOH} , ΔH_{RH} , ΔD_{R-H}

R•	C ₂ H ₅ •	(C ₃ H ₇) ₂ CH•	(CH ₃) ₃ C•	цикло-C ₆ H ₁₁ •	C ₂ H ₅ C•Me ₂
ΔH_1 , кДж/моль	- 157.3	- 125.6	- 115.1	- 125.2	- 47.3

В растворе эта реакция происходит очень быстро, а именно с диффузионной константой скорости: $(2 \div 5 \times 10^9 \text{ л/моль с})$.

В ряде случаев кислород может как присоединяться к радикалу R•, так и отрывать от него атом водорода с образованием олефина и радикала HO₂•.

Пероксильные радикалы вступают в разнообразные реакции: отрывают атом водорода, изомеризируются, присоединяются по двойной связи. Окисление насыщенных соединений происходит по цепному механизму с продолжением цепи по реакциям:



Изменение энтальпии в этой реакции определяется прочностями рвущейся и образующейся связей:

$$\Delta H = D_{R-H} - D_{ROO-H}. \quad (2.9)$$

Теплота, выделяющаяся в процессе протекания реакций окисления, может быть передана находящимся рядом молекулам.

В соответствии с законом Рауля, при увеличении температуры, увеличится химический потенциал i -го компонента в жидкости:

$$\mu_{iж} = \mu_{0iж} + R \cdot T \ln \gamma_i \cdot x_i, \quad (2.10)$$

где $\mu_{iж}$ – химический потенциал i -го компонента в жидкости, Дж/моль; $\mu_{0iж}$ – химический потенциал i -го компонента при нормальных условиях, Дж/моль; R – постоянная Больцмана, Дж/К; γ_i – коэффициент активности i -го компонента; x_i концентрация i -го компонента в жидкости; T – температура, К.

Это увеличит разность химических потенциалов i -го компонента в газовой и жидкой фазе, а значит, и движущую силу процесса испарения.

Таким образом, в результате реакций окисления произойдет не только ухудшение качества топлива, но и увеличатся потери топлива в результате испарения.

2.5 Метод расчета количества тепла переданного стенкам резервуара с учетом конвекции атмосферного воздуха

Количество солнечного излучения, полученного поверхностью контролируется в глобальном масштабе геометрией Земли, атмосферной проницаемостью и относительным размещением Солнца. В местном масштабе излучение изменяется из-за угла наклона поверхности. Для расчета энергии излучения, передаваемой конкретной поверхности, необходимо применять данные метеонаблюдений за солнечным излучением. Так как эти данные получены для горизонтальных поверхностей, то для цилиндрических

резервуаров они требуют доработки. Цилиндрическая поверхность характеризуется большей площадью поглощения солнечного излучения. Общее излучение состоит из суммы трех компонент:

1. Прямое излучение - часть солнечного излучения, которая не поглощена и не рассеяна в атмосфере, она достигает поверхности непосредственно от Солнца.

2. Диффузное излучение - часть солнечного излучения, которая была рассеяна при прохождении его через атмосферу.

3. Отраженное излучение - часть солнечного излучения, которая была отражена от земных поверхностей (этот компонент имеет небольшие размеры).

Предлагаемая методика расчета базируется на ранее известных моделях [5, 6, 15, 75]. Методика расчета состоит из двух этапов:

1. Расчет внеземного солнечного излучения (R_u) для заданных угла наклона и азимута.

2. Расчет солнечного излучения для безоблачного неба.

Внеземное солнечное излучение в любой момент времени, при дневном свете, это функция угла падения солнечного излучения:

$$R_u = \frac{G_s \cdot \cos(\theta)}{d^2}, \quad (2.11)$$

где $\cos(\theta)$ - косинус угла падения солнечного излучения относительно нормали к поверхности земли; G_s — солнечная постоянная (1367 Вт/м^2); d - расстояние от Земли до Солнца, измеряемое в а.е.

Параметр d - это функция дня года, она может быть рассчитана по формуле

$$d^2 = \frac{1}{1+0,033 \cdot \cos\left(\frac{D \cdot 2 \cdot \pi}{365}\right)}, \quad (2.12)$$

где D - день года.

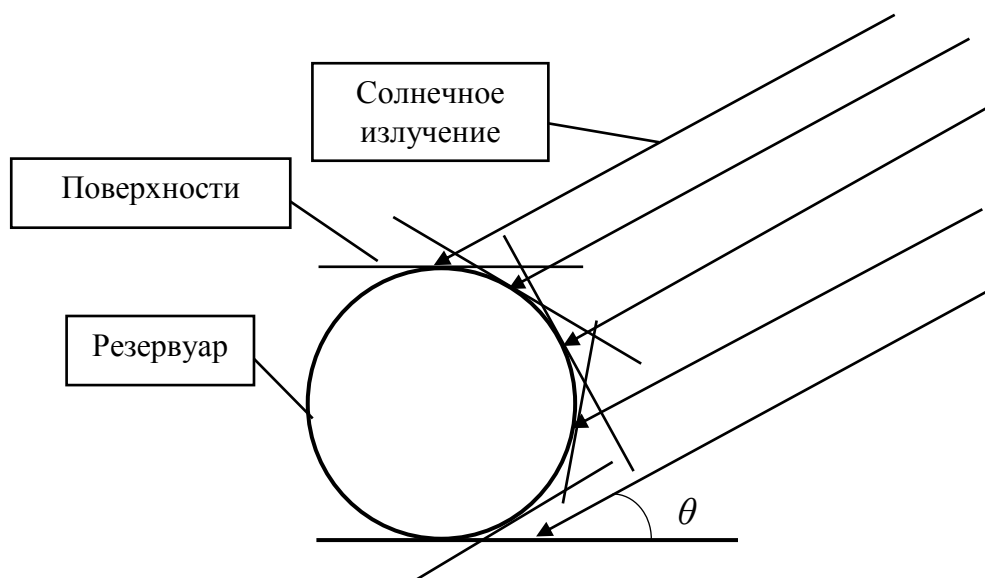


Рисунок 2.3 – Падение солнечного излучения на цилиндрическую поверхность

Для нахождения полного уравнения мгновенного угла падения солнечного излучения на горизонтальную цилиндрическую поверхность необходимо рассматривать совокупность элементарных поверхностей, расположенных под разным углом наклона к солнечному излучению (см. рисунок 2.3) в диапазоне от 0 до 180°:

$$\cos\theta = \int_0^\pi (\sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos S - \sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin S \cdot \cos\gamma + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos S \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin S \cdot \cos\gamma + \cos\delta \cdot \sin\gamma \cdot \sin S \cdot \sin\omega) dS \quad (2.13)$$

где δ - склонение Солнца, град.; φ - широта точки, град.; S - наклон поверхности, град.; γ -азимут принимающей поверхности, град.(для принимающей поверхности ориентированной на юг $\gamma = 0^\circ$, для принимающей поверхности ориентированной на восток $\gamma = -90^\circ$; для принимающей поверхности ориентированной на запад $\gamma = 90^\circ$, для принимающей поверхности ориентированной на север $\gamma = \pm 180^\circ$); ω -часовой угол Солнца, град.($\omega = 0$ в солнечный полдень, отрицательный утром и положительный после полудня).

Склонение Солнца рассчитывается исходя из формулы [5]:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[\frac{360}{365} \cdot (284 + D) \right] \quad (2.14)$$

Для получения внеземного солнечного излучения за определенный период необходимо проинтегрировать уравнение (2.11) по ω . Принимая для ω_1 и ω_2 моменты начала и окончания солнечного дня можно рассчитать, таким образом, количество внеземного солнечного излучения за сутки.

$$\sin \omega_1 = \frac{a \cdot c - b \cdot \sqrt{b^2 + c^2 - a^2}}{b^2 + c^2} \quad (2.15)$$

$$\sin \omega_2 = \frac{a \cdot c + b \cdot \sqrt{b^2 + c^2 - a^2}}{b^2 + c^2}$$

где a, b, c — константы для наклона, широты и азимута поверхности резервуара:

$$a = \int_0^{\pi} (\sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin S - \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos S) dS$$

$$b = \int_0^{\pi} (\cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos S + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin S \cdot \cos \gamma) dS \quad (2.16)$$

$$c = \int_0^{\pi} (\cos \delta \cdot \sin S \cdot \sin \gamma) dS$$

Солнечное излучение чистого неба (R_c), его мгновенное значение рассчитывается по формуле:

$$R_c = K_{B_0} \cdot R_u + (f_{ia} K_{D_0} + \alpha(1 + f_i) \cdot [K_{B_0} + K_{D_0}]) \cdot R_{ug} \quad (2.17)$$

где K_{B_0} - показатель яркости для прямого излучения; K_{D_0} - показатель яркости для рассеянного излучения; f_{ia} - фактор для анизотропного рассеянного излучения; f_i - фактор для изотропного рассеянного излучения;

$$f_i = 0,75 + \int_0^{\pi} (0,25 \cdot \cos S - \frac{0,5}{\pi} \cdot S) dS \quad (2.18)$$

R_{ug} - внеземное солнечное излучение на горизонтальную поверхность, Вт·ч/м²

$$R_{ug} = \frac{G_s \cdot T}{\pi \cdot d^2} (\sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \omega_s + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \omega_s), \quad (2.19)$$

где T - время освещенности, ч.

Показатель яркости для прямого солнечного излучения [75]:

$$K_{B0} = 0,98 \cdot \exp\left(\frac{-0,00146 \cdot P}{K_t \cdot \sin\beta} - 0,075 \left(\frac{W}{\sin\beta}\right)^{0,4}\right), \quad (2.20)$$

где K_t - эмпирический коэффициент мутности; P - атмосферное давление, Па; β - угол Солнца относительно горизонта для горизонтальной принимающей поверхности, град.; W - эквивалент глубины влагосодержания в атмосфере:

$$W = 0,4 \cdot e_a \cdot P + 2,1, \quad (2.21)$$

где e_a - фактическое давление пара, Па.

Показатель ясности для рассеянного излучения рассчитывается по формуле:

$$K_{D0} = 0,25 - 0,36 \cdot K_{B0} \quad \text{для } K_{B0} \geq 0,15;$$

$$K_{D0} = 0,25 - 0,36 \cdot K_{B0} \quad \text{для } 0,065 < K_{B0} < 0,15;$$

$$K_{D0} = 0,18 + 0,82 \cdot K_{B0} \quad \text{для } K_{B0} \leq 0,15.$$

В случае мгновенных значений $\sin\beta$ находится из выражения [75]:

$$\sin\beta = \sin\delta \cdot \sin\varphi + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega. \quad (2.22)$$

Для расчета суточного солнечного излучения $\sin\beta$ рассчитывается по формуле:

$$\sin\beta = \frac{(b \cdot g - a \cdot h) \cdot f_1 - c \cdot g \cdot f_2 + (0,5 \cdot b \cdot h - a \cdot g) \cdot f_3 + 0,25 \cdot b \cdot h \cdot f_4 + 0,5 \cdot c \cdot h \cdot f_5}{b \cdot f_1 - c \cdot f_2 - a \cdot f_3} \quad (2.23)$$

где g и h - константы для широты:

$$g = \sin\delta \cdot \sin\varphi;$$

$$h = \cos\delta \cdot \sin\varphi; \quad (2.24)$$

f_1, f_2, f_3, f_4, f_5 — параметры для углов восхода и захода Солнца:

$$f_1 = \sin\omega_2 - \sin\omega_1;$$

$$f_2 = \cos\omega_2 - \cos\omega_1;$$

$$f_3 = \omega_2 - \omega_1; \quad (2.25)$$

$$f_4 = \sin 2\omega_2 - \sin 2\omega_1;$$

$$f_5 = \sin^2 \omega_2 - \sin^2 \omega_1.$$

Для анизотропного рассеянного излучения [75]:

$$f_{ia} = (1 - K_{Bog}) \cdot \left(1 + \left[\frac{K_{Bog}}{K_{Bog} + K_{Dog}} \right]^{0,5} \cdot \int_0^\pi \sin^3 \left(\frac{S}{2} \right) dS \right) \cdot f_i + K_{Bog} \cdot \frac{R_u}{R_{ug}} \quad (2.26)$$

где K_{Bog} - показатель ясности для прямого излучения на горизонтальную принимающую поверхность; K_{Dog} - показатель ясности для рассеянного излучения на горизонтальную принимающую поверхность.

Суточное значение солнечного излучения для чистого неба состоит из прямого излучения, рассеянного излучения и отраженного излучения:

$$R_c = R_b + R_d + R_r \quad (2.27)$$

где R_b - суточное значение прямого солнечного излучения, Вт-ч/м²; R_d - суточное значение рассеянного солнечного излучения, Вт-ч/м²; R_r - суточное значение отраженного солнечного излучения, Вт-ч/м². Прямая составляющая солнечного излучения это:

$$R_b = K_{bo} \cdot R_u \quad (2.28)$$

Рассеянная составляющая солнечного излучения:

$$R_d = f_{ia} \cdot K_{Dog} \cdot R_{ug} \quad (2.29)$$

Отраженная составляющая солнечного излучения:

$$R_r = R_{ug} \cdot \alpha \cdot (1 - f_i) \quad (2.30)$$

Таким образом, итоговое количество тепла, попадающего на поверхность цилиндра, равна суточному значению солнечного излучения, уменьшенному на коэффициент рассеивания энергии за счет атмосферной массы ε и конвективному теплообмену с окружающим воздухом $R_{возд}$:

$$Q = \frac{1}{\varepsilon} R_c + R_{возд}. \quad (2.31)$$

Конвективный теплообмен с окружающим воздухом рассчитывается по формуле с учетом ламинарного и турбулентного режимов обтекания резервуара воздухом:

$$\begin{cases} R_{возд} = \alpha \cdot \frac{S_{пов}}{2} \cdot (T_{ос} - T_{ж}), \text{ при } Re < 10^3; \\ R_{возд} = \alpha \cdot S_{пов} \cdot (T_{ос} - T_{ж}), \text{ при } Re > 10^3. \end{cases} \quad (2.32)$$

Число Рейнольдса Re зависит от скорости ветра ω , диаметра резервуара D и кинематической вязкости воздуха ν :

$$Re = \frac{\omega \cdot D}{\vartheta}. \quad (2.33)$$

С учетом вышесказанного определим интенсивность теплоотдачи:

$$\begin{cases} \alpha = \frac{0,49 \cdot Re^{0,5} \cdot \lambda_B}{D}, \text{ при } Re < 10^3; \\ \alpha = \frac{0,245 \cdot Re^{0,6} \cdot \lambda_B}{D}, \text{ при } Re > 10^3. \end{cases} \quad (2.34)$$

где λ_B - коэффициент теплопроводности для воздуха Вт/(м·К).

Для расчета дневного количества тепла, передаваемого солнцем стенкам резервуара разработана программа. Расчет выполняется в зависимости от геометрических размеров резервуара и его географического положения, календарного дня (рисунок 2.4).

1			
2		Входные параметры	
3	Длина резервуара, м		3
4	Радиус резервуара, м		1,5
5	День в году		100
6	Широта расположения резервуара, градусы	52,36	Липецк
7			
8		Расчетные параметры	
9	Площадь боковой поверхности, м2		28,27
10	Количество теплоты от солнца, Вт*м2/ч		1169,64
11	Теплота на общую поверхность резервуара		33070,85
12			
13			
14			

Рисунок 2.4 – Программа расчета количества тепла от Солнца

В таблице 2.3 приведены расчеты годового количества тепла от Солнца на горизонтальную поверхность для городов из северных, средних и южных широт.

Таблица 2.3 – Годовое количество тепла от солнечного излучения для различных городов

Город	Широта φ , град	Годовое количество теплоты, кВт·ч/м ²
Санкт-Петербург	59,6	920
Москва	55,7	1021
Липецк	52,36	1080
Ростов-на-Дону	47,13	1278
Сочи	43,6	1365

Полученная таблица соответствует представлениям о том, что количество солнечного излучения возрастает с изменением широты от северной части к южной (экватору).

2.6 Метод расчета теплоотдачи от стенок резервуара моторному топливу

Под воздействием разницы температуры окружающей среды, стенок резервуара и температуры моторного топлива, которое его наполняет, возникают процессы теплоотдачи.

Передачу тепла от солнца к наземному стальному горизонтальному цилиндрическому резервуару запишем в дифференциальном виде:

$$Q = \frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (2.35)$$

где Q – теплота, Дж; T – температура стенки, К; x – расстояние до точки измерения, мм. В модели отсутствуют внутренние источники теплоты.

Зададим граничные условия 1 рода:

$$\begin{aligned} x = 0 & \quad T = T_0 = f_1(\tau) \\ x = s & \quad T = T_s = f_2(\tau) \end{aligned}$$

Происходит непрерывный замер значений величин $f_1(\tau)$ и $f_2(\tau)$.

Для решения задачи распределения температур по толщине стенки резервуара s в линейной области для декартовой системы координат применялся метод интегральных преобразований Фурье.

Обозначим $\Theta = T - T_c$, тогда уравнение (2.35) примет вид

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} \quad (2.36)$$

При $\tau = 0, \Theta = 0$;

$$x = 0, \Theta = f_1(\tau) = T_0 - T_c = f_1(\tau) - T_c;$$

$$x = s, \Theta = f_2(\tau) = T_s - T_c = f_2(\tau) - T_c.$$

Сущность метода заключается в том, что вместо непосредственного определения функции $\Theta(x, \tau)$ ищем предварительно ее интегральное преобразование $\bar{\Theta}(n, \tau)$, уже независящее от x .

Применим к нашему уравнению метод конечного интегрального преобразования синус-трансформанты Фурье [213, 310]. Найдем решение задачи (2.36) с помощью преобразования Фурье по переменной x , полагая

$$\bar{\Theta}(n, \tau) = \int_0^s \Theta(x, \tau) \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx, \quad (2.37)$$

где $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, k$.

Для этого умножим обе части уравнения (2.36) на ядро преобразования и проинтегрируем по x от 0 до s

$$\int_0^s \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx = \alpha \int_0^s \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx. \quad (2.38)$$

В левой части равенства (2.38) дифференциал и интеграл берется по независимым переменным, поэтому

$$\int_0^s \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx = \frac{\partial}{\partial \tau} \int_0^s \Theta(x, \tau) \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx = \frac{d\bar{\Theta}(n, \tau)}{d\tau}. \quad (2.39)$$

В правой части равенства (2.39) вычислим интеграл, применяя дважды формулу интегрирования по частям и используя граничные условия (2.36)

$$\begin{aligned} \int_0^s \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx &= \frac{\partial \Theta}{\partial x} \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) \Big|_0^s - \frac{\pi n}{s} \int_0^s \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} \cos\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx = - \\ &= \frac{\pi n}{s} \Theta \cos\left(\frac{\pi n x}{s}\right) \Big|_0^s - \left(\frac{\pi n}{s}\right)^2 \int_0^s \Theta(x, \tau) \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx = \frac{\pi n}{s} [f_1(\tau) - (-1)^n f_2(\tau)] - \\ &= \left(\frac{\pi n}{s}\right)^2 \bar{\Theta}(n, \tau). \end{aligned} \quad (2.40)$$

Таким образом, вторая частная производная преобразована в искомую функцию. Тем самым запишем упрощенное уравнение теплопроводности

$$\frac{d\bar{\Theta}(n, \tau)}{d\tau} + \frac{\alpha \pi^2 n^2}{s^2} \bar{\Theta}(n, \tau) = \frac{\alpha \pi n}{s} [f_1(\tau) - (-1)^n f_2(\tau)] \quad (2.41)$$

Наряду с преобразованием нашего дифференциального уравнения (2.36) следует преобразовать и начальное условие (учитывая при этом, что при $\tau = 0$, $\Theta = 0$)

$$\bar{\Theta}(n, 0) = \int_0^s \Theta \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx = 0. \quad (2.42)$$

Решение уравнения (2.36) имеет следующий вид

$$\bar{\Theta}(n, \tau) = \frac{\alpha \pi n}{s} \int_0^\tau \exp\left[-\alpha \left(\frac{\pi n}{s}\right)^2 (1 - \tau)\right] [f_1(\tau) - (-1)^n f_2(\tau)] d\tau = 0. \quad (2.43)$$

Окончательно получим выражение для нашей искомой функции, используя формулу обращения для преобразования (2.38)

$$\Theta(x, \tau) = \frac{2}{s} \sum_{n=1}^k \bar{\Theta}(n, \tau) \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) = \frac{2}{s} \sum_{n=1}^k \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) \frac{\alpha \pi n}{s} \exp\left(\frac{\alpha \pi^2 n^2}{s^2} \tau\right) \int_0^\tau \exp\left(\frac{\alpha \pi^2 n^2}{s^2} t\right) [f_1(t) - (-1)^n f_2(t)] dt \quad (2.44)$$

Применительно к решению краевой задачи нестационарной теплопроводности для горизонтального цилиндра при граничных условиях первого рода на его поверхности $x=0$ и $x=s$, окончательно имеем

$$\Theta(x, \tau) = \frac{2}{s} \sum_{n=1}^k \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) \frac{\alpha \pi n}{s} \exp\left(\frac{\alpha \pi^2 n^2}{s^2} \tau\right) \int_0^\tau \exp\left(\frac{\alpha \pi^2 n^2}{s^2} t\right) [f_1(t) - (-1)^n f_2(t)] dt - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^k \frac{1}{n} [f_1(\tau) - (-1)^n f_2(\tau)] \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) + f_1(\tau) \left(1 - \frac{x}{s}\right) + f_2(\tau) \frac{x}{s}. \quad (2.45)$$

Переходим к определению коэффициентов теплоотдачи от стенок резервуара к хранимому топливу. Количество теплоты, отводимое с площади поверхности за промежуток времени $q = \alpha(T_s - T_c)$, равняется теплоте, которая подводится к площади поверхности за промежуток времени, т.е. $q = -\lambda \frac{dT}{dn}$, где λ – коэффициент теплопроводности Вт/(м·К).

Таким образом

$$\alpha(T_s - T_c) = -\lambda \frac{d\Theta}{dx}, \text{ откуда } \alpha = -\lambda \frac{d\Theta/dx}{(T_s - T_c)} \quad (2.46)$$

Продифференцировав уравнение (2.45), найдем $d\Theta/dx$ для значения $x=s$. Окончательно искомое уравнение для определения коэффициентов теплоотдачи α от стенок резервуара к бензину, будет иметь следующий вид

$$\alpha = \frac{-\lambda \left\{ \frac{2\pi^2}{s^3} \sum_{n=1}^k n^2 (-1)^n \exp\left(\frac{\pi^2 n^2}{s^2} \tau\right) \int_0^\tau \exp\left(\frac{\pi^2 n^2}{s^2} t\right) [f_1(t) - (-1)^n f_2(t)] dt \right\}}{(T_s - T_c)} - \frac{\left\{ \frac{2}{s} \sum_{n=1}^k n^2 (-1)^n [f_1(\tau) - (-1)^n f_2(\tau)] + \frac{f_2(\tau) - f_1(\tau)}{s} \right\}}{(T_s - T_c)}, \quad (2.47)$$

здесь $n = 1, 2, 3 \dots k$.

Для стационарного режима уравнение (2.47) упрощается в уравнение

$$\alpha = \frac{\lambda f_1(\tau) - f_2(\tau)}{s f_2(\tau) - T_c}. \quad (2.48)$$

Данное уравнение позволяет рассчитать количество теплоты, переданного от окружающей среды хранимому моторному топливу.

2.7 Расчет потерь моторного топлива от испарения с изменяемой поверхности в стальных наземных горизонтальных резервуарах

В работе [196] отмечено, что в наземных горизонтальных цилиндрических резервуарах при операциях с хранимым моторным топливом площадь поверхности его испарения будет варьироваться в широком диапазоне. Расход топлива или скорость его закачки в резервуар, а также конструкция резервуара оказывают влияние на скорость изменения площади поверхности испарения моторного топлива. Другими словами, площадь поверхности испарения будет выражаться функцией в зависимости от времени. Показатели, характеризующие состояние окружающей среды, а также характеристика физико-химических свойств моторного топлива будут определять направление движущей силы процесса испарения. Переменным показателем, который будет характеризовать интенсивность процесса, в итоге выступает площадь поверхности испарения моторного топлива.

Разработана математическая модель для расчета при различных температурных режимах и переменных во времени, а также их усредненных характеристик, процесса испарения из горизонтальных резервуаров с различным вариантом изготовления дна, для таких видов топлива как бензин и дизельное топливо [196]. Математические выкладки по расчету приведены в Приложении Б.

Проведен анализ и сравнение, как коррелируют между собой значения рассчитанные по полученной математической модели с нормами естественной убыли при приеме моторного топлива на хранение. В работе [196], рассмотрена вторая климатическая зона, в которой выполнялись

исследования (КФХ Липецкой области), в весенне-летний период — 0,41 кг/т, в осенне-зимний период — 0,24 кг/т.

Скорость слива топлива с помощью насоса автоцистерн составляет 0,007 м³/с. В основном именно такие автоцистерны используют для доставки моторного топлива. Для расчётов примем объемы наземных горизонтальных резервуаров в пределах от 10 до 100 м³, которые будут заполняться на 90 %. Полученные по математической модели результаты расчета потерь бензина приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Потери бензина при заполнении резервуаров объёмом от 10 до 100 м³

Вместимость резервуара, м ³	10	25	50	75	100
Потери бензина, кг по расчету	2,68	6,86	13,72	20,59	27,86
Осенне-зимний период норматив	1,62	4,05	8,10	12,14	16,20
Потери бензина, кг по расчету	5,70	14,33	28,66	43,00	51,70
Весенне-летний период норматив	2,73	6,83	13,65	20,49	27,32

Анализ таблицы 2.4 свидетельствует о том, что нормы естественной убыли занижены для зимнего периода в 1,7 раза, а для летнего периода в 1,9 раза [196].

Таким образом, нормы естественной убыли дают очень усредненные данные о потере моторного топлива при хранении. Поэтому для точного определения потерь необходимо использовать полученные расчетные зависимости.

Точная оценка потерь топлива от испарения из наземных горизонтальных цилиндрических резервуаров не возможна без расчета массы паров углеводородов, выходящих с поверхности топлива в газовое пространство резервуара, а затем и в атмосферу.

Разработанные в настоящее время методики и уравнения получены для вертикальных резервуаров большой емкости и имеют ряд допущений. По исследованиям ряда авторов, наиболее точной на сегодняшний момент

методикой расчета является модель А.А. Коршака [171, 172, 173]. Однако и она имеет погрешности в сравнении с фактическими потерями топлива.

Для получения точного описания испарения топлива сформулируем уравнение состояния, в котором будут учтены упрощенные ранее факторы: явление силового взаимодействия молекул (ассоциация, диссоциация), изменение температуры под действием внешней среды и в связи с окислением углеводородов. В общей форме опишем состояние паровоздушной смеси в газовом пространстве резервуара уравнением:

$$\left(P_y + \frac{a}{V_y^2}\right) \cdot (V_y - b) = MRT, \quad (2.49)$$

где a и b – постоянные величины для реальных газов в уравнениях состояния, характеризующие молекулярное давление и собственный объем молекул; V_y – объем газового пространства резервуара, м^3 ; P_y – давление газового пространства резервуара, Па ; R – газовая постоянная, $\text{Па} \cdot \text{м}^3 / \text{моль} \cdot \text{К}$; M – масса углеводородов, кг ; T – температура, зависящая от воздействия окружающей среды и окисления, К .

Для решения уравнения при заполнении резервуара топливом введем обозначения: $P = \left(P_y + \frac{a}{V_y^2}\right)$ и $V = (V_y - b)$

и продифференцируем по времени τ , с:

$$\dot{P}V + \dot{V}P = MRT\left(\frac{\dot{M}}{M} + \frac{\dot{T}}{T}\right) \quad (2.50)$$

Выражая изменение массы паровоздушной смеси \dot{M} с течением времени, получим:

$$\dot{M} = M \cdot \left[\frac{\left(P_y + \frac{a}{V_y^2}\right) \frac{2a(V_y - b)}{V_y^3}}{MRT} \cdot \dot{V} - \frac{\dot{T}}{T} \right] \quad (2.51)$$

Упростив числитель, получаем:

$$\dot{M} = M \cdot \left(\frac{1}{V-b} \cdot \dot{V} - \frac{2a}{P+\frac{a}{V^2}} \cdot \dot{V} - \frac{\dot{T}}{T} \right) \quad (2.52)$$

Изменение массы паровоздушной смеси \dot{M} можем выразить через скорость испарения при заполнении резервуара и вытеснении углеводородов в атмосферу:

$$\dot{M} = \beta \cdot \dot{F}(C_s - C) - \rho JS_{\text{отв}}, \quad (2.53)$$

где β - коэффициент массоотдачи кг·м²/с, F – площадь поверхности испарения резервуара, м², C_s, C -концентрация насыщенных паров углеводородов и средняя концентрация паров в газовом пространстве резервуара соответственно, ρ - плотность углеводородов, кг/м³, J – скорость выхода паровоздушной смеси через отверстие люка площадью $S_{\text{отв}}$. Приравняем G произведению $JS_{\text{отв}}$.

Потери углеводородов от испарения при вытеснении паровоздушной смеси G при этом выразим:

$$G = \frac{1}{\rho} \cdot \left[\beta \dot{F}(C_s - C) - M \cdot \left(\frac{1}{V-b} \cdot \dot{V} - \frac{2a}{P+\frac{a}{V^2}} \cdot \dot{V} - \frac{\dot{T}}{T} \right) \right] \quad (2.54)$$

Моделировался процесс заполнения бензином АИ-92 наземного горизонтального цилиндрического резервуара объемами 3, 5, 10, 25, 50, 75, 100 м³. Подача насоса бензовоза составляет 400 л/мин. Геометрические размеры резервуаров и время его наполнения бензовозом приведены в таблице 2.5.

С применением пакета программ Mathematica рассчитали значение потерь G по полученному уравнению (2.54) и построили зависимости мгновенных потерь от времени заполнения резервуара в таблице 2.6. Выполнено сравнение с ранее известным универсальным методом расчета суммарных потерь от «дыханий» резервуаров, разработанный Коршаком А.А. и Коршаком С.А. [171]:

$$G = \int_0^{\tau} \rho_y \cdot c \cdot Q \cdot d\tau, \quad (2.55)$$

где, ρ_y плотность вытесняемой ПВС из резервуара $\text{кг}/\text{м}^3$, Q – объемный расход вытесняемой ПВС, $\text{м}^3/\text{с}$; c – средняя концентрация паров углеводородов; τ – время в течении которого открыт клапан.

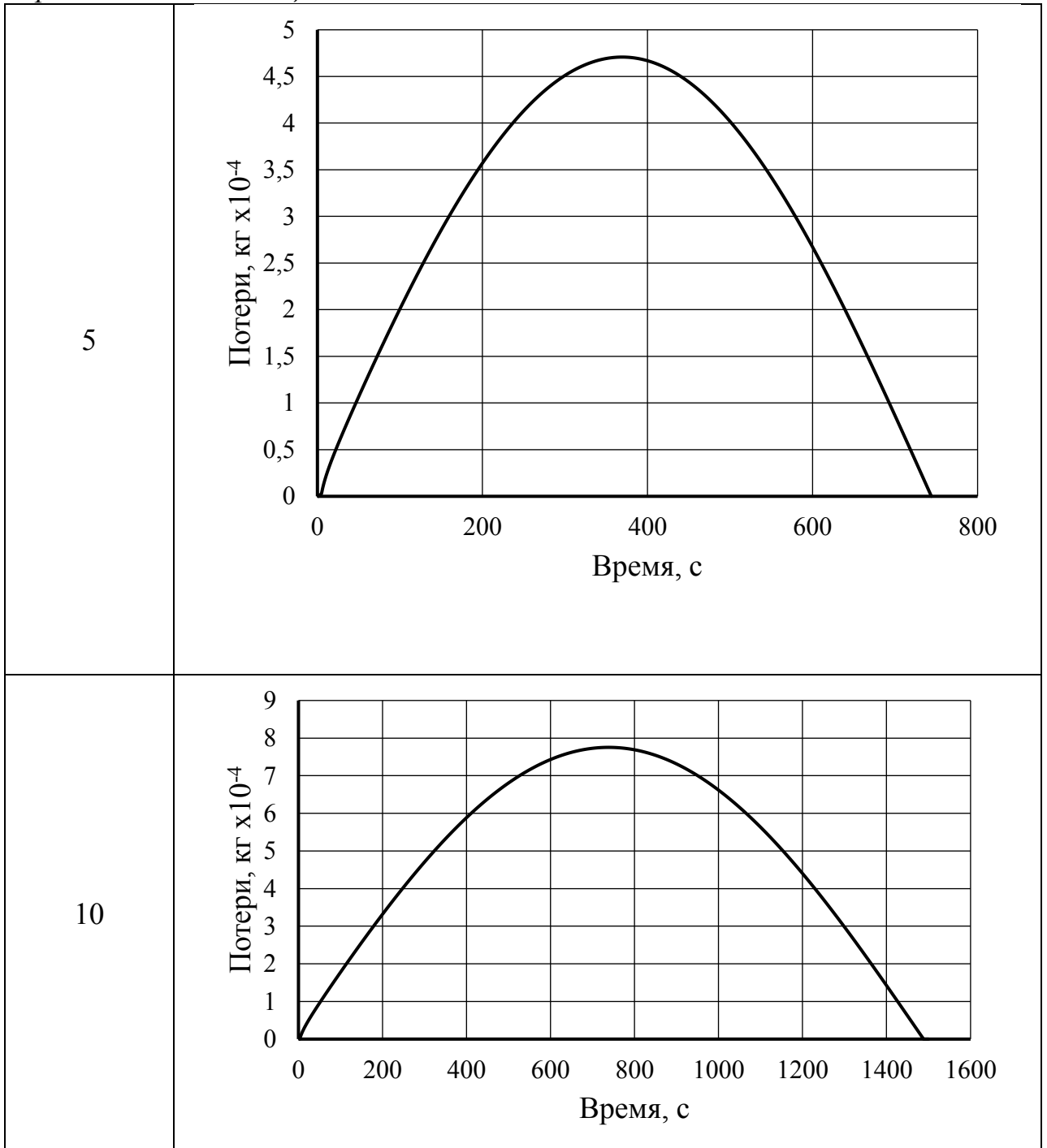
Таблица 2.5 – Параметры резервуаров для расчета потерь бензина от испарения

Объем резервуара, м^3	Диаметр D, мм	Длина L, мм	Максимальная площадь испарения, м^2	Время наполнения, сек
3	1400	2550	3,57	450
5	1600	2785	4,456	750
10	2200	3335	7,337	1500
25	2760	4990	13,7724	3750
50	2760	10100	27,876	7500
75	3000	10100	30,3	11250
100	3000	14400	43,2	15000

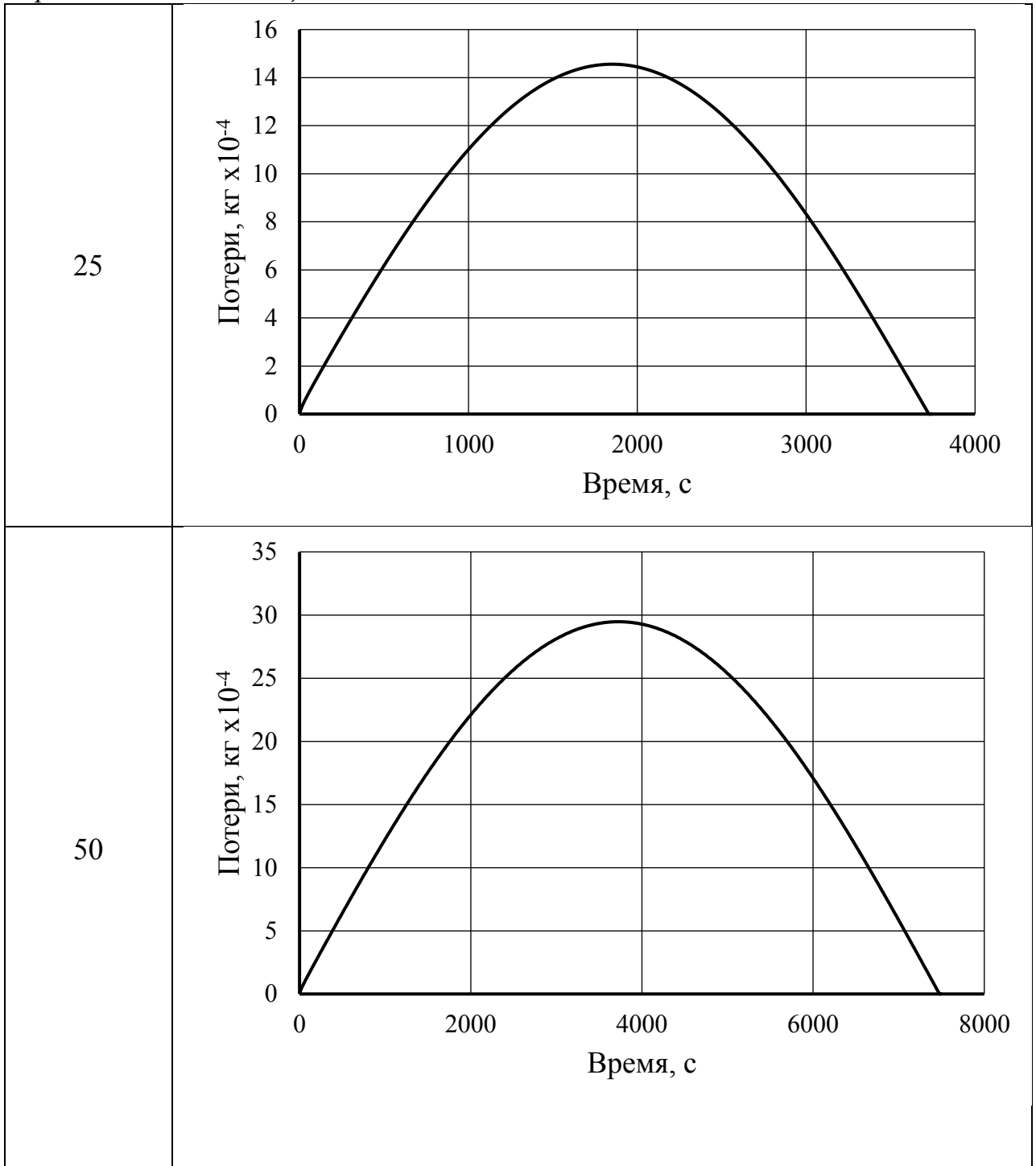
Таблица 2.6 – Графики расчетов потерь топлива от испарения



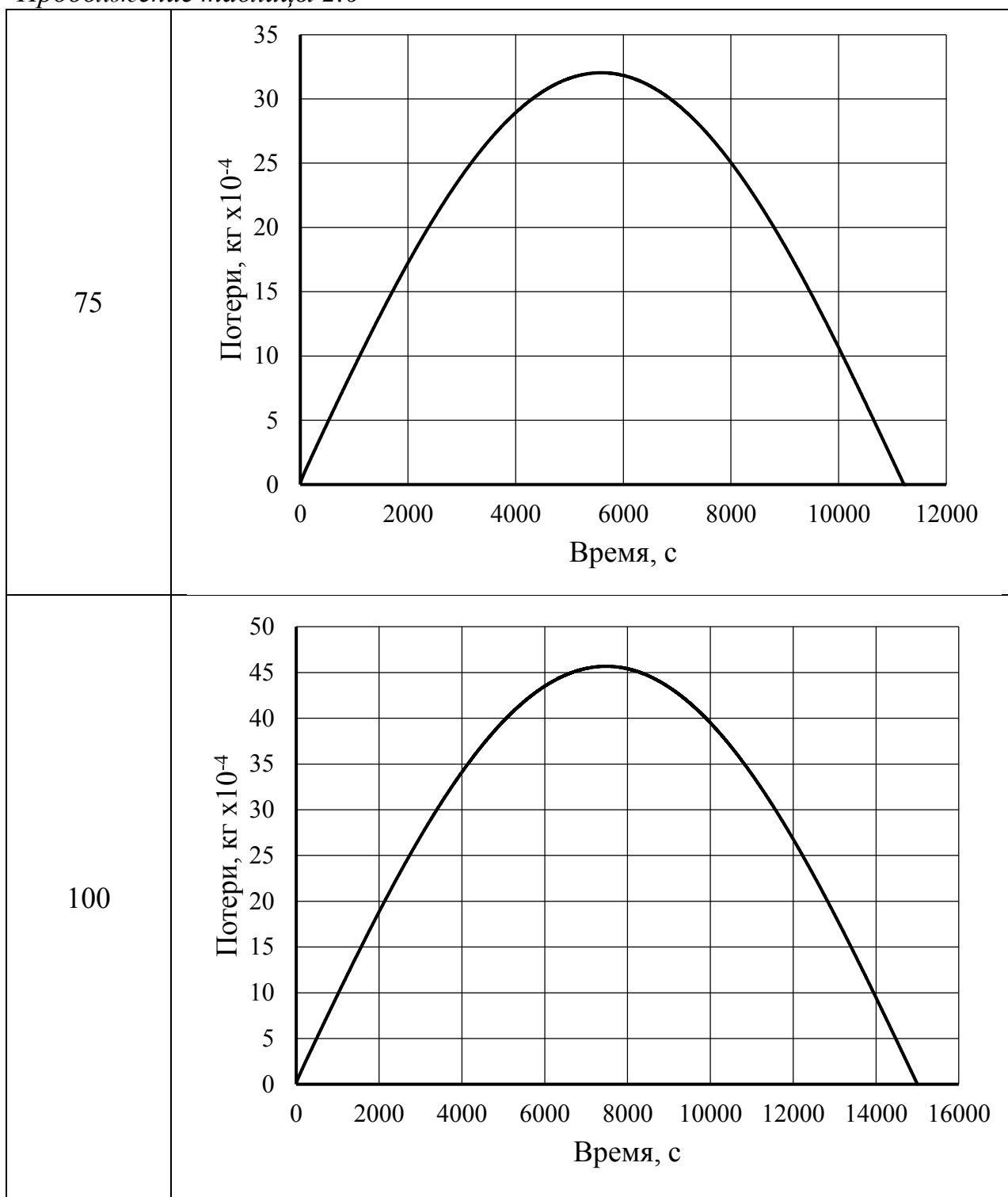
Продолжение таблицы 2.6



Продолжение таблицы 2.6



Продолжение таблицы 2.6



Таким образом, величину потерь топлива при наполнении резервуара с переменной поверхностью испарения можно выразить через отношение объемов газовой и жидкой фазы:

$$G = K \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{V_{ж}}{V_{п}}\right), \quad (2.56)$$

где K поправочный коэффициент расхода на объем резервуара, кг; $V_{ж}$ – объем жидкой фазы, m^3 ; V_p – объем резервуара, m^3 .

Методом математической статистики получены значения поправочного коэффициента K для наземного горизонтального цилиндрического резервуара объемами 3, 5, 10, 25, 50, 75, 100 m^3 . Значения приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Значения поправочного коэффициента K для наземного горизонтального цилиндрического резервуара, кг, $\times 10^{-4}$

Объем резервуара, m^3	Коэффициент K
3	3,77
5	4,71
10	7,75
25	14,56
50	29,47
75	32,03
100	45,67

График расчета потерь углеводородов по уравнению (2.55) для резервуара $3m^3$ приведен на рисунке 2.5.

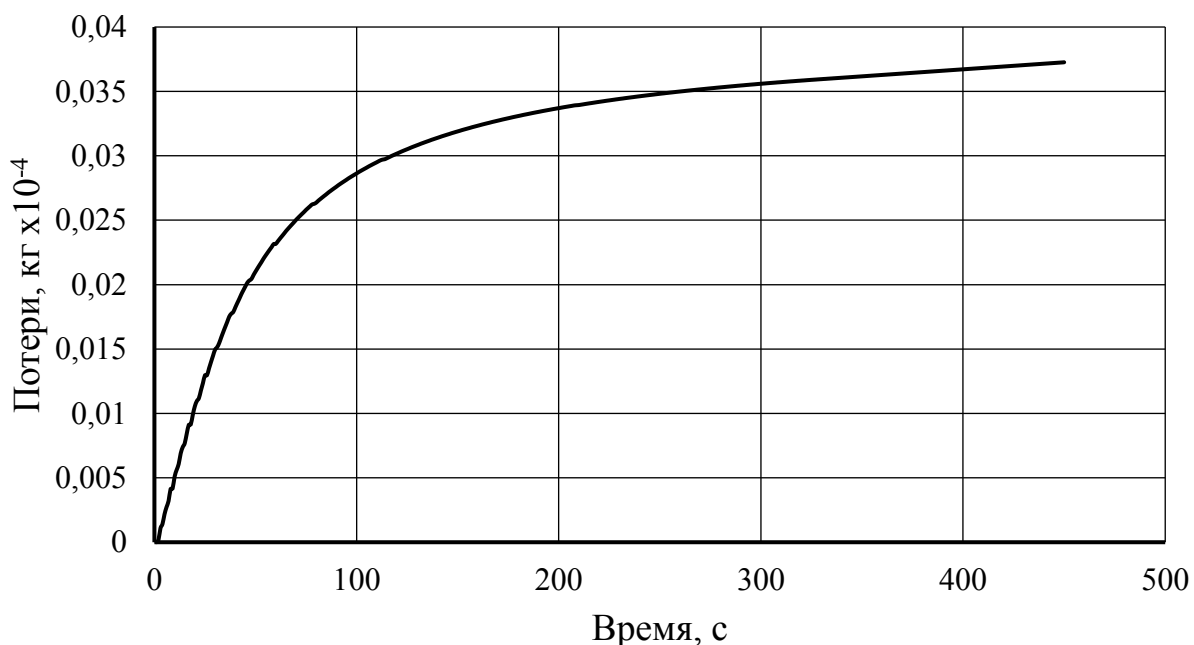


Рисунок 2.5 – Расчет потерь углеводородов для резервуара $3m^3$

Таким образом, известные методы расчета потерь из наземных вертикальных резервуаров емкостью более 1000 м³ нельзя применять для наземных горизонтальных резервуаров емкостью менее 100 м³. Что также подтверждено в работах Коршака А.А. и Коршака С.А.

По полученным данным из уравнения (2.54) рассчитаем удельные потери топлива на объем резервуара при его заполнении и сведем полученные данные в таблице 2.8 и на рисунке 2.6.

Таблица 2.8 – Удельные потери топлива при заполнении резервуара

Объем резервуара, м ³	Удельные потери, г/с·м ³
3	0,1256
5	0,0941
10	0,0775
25	0,0582
50	0,0489
75	0,0427
100	0,032



Рисунок 2.6 – Удельные потери топлива при заполнении резервуара

Анализируя полученные данные, сформулируем выводы:

1. Упрощение молекулярного взаимодействия и выделяемой энергии при окислении углеводородов, влияния окружающей среды приводит ранее известные уравнения к погрешностям расчета.

2. Экстремум на графиках расчета потерь бензина при наполнении резервуара является следствием переменной площади поверхности испарения, которая возникает при горизонтальном расположении цилиндра.

3. Величину потерь углеводородов можно выразить зависимостью от соотношения объемов жидкой фазы и резервуара в виде:

$$G = K \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{V_{ж}}{V_p}\right)$$

4. При увеличении объема резервуара удельные потери топлива снижаются, что соответствует экспериментальным исследованиям и многолетнему опыту (рисунок 2.6)

На базе полученных формул разработан алгоритм расчета потерь топлива с изменяемой поверхностью (рисунок 2.7).

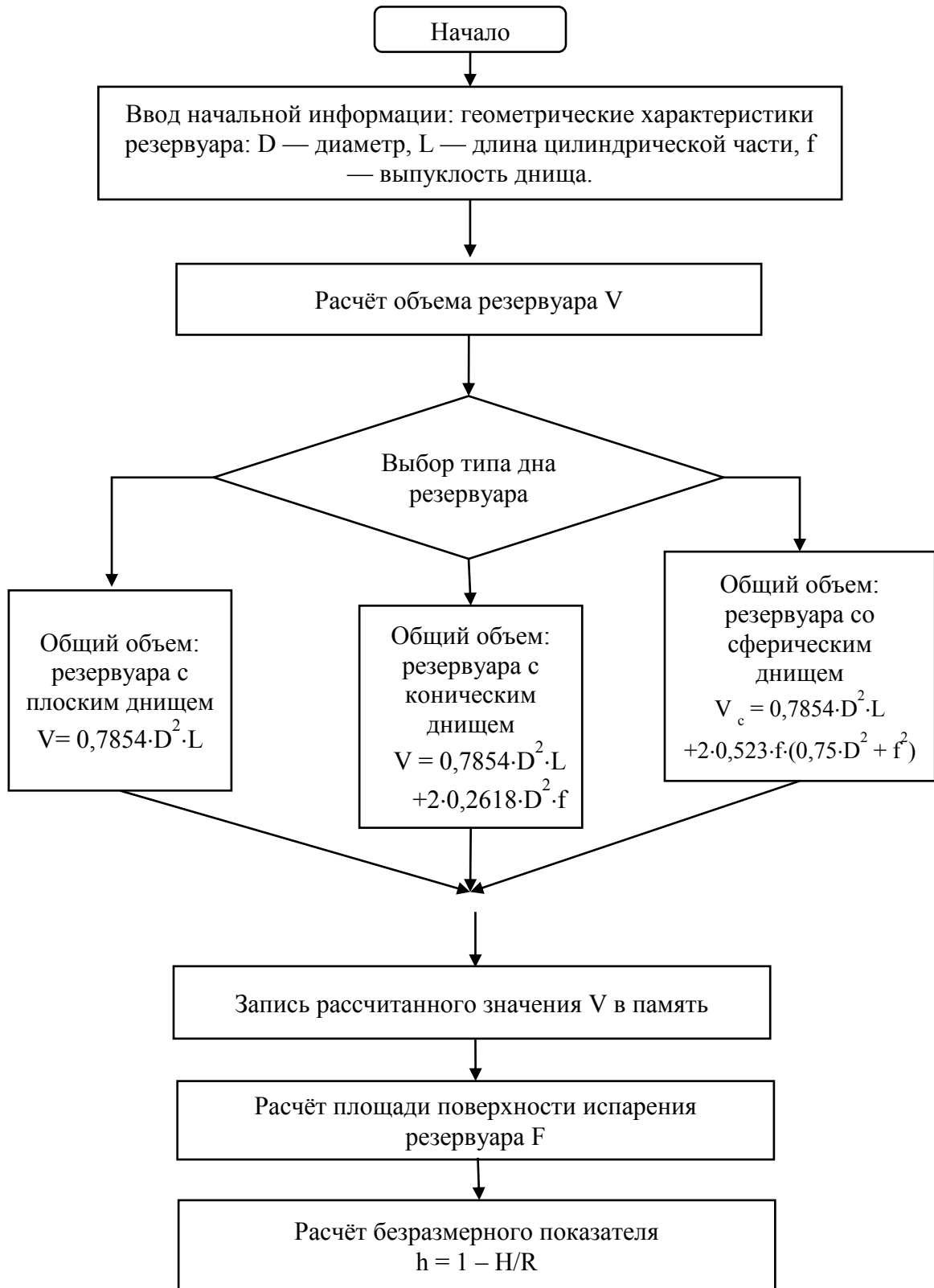
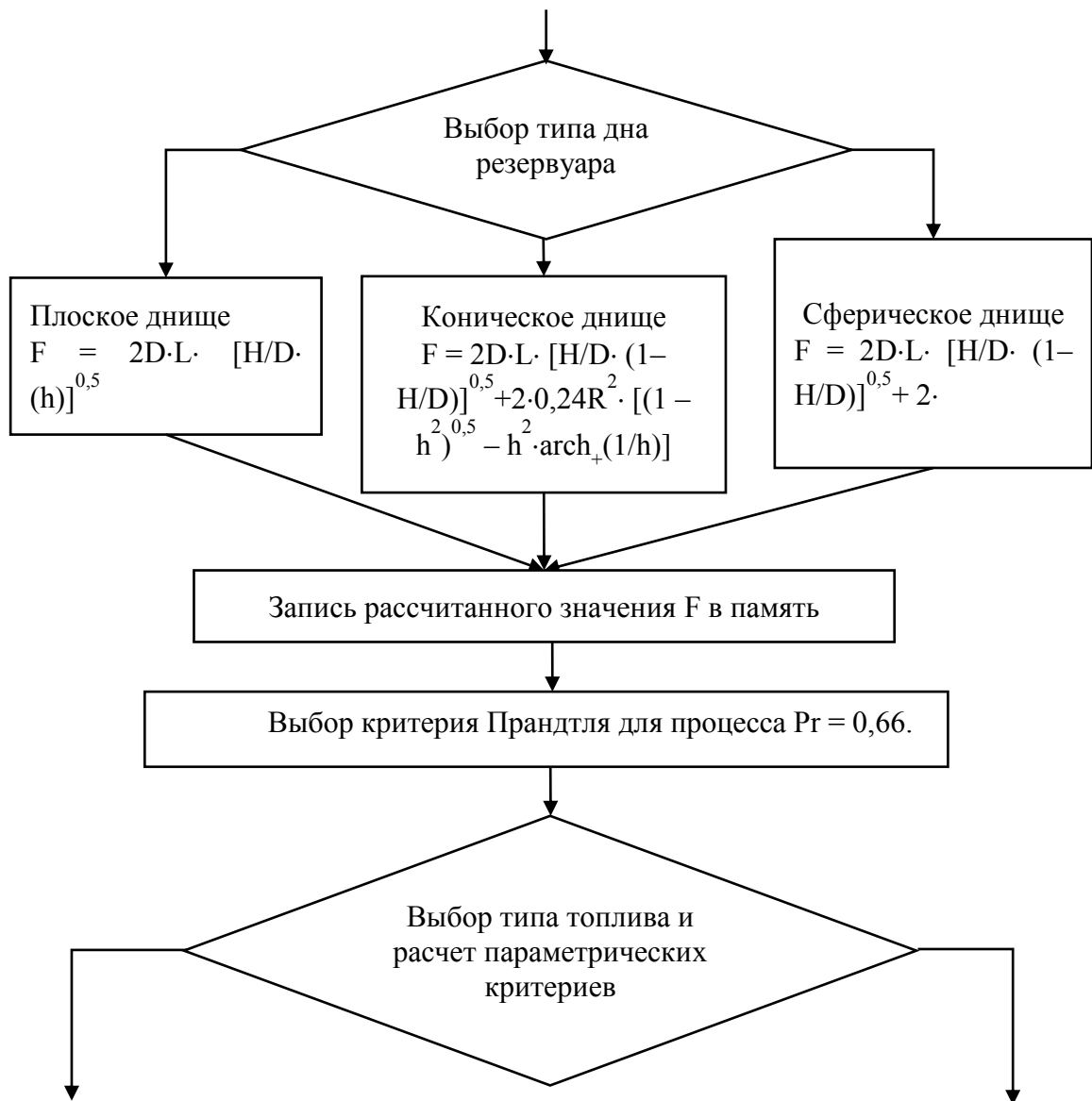
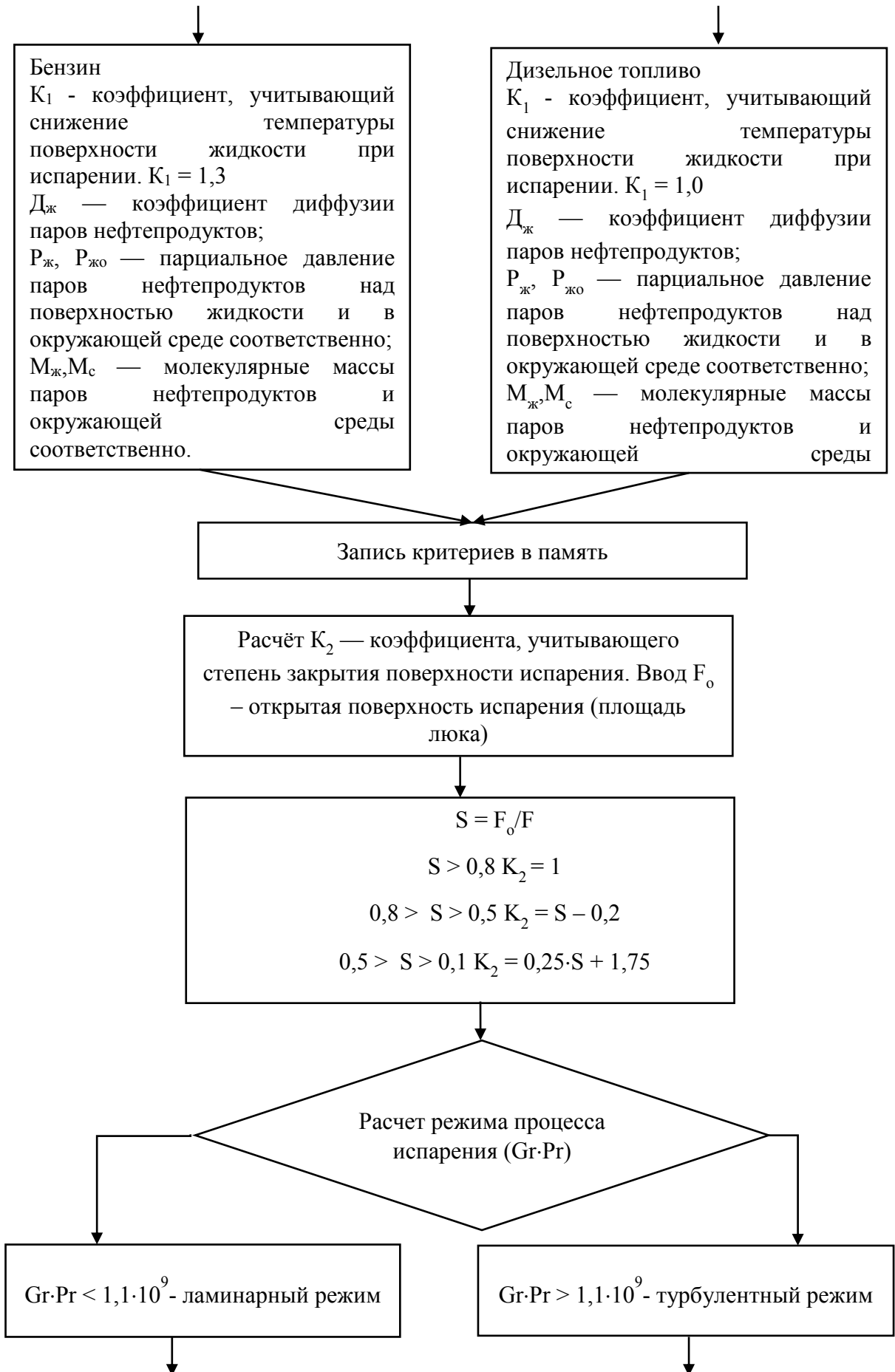


Рисунок 2.7 – Алгоритм расчета потерь топлива с изменяемой поверхностью

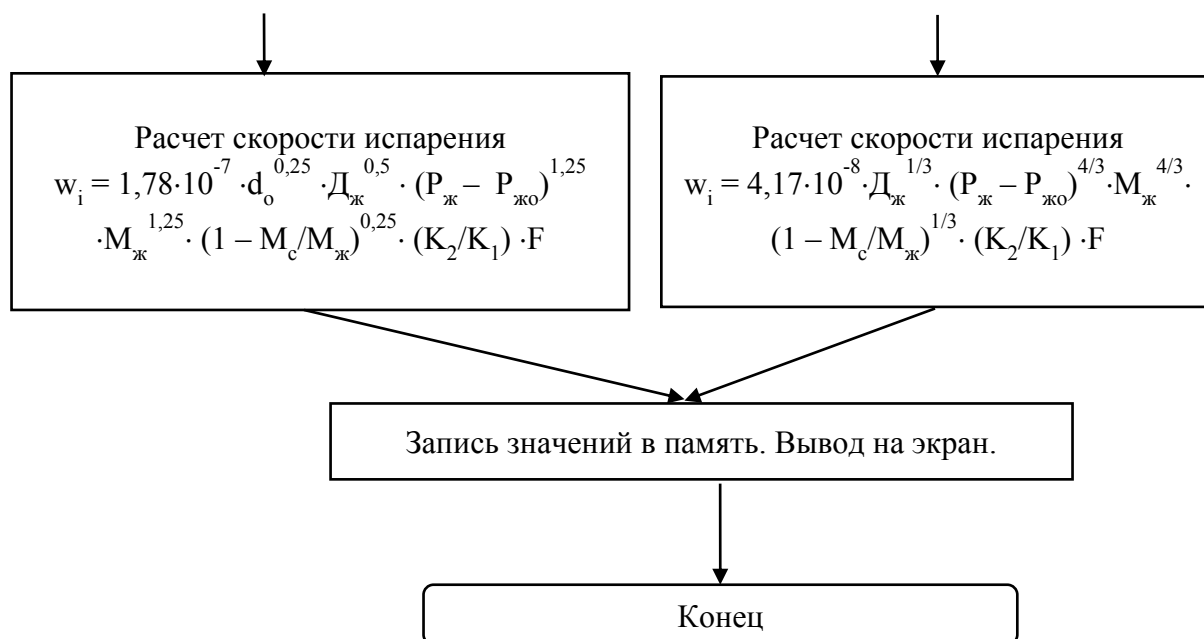
Продолжение рисунка 2.7



Продолжение рисунка 2.7



Продолжение рисунка 2.7



По данному алгоритму можно рассчитать потери топлива для резервуаров различной геометрии.

2.8 Причины несоответствия теоретических расчетов и реальных потерь моторного топлива от испарения

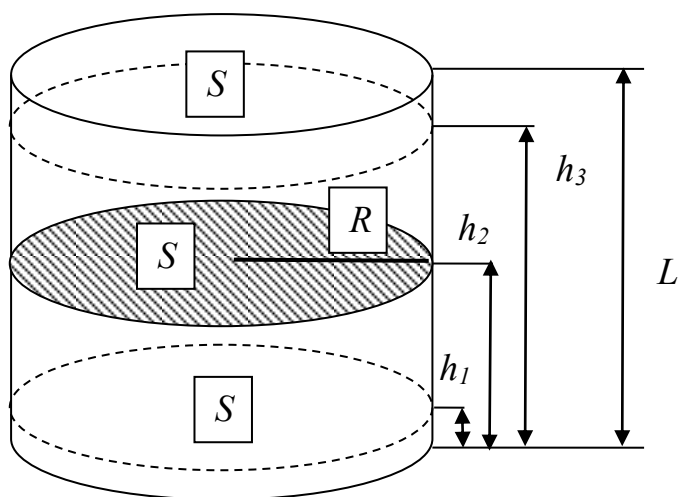
Как известно, скорость испарения однородных жидкостей зависит от температуры жидкости, от площади поверхности испарения, от скорости молекул над ее поверхностью [61, 187, 295]. В закрытом объеме скоростью движения молекул можно пренебречь.

При вертикальном расположении цилиндрического резервуара площадь поверхности испарения будет равна

$$S = \pi R^2, \quad (2.57)$$

где S – площадь поверхности испарения, м^2 ; R – радиус цилиндра, м.

Данная величина является постоянной для любого уровня топлива в резервуаре (рисунок 2.8).



R – радиус резервуара, м; L – длина резервуара, м; S – площадь поверхности испарения топлива, м^2 ; h_1, h_2, h_3 – уровень наполнения топливом, м

Рисунок 2.8 – Площадь поверхности испарения топлива вертикального резервуара при различном уровне топлива в нем

При горизонтальном расположении цилиндрического резервуара площадь поверхности испарения топлива будет меняться в диапазоне высоты налива топлива от уровня подтоварной воды или максимально возможной степени заполнения резервуара до его диаметра (рисунок 2.9) и определяться выражением:

$$S = a \cdot L \quad (2.58)$$

$$a = 2 \cdot \sqrt{h(2R - h)} \quad (2.59)$$

где a – ширина поверхности топлива, м; L – длина резервуара, м; h – высота до поверхности топлива, м.

Рассчитаем и приведем в таблице 2.9 площади испарения резервуаров различного объема при горизонтальном расположении в зависимости от уровня топлива в нем (от максимально возможной степени заполнения до середины) и вертикальным.

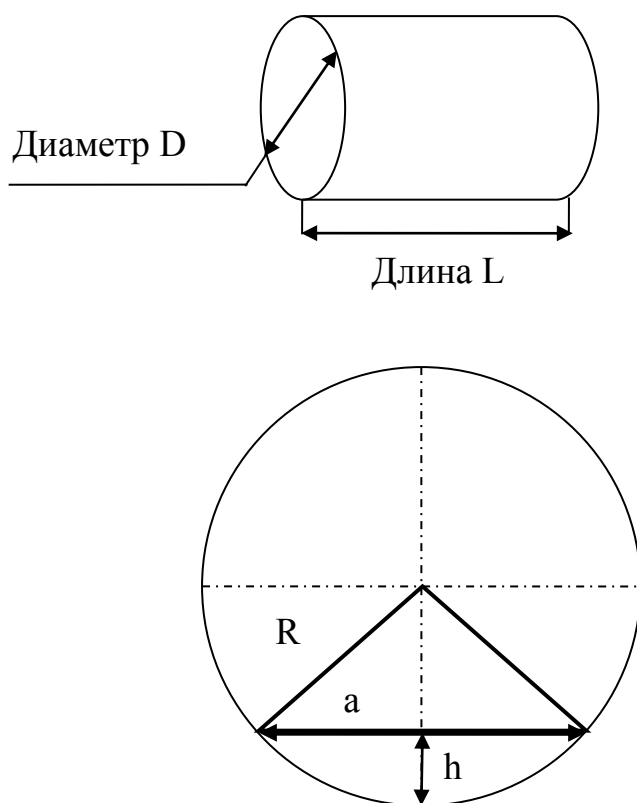


Рисунок 2.9 – Поверхность испарения топлива в горизонтальном резервуаре

Таблица 2.9 – Расчет площади поверхности испарения

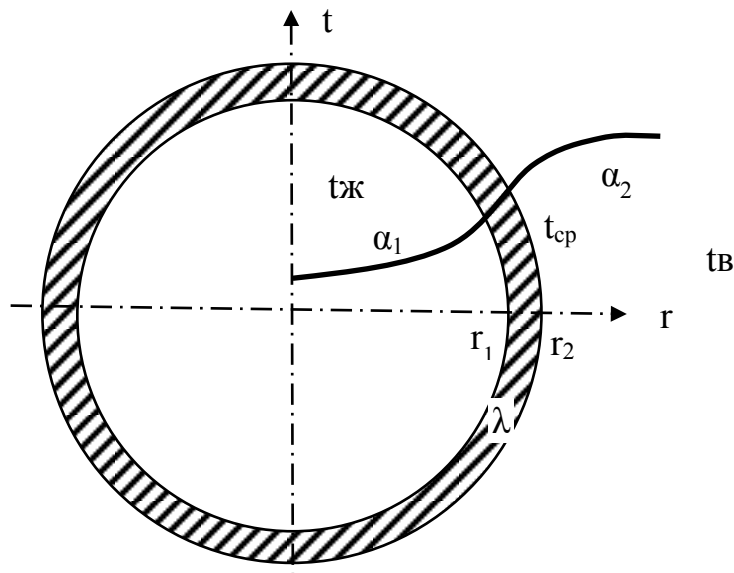
Объем резервуара, м ³	Диаметр D, мм	Длина L, мм	Площадь испарения, м ²	
			Вертикальное расположение	Горизонтальное расположение
3	1400	2550	1,5	0,7 - 3,6
5	1600	2785	2,0	0,9 - 4,5
10	2200	3335	3,8	1,5 - 7,3
25	2760	4990	6,0	2,7 - 13,8
50	2760	10100	6,0	5,5 - 27,9
75	3000	10100	7,1	6,0 - 30,3
100	3000	14400	7,1	8,6 - 43,2

Из таблицы видно, площадь поверхности испарения у горизонтально расположенных резервуаров может быть выше, чем у вертикальных. Максимум площади поверхности топлива в горизонтальном резервуаре достигается при уровне топлива (h) равной радиусу резервуара (R).

Рассмотрим влияние объема топлива на скорость его нагрева. Рассмотрим время нагрева топлива с 20 до 30 °С резервуаров различных объемов при температуре окружающей среды 35 °С.

Общий поток тепла, переданной резервуару будет равен сумме потока тепла от солнечной радиации и от окружающей среды. Рассчитаем его по уравнению (2.31) с помощью пакета программ Mathematica.

Для определения количества теплоты, проходящего через цилиндрическую поверхность величиной $F = 2\pi R(R + L)$ (м²) в единицу времени от окружающей среды, потери тепла с учетом теплопроводности стенок резервуара и последующей ее теплоотдачей от стенок резервуара к топливу схематично изобразим данный процесс (рисунок 2.10).



$t_{ж}$, t_c , $t_{в}$ – температура топлива, средняя температура на земле и высоте резервуара, температура воздуха соответственно, °С; r_1 , r_2 – внутренний и внешний радиус стенок резервуара, м; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); α_1 , α_2 – коэффициент теплоотдачи топлива и воздуха Вт/(м²·К)

Рисунок 2.10 – Схема процесса передачи тепла топливу

Выразим плотность теплового потока для теплопроводности и двух процессов теплоотдачи. Выразим температурные напоры и почленно сложим уравнения:

$$t_{\text{в}} - t_{\text{ж}} = \frac{q}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1 2r_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 2r_2} \right) \quad (2.60)$$

Время нагрева топлива в резервуаре выразим из уравнения:

$$t_{\text{ж}} = t_{\text{ср}} + e^{-k\tau} (t_{\text{в}} - t_{\text{ср}}) \quad (2.61)$$

Получаем искомое время:

$$\tau = \frac{\ln \left(\frac{t_{\text{ж}} - t_{\text{ср}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{ср}}} \right)}{-k}, \quad (2.62)$$

где $k = \alpha \cdot F / m \cdot c$, α - коэффициент теплоотдачи, для бензина приблизительно равен 920 (Вт/м²·К); $t_{\text{ср}}$ - температура окружающей среды, °С; c - удельная теплоемкость бензина равна 2090 Дж/(кг·°С) [82].

С помощью пакета программ Mathematica рассчитаем время нагрева и температуру топлива в резервуарах различной вместимости в течении светового дня равному 12 часов (рисунок 2.11). Данные расчетов приведены в таблицах 2.10, 2.11.

Таблица 2.10 – Время нагрева бензина до 30 °С при контакте с окружающей средой температурой 35 °С

Объем резервуара, м ³	Диаметр D, мм	Длина L, мм	Масса топлива, кг	Площадь поверхности нагрева, м ²	Время нагрева, ч
3	1400	2550	2250	14,3	3,93
5	1600	2785	3750	18,0	5,19
10	2200	3335	7500	30,7	6,11
25	2760	4990	18750	55,2	8,47
50	2760	10100	37500	99,5	9,40
75	3000	10100	56250	109,3	12,84
100	3000	14400	75000	149,9	13,49

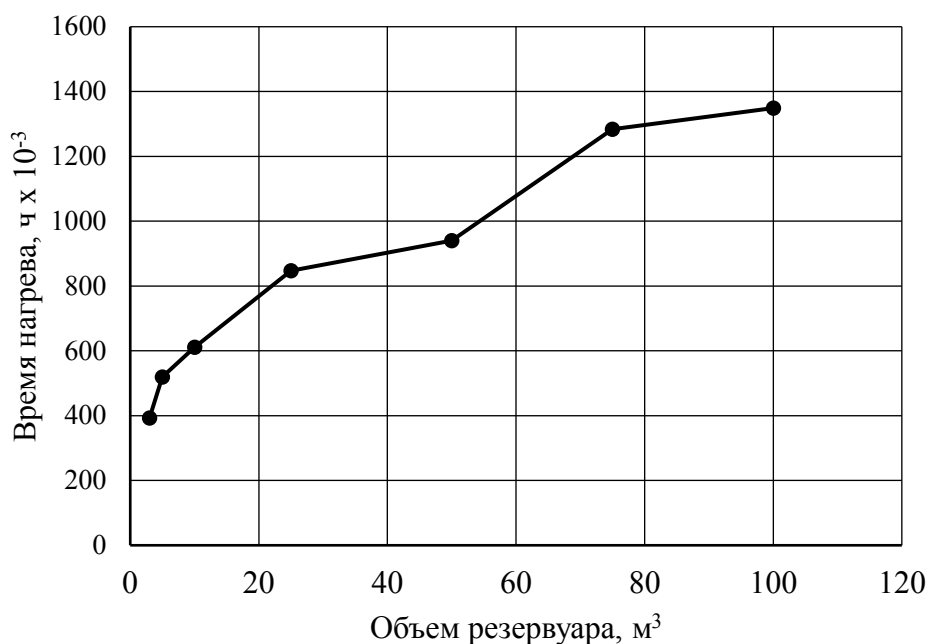


Рисунок 2.11 – Изменение времени нагрева бензина от объема резервуара

Таблица 2.11 – Температура нагрева бензина за 12 ч при контакте с окружающей средой температурой 35 °С

Объем резервуара, м ³	Диаметр D, мм	Длина L, мм	Масса топлива, кг	Площадь поверхности нагрева, м ²	Средняя температура нагрева, °С
3	1400	2550	2250	14,3	38,4
5	1600	2785	3750	18,0	36,5
10	2200	3335	7500	30,7	36,1
25	2760	4990	18750	55,2	33,7
50	2760	10100	37500	99,5	32,1
75	3000	10100	56250	109,3	29,3
100	3000	14400	75000	149,9	27,6

Анализируя данные таблиц, отметим, что за 12 часов от окружающей среды топливо в резервуаре объемом 3 м³ прогревается в среднем на 18 °С, в то время как топливо в резервуаре 100 м³ всего на 7 °С.

Следовательно, процессы, протекающие в резервуарах разной вместимости нельзя масштабировать от большего объема к меньшему и наоборот. Поэтому известные методики расчета испарения топлива для резервуаров вместимости более 100 м³ невозможно использовать для резервуаров с меньшим объемом. Также из-за разной площади поверхности испарения нельзя одинаково рассматривать процессы тепломассопереноса при горизонтальном и вертикальном расположениях резервуаров.

2.9 Расчет норм естественной убыли для резервуаров сельскохозяйственного назначения

Анализ существующих норм естественной убыли и методик в сравнении с фактическими показателями потерь топлива от испарений свидетельствует о неприменимости норм естественной убыли и методик расчета выбросов загрязняющих веществ для горизонтальных сельскохозяйственных резервуаров. В методиках и нормах не рассмотрены резервуары менее 100 м³. Данное упрощение приводит к недостоверным показателям. В тоже время при помощи методики и норм невозможно рассчитать динамику потерь от испарений в зависимости от степени заполнения резервуара. Поэтому разработка математической модели, способной рассчитать количество потерь топлива от испарений для горизонтальных цилиндрических резервуаров, является весьма актуальной задачей.

Для условий нефтескладов сельскохозяйственных предприятий, резервуарный парк которых состоит из стальных горизонтальных наземных цилиндрических резервуаров вместимостью от 3 до 75 м³, указанные нормы требуют корректировки. Экспериментально установлено, что в указанных резервуарах потери, отнесенные к одной тонне хранимого топлива, снижаются с увеличением вместимости резервуара. Зависимость

приведенных потерь бензина при хранении в горизонтальных наземных цилиндрических резервуарах приведена на рисунке 2.12.

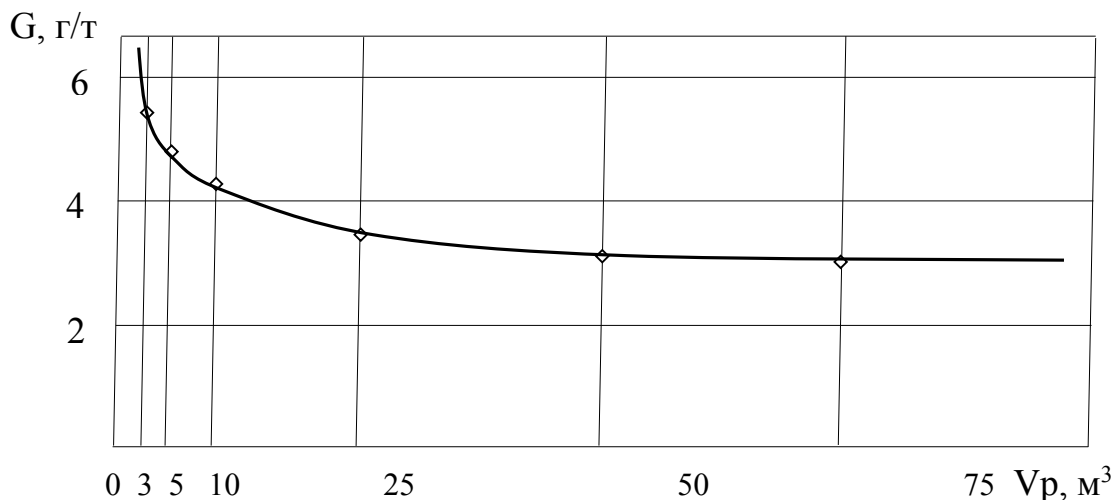


Рисунок 2.12 – Зависимость приведенных потерь бензина при хранении от вместимости горизонтальных наземных цилиндрических резервуаров

Количество потерь топлива от процесса испарения находится в зависимости не только от емкости самого резервуара, а также от площади поверхности испарения и объема паровоздушной области в резервуаре.

Объективный учет и корректный расчёт естественных потерь моторного топлива при его хранении будет возможен лишь после разработки норм естественной убыли, зависящих от испарения и дифференцированных для каждого типоразмера резервуара.

В наземных горизонтальных цилиндрических стальных резервуарах максимальная площадь испарения S (м²) рассчитывается по формуле:

$$S = k_s \cdot D \cdot L, \quad (2.63)$$

где $k_s = 0,88$ – коэффициент, учитывающий загромождение поперечного сечения резервуара ребрами жесткости; D – внутренний диаметр резервуара, м; L – внутренняя длина цилиндрического резервуара, м.

Поверхность испарения S для резервуаров вместимостью от 3 до 75 м³ сведена в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Поверхность испарения горизонтальных цилиндрических резервуаров

Типоразмеры (емкость) резервуаров, V, м ³	Поверхность испарения, S, м ²
3	2,506
5	3,254
10	5,34
25	9,95
50	21,34
75	25,08

Нормы потерь при хранении даются в кг в месяц с каждого квадратного метра поверхности испарения S . Для примера выполним расчет норм естественной убыли для горизонтальных цилиндрических резервуаров с надземным расположением, у которых поверхность испарения S исчисляется исходя из заполнения на 75% его объема. Расчеты проводятся с учетом климатических зон и времени года.

Нормативы потерь G_i i -го нефтепродукта в резервуаре за месяц хранения (в кг) определяются с учетом площади испарения S резервуара и потерь топлива с одного м²

$$G_i = S \cdot H_i, \quad (2.64)$$

где H_i – норма потерь i -го нефтепродукта с площади испарения, равного одному квадратному метру, кг/м².

Расчеты норм потерь для видов нефтепродуктов по каждому типоразмеру резервуаров (от 3 до 75 м³) заносятся в таблицу 2.13, в таблице 2.14 приведены удельные ежемесячные нормы потерь бензина.

Таблица 2.13 – Ежемесячные нормы потерь автомобильного бензина, кг

Емкость резервуара, V, м ³	Зоны страны					
	Южная		Средняя		Северная	
	Осенне-зимний период	Весенне-летний период	Осенне-зимний период	Весенне-летний период	Осенне-зимний период	Весенне-летний период
3	3,152	11,277	1,453	7,753	1,130	5,625
5	4,082	14,602	1,882	10,040	1,463	7,285
10	6,873	24,588	3,169	16,905	2,464	12,266
25	12,580	45,000	5,800	30,940	4,510	22,450
50	25,164	90,015	11,602	61,889	9,021	44,907
75	31,706	113,418	14,618	77,981	11,367	56,583

Таблица 2.14 – Удельные ежемесячные нормы потерь бензина, кг/м³

Вместимость резервуара, V, м ³	Зоны страны					
	Южная		Средняя		Северная	
	Осенне-зимний период	Весенне-летний период	Осенне-зимний период	Весенне-летний период	Осенне-зимний период	Весенне-летний период
3	1,050	3,759	0,484	2,584	0,3796	1,875
5	0,816	2,920	0,376	2,008	0,292	1,457
10	0,687	2,458	0,316	1,690	0,246	1,226
25	0,503	1,800	0,232	1,237	0,178	0,890
50	0,503	1,800	0,232	1,237	0,180	0,881
75	0,422	1,522	0,194	1,039	0,151	0,754

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что с увеличением вместимости резервуаров потери нефтепродуктов возрастают. Однако потери, отнесенные к вместимости резервуара, снижаются с увеличением объема резервуара.

Аналогично проведем расчеты потерь топлива от испарения в резервуарах различной емкости с разным уровнем заполнения и сформируем номограммы для различных климатических зон (таблица 2.15).

Таблица 2.15 – Годовые потери бензина из горизонтальных резервуаров различной емкости с различным уровнем наполнения

Вместимость резервуара, V, м ³	Масса топлива при полном заполнении, кг	Степень наполнения резервуара, %	Потери автомобильного бензина при хранении за сезон по климатическим зонам страны, кг		
			Северная	Средняя	Южная
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
3	2250	90-95	40,5	55,2	86,6
		70-85	45,36	61,82	96,99
		50-65	57,83	78,83	123,66
		20-40	77,79	106,02	166,33
5	3750	90-95	52,5	71,5	112,1
		70-85	58,8	80,08	125,55
		50-65	74,97	102,1	160,08
		20-40	100,83	137,33	215,31
10	7500	90-95	88,4	120,4	188,8
		70-85	99,01	134,85	211,46
		50-65	126,24	171,93	269,61
		20-40	169,79	231,25	362,62

Продолжение таблицы 2.15

1	2	3	4	5	6
25	18750	90-95	161,8	220,4	345,5
		70-85	181,22	246,85	386,96
		50-65	231,05	314,73	493,37
		20-40	310,76	423,31	663,59
50	37500	90-95	323,6	440,9	691,1
		70-85	362,43	493,81	774,03
		50-65	462,1	629,61	986,89
		20-40	621,53	846,82	1327,37
75	56250	90-95	407,7	555,6	870,8
		70-85	456,62	622,27	975,3
		50-65	582,2	793,4	1243,5
		20-40	783,05	1067,12	1672,51

Построим номограммы потерь топлива от испарения при различном наполнении резервуаров емкостью от 3 до 75 м³ для трех климатических зон (рисунок 2.13-2.15).

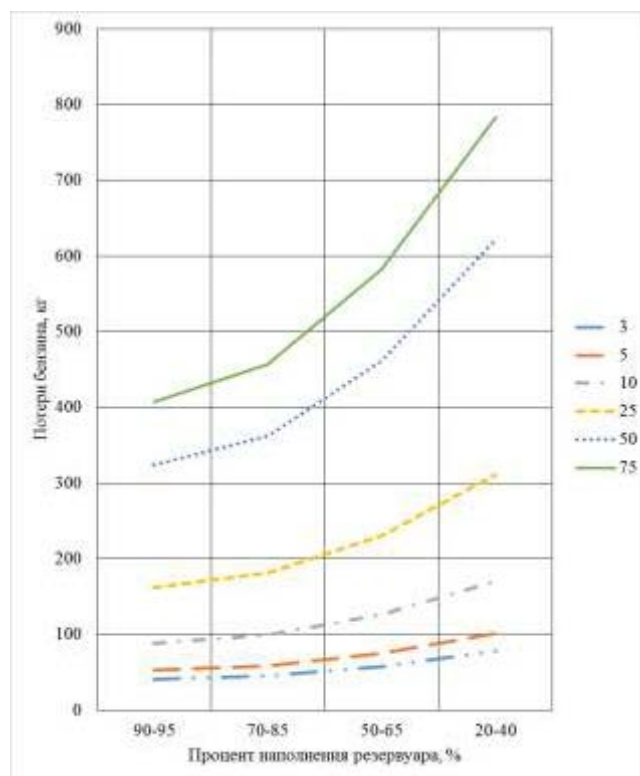


Рисунок 2.13 – Номограмма потерь топлива от испарения за год при различном наполнении резервуаров емкостью от 3 до 75 м³ для северной климатической зоны

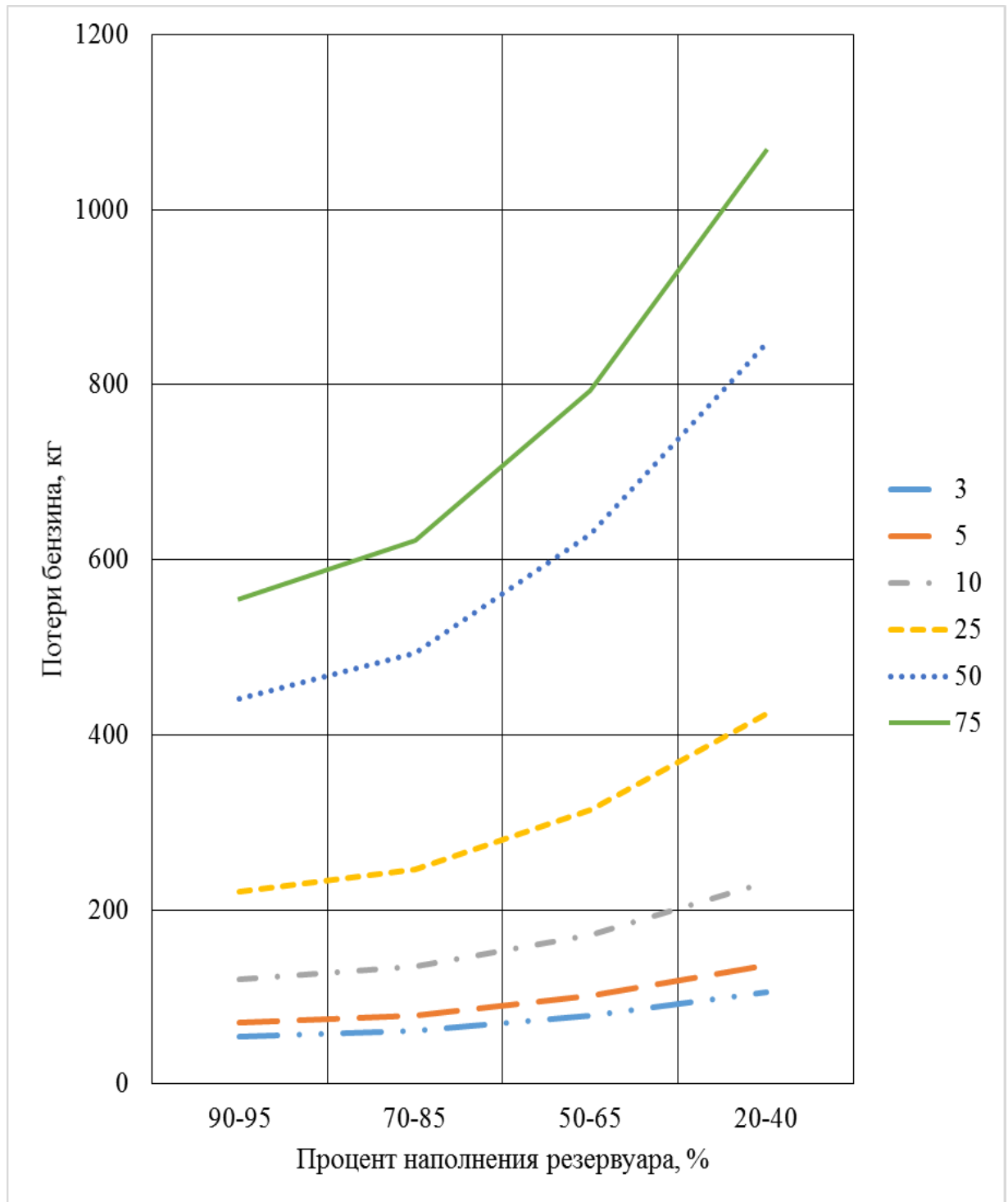


Рисунок 2.14 – Номограмма потерь топлива от испарения за год при различном наполнении резервуаров емкостью от 3 до 75 м³ для средней климатической зоны

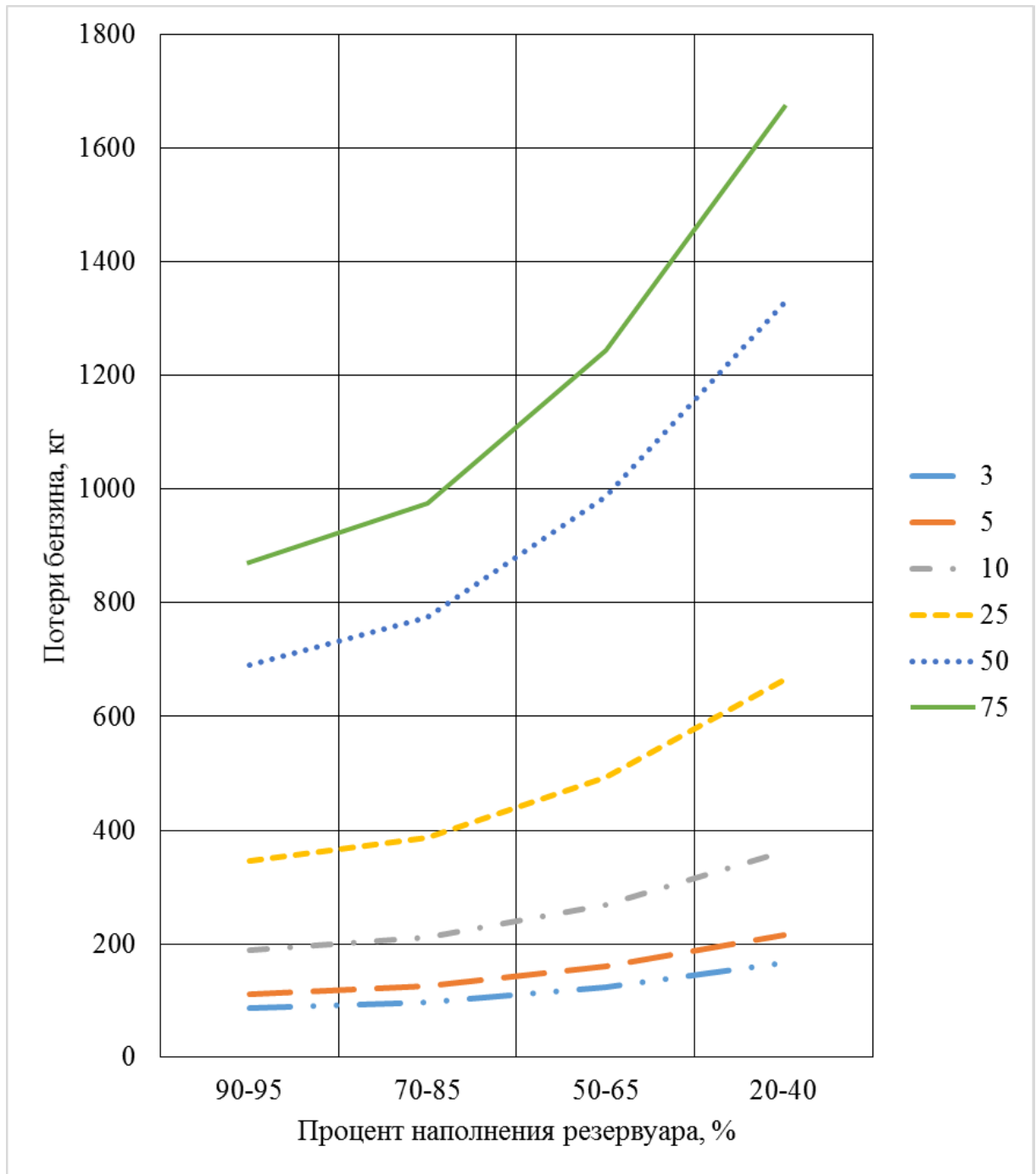


Рисунок 2.15 – Номограмма потерь топлива от испарения за год при различном наполнении резервуаров емкостью от 3 до 75 м³ для южной климатической зоны

Данные номограммы служат для экспресс оценки возможных потерь топлива.

2.10 Выводы

1. Моторное топливо, имеющее свободную поверхность раздела «жидкость-пар», испаряется всегда и при любой температуре вследствие стремления системы к минимуму энергии. Наиболее эффективным методом снижения потерь моторного топлива при хранении в наземных горизонтальных цилиндрических резервуарах является конденсация паров углеводородов и возврате конденсата в резервуар.

2. Теоретически обоснованы потери легких фракций топлива при испарении, что приводит к снижению его качества.

3. Получено, что меньший объем топлива обладает большей амплитудой температурных колебаний, так, за 12 часов от окружающей среды топливо в резервуаре объемом 3 м³ прогревается в среднем на 18 °С, в то время как топливо в резервуаре 100 м³ всего на 7 °С.

4. Движущая сила процесса испарения непосредственно зависит от изменения химических потенциалов соединений, входящих в состав топлив, а, значит и от интенсивности окислительных, полимеризационных и коагуляционных процессов, происходящих в топливе при хранении. Для резервуара 25м³, заполненного на 50%, кислород, находящийся в газовом пространстве над бензином, способен окислить 46,88 моль бензина и при этом испарится 1762,7 г топлива. С учетом того, что далее реакции окисления будут происходить с выделением энергии без участия кислорода, а кислород будет регулярно поступать из атмосферы при дыхании резервуара – то эффект испарения от окисления топлива может быть несколько выше. Выявлено, что в результате протекания реакций окисления произойдет не только ухудшение качества топлива, но и на 2% увеличатся потери топлива в результате испарения.

5. Разработана методика для расчета количества тепла, передаваемого солнечной радиацией стенкам резервуара. Расчет выполняется в зависимости от геометрических размеров резервуара, его географического положения и

календарного дня года. Для города Липецк с широтой 52,36 град получено годовое количество теплоты, 1080 кВт·ч/м². Установлено, что количество солнечного излучения возрастает с изменением широты (от северной части к южной - экватору).

6. Разработана методика расчета теплопередачи от Солнца к стенкам горизонтального цилиндрического резервуара, и от стенок к хранимому топливу. Предложенная методика с определенной степенью достоверности позволяет составить модель процесса теплообмена.

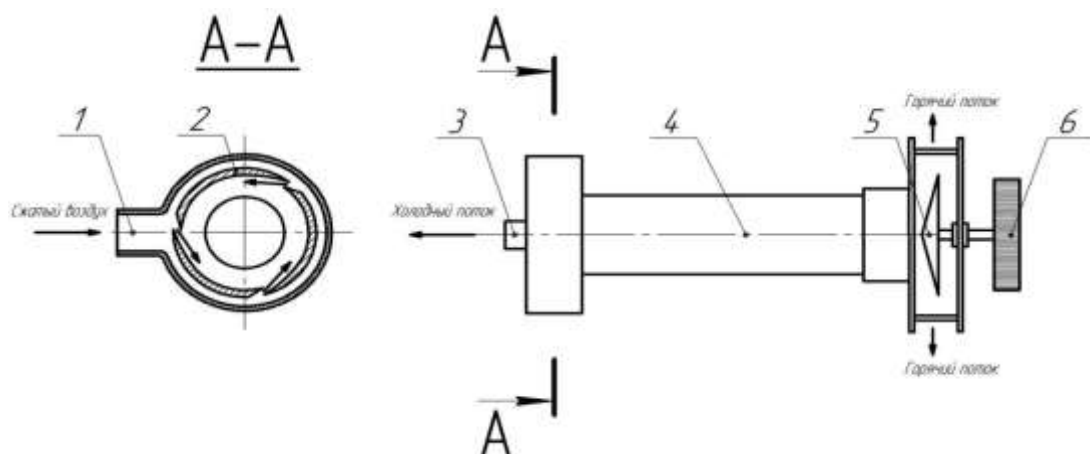
7. Разработана методика расчета потерь моторного топлива от испарения с изменяемой поверхности в стальных наземных горизонтальных резервуарах. По методике произведен расчет при заполнении горизонтальных емкостей вместимостью от 10 до 100 м³ до уровня 90 %. Полученные расчеты показывают, что нормативные потери меньше в 1,7 раза для холодного периода и в 1,9 раза в теплый период. Таким образом, нормативы естественной убыли дают очень усредненные данные о потере нефтепродуктов при хранении. Поэтому для точного определения потерь необходимо использовать полученные расчетные зависимости.

8. Построены номограммы потерь топлива от испарения при различном наполнении резервуаров емкостью от 3 до 75 м³ для трех климатических зон. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что с увеличением вместимости резервуаров потери нефтепродуктов возрастают. Однако потери, отнесенные к вместимости резервуара, снижаются с увеличением объема резервуара.

3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ПОТЕРЬ МОТОРНОГО ТОПЛИВА ПРИ ХРАНЕНИИ

3.1 Теоретические основы вихревого эффекта

Генерацию отрицательной температуры для конденсации углеводородов обеспечивают вихревые трубки, в которых за счет вихревого эффекта происходит энергоразделение входного воздушного потока. В литературе вихревой эффект впервые описан в 1931 году французом Ж.Ж. Ранком. В 1941 году опыты продолжил немецкий ученый Р. Хилш. Эксперименты по изучению данного явления проводились в СССР и за рубежом, однако общепризнанного механизма, раскрывающего суть вихревого эффекта, пока не предложено, и базой для разработки новых технических средств, основанных на указанном эффекте, до сих пор является эксперимент. Вихревой эффект обнаруживается в вихревой трубке (далее - ВТ), схема которой приведена на рисунке 3.1.



1 - нагнетание воздуха под давлением, 2 – завихритель в форме улитки, 3 – диафрагма в форме цилиндра, 4 - вихревая область, 5 – дроссельная заслонка, 6 – регулятор степени открытия дросселя.

Рисунок 3.1 – Схема вихревой трубки

Воздух под давлением выше атмосферного подается в ВТ через сопло 1, образуя в улитке 2 турбулентный поток, при этом центральные слои воздуха охлаждаются и выходят из диафрагмы, а разогретые периферийные слои выходят через дроссельную заслонку. Уровень давления в ВТ регулируется степенью прикрытия дроссельной заслонки. Таким же образом регулируется расход потоков холодного и горячего воздуха наряду с изменением их температуры [197, 207].

К базовым характеристикам ВТ относят эффект охлаждения и нагрева, которые записывают выражением:

$$\Delta t_x = T_1^* - T_x, \Delta t_r = T_r - T_1^*, \quad (3.1)$$

где: T_1^* – температура входного потока воздуха под давлением, Δt_x , Δt_r – эффект охлаждения и нагрева соответственно, T_r – температура выхода горячего потока из дроссельной заслонки, T_x – температура выхода холодного потока из диафрагмы, К.

Для расчёта относительного весового расход (μ) введем обозначения: G (кг/с) – является расходом нагнетаемого воздуха под давлением, расходы выходных холодного и горячего потоков как G_x и G_r соответственно, в итоге получим

$$\mu = G_x / G. \quad (3.2)$$

Как показано в литературных источниках [220, 221, 262, 301], при возрастании весового расхода от нуля до 0,25 увеличивается эффект охлаждения, после достигнутого экстремума при $\mu = 0,25$ эффект охлаждения снижается.

Изобразим на рисунке 3.2 эффект охлаждения ВТ в зависимости от весового расхода.

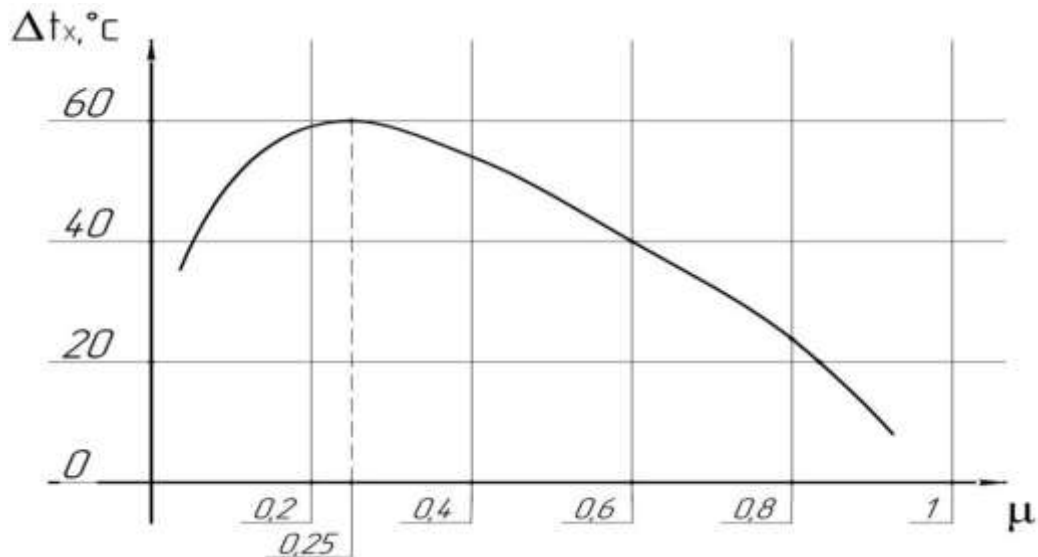


Рисунок 3.2 – График зависимости эффекта охлаждения от весового расхода

Среди факторов, влияющих на эффект охлаждения, следует отметить площадь сечения сопла (F_C). При увеличении данного параметра происходит повышение гидросопротивления холодному потоку и увеличивается общий расход воздуха. Вследствие чего уменьшается эффект подмешивания разогретого слоя к холодному потоку.

Запишем выражение проходного сечения сопла как его отношение к диаметру ВТ:

$$F_C^* = \frac{4 \cdot F_C}{\pi \cdot D_{\text{трубы}}^2}, \quad (3.3)$$

где F_C^* - относительное сечение сопла; F_C - сечение сопла, мм²; $D_{\text{трубы}}$ - диаметр вихревой трубы, мм.

Максимальное значение эффекта охлаждения достигается при F_C^* приблизительно равной 0,1.

Следующим фактором является диаметр диафрагмы, который запишем как отношение к диаметру ВТ:

$$d_D^* = \frac{D_{\text{трубы}}}{D_{\text{диафрагмы}}}, \quad (3.4)$$

где d_D^* - относительный диаметр диафрагмы; $D_{\text{диафрагмы}}$ - диаметр диафрагмы, мм.

По данным многочисленных литературных источников максимальный эффект охлаждения происходит при значении $d_{\text{Д}}^*$ равном 0,42.

Продолжительное изучение вихревого эффекта не привело к формулированию общепризнанной теории разделения газов внутри ВТ.

Разработанные гипотезы, которые описывают эффект энергоразделения в ВТ, должны быть подтверждены критерием внешнего оправдания. Ряд исследователей в работах [220, 221, 262] провели классификацию, помогающую изучить явление возникновения вихревого эффекта. Это позволило выделить основные группы гипотез возникновения вихревого эффекта:

1. Центробежная гипотеза.
2. Гипотеза, применяющая «демон Максвелла».
3. Гипотеза Хилша - Фултона или радиальных потоков.
4. Гипотеза вихревого взаимодействия. [207]

Рассмотрим некоторые теоретические обоснования возникновения вихревого эффекта. Так, Ж.Ж. Ранк обосновывал эффект наличием равновесия в поле центробежных сил ВТ элементарного газового объема. Был сделан вывод, что с увеличением радиуса камеры ВТ происходит более интенсивный рост градиента плотности в отличие от градиента давления. Исходя из этого согласно уравнению состояния можно сделать вывод, что увеличение радиуса камеры ВТ приведет к возрастанию температуры.

Рассчитанный по теории Ж.Ж. Ранка градиент температуры отличается от экспериментального в шесть раз. По этой причине Французская академия наук признала модель Ж.Ж. Ранка недействительной.

В литературе также применяется известный в термодинамике метод под названием «демон Максвелла», который авторы применяют для описания вихревого эффекта. В данном методе основным направлением исследования является фокус на перераспределение молекул у максвелл-больцмановского газа с различной кинетической энергией [207]. Математические модели данной теории не принимают во внимание влияние геометрических

параметров ВТ на процессы энергоразделения, что противоречит экспериментальным данным.

Группа гипотез, которые объединяют под названием радиальные потоки Хилша-Фултона, в основу принимают наличие в камере ВТ двух потоков энергии: потока тепла, который направлен от стенок камеры ВТ к ее центру и кинетической энергии, которая направлена от центра к периферии. Экспериментальные данные по эффекту охлаждения примерно в три раза отличаются от расчетных по данной гипотезе значений. Тем самым, приведенная гипотеза не обеспечивает объяснение высоким эффектам охлаждения.

Наиболее достоверно вихревой эффект описывает гипотеза взаимодействия вихрей, согласно которой энергоразделение в камере изучается как взаимодействие двух разнонаправленных вихревых потоков: периферийный вихрь вращается по закону потенциального вихря, а приосевой – как квазитвердое тело у которого угловая скорость остается константой. В тоже время гипотеза не исключает присутствия источников и стоков энергии в камере ВТ, но их влияние на процесс энергоразделения остается незначительным [207].

3.2 Математическая модель температурного разделения в вихревой трубе

На основе литературного анализа работ авторов [3, 221, 262, 301], в которых приводятся результаты описания физической сущности вихревого эффекта и аналитические решения, можно сделать выводы:

1. Эффект энергетического разделения, сравнимый с экспериментальными данными, получается за счет преобразования свободного вихря в вынужденный с ростом скорости периферийного слоя.

2. По мере трансформации свободного вихря в вынужденный происходит выравнивание статической температуры по его радиусу.

3. Возрастание радиального градиента температуры в процессе трансформации свободного вихря в вынужденный от нулевого значения осуществляется за счет разделения потоков вихря на холодный и горячий.

4. Реверс вихревой трубы при постоянных физических свойствах газа невозможен. [207].

Схематично картину течения воздуха в ВТ изобразим на рисунке 3.3.

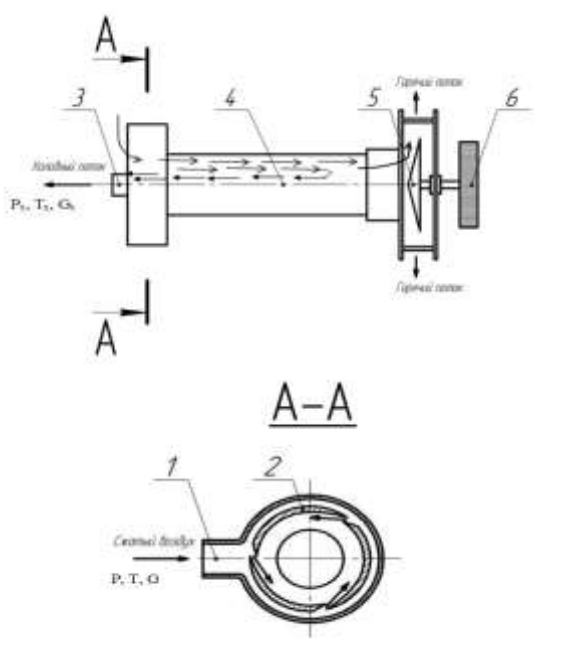


Рисунок 3.3 – Движение воздуха в вихревой трубке

В случае, когда после перемещения температура элементарного объема газа будет отличаться от температуры других элементов, которые расположены на этом же радиусе, в результате перемешивания произойдет нагрев или охлаждение элементарного объема газа в этом слое.

Перемещение элементарного объема газа из одной радиальной позиции на другую в поле с высоким радиальным градиентом давления за счет радиальной турбулентной пульсационной скорости v' он адиабатно расширится или сожмется, при этом изменится его температура [207].

Изменение температуры элемента за счет адиабатного расширения или сжатия в поле сил давления можно выразить так:

$$\left(\frac{dT}{dR}\right)_s = \frac{k-1}{k} \frac{T}{p} \frac{dp}{dr'} \quad (3.5)$$

где T – температура, К; r – радиус, м; p – давление, Па, k – показатель адиабаты.

3.3 Корректировка математических моделей вихревого эффекта и проведение теоретических (имитационных) исследований

Математическую модель в дифференциальной форме для имитации процессов в вихревой трубе запишем в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left(-\rho \delta_{ij} - \rho u'_i u'_j + \mu_{lt} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) \\ \frac{\partial (\rho u_i)}{\partial x_i} &= 0, \\ \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i H + q_i - u_i \tau_{ij}) &= 0, \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k k) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\left(\mu + \frac{\mu_\tau}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_k} \right) + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon,$$

$$\frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\left(\mu + \frac{\mu_\tau}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_k} \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} f_1 \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} f_2 \frac{\rho \varepsilon^2}{k},$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³; u_i — компонента скорости потока; δ_{ij} – дельта-символ Кронекера; k – турбулентная кинетическая энергия, Дж; ε – турбулентная энергия диссипации; $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$ – константы; μ – динамическая вязкость газа, Па·с.

Модель подразумевает, что в каждый момент времени количество выходящего из вихревой трубы воздуха равно количеству поступающего. Для модели приняты следующие допущения: стенки вихревой трубы абсолютно гладкие; отсутствует теплообмен с окружающей средой (стенки проточной части адиабатичные).

Основные подходы по корректировке математических моделей вихревого эффекта и проведение теоретических исследований приведены в приложении Е.

3.4 Пути увеличения эффекта охлаждения в вихревых трубах

При всех достоинствах ВТ низкая экономичность процесса температурного разделения, происходящего в камере трубки является главным ее недостатком.

В работах Меркулова [220, 221] приводятся различные варианты повышения КПД ВТ. Рассмотрим среди них каскадные и ступенчатые схемы их соединения (рисунок 3.4).

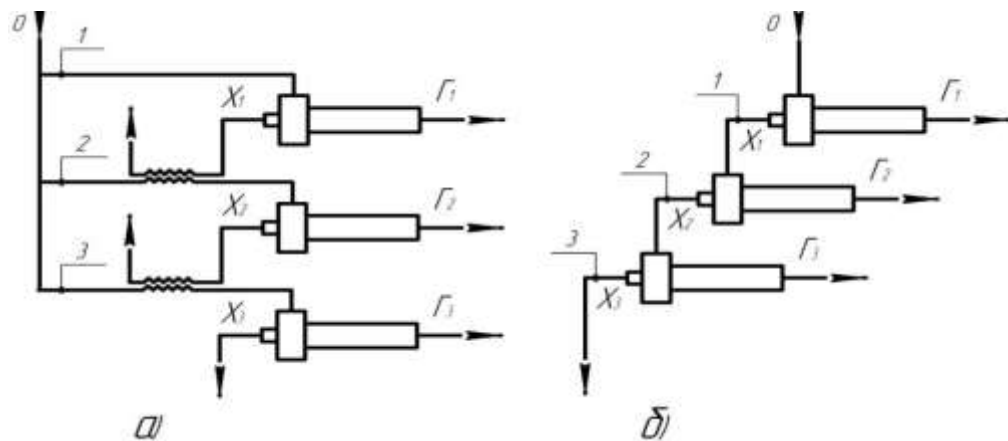


Рисунок 3.4 – Каскадная (а) и ступенчатая (б) схема соединения ВТ

Главными достоинствами соединения ВТ по ступенчатой схеме являются отсутствующие теплообменные аппараты и значительно меньший, относительный расход подаваемого под давлением воздуха, по сравнению с каскадной схемой соединения [221].

Чтобы повысить экономичность ступенчатой схемы соединения ВТ, для первой ВТ следует выбирать режим с максимальным эффектом охлаждения ($\mu = 0,25$) и увеличивать величину входного давления $P1^*$, тем самым не снижая эффекта охлаждения на последующих ступенях.

Таким образом, при соединении двух вихревых труб в ступенчатый блок, в котором выход холодного потока первой трубки подается на вход второй вихревой трубы, удастся увеличить общий эффект охлаждения вихревыми трубами.

3.5 Расчет и оптимизация пластинчато-ребристых теплообменных аппаратов для конденсации паров воды из атмосферного воздуха

Создание конденсатора с требуемым температурным полем на пластине ставит необходимость в решении трех отдельных задач. Первая задача или проектировочный расчет заключается в сборе подходящих составляющих и расчете геометрических характеристик по заданным показателям работы конденсатора. Вторая задача или проверочный расчет заключается в расчете полей температур пластины для спроектированного теплообменного аппарата при заданных рабочих параметрах, которые учитывают тепломассообмен. Третья задача или противообледенительные меры заключается в дополнительном расчете технических средств противодействия обмерзанию. Проводится он по необходимости, исходя из условий эксплуатации теплообменного аппарата. Совокупность полученных расчетов гарантированно отвечают на вопрос о применимости созданного теплообменного аппарата для решения требуемой задачи в известных условиях, в противном случае появляется необходимость проведения работ по дальнейшей оптимизации. Подробности расчета и принцип работы установки по предотвращению обводнения моторного топлива приведены в приложении Ж.

3.6 Автоматизация резервуарного парка сельскохозяйственных нефтескладов

Автоматизация резервуаров сельскохозяйственных нефтескладов позволяет управлять техническими средствами для предотвращения потерь моторного топлива.

Разработан алгоритм предупреждения аварий в резервуарном парке и предотвращения обводнения и испарения моторного топлива, который положен в основу работы программного обеспечения. Выделим четыре ключевых этапа работы алгоритма: начальная инициализация паспортных данных и технологических карт оборудования нефтехозяйства; опрос датчиков слежения за технологическими параметрами резервуара и их запись в базу данных; выполнение проверки вероятности образования аварийной ситуации; сигнал контроллеру на управляющее воздействие для технических устройств.

На этапе начальной инициализации паспортных данных и технологических карт оборудования нефтехозяйства формируется единое информационное пространство, по сути цифровой двойник оборудования нефтехозяйства. В настройках программы фиксируется показатель вероятности при котором происходит оповещение о наступлении критического события.

На этапе опрос датчиков слежения за технологическими параметрами резервуара и их запись в базу данных происходит чтение данных с заданным интервалом от приборов контроля уровня топлива, давления газового пространства, температуры газового пространства и их запись в базу.

Выполнение проверки вероятности образования аварийной ситуации производится онлайн в оперативной памяти программы и включает идентификацию ситуаций по утечки топлива, поломке дыхательного клапана, возгорания топлива. Также идентифицируются ситуации при поломке датчиков, отсутствии сигналов. Проверка утечки топлива достигается реализацией алгоритма определения дельты крайних измерений уровня топлива h с учетом коэффициента температурного расширения топлива k . Наступление события утечки топлива считается при отрицательной дельте.

Идентификация поломки дыхательного клапана происходит при превышении или снижении давления газового пространства резервуара над давлением его срабатывания. Это означает, что дыхательный клапан не

открывается, что может привести к разрушению резервуара. Если давление в резервуаре не изменяется, а температура увеличивается, значит произошло разрушение дыхательного клапана и интенсифицируется процесс испарения топлива.

Достижение температуры в резервуаре до уровня вероятности самовозгорания топлива идентифицирует это событие.

Программа управляет контроллером включения системы защиты от обводнения и испарения топлива. При достижении в резервуаре заранее установленного давления срабатывания дыхательного клапана на «вдох» работает контроллер, включающий систему защиты хранимого топлива от обводнения атмосферной влагой.

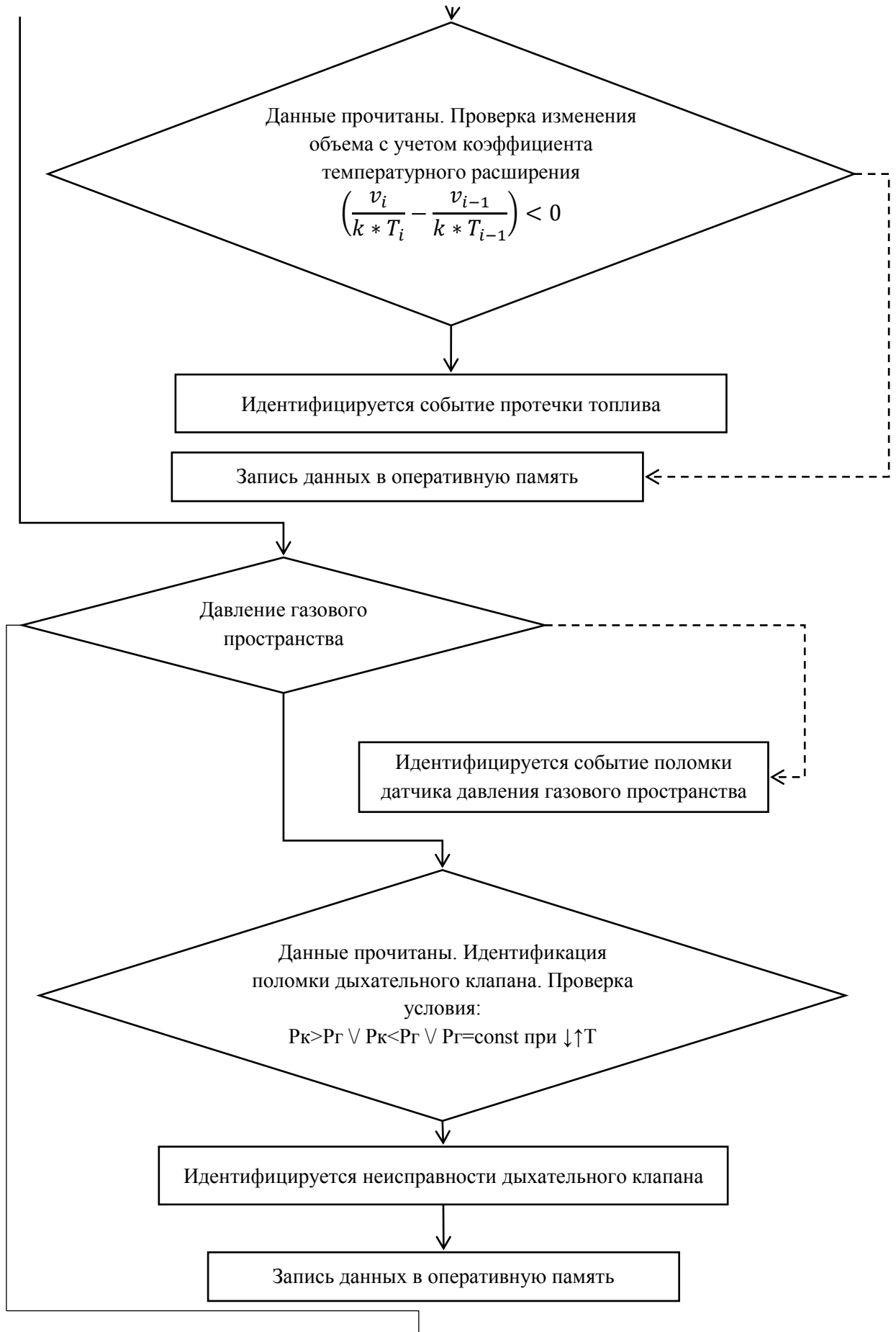
При достижении в резервуаре заранее установленного давления срабатывания дыхательного клапана на «выдох» работает контроллер, включающий систему защиты хранимого топлива от испарения.

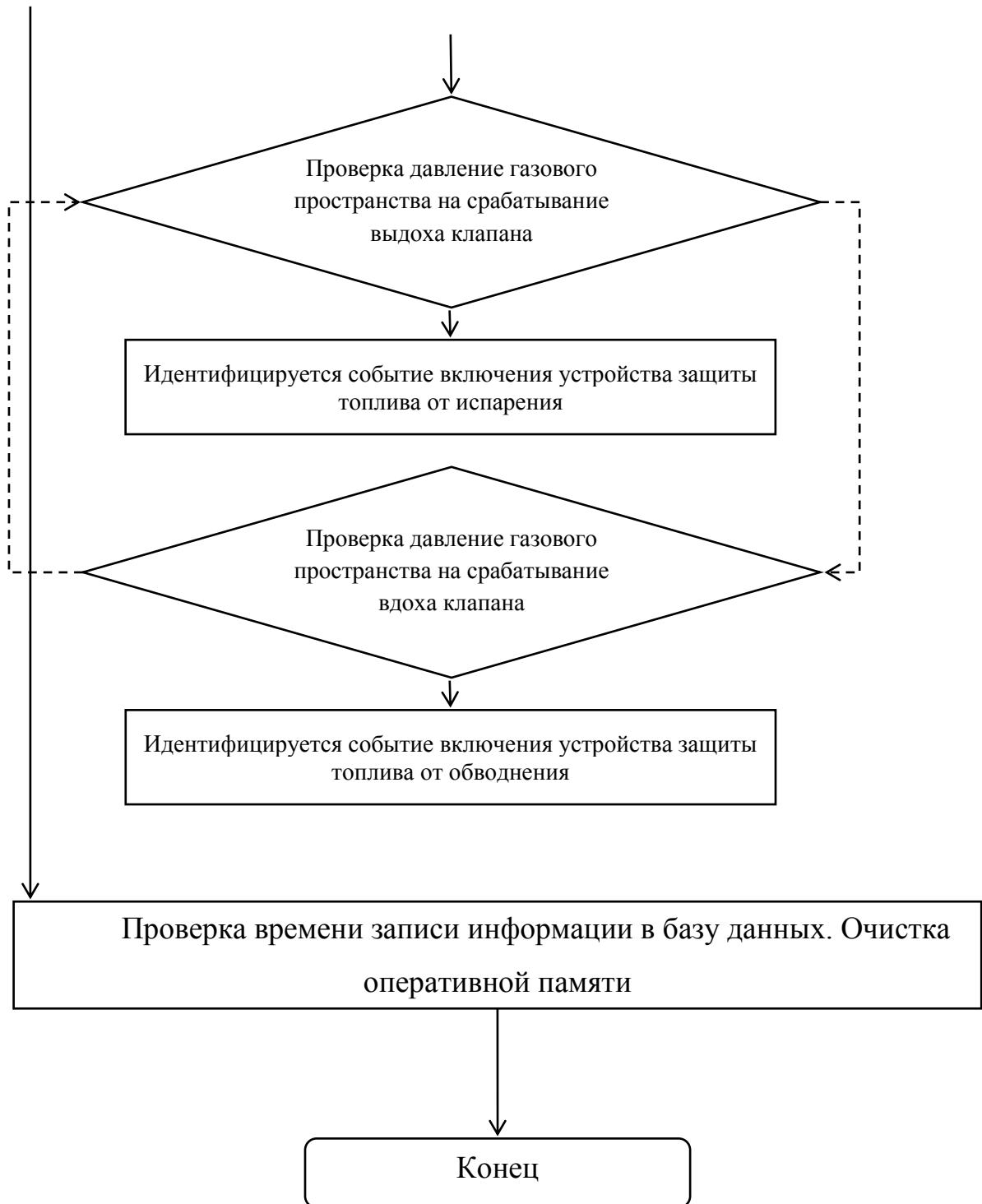
Управляющее воздействие программы заключается в информировании оператора об идентифицированном негативном событии и/или включении устройств предотвращения негативных событий.

Алгоритм «Начальная инициализация программы»



Продолжение алгоритма «Работа основного блока программы»



Продолжение алгоритма «Работа основного блока программы»

По данному алгоритму разработано программное обеспечение.

3.7 Концепция умного нефтесклада для снижения потерь моторного топлива при хранении

В понятие «умный нефтесклад» входят математические модели на базе нейронных сетей и программное обеспечение, способное описать процесс хранения топлива и идентифицировать различные состояния системы, что позволяет оператору либо автоматике предпринять действия, направленные на снижение потерь моторного топлива. В данном разделе приведены теоретические и практические аспекты внедрения умного нефтесклада для сельского хозяйства.

Разработана концепция виртуально облачной системы автоматизации резервуаров, которая позволяет сделать переход от классической системы сбора и обработки параметров от датчиков резервуара и перейти к виртуальной с использованием облачной технологии хранения и обработки данных. Применение данной концепции реализует возможность автоматизировать устаревшие резервуарные парки.

Рассмотрен вопрос совершенствования методики расчета испарений топлива с применением нейронной сети, проведено сравнение двух методов по точности прогноза.

Интеллектуальный нефтесклад сельского хозяйства включает в себя:

1. Роботизацию сельскохозяйственного нефтесклада в части защиты топлива от испарения и обводнения.
2. Применение BigData и нейронных сетей для прогнозирования спроса на топливо, оценки и прогнозирования рисков нефтесклада.

Нейронные сети обеспечивают решение сложно формализуемых математических задач и технологических процессов. Обученная нейронная сеть способна оперативно спрогнозировать различные сценарии развития событий и помочь выбрать оптимальный путь снижения потерь моторного топлива или рассчитать оптимальный запас топлива на складе, тем самым снизив его потери от испарения. Технологии BigData позволяют

обрабатывать большие объемы информации, прирост которой будет происходить с подключением нового резервуара к умному нефтескладу.

3. Удаленный контроль состояния резервуаров и нефтесклада при помощи мобильного приложения.

Влияние интеллектуализации хранения топлива на развитие сельского хозяйства:

1. Сохранение качества топлива при хранении за счет защиты от испарения и обводнения. Как следствие снижение износа и поломки двигателей автотракторной техники.

2. Сохранение чистоты почвы, воды и воздуха за счет снижения испарения топлива в атмосферу.

3. Экономия энергетических ресурсов за счет интеллектуального управления системами защиты топлива. Установки защиты топлива включаются в момент потребности.

3.7.1 Метод интеллектуального управления нефтескладом с применением нейронной сети

Для управления нефтескладом и решения многофакторных задач разработан метод, который базируется на искусственном интеллекте. Математический аппарат искусственного интеллекта основан на нейросетевой модели, которая способна самостоятельно проводить дообучение модели на новых данных. Данный принцип позволяет уменьшать погрешности вычислений, адаптироваться к новым условиям эксплуатации.

Разработанный метод интеллектуализации управления нефтескладом, моделирования хранения топлива, и управления резервуарный парком состоит из блоков:

1. Блок подготовки данных.
2. Разработка нейросетевой архитектуры.

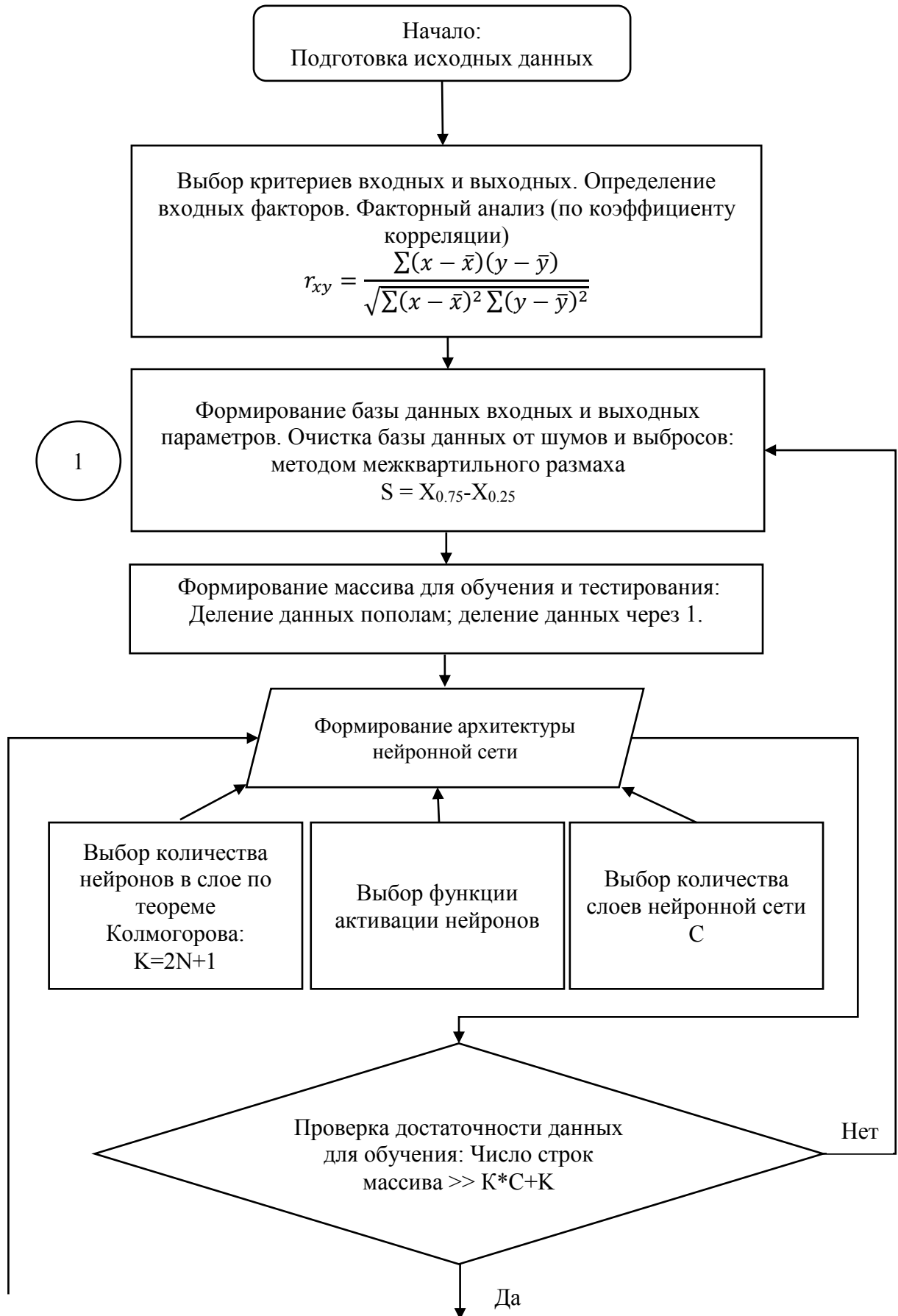
3. Оптимизация весовых коэффициентов, обучение выбранной нейронной сети.

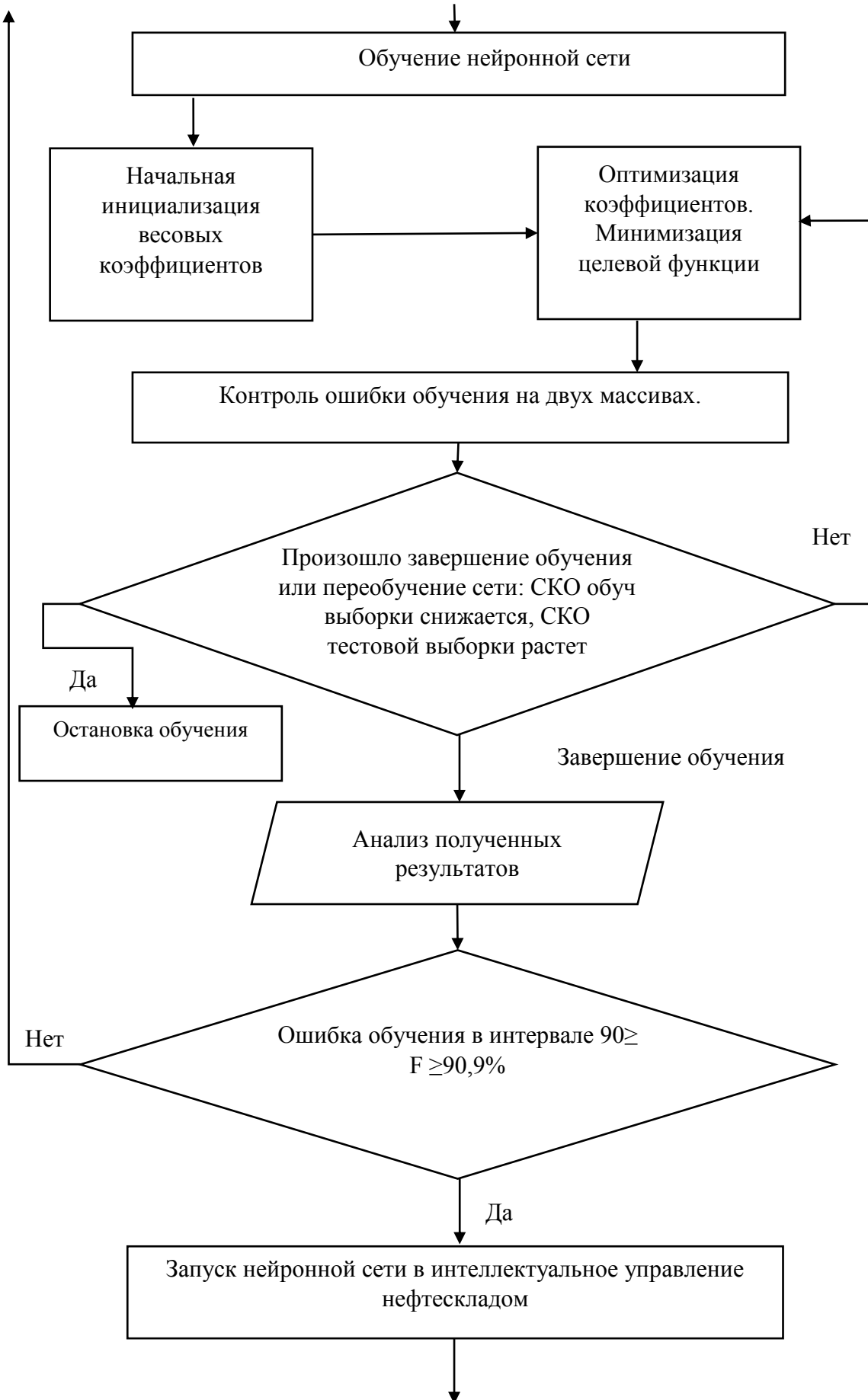
4. Промышленная эксплуатация полученной нейронной сети.

5. Дообучение рабочей нейронной сети на новых входных данных.

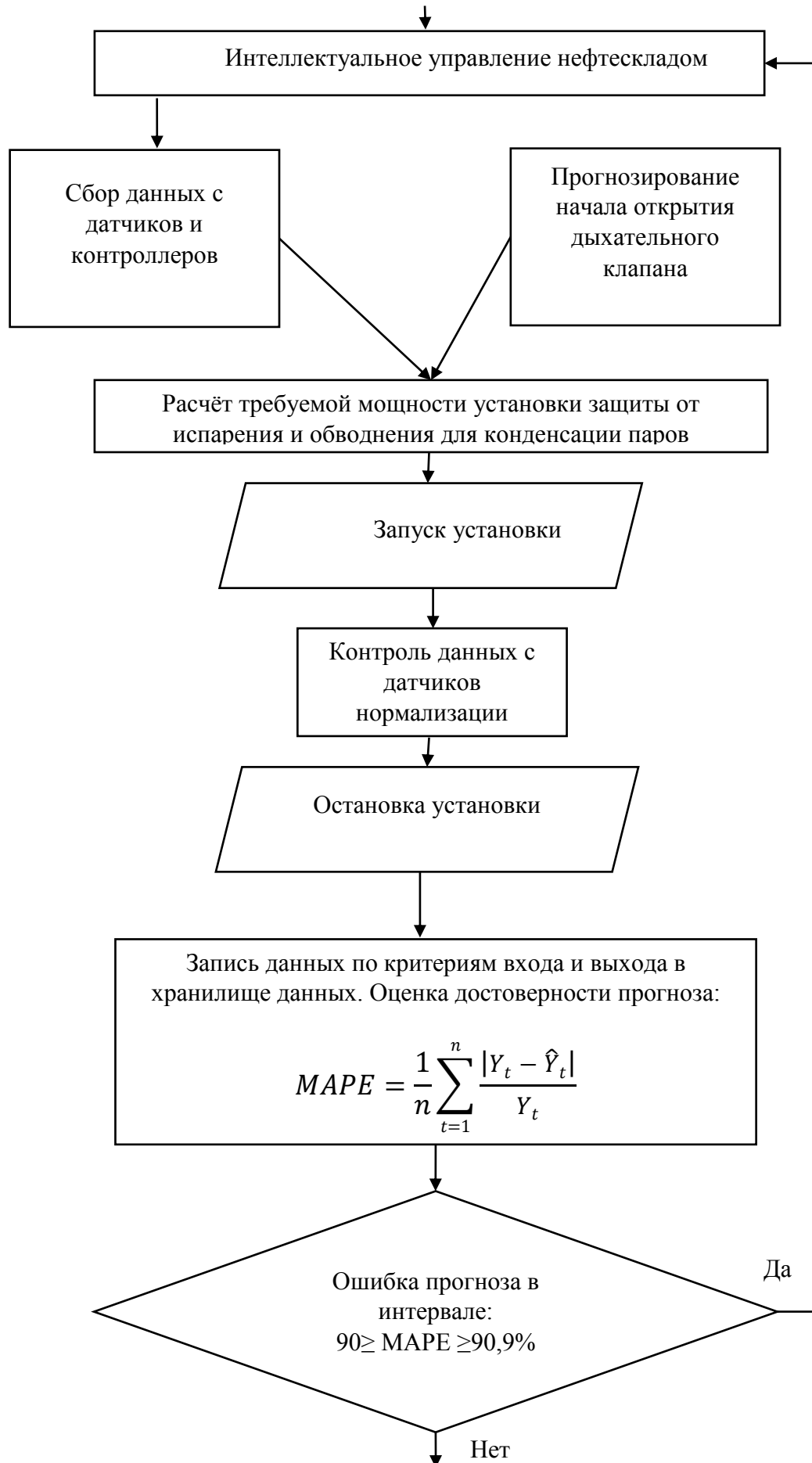
Ниже приведен алгоритм интеллектуального управления нефтескладом с применением нейронной сети и моделированием хранения топлива в резервуаре:

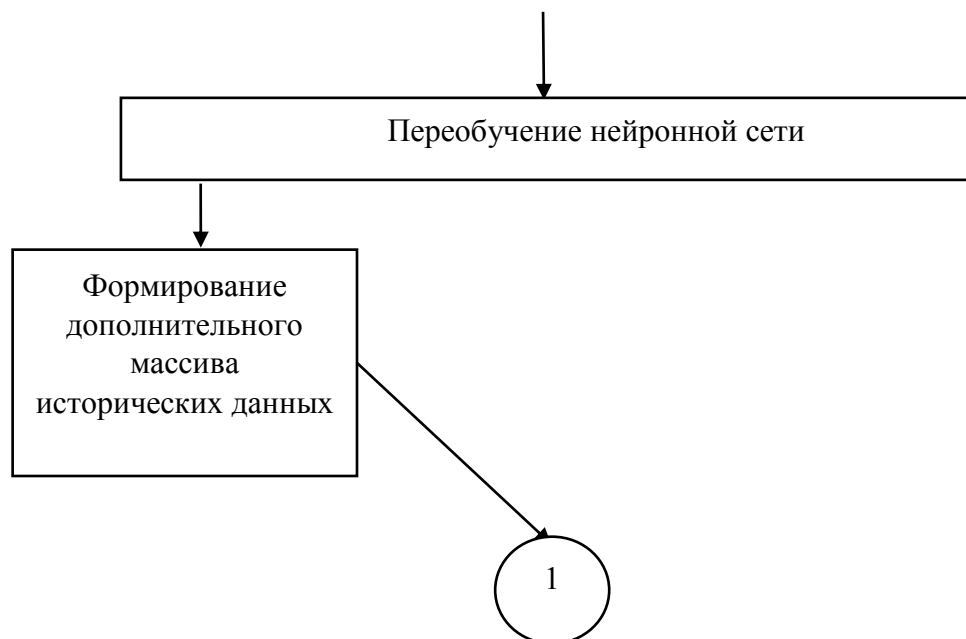
Алгоритм интеллектуального управления нефтескладом



Продолжение алгоритма интеллектуального управления нефтескладом

Продолжение алгоритма интеллектуального управления нефтескладом



Продолжение алгоритма интеллектуального управления нефтескладом

Применяя разработанный алгоритм осуществляется возможность непрерывно увеличивать точность работы модели интеллектуальной системы управления парком резервуаров.

3.7.2 Обеспечение экологически чистой энергией для автономной работы автоматизированного нефтехозяйства

Главное отличие капитальной нефтебазы от склада топлива сельхозтоваропроизводителя заключается в удаленном расположении и труднодоступности энергоресурсов последнего. Для резервуаров, которые расположены в поле вдали от линий электропередач отсутствует возможность обеспечения автоматизации работы нефтесклада, подключения резервуара к техническим средствам предотвращения потерь топлива от испарения и обводнения.

Поэтому возникает актуальная задача в обеспечении экологически чистой энергией для автономной работы нефтехозяйства.

Из доступных средств автономного обеспечения электроэнергией следует рассматривать дизельные генераторы, ветровые генераторы,

солнечную энергию. За основные критерии при выборе средств обеспечения автономности следует принять экологичность, полную автономность, простоту технического обслуживания.

Из графика по оборачиваемости резервуарного парка, полученного по усредненным значениям в результате опроса сельхозтоваропроизводителей, видно, что основные испарения будут приходиться на июль месяц (см. рисунок 5.1 главы 5).

Июль является месяцем с наибольшей продолжительностью светового дня. Что приводит к росту испарения топлива и объему его потерь. Совпадение цикла потерь от испарения со световым днем делает возможность применения солнечных батарей для обеспечения автономности работы автоматизированного резервуарного парка.

Солнечные панели для выработки энергии попадают в цикл интенсивного испарения топлива, не требуют техобслуживания и более надежны.

Сравнение солнечных батарей и дизельного генератора приведено в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Сравнительный анализ дизель-генератора и солнечных панелей

Солнечные батареи	Дизельный генератор
Не требует топлива	Для работы необходимо топливо
Работает постоянно	Работает до исчерпания топлива
Работает бесшумно	Шумит во время работы
Не загрязняет окружающую среду	Загрязняет окружающую среду
Срок безаварийной службы 25 лет	Срок службы ограничен резервом часов работы
Отсутствие движущих частей	Движущие части в составе устройства
Мощность можно увеличивать	Фиксированная мощность
Высокая цена	Низкая цена
Очень низкие эксплуатационные расходы	Очень высокие эксплуатационные расходы

Первоначальные расходы на оборудование и эксплуатацию дизельной электростанции ниже, нежели стоимость солнечной электростанции. К

третьему году стоимость эксплуатации дизельной электростанции превысит расходы на оборудование для солнечной электростанции без учета роста цен на топливо. Из-за наличия движущихся частей дизельный генератор может быстро выходить из строя, что не грозит солнечным батареям. Расходы на эксплуатацию солнечной электростанции практически сводятся к периодической очистке рабочих поверхностей солнечных батарей, заменой корродировавших контактов и раз в 10 лет заменой инвертора (преобразователя) и АКБ.

Таким образом, современное ведение сельского хозяйства невозможно без применения управления нефтескладом с использованием интеллектуальных систем, искусственного интеллекта. Внедрение подобных систем позволит обеспечить технологическую и экологическую безопасность складов, сохранить качество хранимого топлива, спрогнозировать ремонты и финансовые затраты. В работе предложено применять солнечные панели как решение вопроса об автономной работе электрозависимых установок сохранения качества топлива и автоматизации нефтехозяйства. Учитывая не только материальные затраты, но и экологический фактор, приходим к выводу, что солнечные батареи экологичны, дизельная электростанция сжигая тысячи литров топлива и расходуя тысячи литров масла и тысячи фильтров (которые нужно утилизировать) в год, загрязняет окружающую среду.

Преимущества солнечной батареи для установки сохранения качества топлива заключается в том, что пик испарения приходится на солнечную ясную погоду, в это время производится выработка электрической энергии.

3.7.3 Концепция виртуально облачной системы автоматизации

Снижение потерь моторного топлива при приеме, хранении и отпуске до минимальных значений зависит от технологических параметров резервуарного парка и технического уровня размещенного на нем

оборудования. Автоматизация резервуаров нефтесклада позволяет сохранить количество и качество хранимых нефтепродуктов, оптимизировать управление резервуарами, добиться исключения участия человека в опасных для здоровья производственных процессах.

В настоящее время основными составляющими автоматизированных систем являются контроллеры, датчики (сенсоры), устройства ввода информации управляющих устройств (так называемых контроллеров), исполнительных устройств, устройств вывода информации, персональных компьютеров для работы оператора, серверной части для работы базы данных и/или программного обеспечения и других устройств. Существует пять уровней автоматизации предприятия (рисунок 3.5).

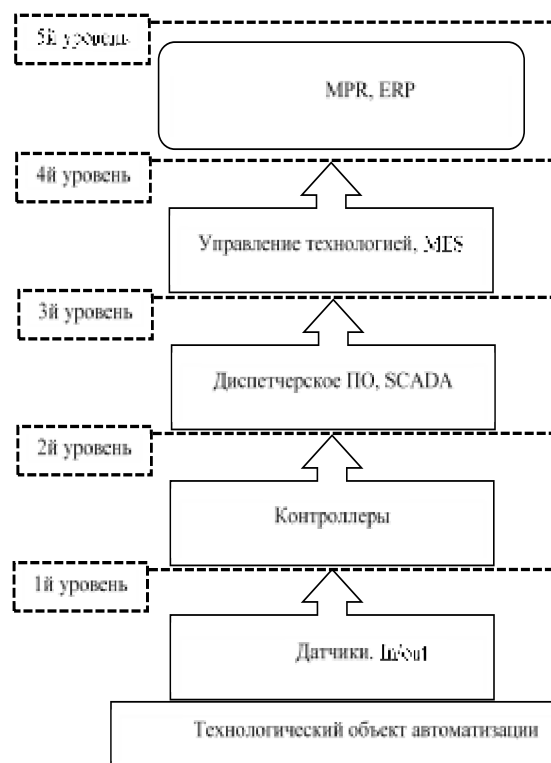


Рисунок 3.5 – Уровни автоматизации

Разработка концепции автоматизации, способной обеспечить освобождение объекта автоматизации от участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования информации о нем без установки датчиков является актуальной задачей для развития сельского хозяйства,

АПК, и направлений научно-технического прогресса, использующее саморегулирующие технические средства, а также даст новые инструменты для управления и контроля за процессами.

Развитие технологий в области искусственного интеллекта и способах хранения, обработки и передачи данных предоставляет возможность произвести замену реальных датчиков (сенсоров), которые установлены на резервуаре, на виртуальные датчики, построенные на основе нейронных сетей и моделирующие параметры требуемых показателей процесса.

Построение виртуального двойника объекта потребует наличие ресурсов для обработки большого количества данных из различных источников. За счет «облачных технологий» можно исключить наличие собственного сервера для хранения и обработки данных. Использование облачного хранилища связано с тем, что это онлайн модель хранения, данные в котором содержатся на многочисленных распределённых серверах в сети. Тем самым достигаются такие преимущества обработки данных как: наличие доступа к данным с любого компьютера через Интернет; организация совместной обработки данных; сохранение данных даже в случае аппаратных сбоев.

С использованием технологий BigData облачные данные при необходимости преобразуются требуемым образом: исключаются различные шумовые значения, используются статистические модели.

Для описания понятия виртуально-облачная система автоматизации дадим ряд определений, которые опубликованы в работе [192].

Объектом автоматизации выступает физическое тело, процесс или устройство на которое требуется оказать роботизированное управляющее действие.

Базисным элементом виртуально-облачной системы является виртуальный датчик, который представляет собой математическую модель на базе обучаемой нейронной сети или искусственного интеллекта, которая

вычисляет выбранный критерий физического состояния объекта автоматизации с высокой точностью.

Упрощенная математическая запись виртуального датчика, в основе которого положена некоторая архитектура нейронной сети выглядит следующим образом. «Пусть нейронная сеть, моделирующая виртуальный датчик, состоит из M слоёв, в μ -ом слое которого находится $N\mu$ нейронов ($\mu=1, \dots, M$). Парой (μ, i) будем обозначать i -й нейрон μ -го слоя. Неоднородный адаптивный сигнал этого нейрона запишется в виде» [192]:

$$net^{(\mu, i)} = w_0^{(\mu, i)} + \sum_{j=1}^{N\mu-1} w_j^{(\mu, i)} y_j^{(\mu-1, i)} = w^{T(\mu, i)} u^{(\mu, i)}, \quad (3.7)$$

«где вектор весовых коэффициентов $w^{(\mu, i)} = (w_0^{(\mu, i)}, w_1^{(\mu, i)}, \dots, w_n^{(\mu, i)})$, $\mu=1, \dots, M$, – ($n=N\mu-1$ – число нейронов в предыдущем слое), $y^{(\mu-1, i)} = (1, y_1^{(\mu-1, i)}, \dots, y_n^{(\mu-1, i)})$, $\mu=1, \dots, M$, – расширенный входной вектор нейрона μ -го слоя (является выходом нейрона предыдущего слоя), здесь $y(0, i) = x(i)$ – входы сети» [5].

«Выход виртуального датчика в таком случае запишется в виде: $y^{(\mu, i)} = F(net^{(\mu, i)})$, $i=1, \dots, N\mu$, $\mu=1, \dots, M$. При наличии на объекте автоматизации η датчиков, на вход итоговой нейронной сети Ψ будут поданы η нейросети, моделирующие виртуальные датчики» [192]:

$$\Psi(\mu_\Psi, i_\Psi) = F_\Psi(w_0^{\mu_\Psi, i_\Psi} + \sum_{j=0}^{\eta} F_j(net(\mu_j, i_j))) \quad (3.8)$$

На рисунке 3.6 представлено схематичное изображение вышеописанной нейронной сети, которая по сути является каскадом из сетей различных архитектур.

«Облачные данные – переменные среды, объекта, которые доступны для использования виртуальным датчиком напрямую или через обработку системами BigData» [192].

«Виртуально-облачная система автоматизации – это интеллектуальное роботизированное управление объектом автоматизации, при котором физическое состояние объекта описывается виртуальными датчиками и искусственным интеллектом» [192].

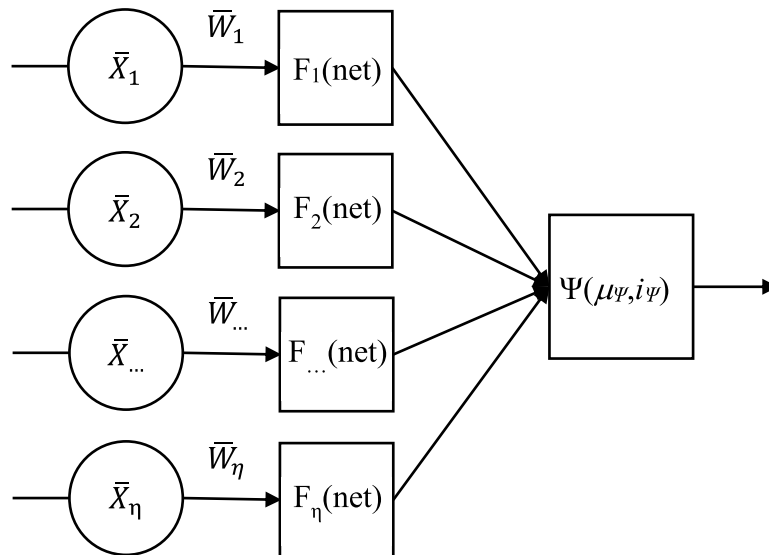


Рисунок 3.6 – Схематичное изображение каскадной нейронной сети

Поток данных при виртуально-облачной системе автоматизации схематично изображен на рисунке 3.7.

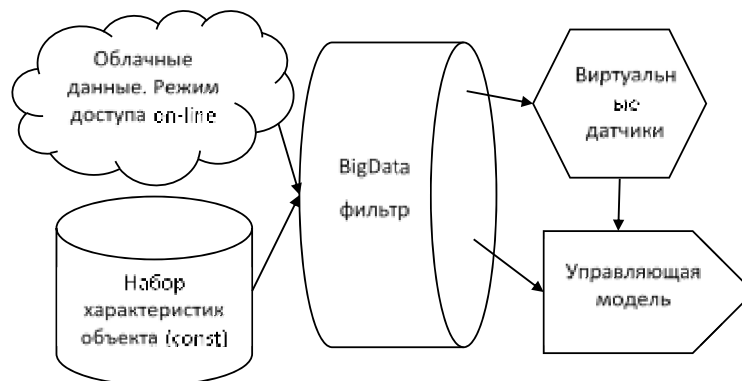


Рисунок 3.7 – Поток данных при виртуально-облачной системе автоматизации

Краткое описание потока и взаимодействия данных приведено в работе [192]. «Требуемые данные для виртуальных датчиков хранятся и обновляются на облачном ресурсе. Набор характеристик объекта, который является набором постоянных значений, хранится в файле на компьютере оператора или прописан в программу. Данные из облака обрабатываются технологией BigData и подготавливаются на вход виртуального датчика.

После этого виртуальный датчик дает ответ об искомом физическом параметре объекта автоматизации. Данные с датчиков передаются на управляющую модель нейронной сети» [192].

«Определив $\Sigma F(\text{net}(D))$ как совокупность виртуальных датчиков на базе нейронных сетей с вектором входных параметров из облака данных, а $F(\text{net}(\Psi))$ – нейросетевую модель объекта автоматизации запишем математическое уравнение виртуально-облачной системы автоматизации Y на базе нейронных сетей в виде» [192]:

$$Y = \Sigma F(\text{net}(D)) + F(\text{net}(\Psi)). \quad (3.9)$$

В работе [192] отражены главные достоинства данной схемы автоматизации для резервуарного парка:

«1. Гибкость системы – возможность подключения дополнительных моделей, таких как факторы риска, прочих виртуальных и реальных датчиков не нарушая целостности модели.

2. Отсутствие контроллеров и датчиков, экономия средств на их покупку и обслуживание.

3. Возможность автоматизации устаревших объектов, не нарушается целостность объекта автоматизации».

В тоже время у данной системы есть недостатки:

«1. Требуется постоянное подключение к облаку данных.

2. Погрешность измерений виртуального датчика по сравнению с классическим может быть выше.

Данные недостатки можно устранить следующими способами:

- подведение аварийного интернет канала при обрыве основного канала сети; настройка фильтра BigData для формирования модели потока данных.

- постоянное обучение виртуального датчика и всей системы в целом»

[192].

Рассмотрим пример перехода от классической системы автоматизации к виртуально-облачной системе автоматизации для горизонтального цилиндрического резервуара на сельскохозяйственном нефтескладе.

Для получения требуемых входных данных резервуар необходимо обеспечить измерительными датчиками: термометром для измерения температуры бензина, термометром для измерения температуры паровоздушной среды, манометром, уровнемером. Также для описания окружающей среды потребуются термометр для измерения температуры воздуха, барометр, измеритель влажности воздуха, датчик скорости ветра и т.д. Данные с датчиков обрабатываются контроллером и подаются на вход управляющей программы. Таким образом, получается классическая модель автоматизации объекта (рисунок 3.8).

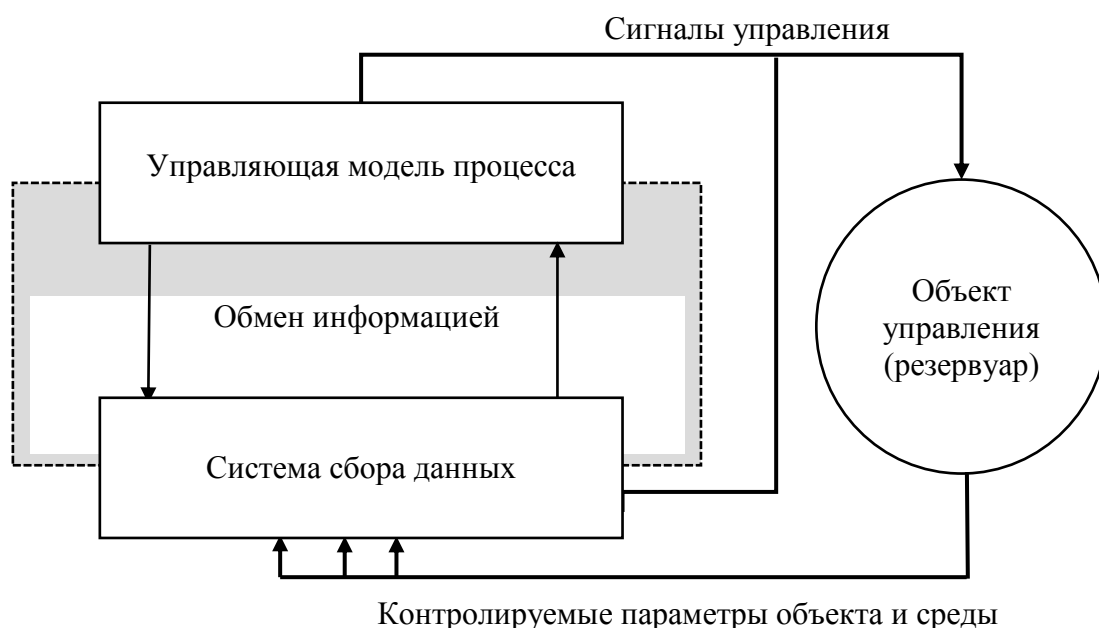


Рисунок 3.8 – Классическая схема автоматизации объекта управления с применением нейронных сетей

При наличии на нефтескладе нескольких резервуаров, с учетом вышеприведенной схемы автоматизации, каждый резервуар необходимо обеспечить измерительными приборами и присоединить датчики к контроллеру для сбора информации с них. Данные капиталовложения могут быть неоправданно высокими для сельхозтоваропроизводителей. Подключение высокоточных измерительных устройств будет требовать постоянного технического контроля и обслуживания. Бесперебойное

обеспечение электроэнергией также является основой успешной работы системы автоматизации. Однако некоторые нефтехозяйства располагаются вдали от населенных пунктов и линий электропередач.

Выполним оценку возможности применения нейронной сети для решения задачи прогнозирования потерь топлива от испарения, и как следствия возможности формирования сигналов управления, без подключения измерительных датчиков к резервуарам и измерения параметров окружающей среды. Все расчеты можно делать удаленно. Для этого потребуется применять облачные хранилища данных для описания требуемых переменных среды и нейронные сети с различной архитектурой для расчета контролируемых переменных объекта.

При переходе к виртуально-облачной системе автоматизации для каждого контролируемого датчиком параметра резервуара возможно подобрать такую архитектуру нейронной сети, которая с высокой точностью сможет решить задачу определения требуемого физического измерения. Такая нейронная сеть будет служить виртуальным датчиком резервуара или любого другого объекта управления с такими возможностями виртуального объекта, как моделирование сценариев, прогнозирование, обучение и т.д.

Таким образом, при данном подходе будет выполнена виртуально-облачная схема автоматизации объекта управления. При данной схеме автоматизации весь процесс расчётов осуществляется интеллектуальной системой, что позволяет не применять датчики и другие устройства контроля (рисунок 3.9).

Используя данную концепцию, можно автоматизировать устаревшие резервуары, к которым нет возможности подключить датчики для измерения параметров. В тоже время виртуально облачная система автоматизации резервуара может реализовать различные сценарии по прогнозированию потерь качества и объема топлива, что позволит найти эффективные средства борьбы с ними.



Рисунок 3.9 – Виртуально-облачная схема автоматизации объекта управления (резервуара) с применением нейронных сетей

Таким образом, виртуально облачная система автоматизации позволяет достичь следующих результатов:

1. Гибкость системы автоматизации – возможность подключения дополнительных моделей, таких как факторы риска, прочих виртуальных и реальных датчиков не нарушая целостности модели.
2. Отсутствие контроллеров и датчиков, экономия средств на их покупку и обслуживание.
3. Возможность автоматизации устаревших объектов, не нарушается целостность объекта автоматизации.

3.8 Выводы

Разработаны энергоэффективные пути увеличения эффекта охлаждения в вихревых трубах с помощью их соединения в ступенчатый блок.

Разработана концепция умного нефтесклада для снижения потерь моторного топлива при хранении. Концепция включает в себя метод

моделирования хранения топлива в резервуаре с применением нейронной сети для управления нефтескладом, благодаря которому возможно осуществить непрерывное повышение точности работы интеллектуальной системы управления резервуарным парком.

Разработана виртуально облачная система автоматизации, которая позволяет достичь следующих результатов:

1. Гибкость системы автоматизации – возможность подключения дополнительных моделей, таких как факторы риска, прочих виртуальных и реальных датчиков не нарушая целостности модели;
2. Отсутствие контроллеров и датчиков, экономия средств на их покупку и обслуживание;
3. Возможность автоматизации устаревших объектов, не нарушается целостность объекта автоматизации.

4 МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТАННЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ МОТОРНОГО ТОПЛИВА

4.1 Общая методика исследований

Разработана программа проведения теоретических и экспериментальных исследований. В программе приведены методы, которые использовались в работе, создана методологическая база обоснования параметров технических средств для снижения потерь моторного топлива при хранении. Программа содержит шесть разделов:

- 1) изучение проблемы и ее современного состояния;
- 2) определение цели и постановка задач для исследований;
- 3) создание теории для описания процесса испарения моторного топлива и разработка математической модели расчёта его потерь от испарения, оценка возможности применения вихревых труб в качестве генератора холода для конденсации углеводородов.

В рамках третьего раздела выявлены общие закономерности испарения топлива с точки зрения протекания физико-химических процессов при его хранении, разработана методика расчета потерь топлива с учетом изменяемой поверхности раздела фаз, приведена математическая модель энергоразделения в вихревых трубах;

- 4) методики постановки экспериментов по работе технических устройств;

- 5) проведение экспериментальных исследований, решение задачи снижения потерь моторного топлива с применением вихревых труб;

- 6) оценка эффективности и внедрение результатов исследований в производство.

Разработанная программа для теоретических и экспериментальных исследований представлена на рисунке 4.1.

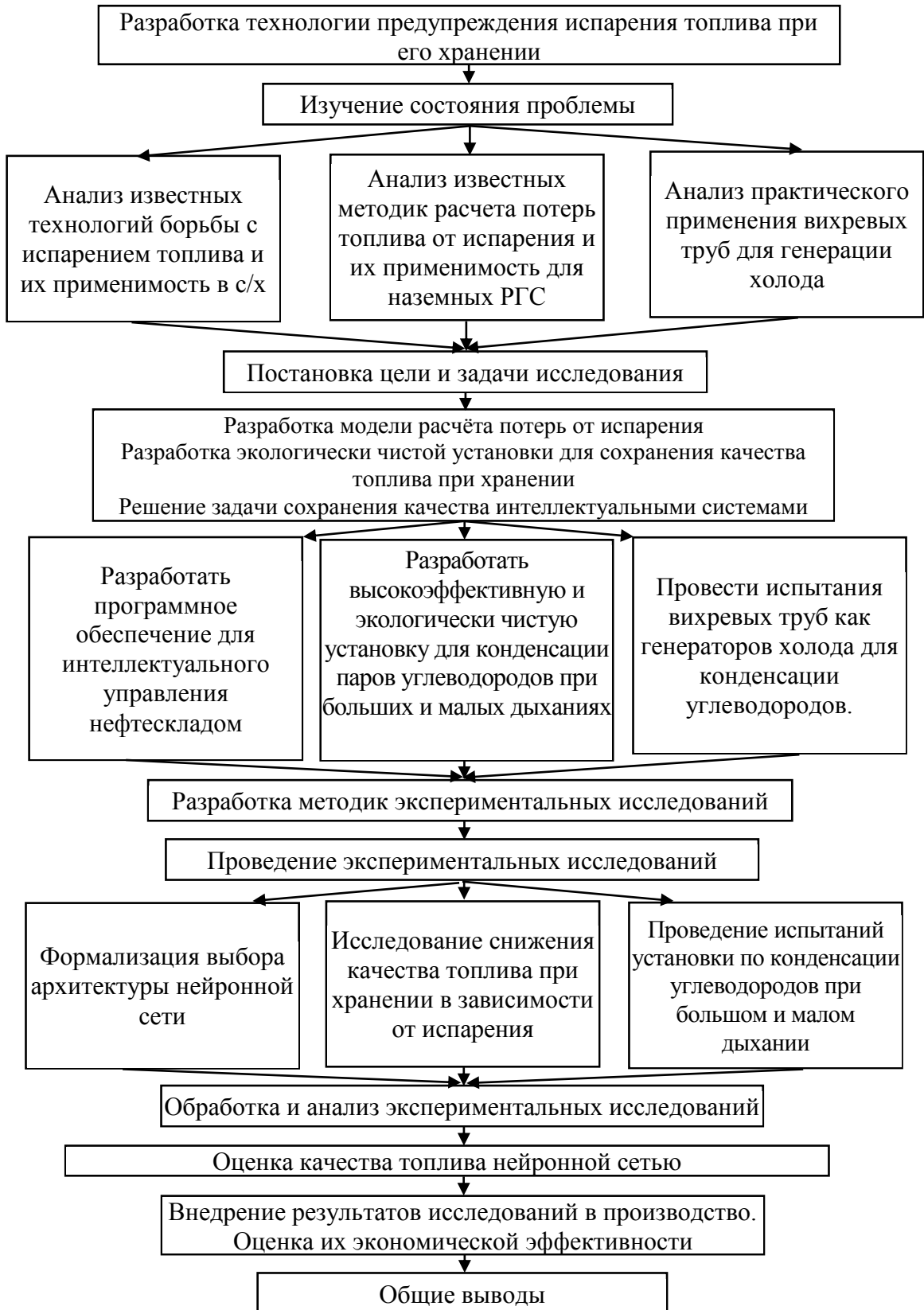


Рисунок 4.1 – Программа проведения теоретических и экспериментальных исследований

4.2 Методика проведения экспериментов по охлаждению потока вихревой трубой

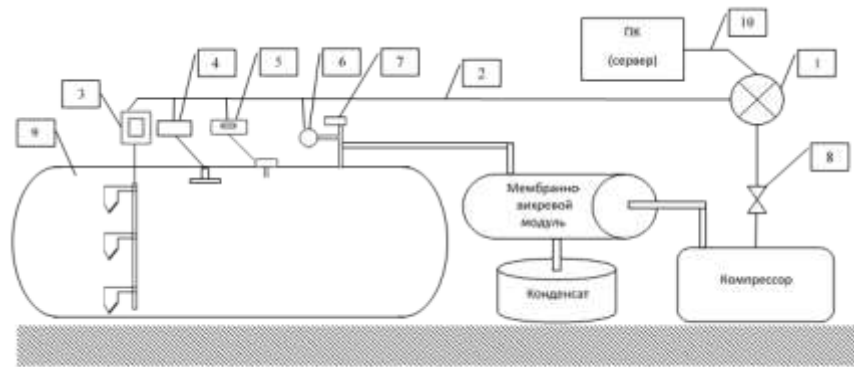
Для конденсации углеводородов были применены вихревые трубы. Проведены эксперименты, целью которых является определение основных параметров и режимов работы вихревой трубы по генерации холода. Проведено моделирование процессов, протекающих в вихревой трубе, на компьютере. Результаты, полученные с использованием компьютерной программы, сравнивали с экспериментальными данными. Более подробное описание методики приведено в Приложении В.

4.3 Методика проведения эксперимента по конденсации углеводородов

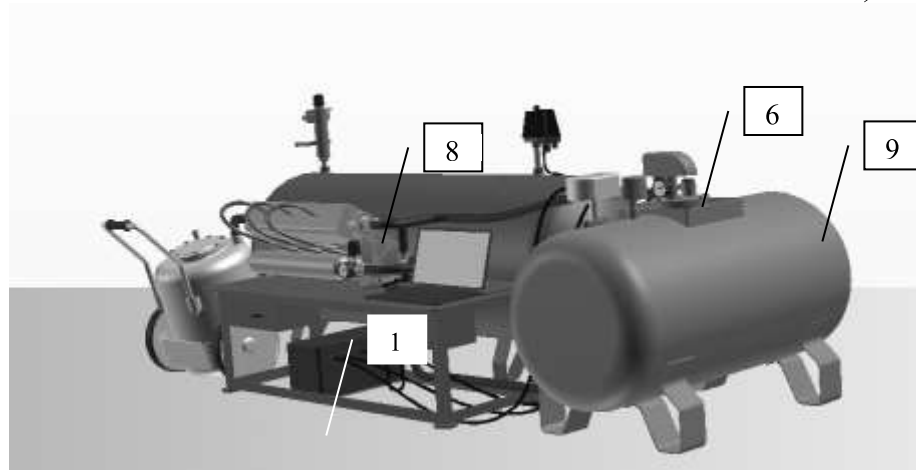
Для исследования динамики изменения параметров качества моторного топлива при его хранении, исследования процесса испарения и идентификации различных состояний системы, была собрана экспериментальная установка (рисунок 4.2). Экспериментальная установка обеспечивает снижение потерь моторного топлива за счет автоматического включения вихревого модуля средствами автоматизации, а также формирование массива данных для обучения искусственных нейронных сетей, выполняющих задачи моделирования состояния системы хранения топлива в наземных горизонтальных цилиндрических резервуарах. На собранной установке проведены лабораторные испытания технических устройств предотвращения потерь моторного топлива.

Объем лабораторного прототипа резервуара сельскохозяйственного назначения для проведения экспериментов составлял 200 литров; внутренний диаметр 600 мм; длина 850 мм.

Благодаря обширному практическому опыту работы с нейросетями выполнена формализация выбора архитектуры нейронной сети для решения практических задач.



а)



б)



в)

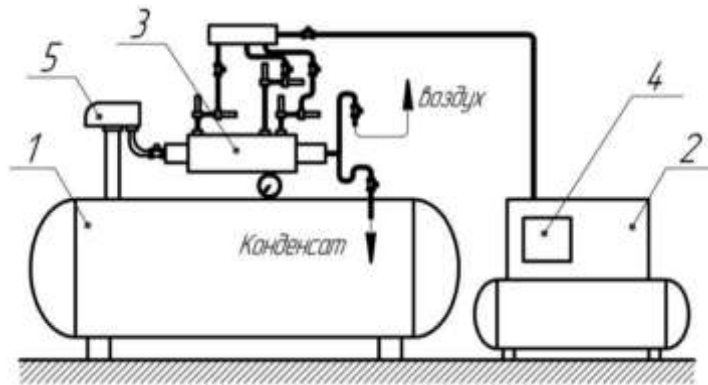
1 – контроллер Siemens Simantic S7-200; 2 – 24 жильная шина; 3 – датчики температуры Siemens QAP 1030; 4 – газоанализатор ULTRAMAT 23; 5 – Уровенмер SITRANS LC300; 6 – датчик давления IFM; 7 – дыхательный клапан с гофрой на вихревой модуль; 8 – электромеханический выключатель; 9 – экспериментальный резервуар объемом 200 л; 10 – USB/PPI кабель

а) схема экспериментальной установки; б) общий вид; в) момент заправки

топливом исследуемого опытно-промышленного резервуара

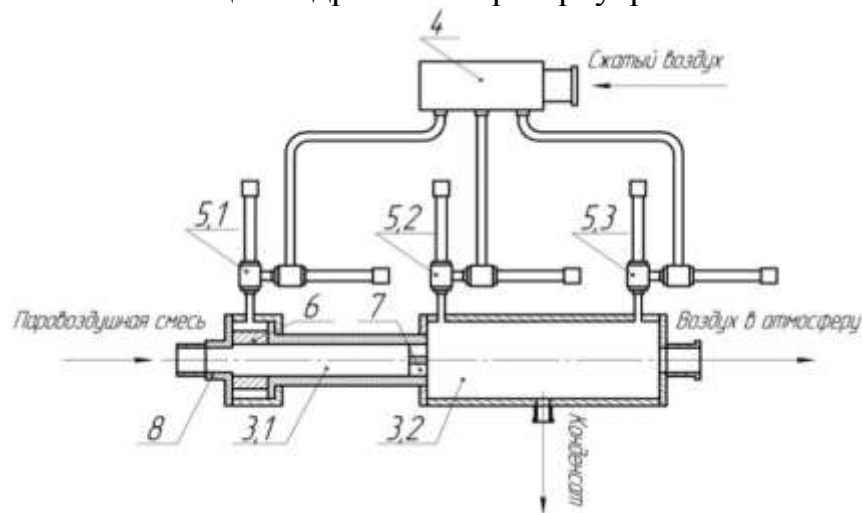
Рисунок 4.2 – Схема и фото экспериментальной установки

Для конденсации углеводородов разработан вихревой модуль на основе вихревых труб, соединенных в ступенчатый блок. Расположение вихревого модуля на наземном горизонтальном цилиндрическом резервуаре схематично изображено на рисунке 4.3, схематичное изображение вихревого модуля приведено на рисунке 4.4, фото лабораторной установки ступенчатого блока вихревых труб и вихревого модуля приведено на рисунке 4.5.



- 1 – горизонтальный резервуар, 2 – компрессор с накопительной емкостью, 3 – вихревой модуль,
4 – автоматический блок управления задвижками, 5 – дыхательный клапан резервуара

Рисунок 4.3 – Расположение вихревого модуля на наземном горизонтальном цилиндрическом резервуаре



- 3,1 – входная камера вихревого модуля,
3,2 – рабочая камера вихревого модуля, 4 – камера распределительная,
5,1 – вихревые трубки – 1; 5,2 – вихревые трубки – 2; 5,3 – вихревые трубки – 3; 6 – тангенциальный заход; 7 – завихритель в форме лепестка

Рисунок 4.4 – Схема вихревого модуля



Рисунок 4.5 – Фото лабораторной установки ступенчатого блока вихревых труб (а) и вихревого модуля (б)

Принцип работы вихревого модуля для конденсации углеводородов, приведенного на схеме рисунка 4.4, заключается в охлаждении паровоздушной смеси, выходящей из резервуара, до жидкого состояния, и возврат жидкого топлива в резервуар. При открытии дыхательного клапана резервуара на выдох компрессор 2 нагнетает сжатый воздух в распределительную камеру 4. Через распределительную камеру 4 воздух под давлением подается в вихревые трубы 5,1; 5,2; 5,3, соединенные по ступенчатой схеме. Во входной камере 3,1 происходит теплообмен холодного потока, нагнетаемого вихревыми трубками 5,1, и ПВС из резервуара. В рабочей камере вихревого модуля ПВС конденсируется и в жидком состоянии подается обратно в резервуар.

В эксперименте варьировалось давление на ступенчатые блоки вихревых трубок и замерялась температура в камерах вихревого модуля.

Проводился замер массы сконденсированных углеводородов. На выходе из модуля устанавливался газоанализатор для оценки степени очистки паровоздушной смеси от углеводородов. Так как бензин обладает меньшей температурой кипения, то нагляднее всего опыты с вихревым модулем проводить именно с ним.

4.4 Методика проведения эксперимента по динамике изменения физико-химических показателей хранимого топлива

Проведены эксперименты, целью которых было изучение динамики изменения показателей качества моторного топлива при его хранении в наземном горизонтальном цилиндрическом резервуаре за период один год. Для топлива, хранимого в экспериментальной установке, фиксировались первоначальные значения показателей качества в апреле и далее каждый месяц до марта следующего года. Измерения показателей качества бензина АИ-92 проводилось в соответствии с таблицей 4.1, дизельного топлива ДТ-Л-К5 – таблицей 4.2.

Таблица 4.1 – Методы испытания физико-химических и эксплуатационных показателей бензинов

Наименование показателя	Метод испытания
Октановое число по исследовательскому методу	По ГОСТ 32339-2013, ГОСТ 8226-2015
Фракционный состав: объемная доля испарившегося бензина	По ГОСТ 2177-99 или ГОСТ ISO 3405-2013
Концентрация смол, промытых растворителем, мг/дм (мг/100 см) бензина, не более	По ГОСТ 1567-97 или ГОСТ 32404-2013

Таблица 4.2 – Методы испытания физико-химических и эксплуатационных показателей дизельного топлива

Наименование показателя	Метод испытания
Цетановое число, не менее	По ГОСТ 32508-2013 (на установке типа CFR), ГОСТ 3122-67
Фракционный состав	По ГОСТ ISO 3405-2013, ГОСТ 2177-99 (метод А)
Кинематическая вязкость при 20 °С	По ГОСТ 33-2016

Экспериментальный резервуар заполняли полностью и на 50% объема. Исследования проводились при работающих и отключенных технических средствах предотвращения потерь моторного топлива.

4.5 Методика проведения эксперимента по динамике изменения физико-химических показателей хранимого топлива в зависимости от испарения

На экспериментальной установке проводились исследования динамики изменения показателей качества моторного топлива при его хранении в зависимости от его испарения. Для этого фиксировались первоначальные значения показателей качества и далее при испарении 1% массы топлива. Измерения показателей качества бензина проводились в соответствии с таблицей 4.1, дизельного топлива – таблицей 4.2.

4.6 Методика прогнозирования изменения параметров качества топлива от испарения при хранении с применением нейронной сети

На изменение параметров качества топлива при испарении влияют различные факторы окружающей среды, характеристики объекта хранения. Данные переменные являются взаимонезависимыми, нелинейными и трудноформализуемыми. Поэтому для решения задачи прогнозирования изменения показателей моторного топлива необходимо применять аппарат искусственных нейронных сетей.

В зависимости от выбранной архитектуры и процесса обучения нейронной сети реализуется возможность решения задачи оперативного прогноза испарения топлива, что позволяет точно оценить остатки топлива на складе и его качественные показатели, и долгосрочного прогноза при длительном хранении, и оценить экономические потери и наносимый экологический ущерб.

В зависимости от задачи будет меняться набор входных параметров. Вариативными входными данными для оперативного прогноза являются: температура, давление, влажность. Горизонт оперативного прогноза будет зависеть от горизонта прогноза входных параметров. В этом случае ошибка прогноза нейросетью будет суммироваться с ошибкой прогнозов входных параметров. Для оперативного прогноза нейронная сеть может получать

данные из программы «Система автоматизированного управления горизонтальными резервуарами на нефтескладе», свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017660610 от 22.09.2017.

На долгосрочный прогноз хранения топлива будут в большей степени влиять сезоны хранения, длительность. Вариативными входными данными для долгосрочного прогноза являются: сезон, средняя температура, среднее давление, средняя влажность сезона, длительность хранения. Для долгосрочного прогноза нейронная сеть может получать данные из базы данных «Система автоматизированного управления горизонтальными резервуарами на нефтескладе», свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017660610 от 22.09.2017.

Общие входные данные для решения двух задач: объем резервуара, объем топлива, наличие дыхательного клапана, наземное или подземное размещение.

На выходе работы нейронной сети можно получить прогноз как количественных характеристик – масса испарившегося топлива, так и качественных – процентное содержание легких и тяжелых углеводородов (фракционный состав). Для каждой качественной характеристики необходимо обучать нейронную сеть с отдельной архитектурой, что позволит снизить итоговую ошибку прогноза.

Формализация проектирования архитектуры нейронных сетей на практике, описанная в Приложении Г позволит оптимизировать время на решение поставленной задачи.

4.6.1 Методика формирования массива данных для обучения нейронной сети

Процесс обучения нейронной сети требует наличия массива входных данных. В работе была собрана база данных, которая содержит 15 000 записей с информацией о переменных окружающей среды, параметрах резервуара, топлива и его количества. Данные фиксировались для наземных

горизонтальных резервуаров В Липецкой области: Добринский муниципальный район, ОАО «Добринское АТП», ООО «Раненбургъ», ИП КФХ Докучаев К.С., в Смоленской области: КФХ «Дроново», ИП КФХ Вьюнов С.В.; в Ростовской области: ИП КФХ Кудашкин Б.М. Объем резервуаров варьировался от 3 до 75 м³ при хранении топлива 365 дней.

Диапазон данных сформированного массива, которые будут входом для нейронной сети приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Диапазон данных сформированного массива для обучения нейронной сети

Параметр	Диапазон значений
Температура, С	-30..+40
Атмосферное давление, мм рт ст	730..765
Влажность воздуха, %	10..100
Объем резервуара, м ³	5, 10
Объем хранимого топлива, м ³	2,5..10
Наличие дыхательного клапана	0 (без клапана), 1 (клапан установлен)
Наземное/подземное размещение	0 (подземное), 1 (наземное)

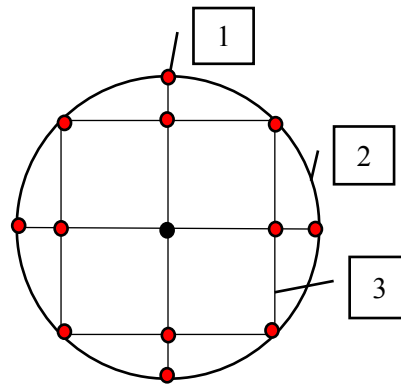
4.6.2 Программа для построения нейронной сети

Для исследований моделирования технологических процессов с применением нейронных сетей использовалась разработанная программа «Нейронная сеть», Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610617. -Заявка № 2011618519 от 10 ноября 2011 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10 января 2012 г. Подробное описание программы приведено в Приложении Д.

4.7 Исследование поля температур в резервуаре

Температурное поле в резервуаре с топливом исследовалось с использованием разработанной сетки с температурными датчиками. Диаметр сетки равен диаметру экспериментального резервуара, а шаг между датчиками составлял 200 мм. Сформированные данные, передаваемые от датчиков на компьютер через контроллер, записывались в базу данных.

Схема сетки с указанием в виде красных точек расположенных в ее узлах температурных датчиков приведена на рисунке 4.6.



1 – датчик температуры, расположенный в узле сетки; 2 – внутренний диаметр резервуара; 3 – ребро сетки

Рисунок 4.6 – Изображение сетки с температурными датчиками для проведения исследований поля температур при хранении бензина

4.8 Программа для сбора технологических параметров с резервуара

Программа [285] осуществляет сбор и сохранение в базе данных показателей технологических параметров с датчиков давления, температуры, объема от каждого резервуара сельскохозяйственного нефтесклада (рисунок 4.7). Интерфейс программного обеспечения предоставляет возможность просмотра пользователем динамики изменения показателей в графическом виде, содержит информацию технических характеристик для каждого резервуара на нефтескладе (рисунок 4.8).

Критерием подбора контроллеров и приборов для передачи в базу данных информации о температуре, давлении, уровне топлива служит взрывопожаробезопасность. Контроллеры необходимо защищать от влаги, пыли и перегрева солнечными лучами.

База данных является источником информации для оперативной оценки и прогноза качества топлива в резервуаре с применением нейронной сети.

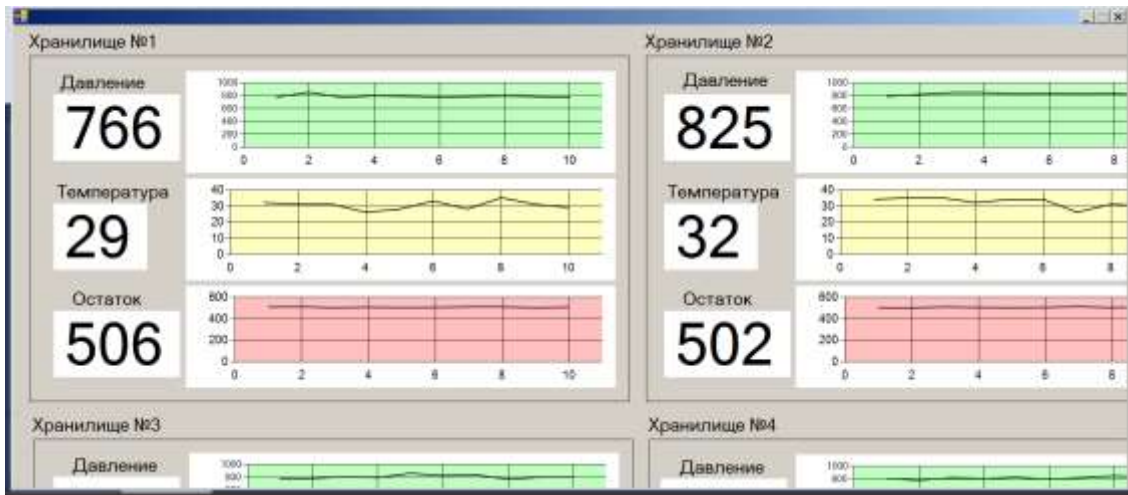


Рисунок 4.7 – Снимок экрана программы просмотра технологических параметров с датчиков

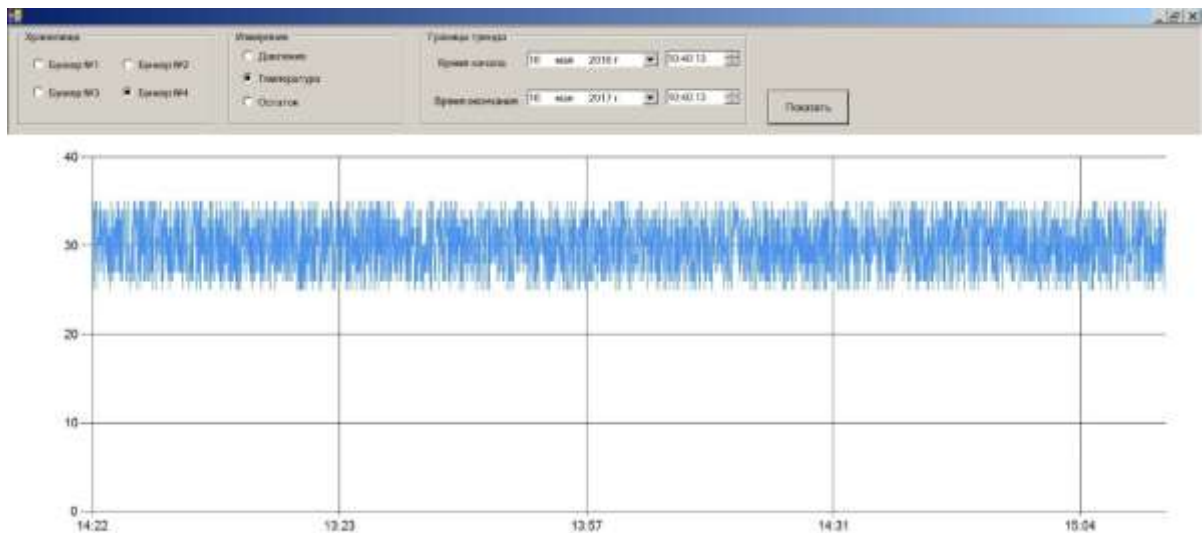


Рисунок 4.8 – Снимок экрана программы просмотра динамики изменения показателей в графическом виде

Программа ведет автоматический расчет критических показателей в зависимости от резервуара, объема его заполнения, температуры, давления.

Для решения проблемы разрозненного расположения резервуаров необходимо использовать мобильную версию программы под операционные системы смартфонов на базе Android или iOS, которая предоставляет пользователю возможность он-лайн мониторинга состояния нефтесклада через мобильный телефон, рассылать сообщения SMS или на электронную почту. Применение мобильной версии позволяет оператору осуществлять удаленный мониторинг состояния нефтехозяйства, видеть запасы топлива,

получать информацию об утечках топлива, рисках и своевременно осуществлять управляющее воздействие на установки сохранения топлива.

4.8.1 Методика создания базы данных, их хранение и обработка

Для формирования массива показателей резервуара и внешней среды, на котором проходит обучение нейронных сетей появилась необходимость создания базы данных для записи информации. База данных содержит записи как входной информации для обучения нейронной сети, так и информации, которая появляется на выходе работы системы, предназначенной для корректировки работы искусственной нейронной сети. Сформулированы основные требования к записям в базе – это описание резервуарного парка, для каждого резервуара – его текущее состояние, уровень топлива, температура, давление и т.д. Таблица с рассчитанными параметрами для включения устройства защиты от обводнения и испарения, градуировка резервуара (расчет объема топлива в зависимости от его уровня).

Представленная на рисунке 4.9 модель базы данных создана в специализированной среде для автоматизированного проектирования Sybase PowerDesigner 10.

Разработанная модель базы данных обеспечивает функциональные возможности для программного обеспечения по чтению и записи данных технологических параметров резервуара, работая с таблицей «Хранилище». В таблице базы данных «Датчик» модели данных содержится информация с описанием всех измерительных устройств, передающие сигналы о состоянии системы, которые подключены к конкретному резервуару на нефтескладе. Таблица «Измерение» модели данных записывает информацию, передаваемую датчиком в режиме реального времени.

Скорость выполнения запросов к хранилищу обеспечена за счет построенной индексации по всем ключевым полям таблиц модели данных. Объем и скорость прироста данных в хранилище будет увеличиваться при

каждом добавлении датчика на резервуар. Поэтому необходимо использовать «Big Data», как мощный инструмент работы с большими объемами данных.



Рисунок 4.9 – Модель базы данных разработанная при помощи системы Sybase PowerDesigner 10

4.8.2 Датчики для сбора информации с резервуара

Оборудование, которое было использовано для сбора данных с экспериментального резервуара приведено на рисунках 4.10-4.16.



Рисунок 4.10 – Контроллер Siemens Simatic S7-200

Контроллер Siemens Simatic S7-200 - это ряд микропрограммируемых контроллеров (микроконтроллеров) работающих по программируемым алгоритмическим закономерностям, которые обладают возможностью управлять различными прикладными системами автоматизации.



Рисунок 4.11 – Датчики температуры Siemens QAR 1030

Siemens QAR 1030.200 – кабельный датчик температуры, чувствительный элемент NT 10k, длина кабеля 2м, диапазон измерения от -25 до 95 °С. Подходит для всех типов контроллеров, принимающих резистивный входной сигнал. Точность измерений At -25...95 °С: ± 1.4 К.

Датчик состоит из гильзы (длина 40.5мм), чувствительного элемента и 2-х проводного соединительного кабеля. Чувствительный элемент встроен в гильзу, защищенную механически и электрически. С одной стороны кабель запрессован в гильзу, и с другой стороны имеет выходы проводов, с обжатыми наконечниками для упрощения монтажа.



Рисунок 4.12 – Газоанализатор ULTRAMAT 23

Газоанализатор ULTRAMAT 23 может измерять до 4 газовых компонентов одновременно: максимум три ИК-чувствительных газа, таких как CO, CO₂, NO, SO₂, CH₄ плюс O₂ с помощью электрохимической или парамагнитной ячейки, а также H₂S с помощью электрохимической ячейки. Благодаря автоматической калибровке окружающим воздухом обеспечивается исключительно высокая долговременная стабильность нулевой точки и измеряемого значения без использования калибровочного газа.



Рисунок 4.13 – Уровенмер SITRANS LC300

SITRANS LC300 - емкостный уровнемер с инверсной частотной модуляцией. Предназначен для жидкостей и твердых веществ, особенно для приложений с высокими требованиями к точности. Отклонение по точности менее 0,5% от фактически измеряемого значения.



Рисунок 4.14 – Датчик давления с дисплеем PУ9954

Датчик давления $-1...10$ бар, подключение к процессу $G \frac{3}{4}$ нар, питание $18...36$ VDC, 2 программируемых выхода (PNP НО/НЗ, $4...20$ мА / $0...10$ В), дисплей, разъем M12, IP67. Отклонение по точности менее 0,5% от фактически измеряемого значения.



Рисунок 4.15 – USB/PPI кабель

Интеллектуальный USB/PPI кабель, поддерживающий мультимастерные конфигурации; для подключения устройств с интерфейсом USB к интерфейсу RS 485 программируемого контроллера SIMATIC S7-200

или к мультимастерной РРІ-сети с выполнением функций ведущего устройства.



Рисунок 4.16 – Газовый счетчик

Счетчик предназначен для измерения объема выхода газа из резервуара.

5 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ПОТЕРЬ МОТОРНОГО ТОПЛИВА ПРИ ХРАНЕНИИ

5.1 Обработка результатов исследований оборачиваемости резервуарного парка среднестатистического нефтесклада в сельском хозяйстве и снижения качества топлива при хранении

Для набора статистической информации проведен анализ оборачиваемости резервуарного парка нескольких хозяйств растениеводческого типа (в Липецкой области: ИП КФХ Докучаев К.С., в Смоленской области: КФХ «Дроново», ИП КФХ Вьюнов С.В.; в Ростовской области: ИП КФХ Кудашкин Б.М.). В изучаемых нефтехозяйствах закупка топлива производится под объем резервуарного парка с начала апреля и до июля. Интенсивный отпуск моторного топлива начинается с середины апреля и до июня во время полевых работ, и с августа по сентябрь во время уборки урожая. С ноября и до наступления холодов идет внос органики и полевые работы, что также влияет на рост потребления моторного топлива. Запасы на следующий период под зиму остаются минимальными. В таблице 5.1 приведены среднестатистические данные о количестве топлива, которое принимают на хранение, отпускают во время работ и рассчитан остаток на складе в течении года. На рисунке 5.1 представлен график, который наглядно демонстрирует годовой оборот топлива среднестатистического нефтесклада крестьянского (фермерского) хозяйства.

Таблица 5.1 – Данные о годовом приеме на хранение, отпуске и остатке топлива в нефтескладе отдельного КФХ

Месяц	Прием на хранение, м ³	Отпуск, м ³	Остаток, м ³
Апрель	22	20	2
Май	22	20	4
Июнь	22	4	22
Июль	22		44
Август		10	34
Сентябрь		20	14
Октябрь			14
Ноябрь		10	4
Декабрь		3	1
Январь			1
Февраль			1
Март			1

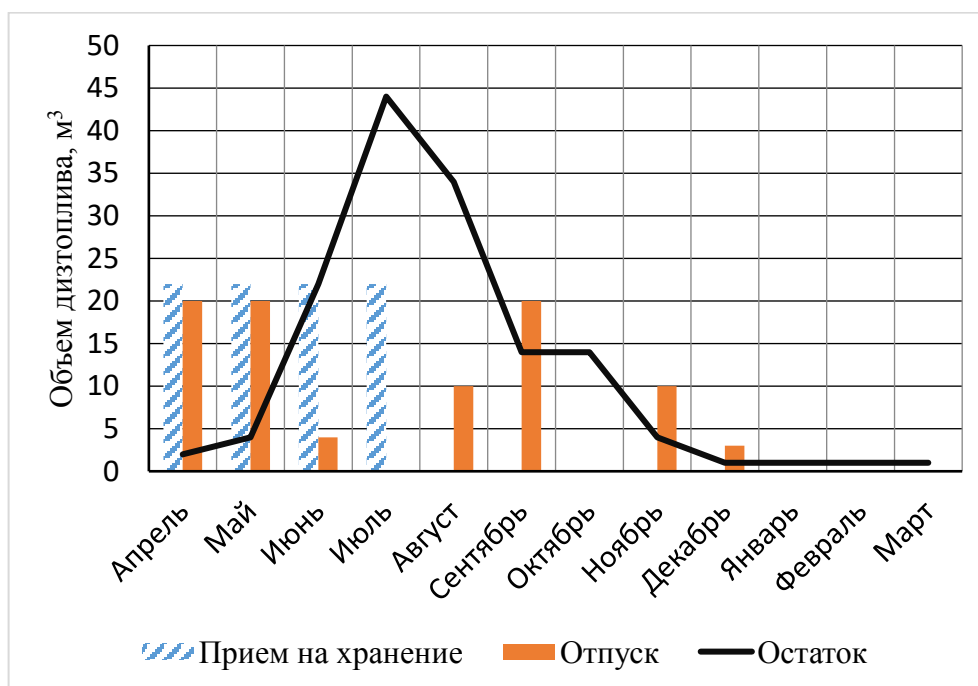


Рисунок 5.1 – График годового оборота топлива среднестатистического нефтесклада сельхозтоваропроизводителя

В таблице 5.2 приведены расчёты месячного процента от годового объема закупки топлива, количества топлива, которое принимают на хранение, отпускают во время работ и рассчитан остаток на складе в течении года. На рисунке 5.2 построен график, который наглядно демонстрирует

годовой оборот топлива среднестатистического нефтесклада сельхозтоваропроизводителя в процентах от годового объема закупки.

Таблица 5.2 – Усредненные данные о годовом приеме на хранение, отпуске и остатке топлива в нефтескладе среднестатистического нефтесклада сельхозтоваропроизводителя, в % от годовой закупки топлива

Месяц	Прием на хранение, %	Отпуск, %	Остаток, %
Апрель	25	23	2
Май	25	23	5
Июнь	25	5	25
Июль	25	0	50
Август	0	11	39
Сентябрь	0	0	23
Октябрь	0	0	16
Ноябрь	0	11	5
Декабрь	0	3	1
Январь	0	0	1
Февраль	0	0	1
Март	0	0	1

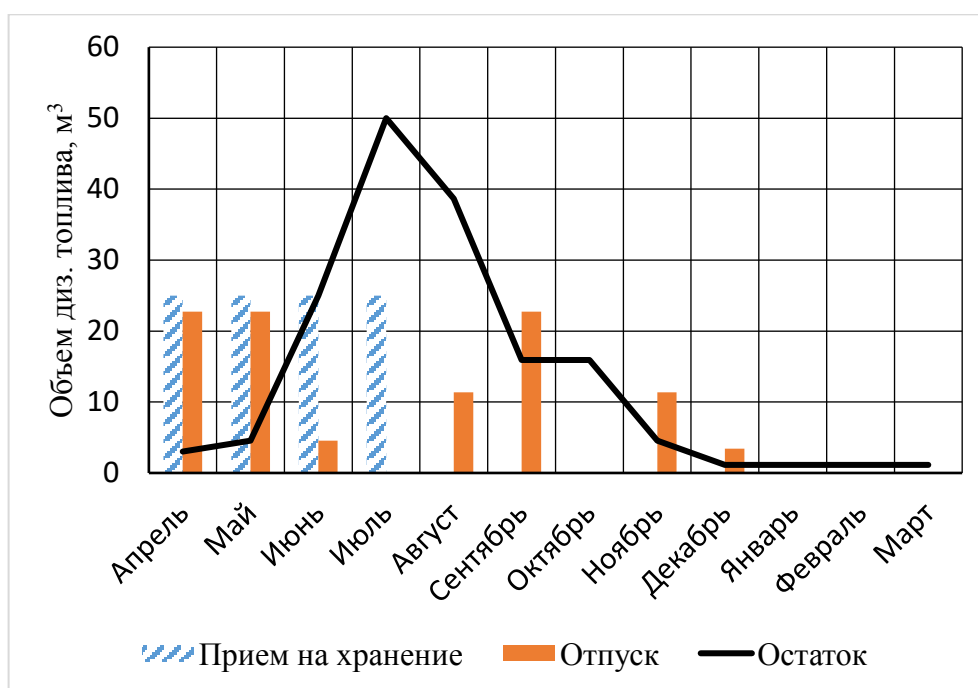


Рисунок 5.2 – График усредненного годового оборота топлива среднестатистического нефтесклада сельхозтоваропроизводителя

Рассмотрим процесс забора топлива из резервуара во время полевых работ для трактора К-701. В таблице 5.3 приведен почасовой расход топлива и время его заправки. Графическое представление процесса отражено на рисунке 5.3.

Таблица 5.3 – Почасовой расход топлива и время заправки трактора К-701

Время	Заправка, л	Расход, л	Расход накоплением, л
7:00	320	0	0
8:00	0	60	60
9:00	0	60	120
10:00	0	60	180
11:00	0	60	240
12:00	0	60	300
13:00	0	20	320
14:00	320	0	320
15:00	0	60	380
16:00	0	60	440
17:00	0	60	500
18:00	0	60	560
19:00	0	60	620
20:00	0	20	640

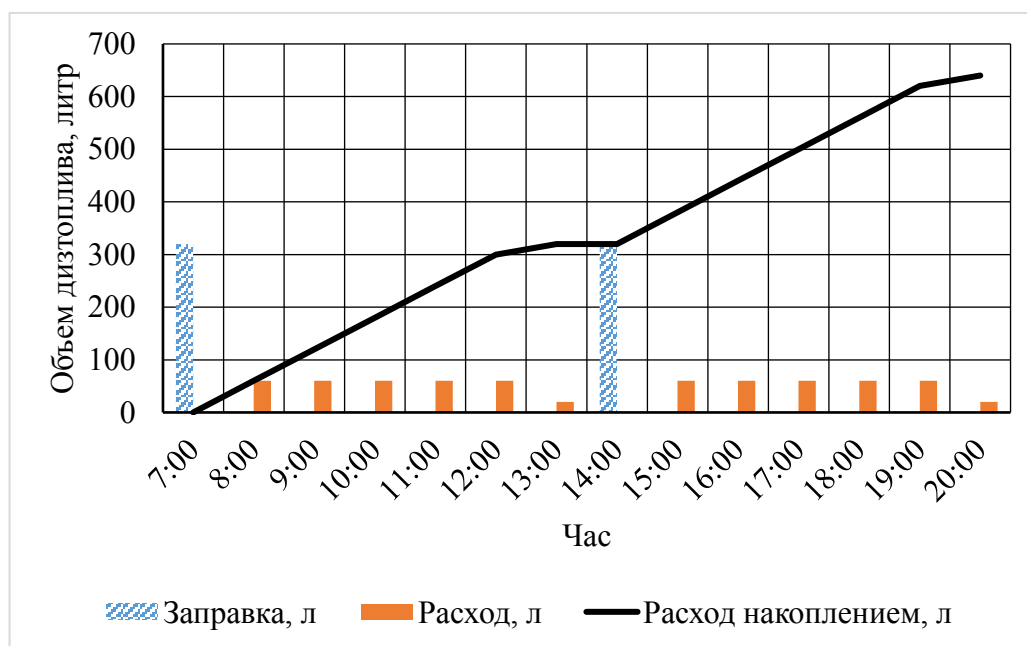


Рисунок 5.3 – Почасовой расход топлива и время заправки трактора К-701

Проанализируем месячную динамику уменьшения объема топлива в резервуаре (таблица 5.4, рисунок 5.4). Следует отметить, что при каждой заправке происходит увеличение объема паровоздушной смеси. Именно с убылью топлива и увеличением паровоздушной среды повышается интенсивность испарения топлива. Каждый забор топлива приводит к увеличению испарения топлива и выбросу паров из резервуара при суточных колебаниях атмосферного воздуха.

Таблица 5.4 – Динамика уменьшения объема топлива в резервуаре за месяц

День	Объем топлива, л	Объем ПВС, %
1	22000	5%
2	21360	10%
3	20720	15%
4	20080	19%
5	19440	24%
6	18800	28%
7	18160	32%
8	17520	36%
9	16880	40%
10	16240	43%
11	15600	47%
12	14960	50%
13	14320	54%
14	13680	57%
15	13040	60%
16	12400	63%
17	11760	65%
18	11120	68%
19	10480	70%
20	9840	72%
21	9200	74%
22	8560	76%
23	7920	78%
24	7280	80%
25	6640	81%
26	6000	83%
27	5360	84%
28	4720	85%
29	4080	86%
30	3440	87%

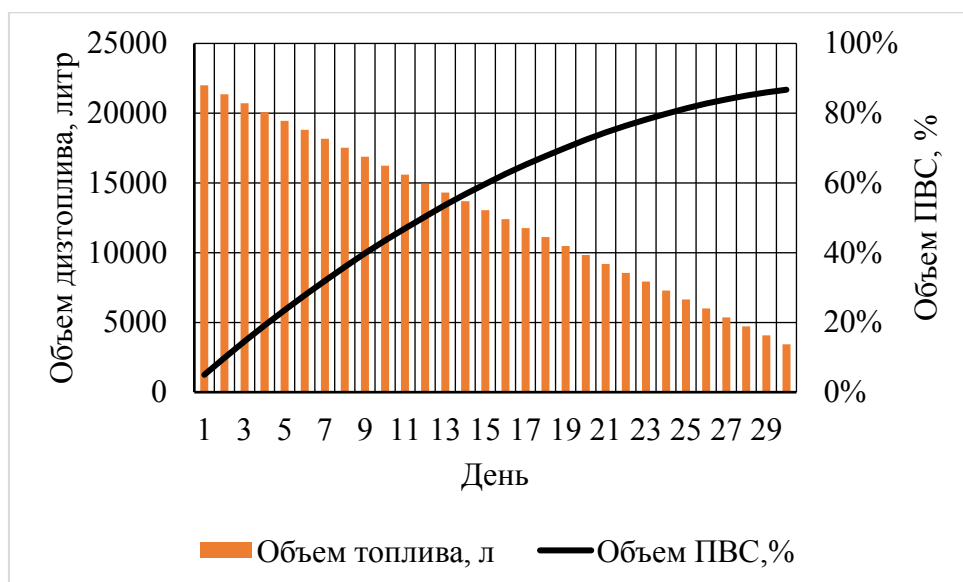


Рисунок 5.4 – Месячная динамика уменьшения объема топлива в резервуаре

Крупные фермерские хозяйства и предприятия (на примере Добринского АТП и ООО «Раненбургъ» Липецкой области) поддерживают постоянный запас топлива на нефтескладе на уровне 50 тонн дизельного топлива и 10 тонн бензина, при этом расходуется такое же количество топлива.

Анализ полученных данных показывает, что наибольшие запасы топлива на нефтескладе КФХ образуются в летние месяцы. Из-за высокой температуры и регулярного увеличения объема паровоздушной среды в резервуаре при отборе топлива, в это время года потери от испарения будут более интенсивными. Хранение топлива в течение года приводит как к количественным, так и к качественным потерям.

5.2 Сравнение соответствия существующих норм естественной убыли моторного топлива реальным потерям при его хранении в резервуарах сельских нефтескладов

Одним из важнейших этапов в организации хранения нефтепродуктов является учет естественных потерь моторных топлив. Для этого постановлением Госснаба СССР от 26 марта 1986 г. № 40 были утверждены

нормы естественной убыли нефтепродуктов при приеме, хранении, отпуске и транспортировании. Этим постановлением предусматривалось начисление естественной убыли нефтепродуктов в кг на 1 тонну хранимого топлива в месяц и вместимости резервуара, в котором хранился нефтепродукт. Минимальная норма приводилась для резервуара вместимостью 400 м³ и менее. Следовательно, для хранения нефтепродуктов на крупных перевалочных базах системы «Госкомнефтепродукт» эти нормы естественной убыли были приемлемы, так как хранение нефтепродуктов осуществлялось в вертикальных стальных резервуарах вместимостью более 400 м³.

Для условий нефтескладов сельскохозяйственных предприятий, резервуарный парк которых состоит из стальных горизонтальных наземных цилиндрических резервуаров вместимостью от 3 до 75 м³, указанные нормы требовали корректировки. Экспериментально установлено, что в указанных резервуарах потери, отнесенные к одной тонне топлива, снижаются с увеличением вместимости резервуара. В таблице 5.5 приведены нормы естественной убыли бензина в горизонтальных наземных цилиндрических резервуарах для объемов, применяемых в сельском хозяйстве, рассчитанных по постановлению Госнаба СССР от 26.03.1986 N 40. В таблице 5.6 приведены нормы естественной убыли бензина в горизонтальных наземных цилиндрических резервуарах для объемов, применяемых в сельском хозяйстве, рассчитанных по Приказу Минэнерго России от 16.04.2018 N 281. В таблице 5.7 приведены фактические потери бензина из горизонтальных наземных цилиндрических резервуаров для объемов, применяемых в сельском хозяйстве. Приведены показатели для северной, средней и южной климатических зон России и для типовых объемов резервуаров: 3, 5, 10, 25, 50, 75 м³. Сравним старые и новые нормы естественной убыли по трем климатическим зонам в таблицах 5.8-5.10 и построим графики на рисунках 5.5-5.7 за осенне-зимний период и в таблицах 5.11-5.13 и построим графики на рисунках 5.8-5.10 за весенне-летний период.

Таблица 5.5 – Потери бензина за год при расчете Постановление Госнаба СССР от 26.03.1986 N 40 (с изм. от 11.08.2011) "Об утверждении норм естественной убыли нефтепродуктов при приеме, хранении, отпуске и транспортировании"

Вместимость резервуара, V, м ³	Масса топлива, кг	Потери автомобильного бензина при хранении за сезон по климатическим зонам страны, кг					
		Северная		Средняя		Южная	
		Осенне - зимний период	Весенне - летний период	Осенне - зимний период	Весенне - летний период	Осенне - зимний период	Весенне - летний период
3	2250	1,22	5,81	1,22	7,97	3,78	11,21
5	3750	2,03	9,68	2,03	13,28	6,30	18,68
10	7500	4,05	19,35	4,05	26,55	12,60	37,35
25	18750	10,13	48,38	10,13	66,38	31,50	93,38
50	37500	20,25	96,75	20,25	132,75	63,00	186,75
75	56250	30,38	145,13	30,38	199,13	94,50	280,13

Таблица 5.6 – Потери бензина за год при расчете по Приказу Минэнерго России от 16.04.2018 N 281 "Об утверждении норм естественной убыли нефтепродуктов при хранении"

Вместимость резервуара, V, м ³	Масса топлива, кг	Потери автомобильного бензина при хранении за сезон по климатическим зонам страны, кг					
		Северная		Средняя		Южная	
		Осенне - зимний период	Весенне - летний период	Осенне - зимний период	Весенне - летний период	Осенне - зимний период	Весенне - летний период
3	2250	1,76	10,67	3,51	14,04	6,21	18,43
5	3750	2,93	17,78	5,85	23,40	10,35	30,71
10	7500	5,85	35,55	11,70	46,80	20,70	61,43
25	18750	14,63	88,88	29,25	117,00	51,75	153,56
50	37500	29,25	177,75	58,50	234,00	103,50	307,13
75	56250	43,88	266,63	87,75	351,00	155,25	460,69

Таблица 5.7 – Фактические потери бензина за год

Вместимость резервуара, V, м ³	Масса топлива, а, кг	Потери автомобильного бензина при хранении за сезон по климатическим зонам страны, кг					
		Северная		Средняя		Южная	
		Осенне-зимний период	Весенне-летний период	Осенне-зимний период	Весенне-летний период	Осенне-зимний период	Весенне-летний период
3	2250	6,78	33,75	8,72	46,518	18,91	67,66
5	3750	8,78	43,71	11,29	60,24	24,49	87,61
10	7500	14,78	73,60	19,01	101,43	41,24	147,53
25	18750	27,06	134,70	34,80	185,64	75,48	270
50	37500	54,13	269,44	69,61	371,334	150,98	540,09
75	56250	68,20	339,50	87,71	467,886	190,24	680,51

Таблица 5.8 – Сравнение фактических потерь с нормами естественной убыли в северной климатической зоне за осенне-зимний период

Вместимость резервуара, V, м ³	Потери автомобильного бензина в северной климатической зоне за осенне-зимний период, кг		
	Нормы для резервуаров объёмом менее 400 м ³	Нормы для резервуаров объёмом менее 100 м ³	Фактические потери
3	1,22	1,76	6,78
5	2,03	2,93	8,78
10	4,05	5,85	14,78
25	10,13	14,63	27,06
50	20,25	29,25	54,13
75	30,38	43,88	68,20

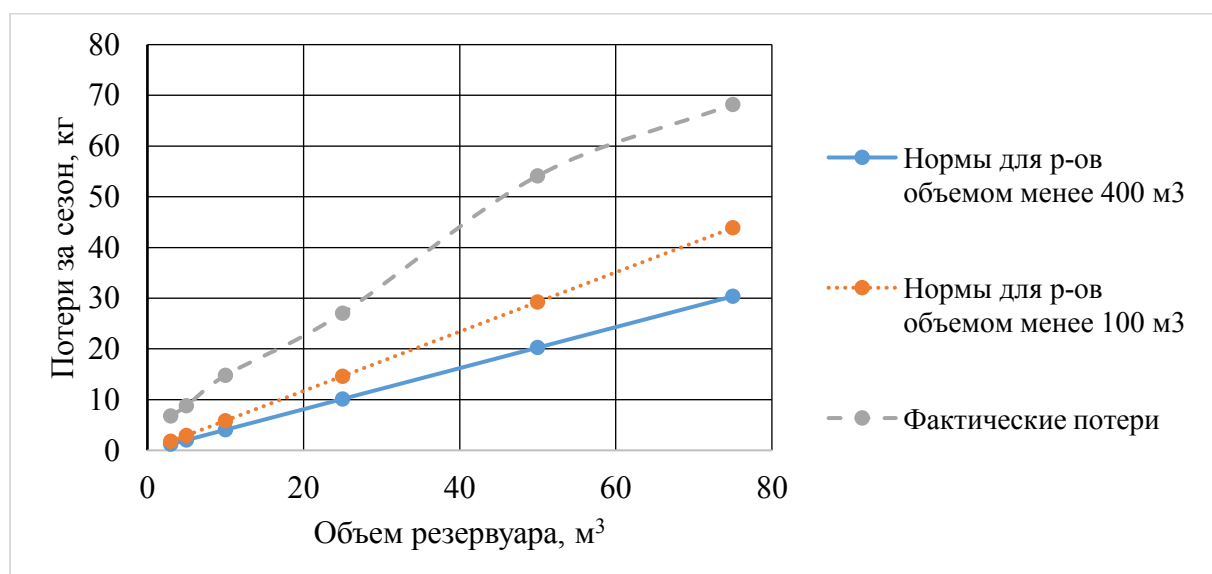


Рисунок 5.5 – Сравнение фактических потерь бензина с нормами естественной убыли в северной климатической зоне за осенне-зимний период

Таблица 5.9 – Сравнение фактических потерь с нормами естественной убыли в средней климатической зоне за осенне-зимний период

Вместимость резервуара, V, м ³	Потери автомобильного бензина в средней климатической зоне за осенне-зимний период, кг		
	Нормы для резервуаров объёмом менее 400 м ³	Нормы для резервуаров объёмом менее 100 м ³	Фактические потери
3	1,22	3,51	8,72
5	2,03	5,85	11,29
10	4,05	11,70	19,01
25	10,13	29,25	34,80
50	20,25	58,50	69,61
75	30,38	87,75	87,71

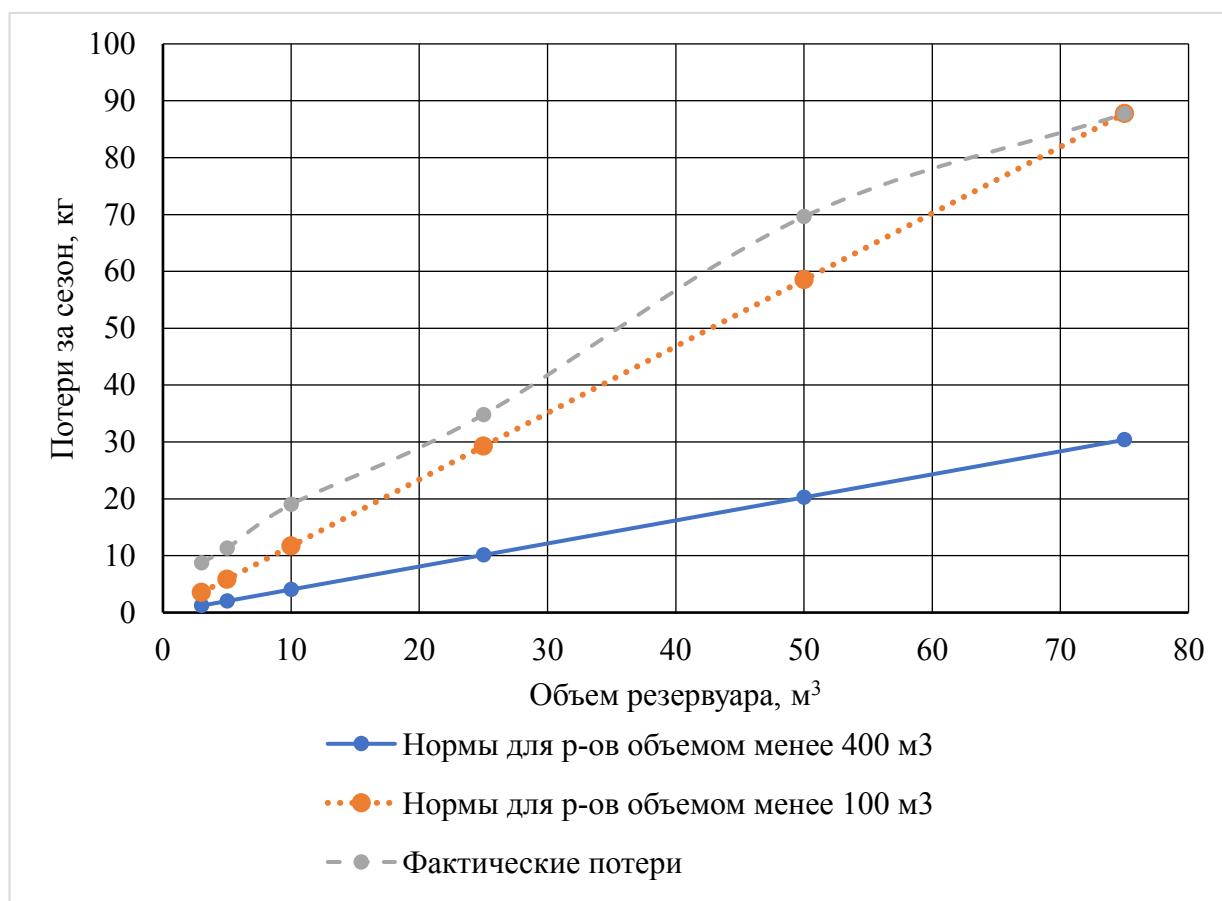


Рисунок 5.6 – Сравнение фактических потерь бензина с нормами естественной убыли в средней климатической зоне за осенне-зимний период

Таблица 5.10 – Сравнение фактических потерь с нормами естественной убыли в южной климатической зоне за осенне-зимний период

Вместимость резервуара, V, м ³	Потери автомобильного бензина в южной климатической зоне за осенне-зимний период, кг		
	Нормы для резервуаров объемом менее 400 м ³	Нормы для резервуаров объемом менее 100 м ³	Фактические потери
3	3,78	6,21	18,91
5	6,30	10,35	24,49
10	12,60	20,70	41,24
25	31,50	51,75	75,48
50	63,00	103,50	150,98
75	94,50	155,25	190,24

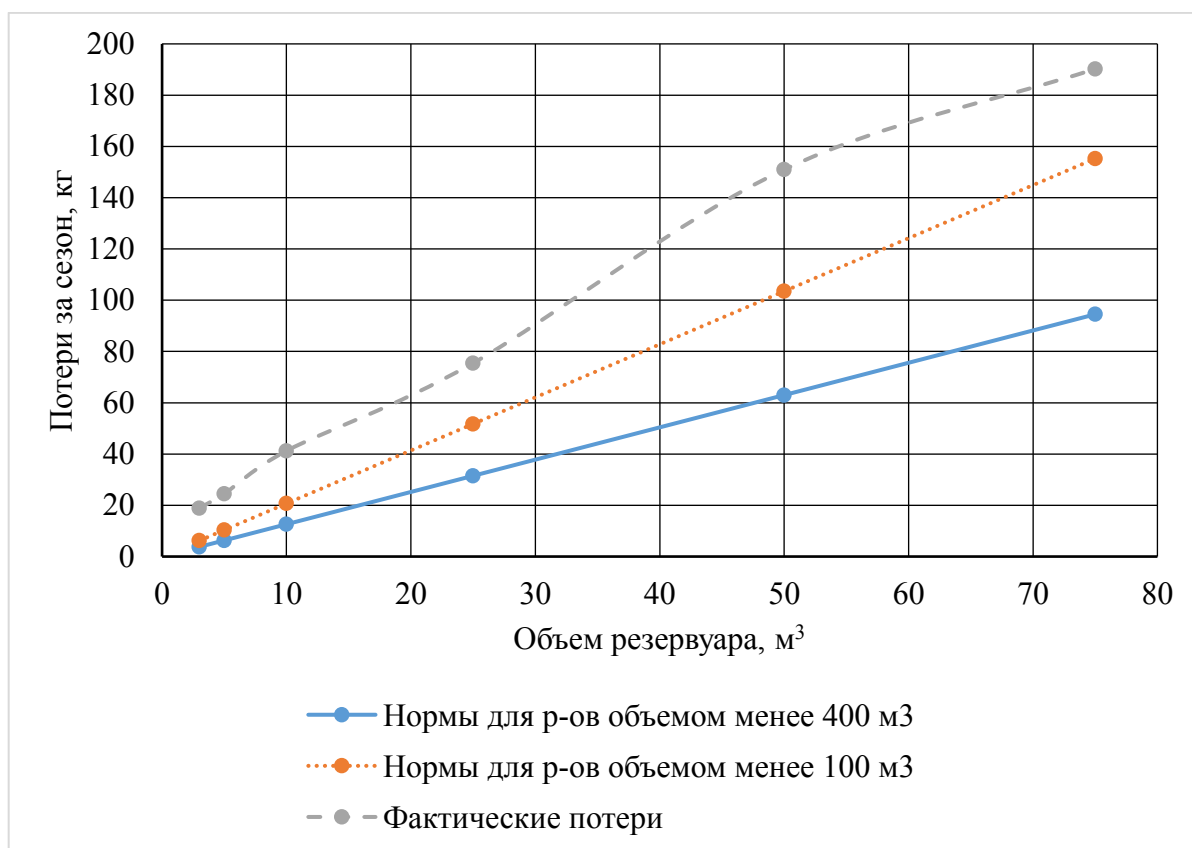


Рисунок 5.7 – Сравнение фактических потерь бензина с нормами естественной убыли в южной климатической зоне за осенне-зимний период

Таблица 5.11 – Сравнение фактических потерь с нормами естественной убыли в северной климатической зоне за весенне-летний период

Вместимость резервуара, V, м ³	Потери автомобильного бензина в северной климатической зоне за весенне-летний период, кг		
	Нормы для резервуаров объемом менее 400 м ³	Нормы для резервуаров объемом менее 100 м ³	Фактические потери
3	5,81	10,67	33,75
5	9,68	17,78	43,71
10	19,35	35,55	73,60
25	48,38	88,88	134,70
50	96,75	177,75	269,44
75	145,13	266,63	339,50

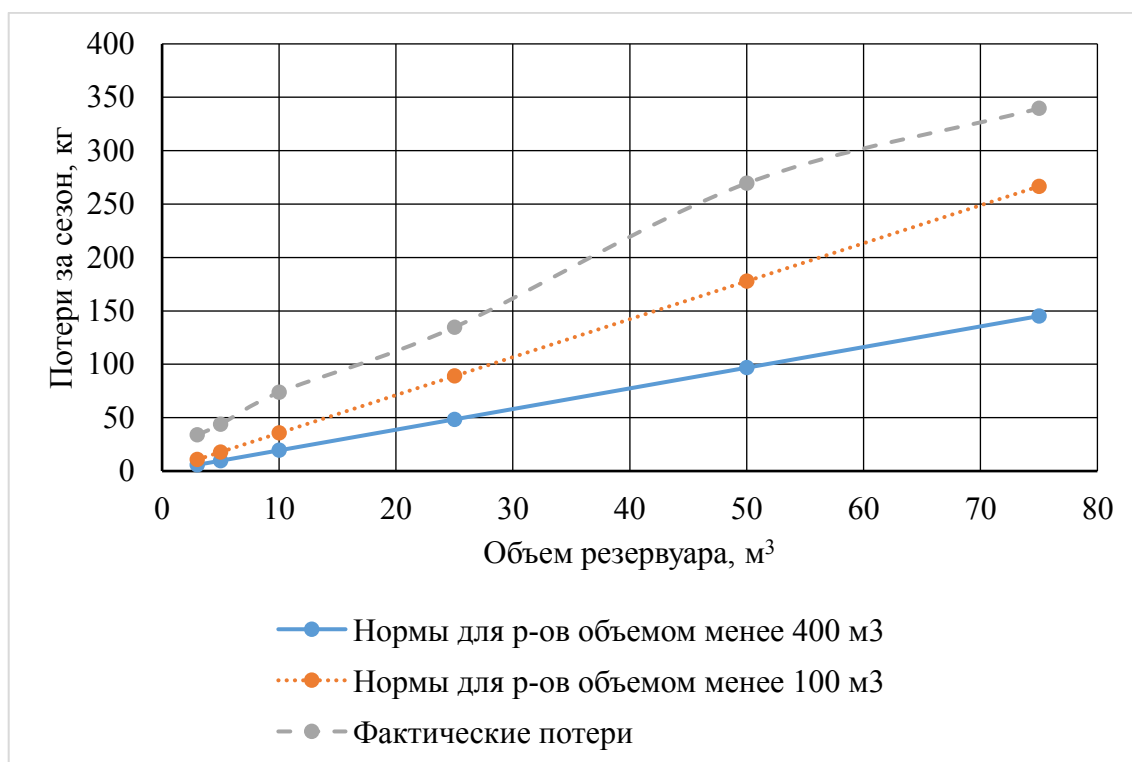


Рисунок 5.8 – Сравнение фактических потерь бензина с нормами естественной убыли в северной климатической зоне за весенне-летний период

Таблица 5.12 – Сравнение фактических потерь с нормами естественной убыли в средней климатической зоне за весенне-летний период

Вместимость резервуара, V, м ³	Потери автомобильного бензина в средней климатической зоне за весенне-летний период, кг		
	Нормы для резервуаров объемом менее 400 м ³	Нормы для резервуаров объемом менее 100 м ³	Фактические потери
3	7,97	14,04	46,52
5	13,28	23,40	60,24
10	26,55	46,80	101,43
25	66,38	117,00	185,64
50	132,75	234,00	371,33
75	199,13	351,00	467,89

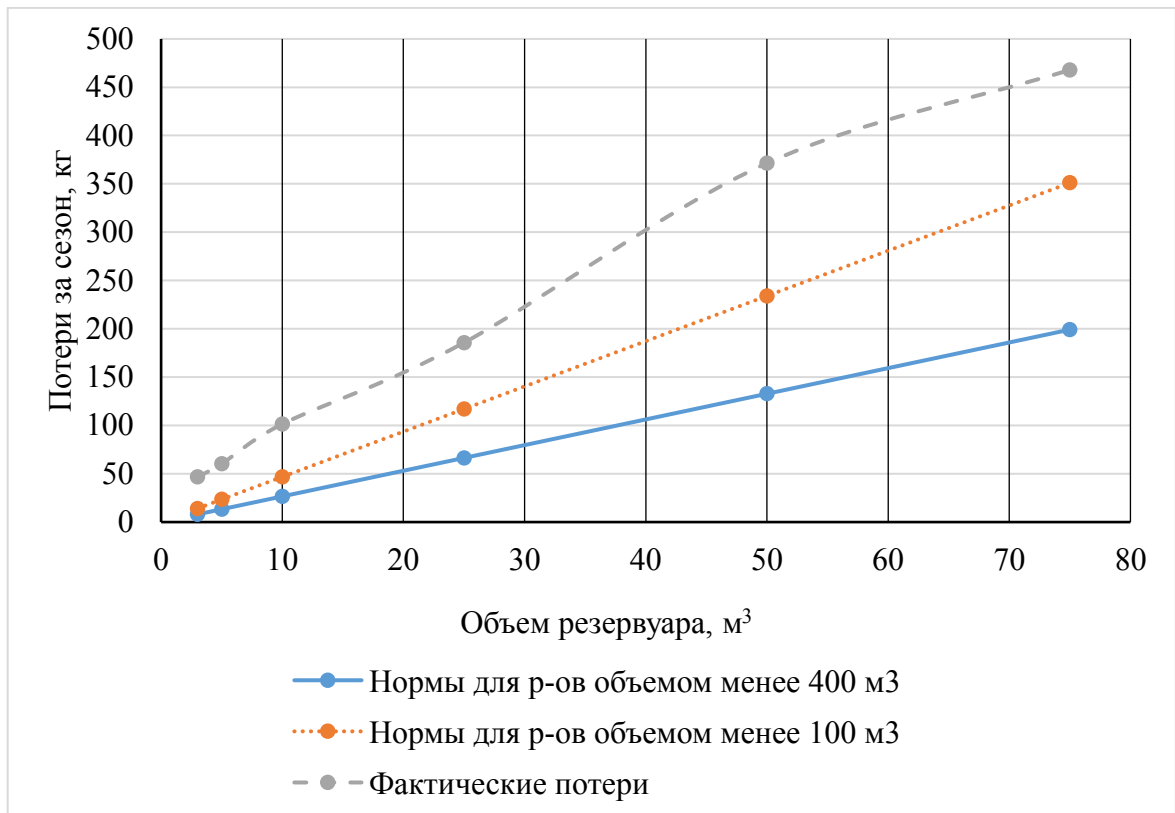


Рисунок 5.9 – Сравнение фактических потерь бензина с нормами естественной убыли в средней климатической зоне за весенне-летний период

Таблица 5.13 – Сравнение фактических потерь с нормами естественной убыли в южной климатической зоне за весенне-летний период

Вместимость резервуара, V, м ³	Потери автомобильного бензина в южной климатической зоне за весенне-летний период, кг		
	Нормы для резервуаров объемом менее 400 м ³	Нормы для резервуаров объемом менее 100 м ³	Фактические потери
3	11,21	18,43	67,66
5	18,68	30,71	87,61
10	37,35	61,43	147,53
25	93,38	153,56	270,00
50	186,75	307,13	540,09
75	280,13	460,69	680,51

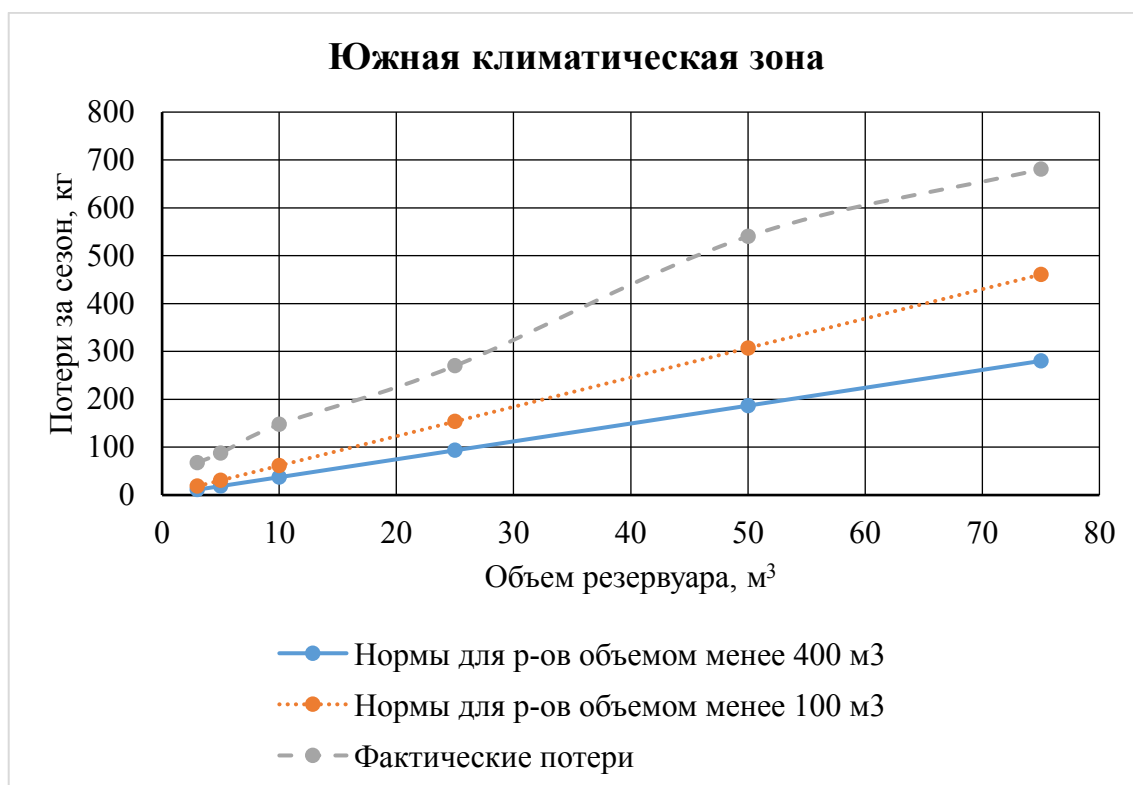


Рисунок 5.10 – Сравнение фактических потерь бензина с нормами естественной убыли в южной климатической зоне за весенне-летний период

Из полученных результатов следует сделать вывод, что нормы естественной убыли с момента их введения в 1988 году были уточнены в 2009, 2018 году, однако они до сих пор не отражают фактические размеры испарения бензина из горизонтальных стальных резервуаров емкостью менее 100 кубических метров.

Проведем аналогичные расчеты для дизельного топлива в таблицах 5.14-5.20, сравним реальные потери рассчитанными значениями в таблицах 5.21-5.22, построим графики на рисунках 5.11-5.12.

Таблица 5.14 – Потери дизельного топлива за год при расчете Постановление Госснаба СССР от 26.03.1986 N 40 (с изм. от 11.08.2011) "Об утверждении норм естественной убыли нефтепродуктов при приеме, хранении, отпуске и транспортировании"

Вместимость резервуара $V, \text{ м}^3$	Масса топлива , кг	Потери дизельного топлива при хранении за сезон по климатическим зонам страны, кг					
		Северная		Средняя		Южная	
		Осенне-зимний период	Весенне-летний период	Осенне-зимний период	Весенне-летний период	Осенне-зимний период	Весенне-летний период
3	2550	-	-	-	0,08	-	0,08
5	4250	-	-	-	0,13	-	0,13
10	8500	-	-	-	0,26	-	0,26
25	21250	-	-	-	0,64	-	0,64
50	42500	-	-	-	1,28	-	1,28
75	63750	-	-	-	1,91	-	1,91

Таблица 5.15 – Потери дизельного топлива за год при расчете по Приказу Минэнерго России от 16.04.2018 N 281 "Об утверждении норм естественной убыли нефтепродуктов при хранении" (Зарегистрировано в Минюсте России 08.08.2018 N 51824)

Вместимость резервуара, $V, \text{ м}^3$	Масса топлива , кг	Потери дизельного топлива при хранении за сезон по климатическим зонам страны, кг					
		Северная		Средняя		Южная	
		Осенне-зимний период	Весенне-летний период	Осенне-зимний период	Весенне-летний период	Осенне-зимний период	Весенне-летний период
3	2550	-	-	0,05	0,09	0,05	0,09
5	4250	-	-	0,08	0,15	0,08	0,15
10	8500	-	-	0,15	0,31	0,15	0,31
25	21250	-	-	0,38	0,77	0,38	0,77
50	42500	-	-	0,77	1,53	0,77	1,53
75	63750	-	-	1,15	2,30	1,15	2,30

Таблица 5.16 – Фактические потери дизельного топлива за год

Вместимость резервуара, V, м ³	Масса топлива, кг	Потери дизельного топлива при хранении за сезон по климатическим зонам страны, кг					
		Северная		Средняя		Южная	
		Осенне-зимний период	Весенне-летний период	Осенне-зимний период	Весенне-летний период	Осенне-зимний период	Весенне-летний период
3	2550	-	-	0,10	0,21	0,12	0,25
5	4250	-	-	0,17	0,26	0,19	0,37
10	8500	-	-	0,30	0,59	0,32	0,69
25	21250	-	-	1,18	1,69	1,87	1,94
50	42500	-	-	1,85	2,67	2,23	2,91
75	63750	-	-	2,53	4,90	3,22	5,38

Таблица 5.17 – Сравнение фактических потерь дизельного топлива с нормами естественной убыли в северной климатической зоне за осенне-зимний период

Вместимость резервуара, V, м ³	Потери дизельного топлива в северной климатической зоне за осенне-зимний период, кг		
	Нормы для резервуаров объёмом менее 400 м ³	Нормы для резервуаров объёмом менее 100 м ³	Фактические потери
3	-	-	-
5	-	-	-
10	-	-	-
25	-	-	-
50	-	-	-
75	-	-	-

Таблица 5.18 – Сравнение фактических потерь дизельного топлива с нормами естественной убыли в средней климатической зоне за осенне-зимний период

Вместимость резервуара, V, м ³	Потери дизельного топлива в средней климатической зоне за осенне-зимний период, кг		
	Нормы для резервуаров объёмом менее 400 м ³	Нормы для резервуаров объёмом менее 100 м ³	Фактические потери
3	-	0,05	0,10
5	-	0,08	0,17
10	-	0,15	0,30
25	-	0,38	1,18
50	-	0,77	1,85
75	-	1,15	2,53

Таблица 5.19 – Сравнение фактических потерь дизельного топлива с нормами естественной убыли в южной климатической зоне за осенне-зимний период

Вместимость резервуара, V, м ³	Потери дизельного топлива в южной климатической зоне за осенне-зимний период, кг		
	Нормы для резервуаров объёмом менее 400 м ³	Нормы для резервуаров объёмом менее 100 м ³	Фактические потери
3	-	0,05	0,12
5	-	0,08	0,19
10	-	0,15	0,32
25	-	0,38	1,87
50	-	0,77	2,23
75	-	1,15	3,22

Таблица 5.20 – Сравнение фактических потерь дизельного топлива с нормами естественной убыли в северной климатической зоне за весенне-летний период

Вместимость резервуара, V, м ³	Потери дизельного топлива в северной климатической зоне за весенне-летний период, кг		
	Нормы для резервуаров объёмом менее 400 м ³	Нормы для резервуаров объёмом менее 100 м ³	Фактические потери
3	-	-	-
5	-	-	-
10	-	-	-
25	-	-	-
50	-	-	-
75	-	-	-

Таблица 5.21 – Сравнение фактических потерь дизельного топлива с нормами естественной убыли в средней климатической зоне за весенне-летний период

Вместимость резервуара, V, м ³	Потери дизельного топлива в средней климатической зоне за весенне-летний период, кг		
	Нормы для резервуаров объёмом менее 400 м ³	Нормы для резервуаров объёмом менее 100 м ³	Фактические потери
3	0,08	0,09	0,21
5	0,13	0,15	0,26
10	0,26	0,31	0,59
25	0,64	0,77	1,69
50	1,28	1,53	2,67
75	1,91	2,3	4,90

Таблица 5.22 – Сравнение фактических потерь дизельного топлива с нормами естественной убыли в южной климатической зоне за весенне-летний период

Вместимость резервуара, $V, \text{ м}^3$	Потери дизельного топлива в южной климатической зоне за весенне-летний период, кг		
	Нормы для резервуаров объёмом менее 400 м^3	Нормы для резервуаров объёмом менее 100 м^3	Фактические потери
3	0,08	0,09	0,25
5	0,13	0,15	0,37
10	0,26	0,31	0,69
25	0,64	0,77	1,94
50	1,28	1,53	2,91
75	1,91	2,3	5,38

Из полученных результатов следует вывод, что нормы естественной убыли для дизельного топлива не отражают фактические размеры испарения бензина из горизонтальных стальных резервуаров емкостью менее 100 кубических метров.

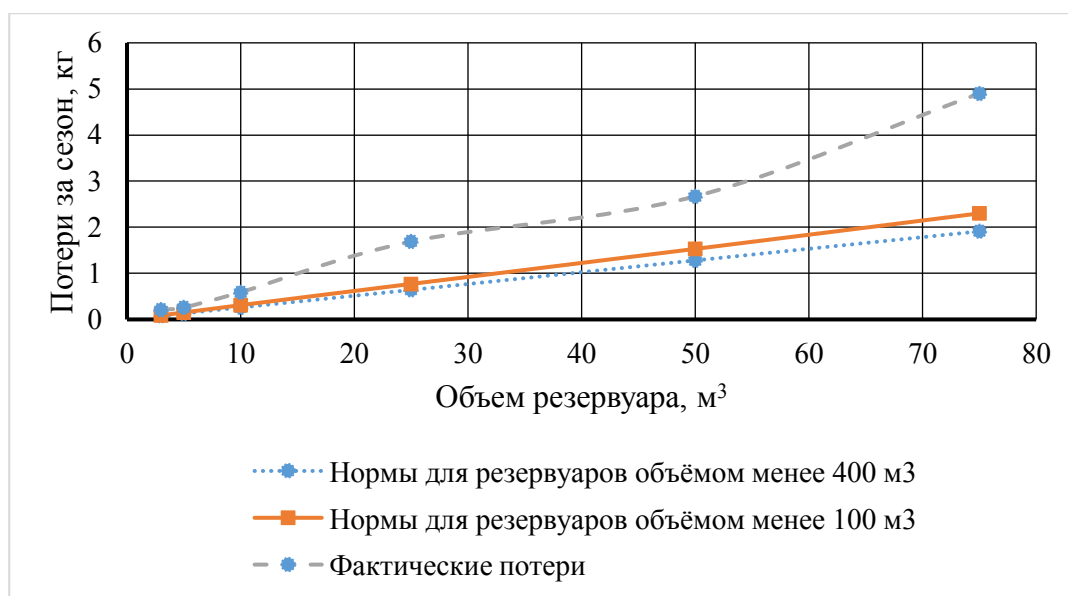


Рисунок 5.11 – Сравнение фактических потерь дизельного топлива с нормами естественной убыли в средней климатической зоне за весенне-летний период

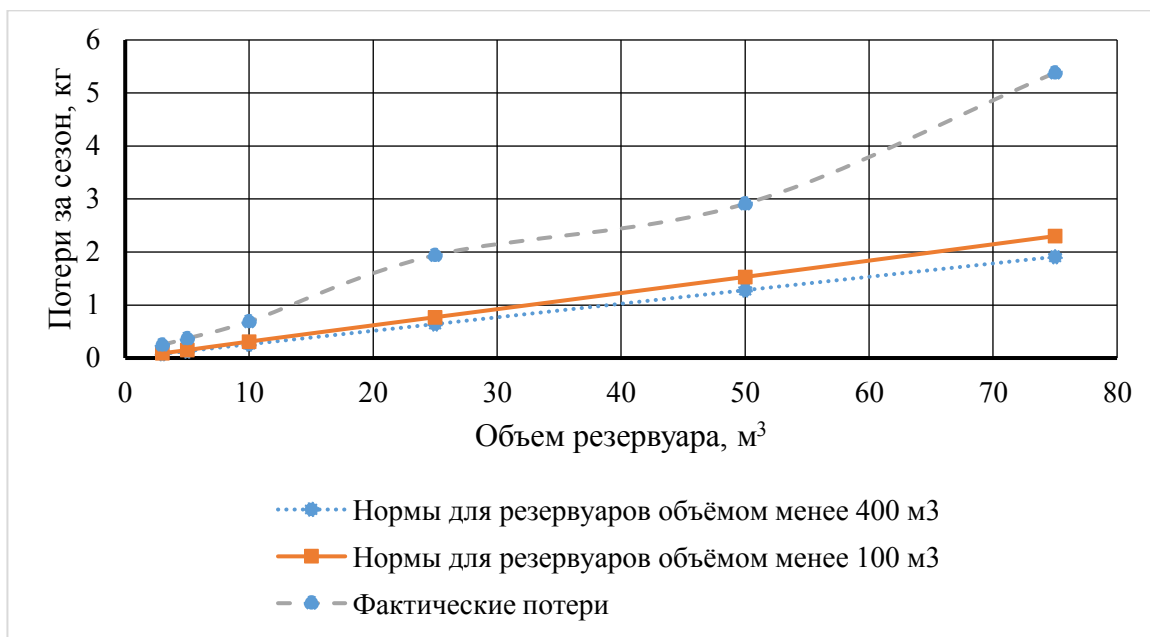


Рисунок 5.12 – Сравнение фактических потерь дизельного топлива с нормами естественной убыли в южной климатической зоне за весенне-летний период

В настоящее время существуют также методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ из резервуаров которые были разработаны с целью создания единой методологической основы по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров на действующих, проектируемых и реконструируемых предприятиях (утверждены приказом Госкомэкологии России от 08.04.98 №199).

Рассчитаем по данной методике годовое количество выбросов бензина при хранении из резервуаров сельхозтоваропроизводителей в приложении К.

При анализе таблиц отметим, что нет отдельных показателей количества выделяющихся паров автомобильных бензинов при хранении в одном резервуаре для объемов менее 100 кубометров. Они объединены в одну строку. Для дизельного топлива данный расчет не проводится.

Таким образом, применение существующих норм естественной убыли и методик расчета выбросов загрязняющих веществ для наземных горизонтальных резервуаров дают отклонения до 40% от реальных потерь топлива.

5.3 Обработка результатов экспериментальных исследований вихревой трубы

Эксперимент по определению предельных показателей вихревой трубы и распределению температур в ней проведен на трубке Ранка с рубашкой охлаждения (рисунок 5.13).



Рисунок 5.13 – Фото вихревой трубки, обеспеченной рубашкой охлаждения внешнего корпуса

Геометрические характеристики испытуемой вихревой трубы заданы таким образом, чтобы сопоставить полученные результаты ее работы с данными ранее проведенных исследований и испытаний. Для этого была выбрана вихревая труба с диаметром $d_{\text{тр}} = 8$ мм, при этом прочие размеры заданы относительными величинами: длину камеры вихревой трубы обозначим $l = 9$, радиус диафрагмы вихревой трубы обозначим $r_d = 0,5$, площадь соплового ввода вихревой трубы обозначим $f_c = 0,1$. В качестве рабочего тела использовался воздух.

Первый шаг исследования вихревой трубы проводился без подачи воды для охлаждения ее корпуса. Данный эксперимент выполнен для определения максимального охлаждающего эффекта, который способна произвести единичная вихревая труба принятого типоразмера.

В ходе эксперимента варьировались входное давление от 2 МПа до 5 МПа с шагом 0,2, степень открытия дросселя, температура воздуха (таблица 5.23, рисунок 5.14).

Таблица 5.23 – Результаты эксперимента по охлаждению и нагреву входного потока вихревой трубкой

Входное давление, МПа.	Разница температуры, °С	
	T _х	T _г
2	30,15	2,55
2,2	30,72	3,71
2,4	31,29	4,87
2,6	31,86	6,03
2,8	32,43	7,19
3	33	8,37
3,2	34,04	7,29
3,4	35,08	6,21
3,6	36,12	5,13
3,8	37,16	4,05
4	38,22	2,98
4,2	38,84	3,18
4,4	39,46	3,38
4,6	40,08	3,58
4,8	40,7	3,78
5	41,3	4

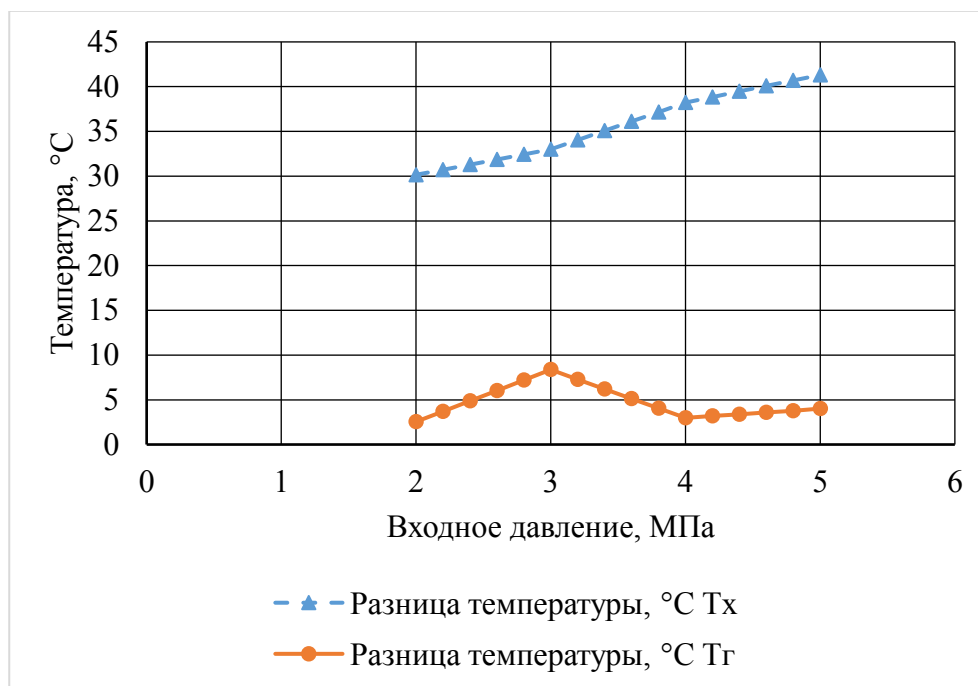


Рисунок 5.14 – Эффективность охлаждения и нагрева вихревой трубкой

Результаты эксперимента выявили зависимость эффекта охлаждения от давления входного потока в вихревой трубке. В ходе энергоразделения входного потока в вихревой трубе была получена температура воздуха из диафрагмы равная минус 9 °С, а температура воздуха, проходящего через дроссельную заслонку – плюс 44 °С.

На втором этапе испытаний проведена оценка влияния давления входа воздуха из компрессора на характер энергоразделения в камере вихревой трубы при охлаждении водой ее корпуса.

Результаты экспериментов показали, что при неизменном давлении p_x , генерируемого вихревой трубой холодного потока за отверстием диафрагмы, на эффект охлаждения существенным образом влияет значение подаваемого на вход вихревой трубы давления воздуха p_1^* . Таким образом, увеличение входного давления воздуха приводит к увеличению эффекта охлаждения вихревой трубой. При этом охлаждение корпуса не оказывает на генерируемый холодный поток никакого влияния.

5.4 Результаты испытаний вихревого модуля для конденсации углеводородов

Для оценки эффективности работы вихревого модуля, который обеспечивает снижение потерь моторного топлива от испарения, провели эксперимент, целью которого было определение количества углеводородов, сконденсированное устройством из парогазовой смеси резервуара.

В эксперименте варьировалось давление на ступенчатые блоки вихревых труб и замерялась температура в камерах вихревого модуля. Результаты эксперимента приведены в таблице 5.24.

Таблица 5.24 – Температура в камерах вихревой установки, °С

Давление на входе, МПа		Максимальная температура потока, °С		Температура в камерах вихревой установки			Температура среды	Температура паров топлива
1й трубы	2й трубы	Холодного	Горячего	1	2	выход(3)		
2	1,10	-15,00	37,00	19,75	4,75	-15	30,20	34,75
2,2	1,23	-17,16	37,62	17,59	0,43	-17,16	30,20	34,75
2,4	1,36	-19,32	38,24	15,43	-3,89	-19,32	30,20	34,75
2,6	1,49	-21,48	38,86	13,27	-8,21	-21,48	30,20	34,75
2,8	1,62	-23,64	39,48	11,11	-12,53	-23,64	30,20	34,75
3	1,75	-25,80	40,10	8,95	-16,85	-25,8	30,20	34,75
3,2	1,88	-26,28	41,00	8,47	-17,81	-26,28	30,20	34,75
3,4	2,01	-26,76	41,90	7,99	-18,77	-26,76	30,20	34,75
3,6	2,14	-27,24	42,80	7,51	-19,73	-27,24	30,20	34,75
3,8	2,27	-27,72	43,70	7,03	-20,69	-27,72	30,20	34,75
4	2,50	-28,20	44,60	6,55	-21,65	-28,2	30,20	34,75
4,2	2,50	-31,74	44,42	3,01	-28,73	-31,74	30,20	34,75
4,4	2,50	-35,28	44,24	-0,53	-34,75	-35,28	30,20	34,75
4,6	2,50	-38,82	44,06	-4,07	-35	-38,82	30,20	34,75
4,8	2,50	-42,36	43,88	-7,61	-40	-42,36	30,20	34,75
5	2,50	-45,90	43,70	-11,15	-43,5	-45,9	30,20	34,75

График изменения температуры по секциям вихревого модуля приведен на рисунках 5.15-5.17.

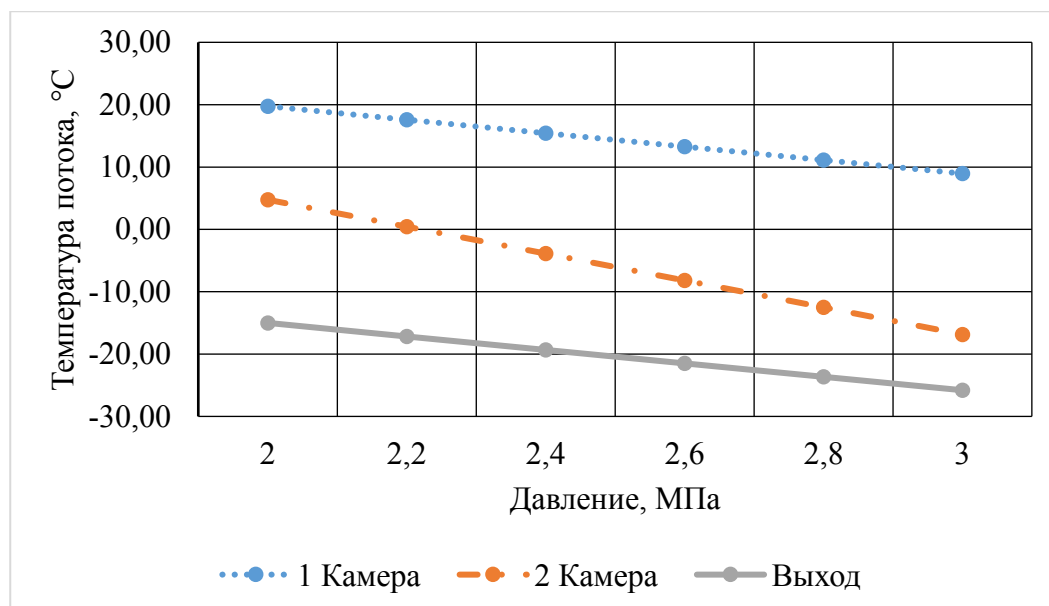


Рисунок 5.15 – График изменения температуры по секциям вихревого модуля при давлении на входе от 2 до 3 МПа

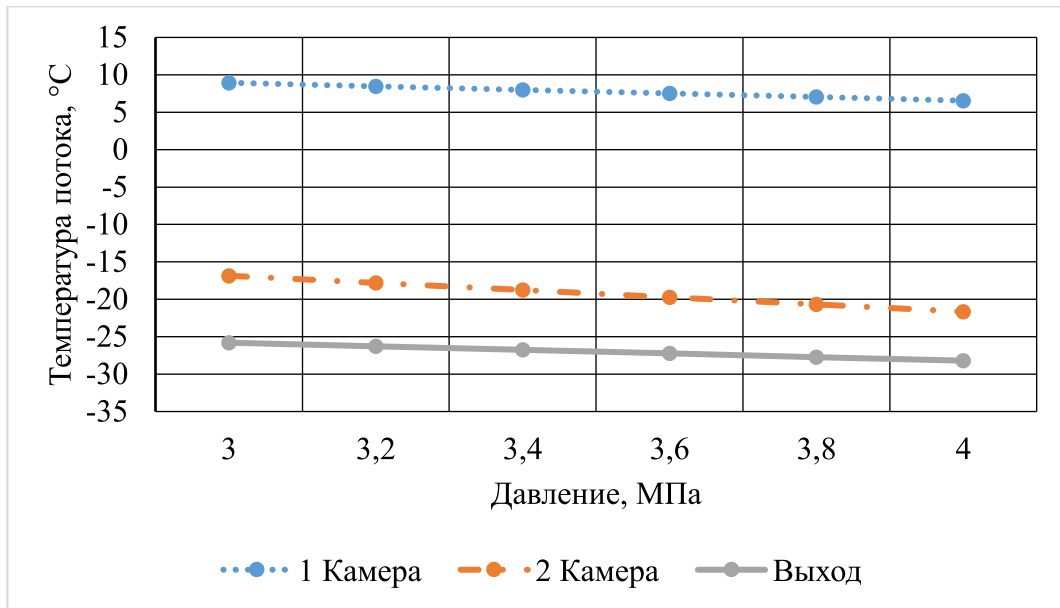


Рисунок 5.16 – График изменения температуры по секциям вихревого модуля при давлении на входе от 3 до 4 МПа

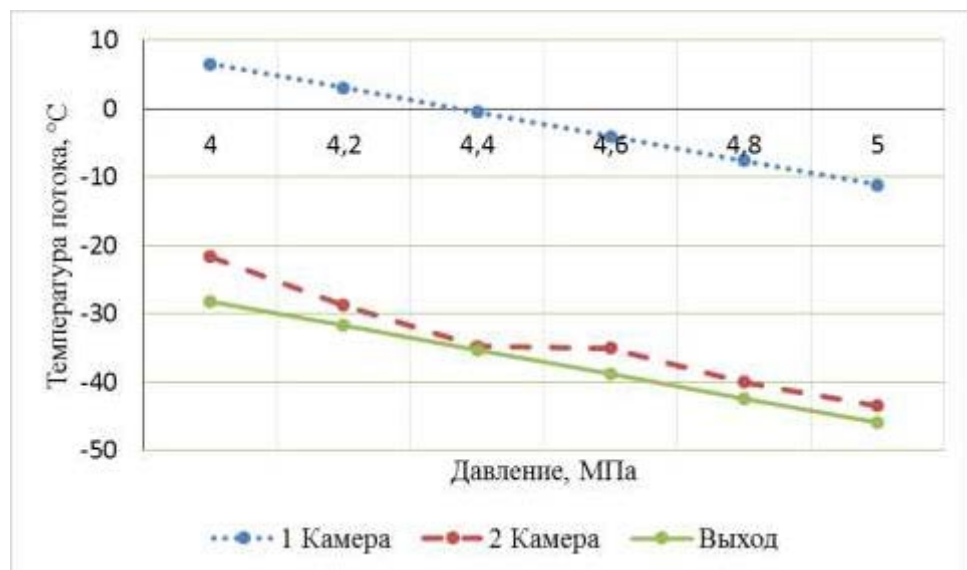


Рисунок 5.17 – График изменения температуры по секциям вихревого модуля при давлении на входе от 4 до 5 МПа

Составим тепловой баланс модуля. Для клапана КДМ-50 с пропускной способностью $10 \text{ м}^3/\text{ч}$. Давление срабатывания на выдох которого составляет 1400 Па . Исследуем резервуар 10 м^3 , заполненный бензином наполовину. Таким образом объем газового пространства составит 5 м^3 .

Рассчитаем объем ПВС, который выйдет при срабатывании клапана и снижении давления в резервуаре с 1400 Па до 1300 Па. Температура ПВС при этом составит 45 °С.

$V_{\text{ПВС}} = 0,38 \text{ м}^3$ (изменение объема ПВС при понижении давления на 100 Па минус начальный объем).

Время выхода данного объема с учетом пропускной способности составит

$$t = 0,38/10 = 0,038 \text{ ч} = 2,28 \text{ минуты.}$$

Масса паров бензина в ПВС с учетом их плотности = 0,3 кг/м³ составит

$$M_{\text{паров бензина}} = 0,3 \cdot 0,38 = 0,114 \text{ кг.}$$

Составим тепловой баланс для первой секции вихревого модуля

$$Q_{\text{конденсации}} = c \cdot M \cdot \Delta T$$

Удельная теплоемкость паров бензина $c = 2740 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$, удельная теплоемкость воздуха при -45 °С $c_{\text{в}} = 1013 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$.

Зная температуру на входе в первую секцию = 45 °С и температуру в 1й секции = минус 10 °С получим:

$$Q_{\text{конденсации}} = 2740 \cdot 0,114 \cdot 55 = 17180 \text{ Дж.}$$

Найдем массу воздуха, необходимую для такого охлаждения

$$M_{\text{возд}} = 17180/1013 \cdot (-10+46) = 0,47 \text{ кг.}$$

Расход воздуха в блоке вихревых труб составит 12 м³/час (200 литров в минуту). Во второй секции проведем аналогичный расчет:

Температура входного потока составит минус 10 °С, охлаждение пройдет до минус 46 °С.

$$Q_{\text{конденсации}} = 2740 \cdot 0,114 \cdot 36 = 13810 \text{ Дж.}$$

Масса воздуха для 1го блока вихревых труб составит:

$$M_{\text{возд}} = 13810 / 2 \cdot 1013 \cdot (-10+46) = 0,19 \text{ кг (0,29 м}^3\text{).}$$

Расход воздуха в блоке вихревых труб равен 7,7 м³/час (130 литров в минуту). При выходе 80% холодного потока из одной ВТ суммарный расход воздуха составляет 90 м³/час (1,5 м³ в минуту).

Проводились исследования конденсации паров бензина вихревым модулем при испарении 50, 100, 150, 200, 300, 500 грамм. Для этого емкость с заданным количеством бензина нагревалась до температуры 50-70 °С, пары подавались на вихревую установку. Работа установки проходила при давлениях 4,8-5 МПа. Полученный конденсат взвешивали, результаты работы вихревого модуля приведены в таблице 5.25 и на рисунке 5.18.

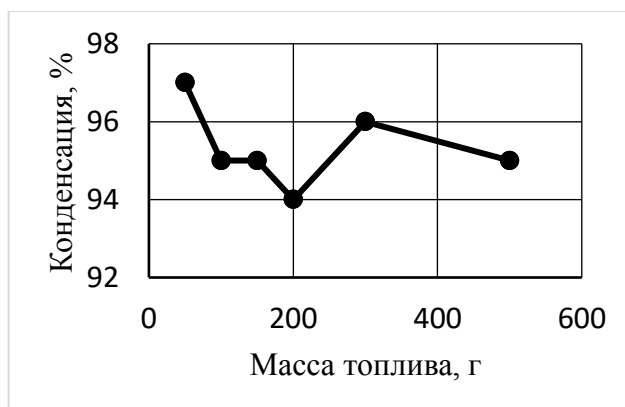


Рисунок 5.18 – Масса бензина, сконденсированная в вихревом модуле

Таблица 5.25 – Масса бензина, сконденсированная в вихревом модуле

Давление на входе, МПа.	Масса топлива, г	Максимальная температура потока, °С		Температура паров топлива, °С	Масса конденсата, г	% конденсации
		Холодного	Горячего			
4,8	50	-42,36	43,88	58	48,5	97
5	50	-45,9	43,7	60	48,5	97
4,8	100	-42,36	43,88	62	95	95
5	100	-45,9	43,7	61	95	95
4,8	150	-42,36	43,88	61	142,5	95
5	150	-45,9	43,7	60	142,5	95
4,8	200	-42,36	43,88	61	188	94
5	200	-45,9	43,7	59	188	94
4,8	300	-42,36	43,88	62	288	96
5	300	-45,9	43,7	59	288	96
4,8	500	-42,36	43,88	60	475	95
5	500	-45,9	43,7	60	475	95

Таким образом степень конденсации бензина в вихревом аппарате достигает 94-97%.

5.6 Результаты исследования температурного поля в наземном горизонтальном цилиндрическом резервуаре

При проведении эксперимента температура окружающей среды составляла 28-32 °С. Начальная температура бензина составляла 25 °С. От верхней точки резервуара имелось 20 мм свободного (газового) пространства до поверхности бензина. Результаты замера поля температур в экспериментальном резервуаре сведены в таблице 5.26 и приведены на рисунке 5.19.

Таблица 5.26 – Температурное поле в резервуаре

Толщина слоя от стенки резервуара по горизонтали, мм	Толщина слоя от стенки резервуара по вертикали, мм	Температура по горизонтали, °С	Температура по вертикали, °С
0	0	30	30
10	10	30	30
20	20	30	30
30	30	29	30
40	40	29	30
50-100	50-100	29	29
110	110	28	29
120-260	120-260	28	28
270-300	270-300	27	27

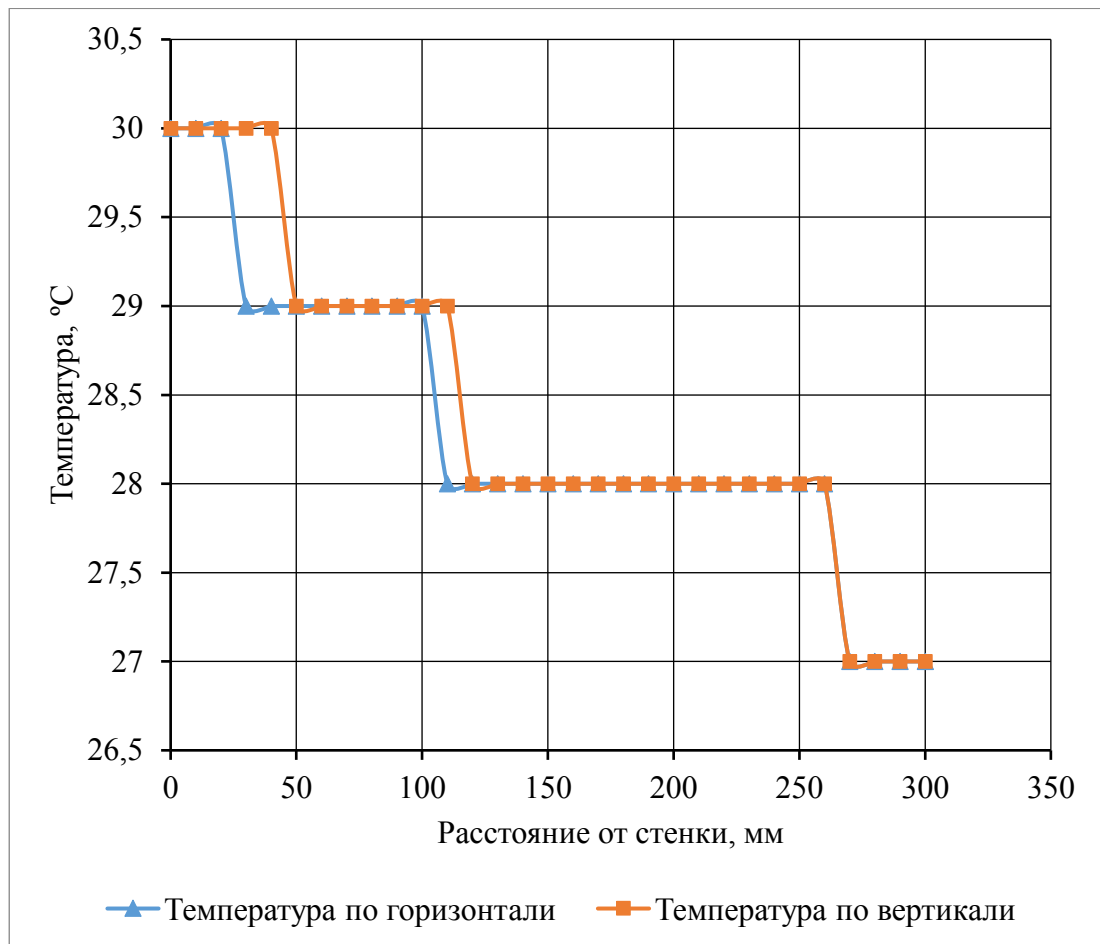


Рисунок 5.19 – Температурное поле в резервуаре по толщине топлива

Проведенный эксперимент показал наличие градиента температуры по толщине бензина в резервуаре. Происходит прогрев топлива на расстояние 20 мм и выравнивание температуры топлива и окружающей среды. Газовое пространство также прогревается до температуры окружающей среды и нагревает поверхность топлива также на глубину 20 мм. Тем самым в среднем по толщине топлива происходит равномерное изменение температуры от стенок резервуара к его центру.

Во втором эксперименте от верхней точки резервуара имелось 320 мм свободного (газового) пространства до поверхности бензина. Тем самым моделировалось состояние забора топлива из резервуара и исследовалось поле температур в резервуаре, заполненном наполовину. Результаты замера поля температур в экспериментальном резервуаре сведены в таблице 5.27 и приведены на рисунке 5.20.

Таблица 5.27 – Температурное поле в резервуаре, заполненном наполовину

Толщина слоя от стенки резервуара по горизонтали, мм	Толщина слоя от стенки резервуара по вертикали, мм	Температура по горизонтали, °С	Температура по вертикали, °С
0-80	0-380	30	30
90-190	390-490	29	29
200	500	28	29
210	510	28	28
220	520	28	28
230	530	29	29
240	540	29	29
250	550	29	30
260	560	29	30
270	570	29	30
280	580	29	30
290	590	29	30
300	600	29	30

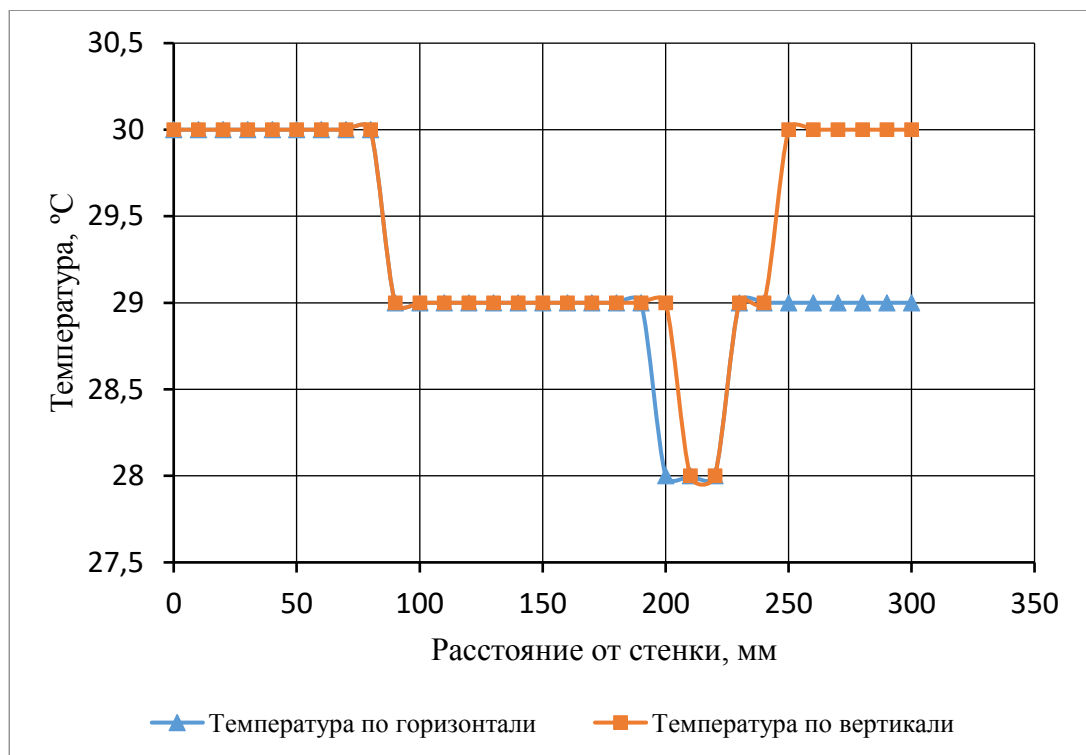


Рисунок 5.20 – Температурное поле в резервуаре по толщине топлива, заполненном наполовину

Анализ полученных данных выявил прогрев топлива на расстояние 80 мм и выравнивание температуры топлива и окружающей среды. С уменьшением

объема топлива в резервуаре наблюдается меньшая разница температур между центральной частью объема топлива и его краем.

Таким образом, в результате эксперимента установлено наличие равномерного температурного градиента по толщине бензина в экспериментальном резервуаре. Перепад температур между стенкой и центром резервуара достигает 3 °С. При равномерном теплообмене с окружающей средой, происходит прогрев топлива на глубину 20 мм от стенки резервуара при его полном заполнении и на глубину 80 мм при его половинном заполнении. Разница температур между центром и краем при этом достигает 2 °С. Таким образом частота температурных колебаний имеет линейную зависимость от наполнения резервуара.

5.7 Результаты исследования динамики изменения физико-химических показателей дизельного топлива и бензина при хранении за год

Проведены исследования изменения показателей качества дизельного топлива и бензина при годовом хранении в экспериментальной установке. Фиксировалось изменение начальных показателей качества в зависимости от срока хранения топлива в естественных условиях. Экспериментальный резервуар был заполнен полностью и на половину. Для бензина индикативными показателями качества являлись: фракционный состав, содержание воды, концентрация смол, содержание механических примесей, октановое число. Для дизельного топлива – фракционный состав, содержание воды, кинематическая вязкость, содержание механических примесей, цетановое число. В таблицах 5.28-5.29 приведены агрегированные результаты динамики изменения параметров бензина при хранении в полностью и наполовину заполненном резервуаре соответственно.

Таблица 5.28 – Результаты исследования изменения параметров качества при хранении бензина АИ-92 в полностью заполненном резервуаре

Срок хранения, мес.	Фракционный состав			Содержание воды, мас. %	Концентрация фактических смол, мг/100 см ³	Содержание механических примесей, мас. %	Октановое число
	Потери качества			Потери качества	Потери качества	Потери качества	Потери качества
	10	50	90				
0	62	73	183	0	4,5	0	92
1	62	73	183	0	4,5	0	92
2	62	73	183	0	4,5	0	92
3	64	75	185	0	4,5	0	92
4	70	81	191	0,1	5	0	92
5	77	88	198	0,1	5	0,01	92
6	76	90	198	0,1	9	0,01	92
7	76	90	198	0,1	9	0,01	92
8	76	90	198	0,1	10	0,01	92
9	79	95	200	0,1	11	0,01	92
10	79	95	200	0,1	12	0,01	92
11	82	98	200	0,2	15	0,01	91
12	82	99	200	0,4	21	0,02	91

Таблица 5.29 – Результаты исследования изменения параметров качества при хранении бензина АИ-92 в резервуаре, заполненном на половину

Срок хранения, мес.	Фракционный состав			Содержание воды, мас. %	Концентрация фактических смол, мг/100 см ³	Содержание механических примесей, мас. %	Октановое число
	Потери качества			Потери качества	Потери качества	Потери качества	Потери качества
	10	50	90				
0	62	73	183	0	4,5	0	92
1	64	75	185	0	4,5	0	92
2	70	81	191	0,1	5	0	92
3	77	88	198	0,1	5	0,01	92
4	76	90	198	0,1	9	0,01	92
5	76	90	198	0,1	9	0,01	92
6	76	90	198	0,1	10	0,01	92
7	79	95	200	0,1	11	0,01	92
8	79	95	200	0,1	12	0,01	92
9	82	98	200	0,2	15	0,01	91
10	82	99	200	0,4	21	0,02	91
11	83	99	200	0,4	21	0,02	91
12	83	99	200	0,4	23	0,02	91

Результаты исследований показали, что при хранении бензина снижаются его качественные показатели по фракционному составу, накапливается атмосферная влага и механические примеси, тем самым качество топлива не соответствует ГОСТу и становится некондиционным при полном заполнении экспериментального резервуара уже на пятый месяц хранения, а при 50% заполнении – на третий месяц хранения. Изменение параметров обусловлено контактом с внешней средой за счет дыханий резервуаров и испарением топлива, в первую очередь легких фракций.

В таблицах 5.30, 5.31 приведены агрегированные результаты динамики изменения параметров дизельного топлива при хранении в полностью и наполовину заполненном резервуаре соответственно.

Таблица 5.30 – Результаты исследования изменения параметров качества при хранении дизельного топлива в полностью заполненном резервуаре

Срок хранения, мес.	Фракционный состав		Содержание воды, мас. %	Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с (сСт)	Содержание механических примесей, мас. %	Цетановое число
	65	85				
0	245	350	0	3,4	0	47
1	245	350	0	3,4	0	47
2	245	350	0	3,4	0	47
3	245	350	0	3,4	0	47
4	245	350	0,1	5	0	47
5	245	350	0,1	5	0,01	47
6	245	350	0,1	9	0,01	47
7	245	350	0,1	9	0,01	47
8	245	350	0,1	4,5	0,01	47
9	245	350	0,1	4,5	0,01	47
10	250	360	0,1	5	0,01	47
11	250	360	0,2	5	0,01	47
12	260	360	0,3	5	0,02	47

Результаты исследований показали, что при хранении дизельного топлива снижаются его качественные показатели по фракционному составу, накапливается атмосферная влага и механические примеси, изменения начинаются при полном заполнении экспериментального резервуара уже на пятый месяц хранения, а при 50% заполнении – на четвертый месяц хранения.

Таблица 5.31 – Результаты исследования изменения параметров качества при хранении дизельного топлива в резервуаре, заполненном на половину.

Срок хранения, мес.	Фракционный состав		Содержание воды, мас. %	Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с (сСт)	Содержание механических примесей, мас. %	Цетановое число
	65	85				
0	245	350	0	3,4	0	47
1	245	350	0	3,4	0	47
2	245	350	0	3,4	0	47
3	250	360	0	3,4	0	47
4	250	360	0,1	5	0	47
5	250	360	0,1	5	0,01	47
6	250	360	0,1	9	0,01	47
7	250	365	0,1	9	0,01	47
8	260	365	0,1	4,5	0,01	47
9	260	375	0,1	4,5	0,01	47
10	260	375	0,1	5	0,01	47
11	270	375	0,2	5,9	0,01	47
12	270	375	0,3	5,9	0,02	47

Изменение параметров обусловлено контактом с внешней средой за счет дыханий резервуаров и испарением топлива, в первую очередь легких фракций.

5.8 Результаты исследования сохранения физико-химических показателей дизельного топлива и бензина вихревым модулем при его хранении за год

При работе вихревого модуля показатели качества моторного топлива сохраняются в пределах начальных значений (таблица 5.32- 5.35).

Таблица 5.32 – Результаты исследования изменения параметров качества при хранении бензина АИ-92 в полностью заполненном резервуаре

Срок хранения, мес.	Фракционный состав			Содержание воды, мас. %	Концентрация фактических смол, мг/100 см ³	Содержание механических примесей, мас. %	Октановое число
	10	50	90				
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
0	62	73	183	0	4,5	0	92
1	62	73	183	0	4,5	0	92
2	62	73	183	0	4,5	0	92
3	62	73	183	0	4,5	0	92

Продолжение таблицы 5.32

1	2	3	4	5	6	7	8
4	62	73	183	0	4,5	0	92
5	62	73	183	0	4,5	0	92
6	62	73	183	0	4,5	0	92
7	62	73	183	0	4,5	0	92
8	62	73	183	0	4,5	0	92
9	62	73	183	0	4,5	0	92
10	62	73	183	0	4,5	0	92
11	64	75	185	0	4,5	0	92
12	64	75	185	0	4,5	0	92

Таблица 5.33 – Результаты исследования изменения параметров качества при хранении бензина АИ-92 при заполненном резервуаре на половину

Срок хранения, мес.	Фракционный состав			Содержание воды, мас. %	Концентрация фактических смол, мг/100 см ³	Содержание механических примесей, мас. %	Октановое число
	10	50	90				
0	62	73	183	0	4,5	0	92
1	62	73	183	0	4,5	0	92
2	62	73	183	0	4,5	0	92
3	62	73	183	0	4,5	0	92
4	62	73	183	0	4,5	0	92
5	62	73	183	0	4,5	0	92
6	62	73	183	0	4,5	0	92
7	62	73	183	0	4,5	0	92
8	62	73	183	0	4,5	0	92
9	62	73	183	0	4,5	0	92
10	62	73	183	0	4,5	0	92
11	64	75	185	0	4,5	0	92
12	64	75	185	0	4,5	0	92

Таблица 5.34 – Результаты исследования изменения параметров качества при хранении дизельного топлива в полностью заполненном резервуаре

Срок хранения, мес.	Фракционный состав		Содержание воды, мас. %	Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с (сСт)	Содержание механических примесей, мас. %	Цетановое число
	65	85				
0	245	350	0	3,4	0	47
1	245	350	0	3,4	0	47
2	245	350	0	3,4	0	47
3	245	350	0	3,4	0	47
4	245	350	0	3,4	0	47
5	245	350	0	3,4	0	47
6	245	350	0	3,4	0	47
7	245	350	0	3,4	0	47
8	245	350	0	3,4	0	47
9	245	350	0	3,4	0	47
10	245	350	0	3,4	0	47
11	245	350	0	3,4	0	47
12	245	350	0	3,4	0	47

Таблица 5.35 – Результаты исследования изменения параметров качества при хранении дизельного топлива в резервуаре, заполненном на половину

Срок хранения, мес.	Фракционный состав		Содержание воды, мас. %	Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с (сСт)	Содержание механических примесей, мас. %	Цетановое число
	65	85				
0	245	350	0	3,4	0	47
1	245	350	0	3,4	0	47
2	245	350	0	3,4	0	47
3	245	350	0	3,4	0	47
4	245	350	0	3,4	0	47
5	245	350	0	3,4	0	47
6	245	350	0	3,4	0	47
7	245	350	0	3,4	0	47
8	245	350	0	3,4	0	47
9	245	350	0	3,4	0	47
10	245	350	0	3,4	0	47
11	245	350	0	3,4	0	47
12	245	350	0	3,4	0	47

Таким образом, возврат конденсата моторного топлива из вихревого модуля в резервуар позволяет исключить изменение показателей его качества.

5.9 Результаты исследования динамики изменения физико-химических показателей дизельного топлива и бензина при хранении от испарения

Проведены исследования изменения параметров качества дизельного топлива и бензина при хранении в экспериментальной установке в зависимости от его испарения. Фиксировалось изменение начальных показателей качества в зависимости от испарения хранимого топлива. В таблице 5.36 приведены агрегированные результаты снижения качества бензина. Подробные результаты приведены в таблице 1, 3, 4, 6 Приложения И.

Результаты исследований показали, что при испарении более 2% бензина снижаются его качественные показатели по фракционному составу, накапливается атмосферная влага и механические примеси, тем самым качество топлива превышает границы, установленные ГОСТом, и становится

некондиционным. На рисунке 5.21 приведен сдвиг кривой фракционной разгонки бензина при разных количественных потерях от испарения.

Таблица 5.36 – Результаты исследования снижения качества при хранении бензина АИ-92

Процент потерь массы топлива	Фракционный состав			Содержание воды, мас. %	Концентрация фактических смол, мг/100 см ³	Содержание механических примесей, мас. %
	10	50	90			
0	62	73	183	0	4,5	0
1	63	74	184	0	5	0
2	64	75	185	0	9	0
3	67	78	188	0,1	12	0,01
4	70	81	191	0,2	15	0,01
5	77	88	198	0,4	21	0,02

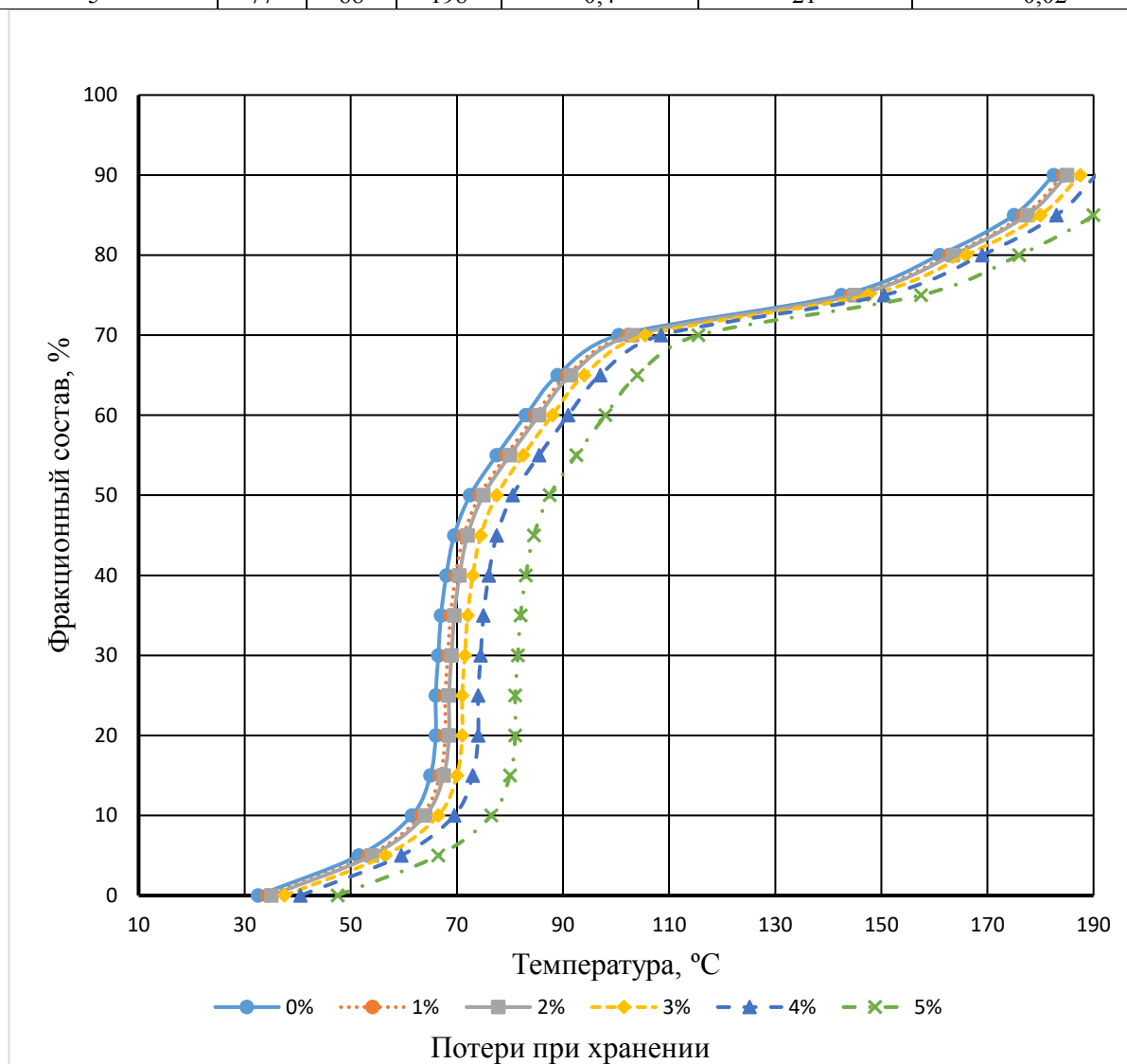


Рисунок 5.21 – Кривая разгонки бензина с учетом потерь на испарение при хранении

Анализируя полученные данные, при испарении 5% бензина октановое число снизилось на 2 единицы, температура 10% отгонки повысилась на 15 °С. Данное явление объясняется улетучиванием легких фракций.

Далее приведены эксперименты по изменению качества дизельного топлива ДТ-Л-5 при хранении в экспериментальной установке (в таблицах 5.37-5.38 и на рисунках 5.22-5.24).

Таблица 5.37 – Изменение качества (фракционный состав и цетановое число) дизельного топлива при хранении в экспериментальной установке

Испарившаяся масса, %	0						1			2			3			4			5			
	Замер температур, °С																					
% отгонки	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	
50	245	245	245	245	245	245	249	249	249	252	251	252	257	256	256	261	260	261				
55	245	245	245	245	245	245	249	249	249	252	251	252	256	256	256	259	259	259				
60	245	245	245	245	245	245	249	249	249	252	251	252	256	256	256	259	259	259				
65	250	246	248	250	246	248	252	254	253	255	254	255	259	259	259	262	262	262				
70	260	252	256	260	252	256	260	264	262	263	262	263	267	267	267	270	270	270				
75	270	263	267	270	263	267	270	274	272	274	273	273	277	277	277	281	281	281				
80	280	274	277	280	274	277	281	284	282	284	283	284	288	288	288	291	291	291				
85	350	345	348	350	345	348	351	354	352	355	354	354	358	358	358	362	362	362				
90	350	345	348	350	345	348	351	354	352	355	354	354	358	358	358	362	362	362				
95	360	360	360	360	360	360	364	364	364	367	366	367	371	371	371	374	374	374				
Цетановое число	47																					



Рисунок 5.22 – Зависимость содержания воды в дизельном топливе при его испарении

Таблица 5.38 – Снижение качества (содержание воды, кинематическая вязкость, примесей) дизельного топлива при хранении в экспериментальной установке

Испарившаяся масса, %	0			1			2			3			4			5		
	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее
Содержание воды, мас. %	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с (сСт)	3,4	3,4	3,4	5	4	4,5	5	5	5	5,6	5	5,3	5,8	5	5,4	6	5,8	5,9
Содержание механических примесей, мас. %	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02

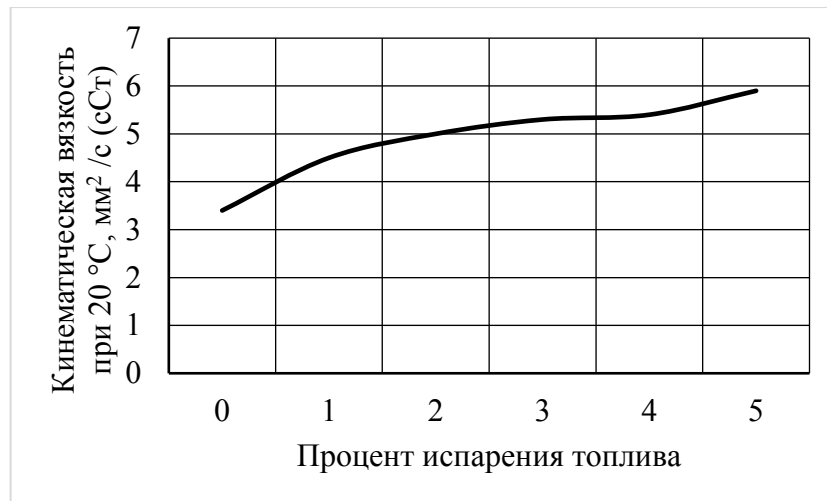


Рисунок 5.23 – Зависимость кинематической вязкости дизельного топлива при его испарении

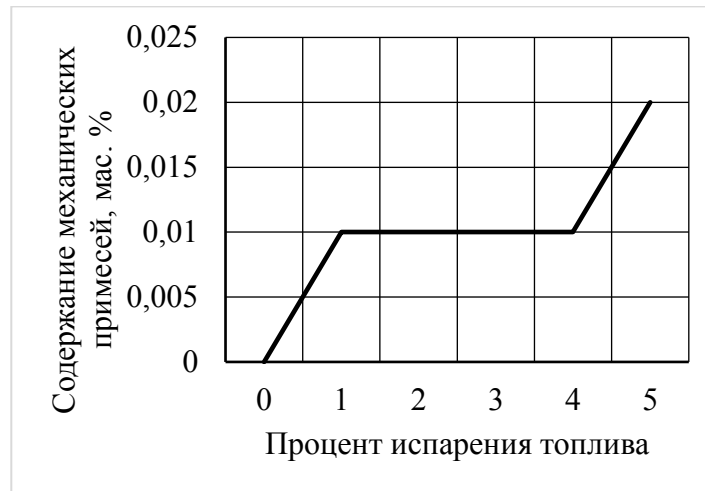


Рисунок 5.24 – Зависимость содержания механических примесей дизельного топлива при его испарении

5.10 Результаты исследования сохранения физико-химических показателей дизельного топлива и бензина вихревыми установками при его испарении

При использовании вихревого модуля качество топлива сохраняется в пределах начальных значений для бензина (таблица 5.39, рисунок 5.25) и дизельного топлива (таблица 5.40-5.41).

Таблица 5.39 – Результаты эксперимента по сохранению качества бензина при хранении в экспериментальной установке

Процент потерь топлива	Фракционный состав			Содержание воды, мас. %	Концентрация фактических смол, мг/100 см ³	Содержание механических примесей, мас. %
	10	50	90			
0	62	73	183	0	4,5	0
1	63	74	184	0	5	0
2	64	75	185	0	9	0
3	67	78	188	0,1	12	0,01
4	70	81	191	0,2	15	0,01
5	77	88	198	0,4	21	0,02

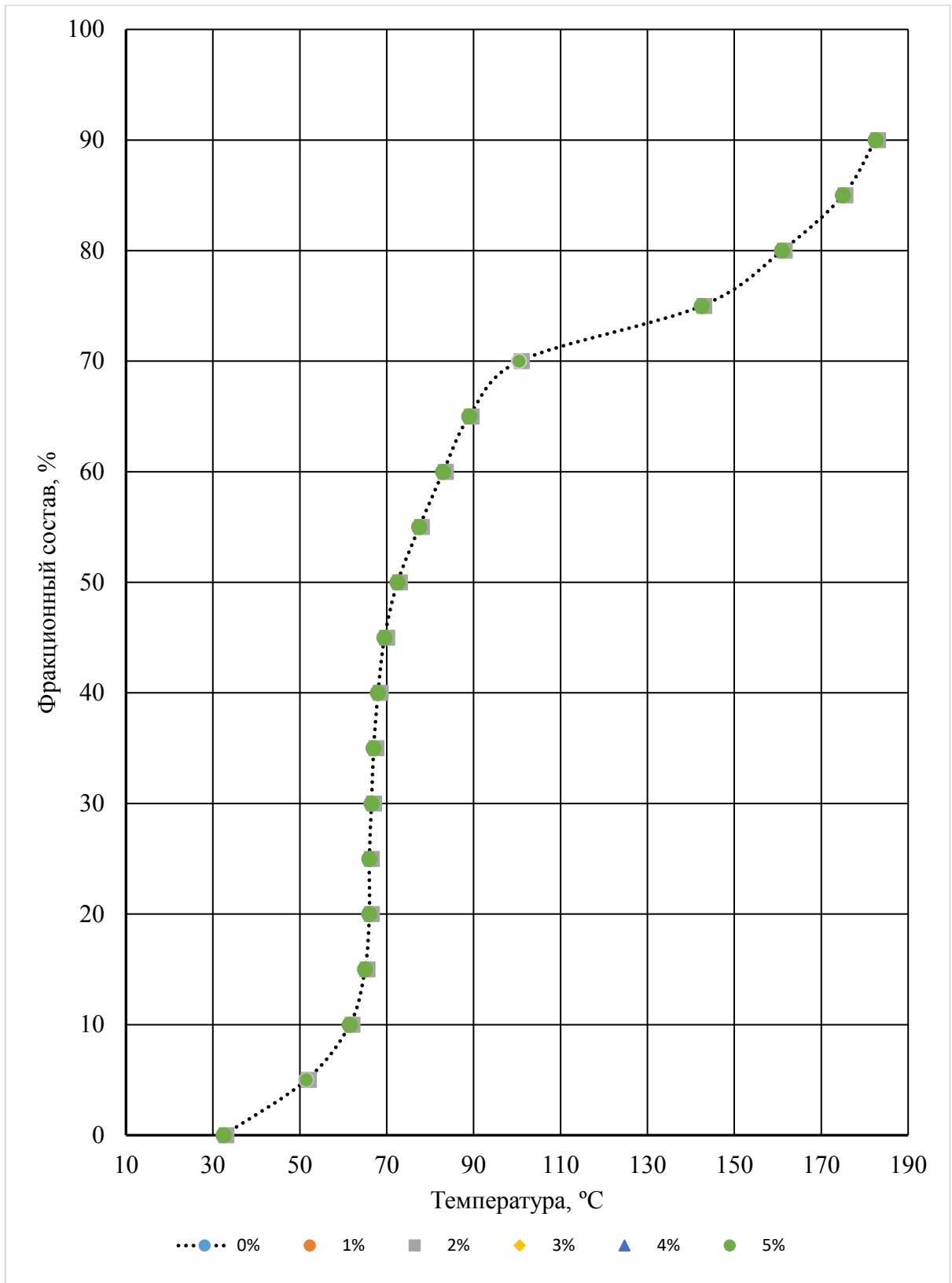


Рисунок 5.25 – Кривая разгонки бензина при хранении в экспериментальной установке

Таблица 5.40 – Результаты эксперимента по сохранению качества дизельного топлива при хранении в экспериментальной установке

Возврат 1% испарившейся массы	0			1			2			3			4			5		
	Замер температур, °С																	
% отгонки	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее
50	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
55	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
60	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
65	250	246	248	250	246	248	250	246	248	250	246	248	250	246	248	250	246	248
70	260	252	256	260	252	256	260	252	256	260	252	256	260	252	256	260	252	256
75	270	263	267	270	263	267	270	263	267	270	263	267	270	263	267	270	263	267
80	280	274	277	280	274	277	280	274	277	280	274	277	280	274	277	280	274	277
85	350	345	348	350	345	348	350	345	348	350	345	348	350	345	348	350	345	348
90	350	345	348	350	345	348	350	345	348	350	345	348	350	345	348	350	345	348
95	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
Цетановое число	47																	

Таблица 5.41 – Результаты эксперимента по сохранению качества (содержание воды, кинематическая вязкость, примесей) дизельного топлива при хранении в экспериментальной установке

Возврат 1% испарившегося объема	0			1			2			3			4			5		
	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее
Содержание воды, мас. %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с (сСт)	3,4	3,4	3,4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Содержание механических примесей, мас. %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01

Таким образом, применение вихревого модуля позволяет предотвратить потери моторного топлива при хранении.

5.11 Экономическая эффективность внедрения в производство технических средств сохранения качества топлива

Экономическая оценка использования экспериментального вихревого модуля проводилась с целью выявления эффективности и целесообразности его применения в производстве. Экономическая эффективность определена на основе «Методических рекомендаций по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция), утвержденных Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике № ВК 447 от 21.06.1999 г.» и рассчитана применительно к Добринскому муниципальному району (Липецкая область) с годовым потреблением нефтяного дизельного топлива около 25 тысяч тонн и около 4 тысяч тонн бензина в 112 КФХ.

В основу расчета экономической эффективности положены результаты экспериментальных исследований.

В экономическом расчете определяются эксплуатационные затраты по каждому предлагаемому агрегату вихревого модуля при выполнении определенной технологической операции по сохранению моторного топлива. Прямые эксплуатационные затраты на единицу наработки вихревого модуля состоят из денежных средств, расходуемых на: оплату труда рабочих и специалистов, топливо-смазочные материалы, ремонт и техническое обслуживание и амортизацию вихревого модуля и вспомогательных устройств.

Изготовление вихревого модуля требует дополнительных затрат $Z_{дз}$, которые формируются из совокупности денежных средств на необходимые материалы S_m , запасные части и готовые детали $S_{зч}$, заработной платы $S_{зп}$ и накладных расходов S_n :

$$Z_{дз} = S_{м} + S_{зч} + S_{зп} + S_{н}, \text{ руб.} \quad (5.1)$$

Совокупность затрат труда $S_{т}$ на эксплуатацию вихревого модуля на единицу наработки определим по формуле:

$$S_{т} = S_{те} + S_{тр} + S_{ту} + S_{тп}, \quad (5.2)$$

где $S_{те}$ выполнение основного производственного процесса по снижению потерь моторного топлива, чел.·час:

$$S_{те} = H/W_{н}, \quad (5.3)$$

где H – количество специалистов и служащих, чел.; $W_{н}$ – производительность специалистов и служащих или технического устройства, ед./час.

Затраты труда на устранение технических отказов $S_{тр}$, чел.·час и на планово-техническое обслуживание $S_{ту}$, чел.·час рассчитаем по формуле:

$$S_{тр}, S_{ту} = \frac{\sum H_{ji} \cdot \tau_{ji}}{S \cdot W}, \quad (5.4)$$

где H_{ji} – количество i -го специалиста или служащего, который участвует в устранении j -го отказа оборудования, чел.; τ_{ji} – время участия i -го специалиста или служащего в устранении j -го отказа оборудования, час.; S – годовая производительность оборудования; W – производительность оборудования за 1 час эксплуатационного времени, $S_{тп}$ – прочие затраты, связанные с монтажом, настройкой, переоборудованием и др.

Общие затраты $S_{вм}$ на эксплуатацию вихревого модуля составят :

$$S_{вм} = S_{т} \cdot W_{г}, \quad (5.5)$$

где $W_{г}$ – время работы вихревого модуля за год, час.

Прямые эксплуатационные расходы P на эксплуатацию вихревого модуля рассчитываются по формуле:

$$P = H_{зп} + P_{н} + K_{р} + T_{о} + Э_{л} + R \quad (5.6)$$

где $H_{зп}$ – заработная плата специалистов и служащих, руб.; $P_{н}$ – расходы на реновацию, руб.; $K_{р}$ – расходы на капитальный ремонт, руб.; $T_{о}$ – расходы на текущий ремонт и техническое обслуживание, руб.; $Э_{л}$ – расходы на электроэнергию, руб.; R – прочие расходы, руб.

При определении расходов на оплату труда специалистов и служащих учитывали количество и часовую ставку рабочих. Затраты на техническое обслуживание и ремонт техники определяли исходя из цены агрегатов вихревого модуля без НДС, принятого коэффициента отчислений в процентах от балансовой стоимости с учетом производительности модуля за 1 час его эксплуатации и фактического отработанного времени за год. Амортизация по каждому агрегату вихревого модуля складывалась с учетом принятого коэффициента отчислений в процентах от балансовой стоимости с учетом производительности модуля за 1 час его эксплуатации и фактического отработанного времени за год.

Примем потери топлива от испарения на уровне официальной статистики в 2%. Таким образом, потери для муниципального района за год составят 0,5 тыс. тонн дизельного топлива и 0,08 тыс. тонн бензина.

Стоимость закупки тонны дизельного топлива в 2019 году составляла 49 000 рублей за тонну, а бензина 46 000 рублей за тонну. Таким образом рассчитаем экономические потери от испарений по формуле:

$$L = \sum_{i=1}^n P_i \cdot m_i, \quad (5.7)$$

где L – экономические потери, руб., i – порядковый номер вида топлива, P – цена топлива за тонну, руб./т, m – масса потерянного топлива, кг.

$$L = 3\,680\,000 + 24\,500\,000 = 28,18 \text{ млн.руб.}$$

Для расчета экономической эффективности Эвм использования вихревого модуля рассчитаем разницу расходов на его установку и эксплуатацию и экономических потерь от испарений топлива.

$$\text{Эвм} = L - (Z_{дз} + S_{вм} + P). \quad (5.8)$$

Приведем смету по обеспечению оборудованием по предотвращению потерь моторного топлива в исследуемых КФХ Добринского муниципального района. В таблице 5.42 приведена стоимость технических средств, в таблице 5.43 стоимость трудовых ресурсов по первичному монтажу, и дальнейшие затраты на обслуживание.

Таблица 5.42 – Смета на технические устройства снижения потерь моторного топлива

Наименование оборудования	Количество	Цена, руб.
Компрессор Denzel DKV 2200/50 X-PRO	112	2037280
Блок управления «умный нефтесклад»	112	1064000
Вихревой модуль	224	560000
Шланги, арматура крепления, патрубки	448	112000
Манометры	224	56000
Итого	1232	4 277 280

Таблица 5.43 – Смета на установку и дальнейшее обслуживание технических устройств снижения потерь моторного топлива

Наименование работ	Количество	Цена, руб.
Первичный монтаж, ч	896	560000
Ежемесячная калибровка вихревого модуля (необязательно), ч	1344	672000
Электроэнергия, кВт·ч	23654,4	62446,72
Итого		1 294 496

По полученным из таблицы данным:

$$\text{Эвм} = 28\,180\,000 - (4\,277\,280 + 1\,294\,496) = 22,60 \text{ млн. руб.}$$

Таким образом, внедрение разработанных технологий и технических средств позволит достичь экономического эффекта до 22,60 млн. руб. в первый год их эксплуатации на примере выбранного муниципального района Липецкой области.

С учетом официальной статистики по потерям бензина и дизельного топлива, народно-хозяйственный экономический эффект от применения вихревого модуля позволит сохранить до 80 000 т бензина и 320 000 т дизельного топлива в год.

Акты внедрения в производство приведены в приложении М.

5.12 Рекомендации производству, перспективы дальнейшей разработки темы

Разработана экономически эффективная и экологически чистая система сохранения качества топлива при его хранении в стальных наземных горизонтальных резервуарах с использованием вихревых хладогенераторов. Созданные технические устройства и программные средства рекомендуется использовать для сохранения качества топлива при его хранении и приемке. Для повышения эффективности необходимо проведение повсеместной цифровой трансформации сельскохозяйственных нефтескладов в «умный» нефтесклад.

Основные тенденции и перспективы дальнейшей разработки темы: сохранение качества топлива от загрязнения механическими примесями, снижение доли подтоварной воды, предотвращение коррозии.

5.13 Выводы

1. Установлено, что наибольшие запасы топлива на нефтескладе образуются в летние месяцы. Из-за высокой температуры в это время года потери от испарения будут более интенсивными. Ежедневное снижение объема топлива в резервуаре интенсифицирует его испарение и окисление.

2. Выявлено, что применение существующих норм естественной убыли и методик расчета выбросов загрязняющих веществ для наземных горизонтальных резервуаров дают отклонения до 40% от реальных потерь топлива.

3. Экспериментально подтверждено, что при неизменном давлении, генерируемого вихревой трубой холодного потока за отверстием диафрагмы, на эффект охлаждения существенным образом влияет значение подаваемого на вход вихревой трубы давления воздуха. Таким образом, увеличение

входного давления воздуха приводит к увеличению эффекта охлаждения вихревой трубой. Получена отрицательная температура холодного потока при ступенчатом блоке соединения вихревых труб, равная минус 46 °С.

4. На базе вихревых труб разработан экологически безопасный и энергоэффективный способ хранения моторного топлива с применением вихревого модуля.

5. Проведено испытание системы конденсации углеводородов. Полученная степень конденсации бензина в вихревом аппарате достигает 97%.

6. Установлено снижение качества топлива при хранении в зависимости от времени хранения. Так, качество бензина выходит за границы, установленные ГОСТом и становится некондиционным при полном заполнении экспериментального резервуара уже на пятый месяц хранения, а при 50% заполнении – на третий месяц хранения.

7. Выявлено снижение качества топлива при хранении в зависимости от испарения. Так при испарении 5% бензина октановое число снизилось на 2 единицы, температура 10% отгонки повысилась на 15 °С.

8. Установлено, что применение вихревого модуля позволяет предотвратить потери моторного топлива при хранении, сохраняя качественные и количественные показатели.

6 РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МОТОРНОГО ТОПЛИВА ПРИ ЕГО ХРАНЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

6.1 Описание среды и процессов при хранении топлива для постановки задачи моделирования

Современные требования к учету и сохранению параметров качества моторного топлива должны быть обеспечены эффективной и точной методологией вычисления количественных и качественных потерь топлива при его хранении.

Сформулируем ключевые позиции для описания среды в которой происходит хранение топлива и процессов, протекающих при его хранении.

Рассматривая сельскохозяйственные нефтесклады было отмечено, что местом хранения являются наземные горизонтальные стальные резервуары во внешней среде. Это означает, что поверхность испарения топлива является переменной величиной и зависит от степени заполнения резервуара. Окружающая среда определяется набором динамических показателей, таких как температура, давление, влажность, поток солнечной радиации и т.д. Резервуар связан с окружающей средой через дыхательный клапан.

Примем, что после приема топлива на хранение температура окружающей среды, резервуара и топлива одинаковы. До определенного времени хранение топлива находится в статичном состоянии, а парогазовая смесь над поверхностью топлива находится в равновесии типа газ-жидкость.

Происходит взаимодействие системы с окружающей средой. Днем – это воздействие солнечной энергии на резервуар.

В резервуаре начинаются процессы испарения/конденсации топлива в парогазовую смесь (ПГС) над его поверхностью. При закрытом дыхательном клапане процессы в системе газ-жидкость описываются по законам термодиффузии.

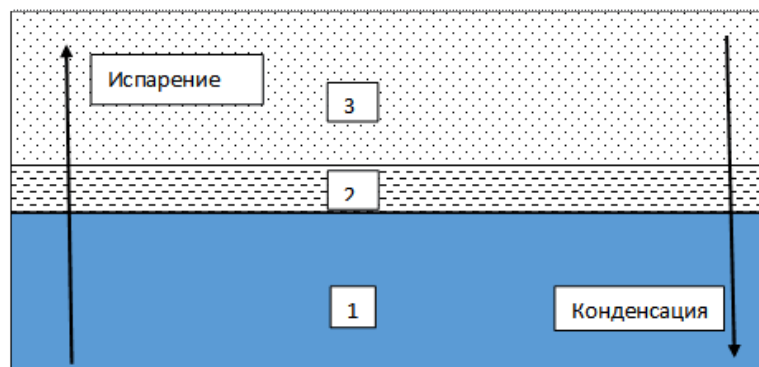
Теплообмен с окружающей средой приводит через некоторое время к повышению парциального давления ПГС и открытию дыхательного клапана резервуара. Состояние системы хранения топлива становится динамическим. При снижении давления ПГС происходит попадание в резервуар атмосферного воздуха с парами влаги и микрочастицами, а это снижает его качество. При повышении давления ПГС происходит выброс паров топлива в окружающую среду, что приводит к количественным и качественным потерям топлива и к загрязнению окружающей среды.

Вследствие того, что топливо является смесью углеводородов, то применение термодинамических законов для описания фазовых переходов идеальной жидкости и газа не применимо.

Таким образом, в процессе хранения топлива следует выделять стадии испарения (рисунок 6.1.):

1. Массоперенос в жидкой фазе.
2. Испарение в поверхностный слой границы раздела фаз.
3. Массоперенос в газовом пространстве резервуара (газовой фазе).

Каждая стадия описывается в соответствии с теорией гидродинамики.



1 – топливо, 2- граница раздела фаз газ-жидкость, 3 – газовое пространство.

Рисунок 6.1 – Стадии испарения топлива в резервуаре

Моделирование процессов в гидродинамических системах осуществлено в ряде пакетов прикладных программ (FlowVision и др.). Программы позволяют смоделировать процессы, протекающие в объекте любых геометрических форм и размеров с заданными начальными

условиями среды. Вычисления производятся по известным формулам Навье-Стокса, однако весь процесс расчета занимает определенное время, много большее чем скорость изменения характеристик окружающей среды. Таким образом, применение данных программ невозможно для решения практических задач управления динамической системой и сохранения качества топлива. Разработка модели системы с возможностью изменения внешних параметров в онлайн режиме является актуальной задачей.

Требованиями для модели системы хранения топлива будут:

1. Многокритериальность;
2. Учет нелинейных зависимостей;
3. Динамическое изменение критериев в режиме реального времени;
4. Скорость и точность расчета.

6.2 Выбор критериев для построения нейросетевой модели системы

Для моделирования процесса хранения топлива определили входные и выходные параметры.

Входными параметрами являются переменные окружающей среды и параметры резервуара для хранения. Выходными параметрами будут являться качественные и количественные показатели хранимого топлива.

Существующие методики и критериальные уравнения способны ответить только на вопрос количественных потерь топлива при хранении в ограниченных начальных условиях хранения. Разработанный метод лишен таких недостатков, так как включает в себя все переменные среды и характеристики объекта.

Критерии качества для бензина определим по ГОСТ 32513-2013 Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия.

Подвержены изменениям при хранении бензина под воздействием окружающей среды: фракционный состав, содержание воды, концентрация смол, содержание механических примесей, октановое число.

Критерии качества для дизтоплива определим по ГОСТ 32511-2013 Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. Подвержены изменениям при хранении дизельного топлива под воздействием окружающей среды: фракционный состав, содержание воды, кинематическая вязкость, содержание механических примесей, цетановое число.

Критерии количественных потерь при хранении: масса топлива, объем. Критерии окружающей среды при хранении: температура, давление, влажность воздуха, скорость ветра.

Критерии условий хранения: тип резервуара, объем резервуара, объем и вид топлива в резервуаре.

Схематичное изображение модели в совокупности с критериями приведено на рисунке 6.2.

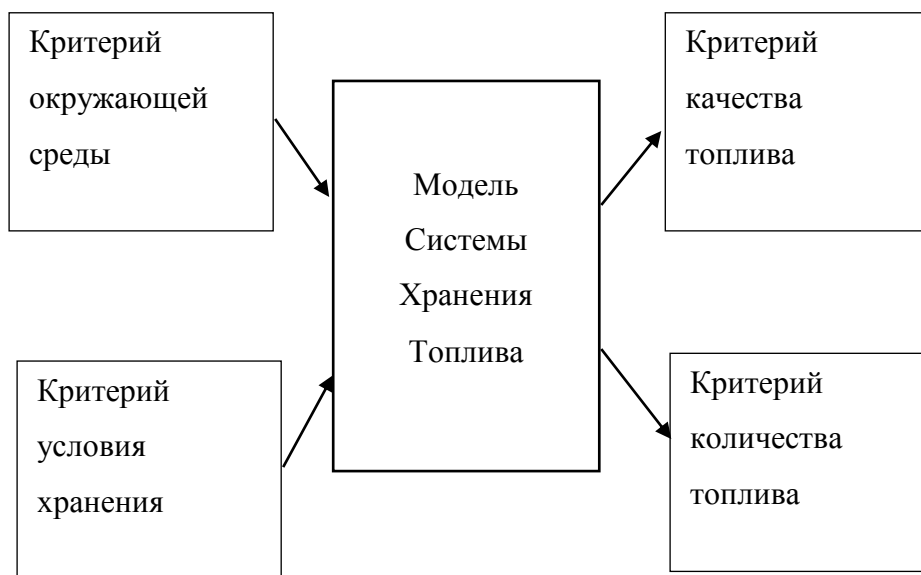


Рисунок 6.2 – Схема модели системы хранения топлива

Методом многофакторного анализа определено влияние каждого фактора на модель системы. Схематическое трехуровневое изображение приведено на рисунке 6.3. Первый уровень оказывает значительное влияние на модель – далее по убыванию.

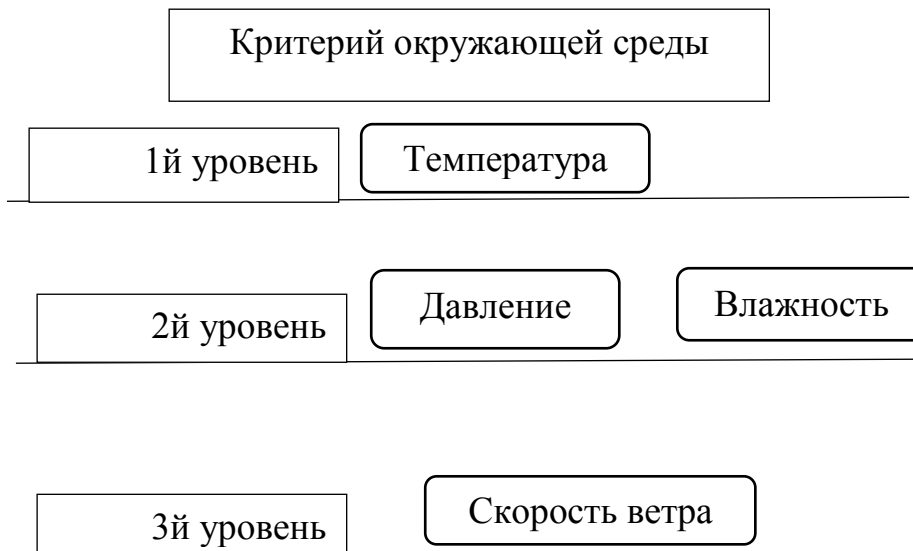


Рисунок 6.3 – Схематическое трехуровневое изображение влияния факторов на модель системы хранения топлива

6.3 Прогнозирование потерь бензина из стальных горизонтальных резервуаров емкостью менее 100 кубических метра с различным уровнем наполнения

Установлено, что параметры качества моторного топлива снижаются от величины его испарения, поэтому необходима модель, способная рассчитать количество испарившегося топлива из резервуара с различным уровнем заполнения. Для моделирования зависимости испарения моторного топлива из резервуара от объема его заполнения будем применять нейронные сети, так как они способны учитывать отличительные особенности геометрии резервуара и переменные окружающей среды.

Применение многослойной персептроной нейронной сети показало значимый результат в решении практических задач по прогнозированию. Поэтому применение подходов в построении нейронной сети для решения предложенной задачи является базисным. В интерпретации зависимости испарения топлива при хранении от параметров окружающей среды,

размеров резервуара и количества бензина в нем, запишем базисное уравнение нейронной сети в виде:

$$G = F(\bar{w}_R R + \bar{w}_m m + \sum \bar{w}_\Psi \cdot \Psi), \quad (6.1)$$

где Ψ – вектор переменных окружающей среды; R – вектор параметров резервуара; m – масса топлива в резервуаре; $\bar{w}_R, \bar{w}_m, \bar{w}_\Psi$ – векторы весовых коэффициентов резервуара, массы топлива и среды соответственно; F – функция активации нейрона.

В работе выбран гиперболический тангенс как функция активации нейронов $y = a \cdot th(bx)$, где a и b – константы ($a = 1,7159$ и $b = 2 / 3$). Данная функция активации способна описать нелинейные процессы.

С учетом функции активации нейрона уравнение (6.1) нейронной сети, описывающее испарение бензина при хранении в резервуаре запишется в виде:

$$G = 1,7159 \cdot th \left(\frac{2}{3} \cdot \left(w_0^{\mu,j} + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot R + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot m + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot \Psi \right) \right) \quad (6.2)$$

Точность данного уравнения зависит от подбора весовых коэффициентов нейронов w , количества слоев M и нейронов в сети N .

После обучения построенной нейронной сети сведем полученные результаты ее расчета испарения в таблицу 6.1 и сравним с экспериментальными результатами.

Для наглядности, на рисунках 6.4-6.21 построим графики сравнения расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара.

Таблица 6.1 – Результаты расчета нейронной сетью годовых выбросов бензина из горизонтальных резервуаров различной емкости и количеством бензина в сравнении с фактическими данными

Вместимость резервуара, V, м ³	Масса топлива при полном заполнении, кг	Степень наполнения резервуара, %	Потери автомобильного бензина при хранении за сезон по климатическим зонам страны, кг								
			Северная			Средняя			Южная		
			Расчет	Факт	Точность прогноза, %	Расчет	Факт	Точность прогноза, %	Расчет	Факт	Точность прогноза, %
3	2250	90-95	39,69	40,50	98	54,10	55,20	98	84,00	86,60	97
		70-85	41,28	45,36	91	57,50	61,82	93	89,23	96,99	92
		50-65	54,36	57,83	94	74,88	78,83	95	119,95	123,66	97
		20-40	70,01	77,79	90	103,90	106,02	98	158,01	166,33	95
5	3750	90-95	50,40	52,50	96	68,64	71,50	96	108,74	112,10	97
		70-85	52,92	58,80	90	72,87	80,08	91	121,79	125,55	97
		50-65	71,97	74,97	96	100,06	102,10	98	155,28	160,08	97
		20-40	92,77	100,83	92	134,58	137,33	98	208,85	215,31	97
10	7500	90-95	86,63	88,40	98	116,79	120,40	97	183,14	188,80	97
		70-85	91,09	99,01	92	125,41	134,85	93	194,54	211,46	92
		50-65	118,66	126,24	94	168,49	171,93	98	256,13	269,61	95
		20-40	162,99	169,79	96	226,62	231,25	98	340,86	362,62	94
25	18750	90-95	153,71	161,80	95	215,99	220,40	98	331,68	345,50	96
		70-85	164,91	181,22	91	232,04	246,85	94	352,13	386,96	91
		50-65	221,81	231,05	96	308,44	314,73	98	473,64	493,37	96
		20-40	279,69	310,76	90	402,15	423,31	95	603,87	663,59	91
50	37500	90-95	310,66	323,60	96	432,08	440,90	98	656,55	691,10	95
		70-85	351,56	362,43	97	483,93	493,81	98	712,11	774,03	92
		50-65	452,86	462,10	98	566,64	629,61	90	898,07	986,89	91
		20-40	565,59	621,53	91	812,95	846,82	96	1221,18	1327,37	92
75	56250	90-95	399,55	407,70	98	533,38	555,60	96	827,26	870,80	95
		70-85	429,23	456,62	94	578,71	622,27	93	887,52	975,30	91
		50-65	564,73	582,20	97	721,99	793,40	91	1193,76	1243,50	96
		20-40	743,90	783,05	95	1045,78	1067,12	98	1505,26	1672,51	90

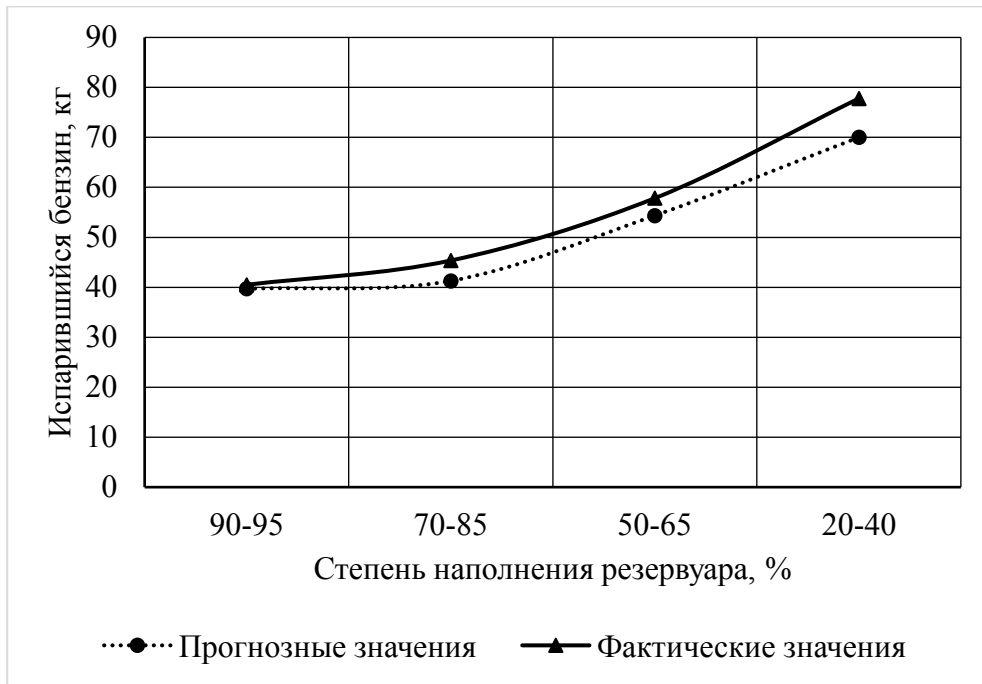


Рисунок 6.4 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом три кубометра в северной климатической зоне

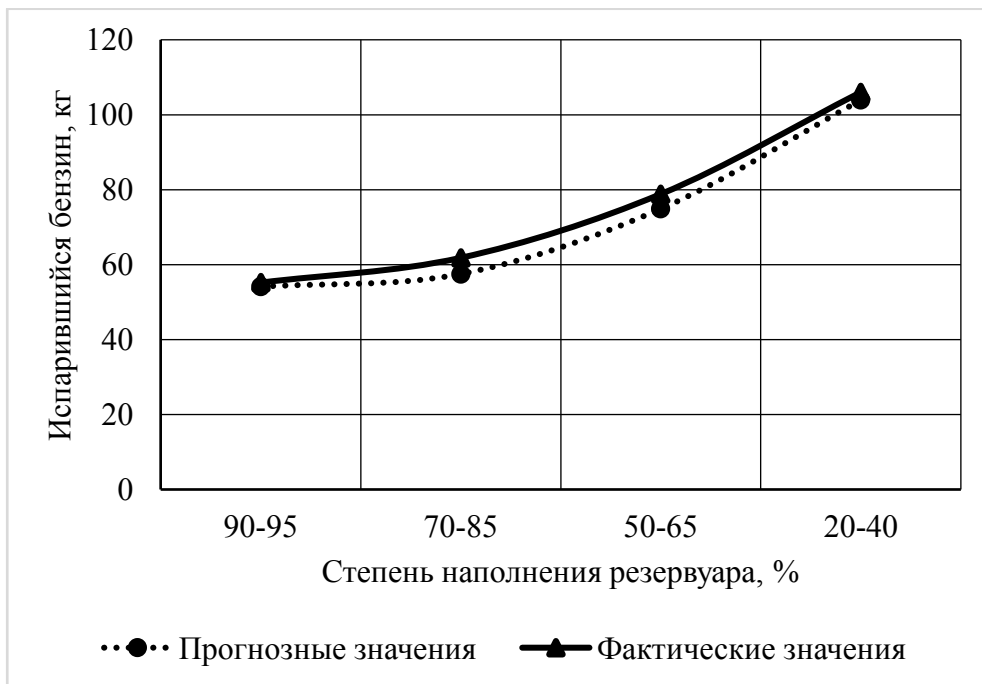


Рисунок 6.5 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом три кубометра в средней климатической зоне

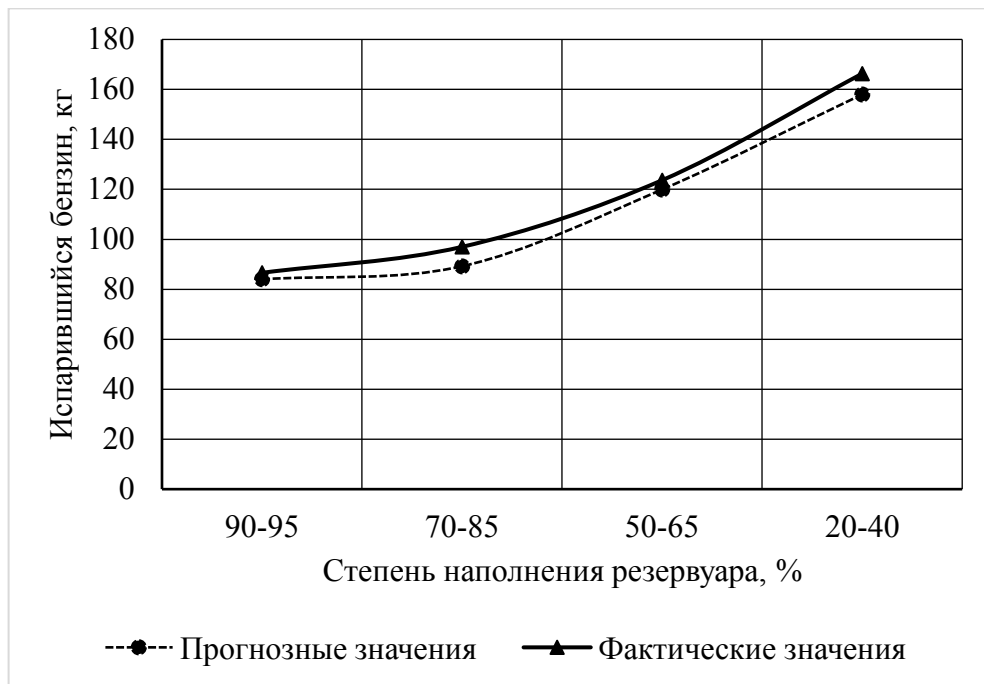


Рисунок 6.6 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом три кубометра в южной климатической зоне

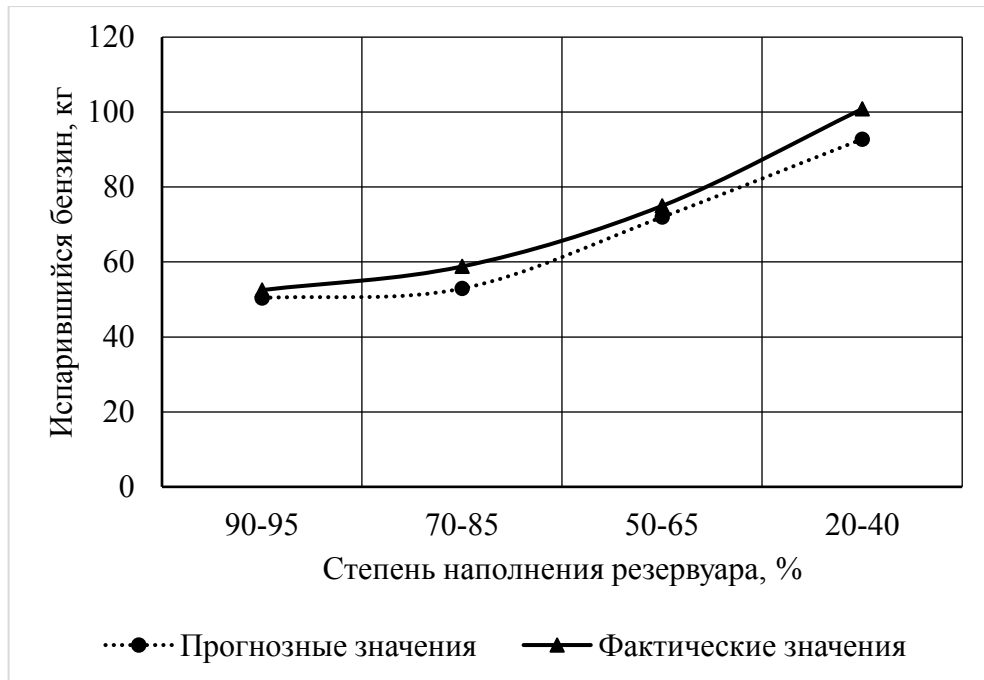


Рисунок 6.7 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом пять кубометров в северной климатической зоне

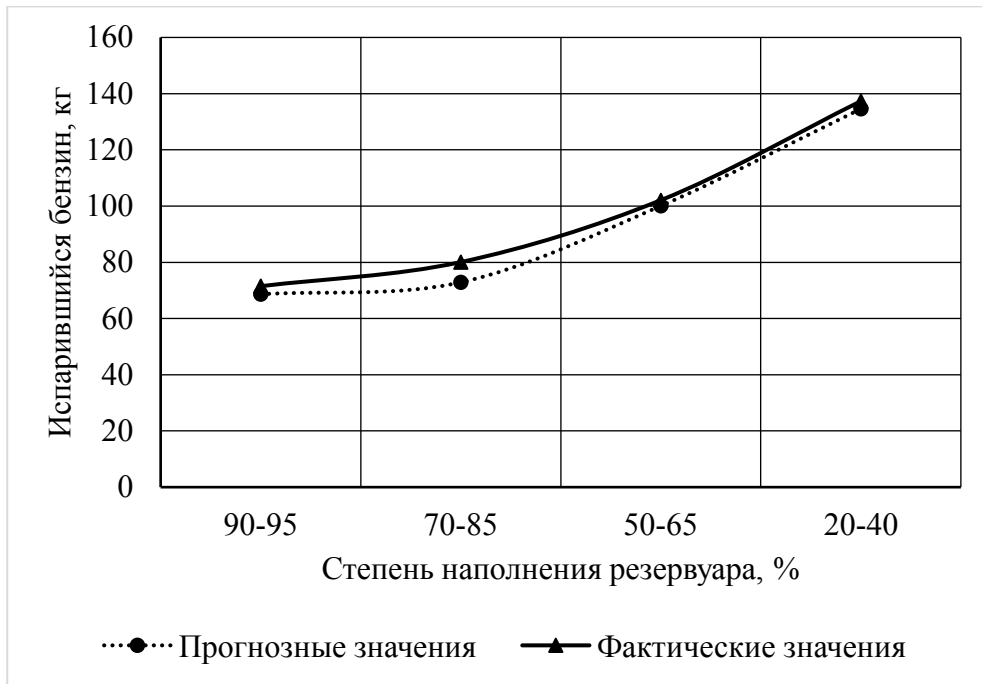


Рисунок 6.8 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом пять кубометров в средней климатической зоне

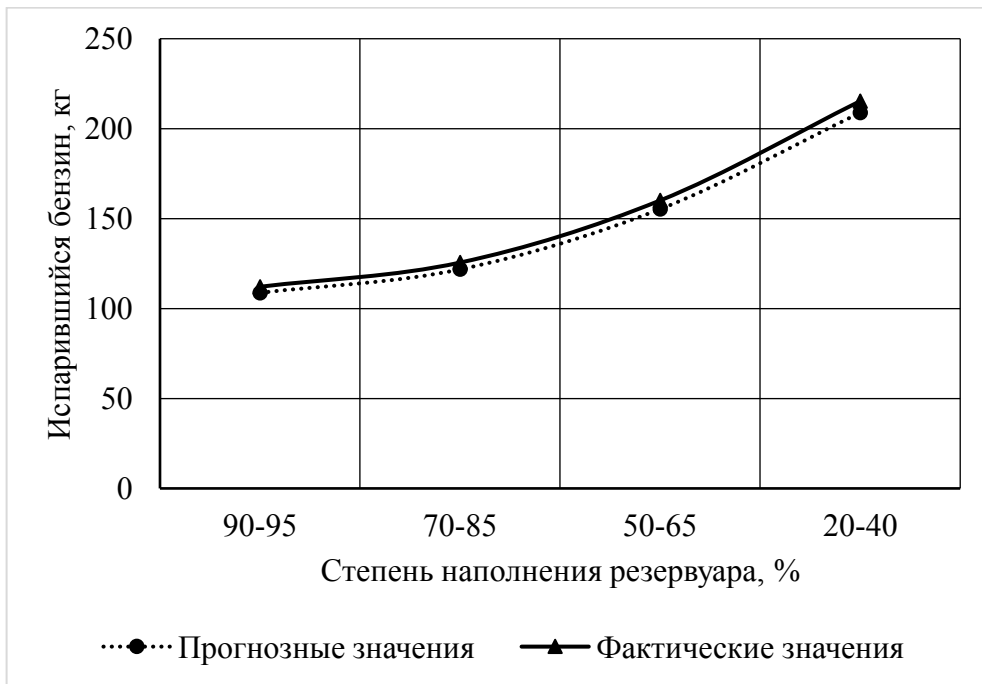


Рисунок 6.9 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом пять кубометров в южной климатической зоне

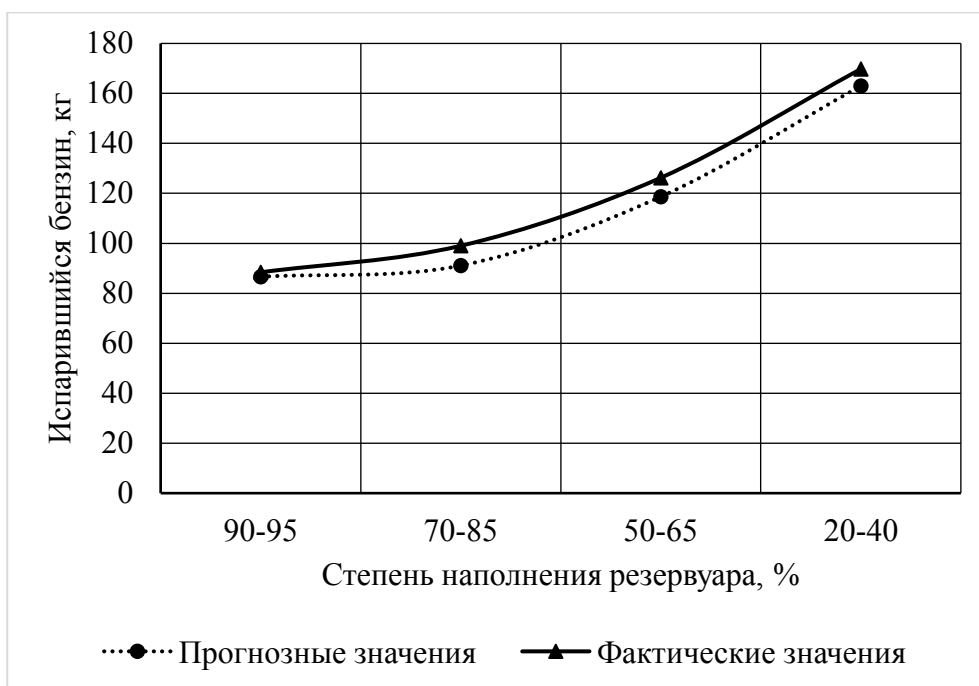


Рисунок 6.10 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом десять кубометров в северной климатической зоне

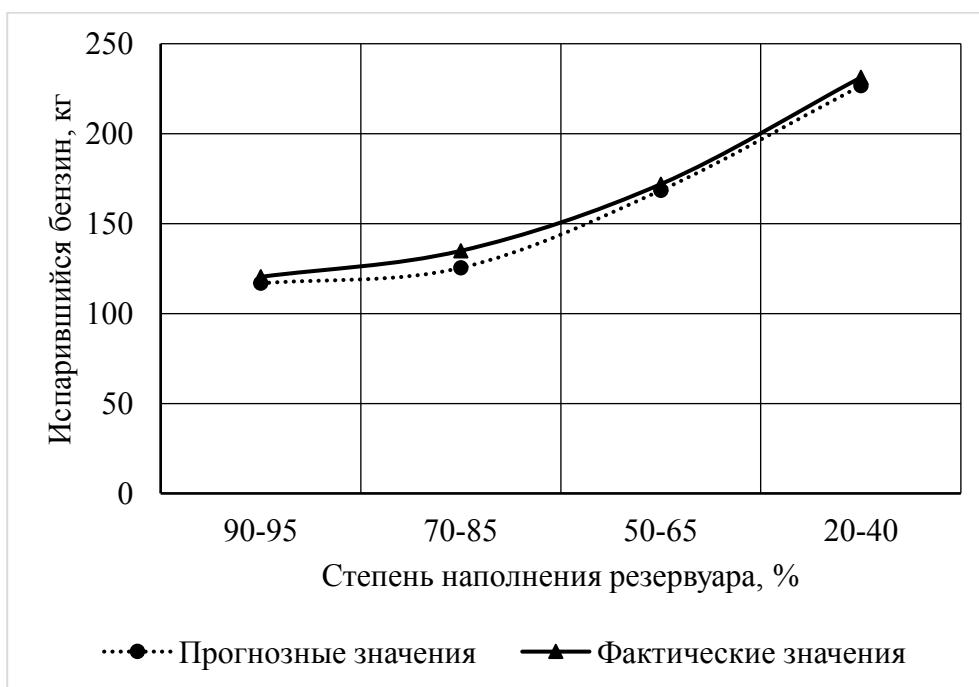


Рисунок 6.11 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом десять кубометров в средней климатической зоне

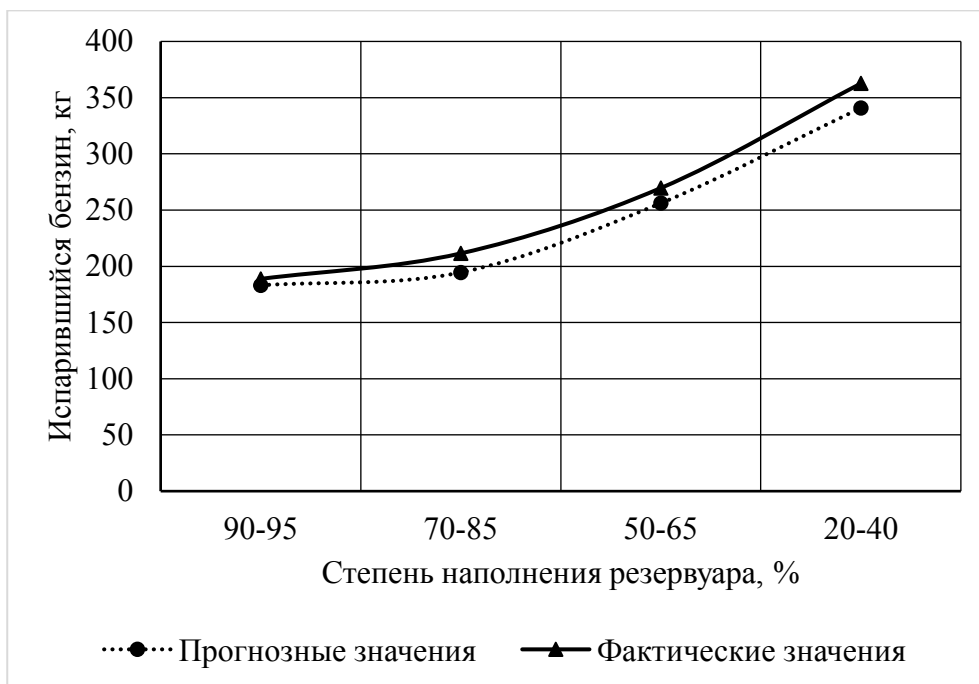


Рисунок 6.12 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом десять кубометров в южной климатической зоне

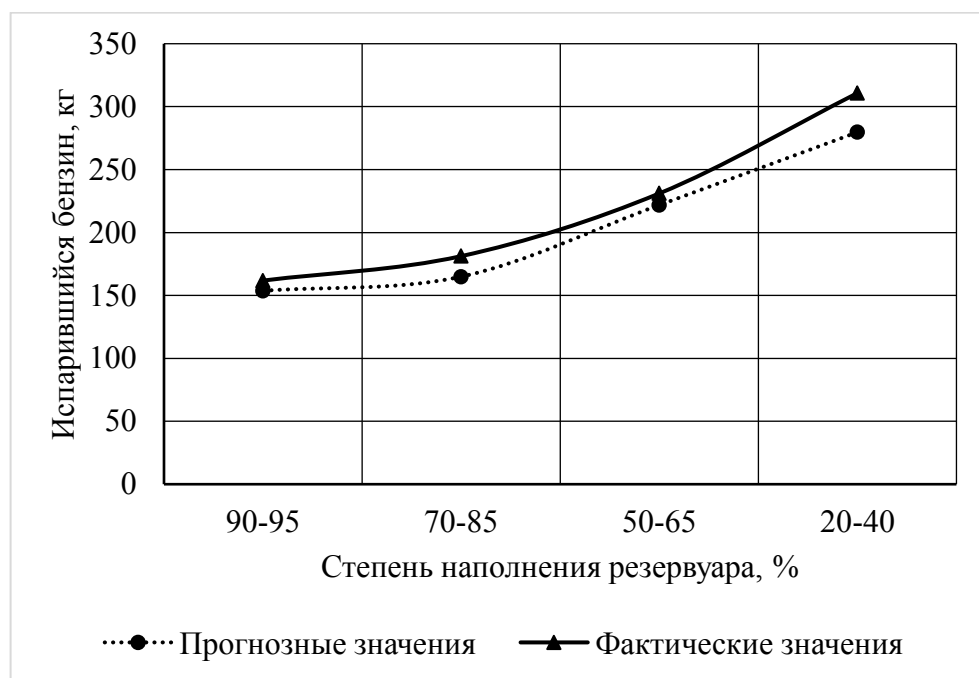


Рисунок 6.13 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом двадцать пять кубометров в северной климатической зоне

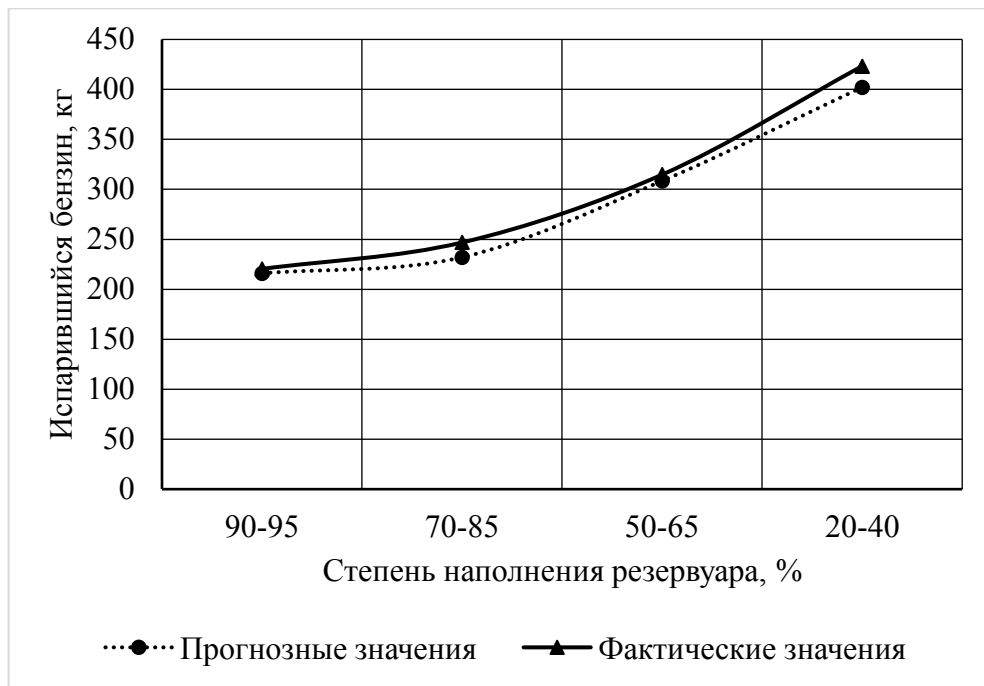


Рисунок 6.14 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом двадцать пять кубометров в средней климатической зоне

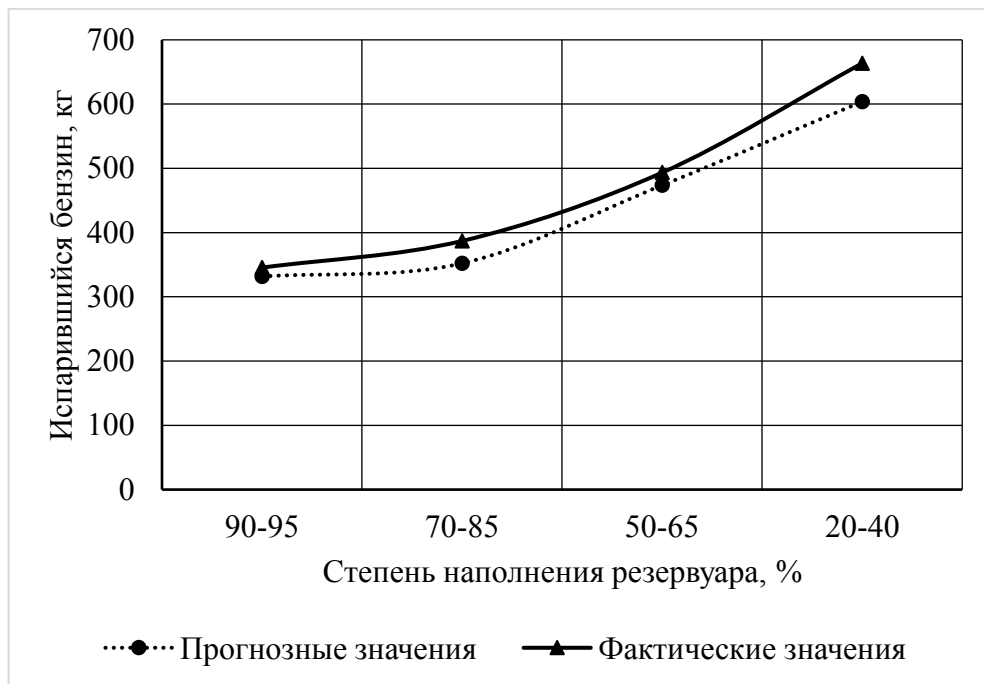


Рисунок 6.15 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом двадцать пять кубометров в южной климатической зоне

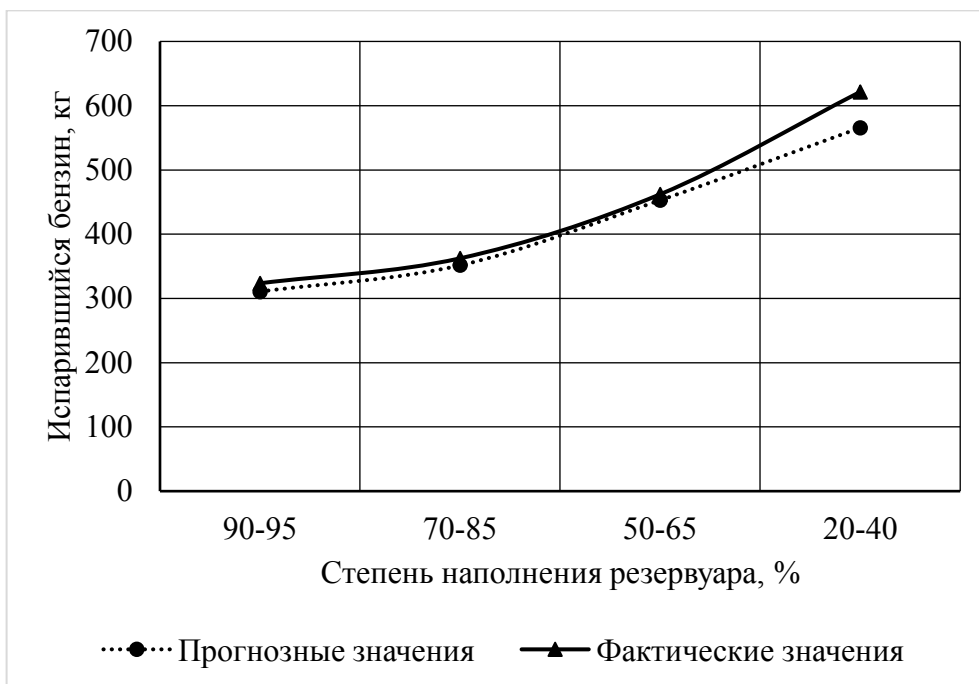


Рисунок 6.16 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом пятьдесят кубометров в северной климатической зоне

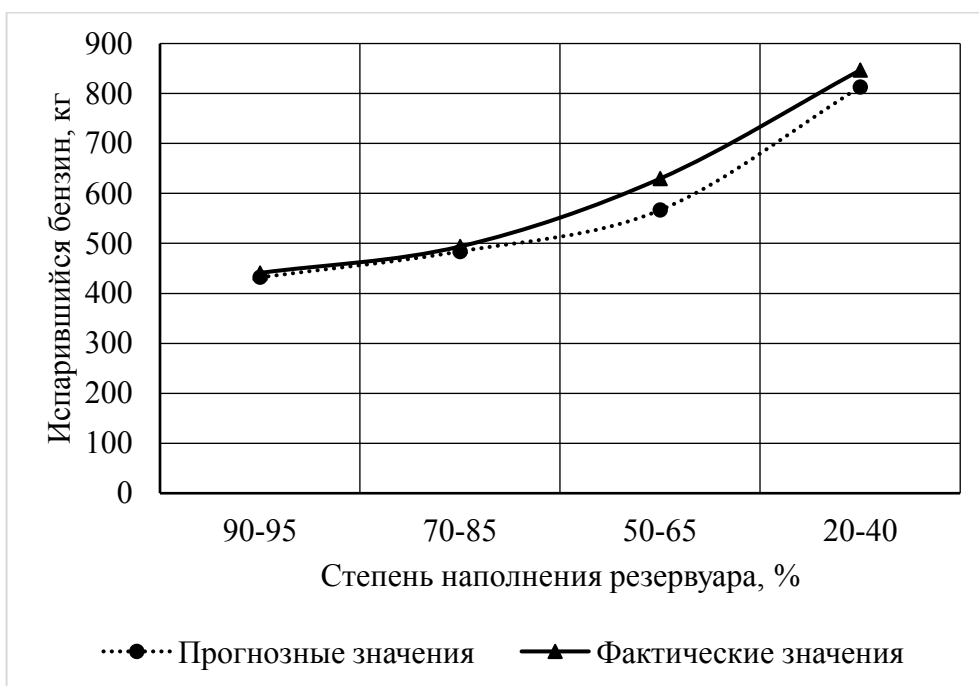


Рисунок 6.17 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом пятьдесят кубометров в средней климатической зоне

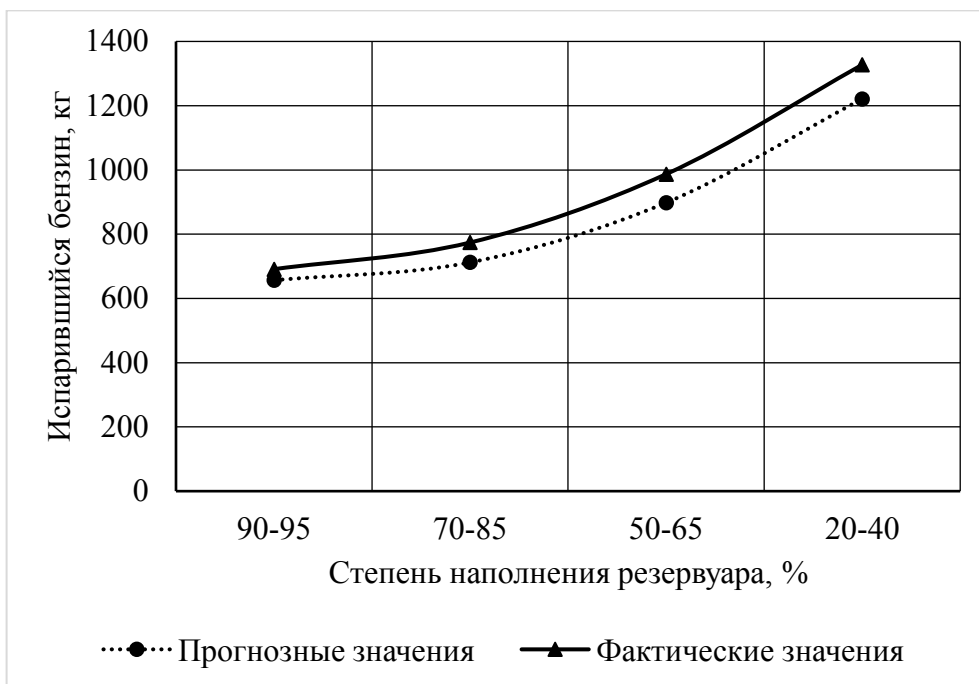


Рисунок 6.18 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом пятьдесят кубометров в южной климатической зоне

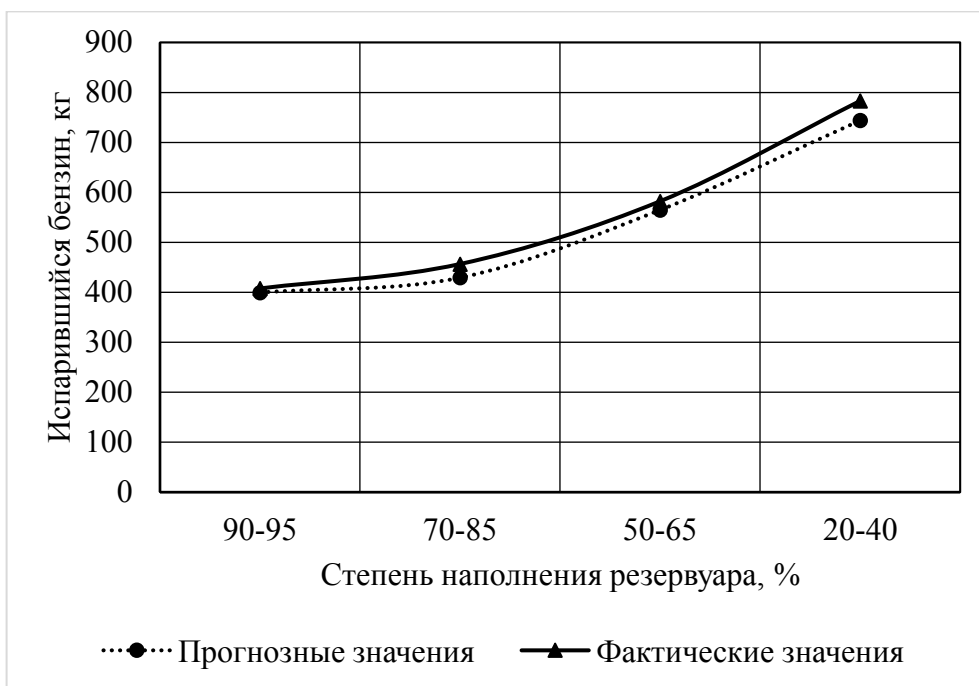


Рисунок 6.19 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом семьдесят пять кубометров в северной климатической зоне

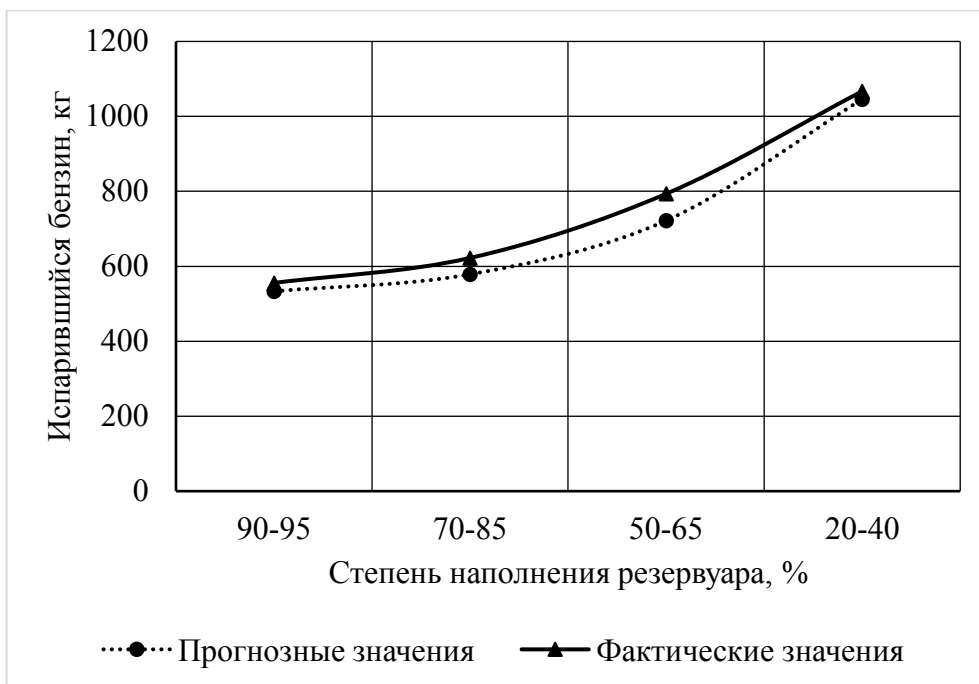


Рисунок 6.20 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом семьдесят пять кубометров в средней климатической зоне

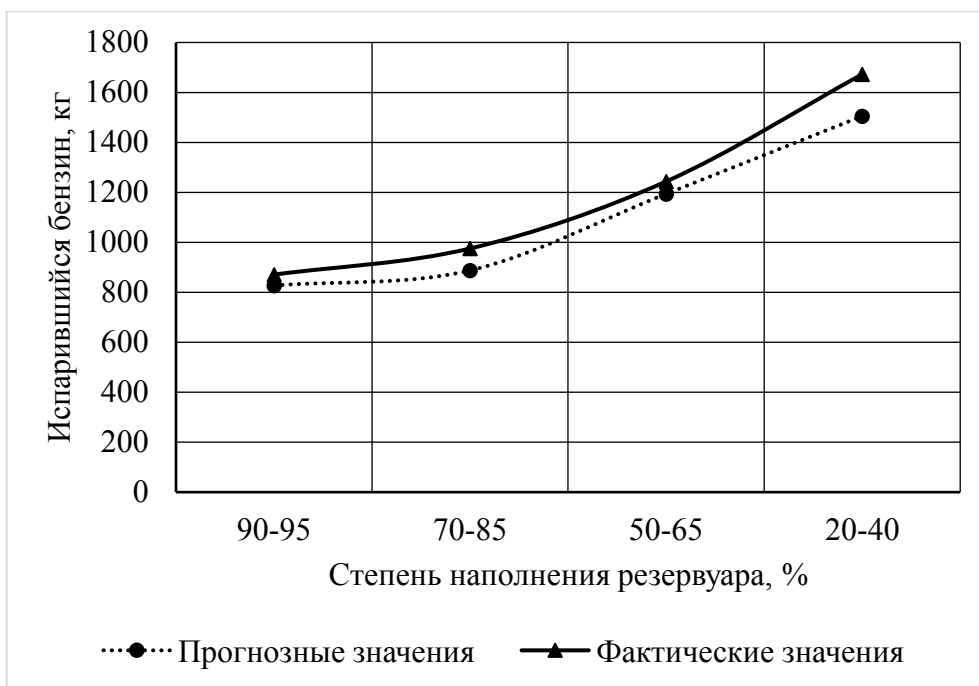


Рисунок 6.21 – Сравнение расчётных и фактических потерь бензина от испарений при хранении с различным наполнением резервуара объемом семьдесят пять кубометров в южной климатической зоне

Анализ данных таблицы 6.1 и графиков 6.4-6.21 показывает выполнение физического закона об испарении, что с увеличением площади испарения возрастает его скорость. При заполнении резервуара наполовину площадь поверхности испарения становится максимальной и потери увеличиваются. При снижении наполненности резервуара до 20-40% потери от испарений увеличиваются за счет интенсификации скорости выхода молекул бензина из жидкости в возросший объем газовой фазы.

Нейронная сеть способна с точностью до 98% рассчитать потери при хранении бензина в горизонтальных наземных резервуарах емкостью менее 100 м³. При помощи нейронной сети возможно смоделировать варианты хранения топлива и рассчитать наиболее оптимальный объем хранения с минимальными потерями.

6.4 Метод оценки качества топлива при хранении с применением нейронной сети

Разработан метод оценки качества топлива в зависимости от его испарения из резервуара с применением нейронной сети. В интерпретацию зависимости качества топлива от его испарения при хранении примем параметры окружающей среды, размеры резервуара и количество бензина в нем, начальные показатели качества бензина. Далее запишем базисное уравнение нейронной сети в виде:

$$Q = F(\bar{w}_R R + \bar{w}_m m + \sum \bar{w}_\Psi \cdot \Psi + \bar{w}_{OЧ} OЧ + \bar{w}_{T10} T10), \quad (6.3)$$

где Ψ – вектор переменных окружающей среды; R – вектор параметров резервуара; m – масса топлива в резервуаре; $OЧ$ – октановое число; $T10$ – температура 10% отгонки бензина; $\bar{w}_R, \bar{w}_m, \bar{w}_\Psi, \bar{w}_{OЧ}, \bar{w}_{T10}$ – векторы весовых коэффициентов параметров резервуара, массы топлива, окружающей среды, октанового числа и температура 10% отгонки бензина соответственно; F – функция активации нейрона.

С учетом функции активации нейрона уравнение (6.3) нейронной сети, описывающее испарение бензина при хранении в резервуаре запишется в виде:

$$G = 1,7159 \cdot \text{th} \left(\frac{2}{3} \cdot \left(w_0^{\mu,j} + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot R + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot m + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot \Psi + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot \text{ОЧ} + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot T10 \right) \right) \quad (6.4)$$

Точность данного уравнения зависит от подбора весовых коэффициентов нейронов, количества слоев и нейронов в каждом слое сети.

После обучения построенной нейронной сети сведем полученные результаты расчета снижения качества топлива в зависимости от его испарения в таблицу 6.2 и сравним с экспериментальными результатами.

Таблица 6.2 – Сравнение результатов расчета нейронной сетью снижения качества топлива в зависимости от его испарения с экспериментальными значениями

Испарившаяся масса, %	0		1		2		3		4		5	
	Замер температур, °С											
% отгонки	Эксп	НС	Эксп	НС	Эксп	НС	Эксп	НС	Эксп	НС	Эксп	НС
10	61,5	58	63,3	59,8	64	60,5	66,5	63	69,5	66	76,5	73
Октановое число, АИ	92		92		91,8		91,5		91,3		90	

Погрешность расчета нейронной сетью октанового числа составила 0%. Погрешность расчета нейронной сетью температуры 10% отгонки бензина находится в пределах 4-6 %. Прочие параметры качества приведены в Приложении Л.

Разработан метод прогнозирования снижения качества дизельного топлива от его обводнения при хранении с применением нейронной сети:

В интерпретацию зависимости качества топлива от его испарения при хранении примем параметры окружающей среды, размеры резервуара и количество дизельного топлива в нем, начальные показатели качества дизельного топлива. С течением времени в дизельном топливе накапливается

атмосферная вода, это и будет показателем качества хранимого топлива. Далее запишем базисное уравнение нейронной сети в виде:

$$Q = F(\bar{w}_R R + \bar{w}_m m + \sum \bar{w}_\Psi \cdot \Psi + \bar{w}_B B), \quad (6.5)$$

где Ψ – вектор переменных окружающей среды; R – вектор параметров резервуара; m – масса топлива в резервуаре; B – масса воды в топливе; $\bar{w}_R, \bar{w}_m, \bar{w}_\Psi, \bar{w}_B$ – векторы весовых коэффициентов параметров резервуара, массы топлива, окружающей среды, воды соответственно; F – функция активации нейрона.

С учетом функции активации нейрона уравнение (6.5) нейронной сети, описывающее накопление влаги дизельным топливом при хранении в резервуаре запишется в виде:

$$G = 1,7159 \cdot \text{th} \left(\frac{2}{3} \cdot \left(w_0^{\mu,j} + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot R + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot m + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot \Psi + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot B \right) \right) \quad (6.6)$$

Точность данного уравнения зависит от подбора весовых коэффициентов нейронов w , количества слоев M и нейронов в сети N .

После обучения построенной нейронной сети сведем полученные результаты расчета снижения качества топлива в зависимости от его испарения в таблицу 6.3 и сравним с экспериментальными результатами.

Таблица 6.3 – Накопление воды из атмосферы в экспериментальном резервуаре

Месяц	Объем дизельного топлива, л	Масса воды в резервуаре факт, г	Масса воды в резервуаре прогноз, г	Отклонение, %
Январь	195	0	0	0
Февраль	195	2	2	0
Март	195	3	4	33
Апрель	195	4	4	0
Май	195	12	11	8
Июнь	195	16	15	6
Июль	195	38	39	2
Август	195	50	47	6
Сентябрь	195	70	69	1
Октябрь	195	82	78	4
Ноябрь	195	88	89	1
Декабрь	195	90	89	1

Таким образом, точность определения качества хранимого дизельного топлива составляет до 98%

Построим графики оценки качества бензина и дизтоплива (рисунок 6.22, 6.23):

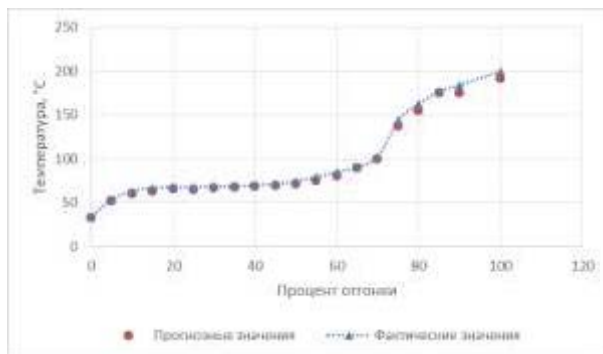


Рисунок 6.22 — Нейросетевая оценка фракционного состава бензина при его испарении 1% массы

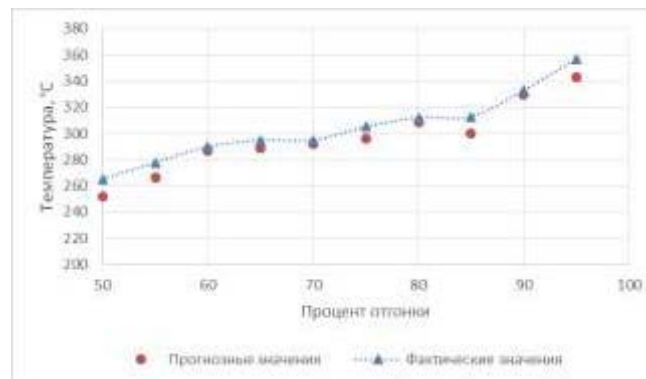


Рисунок 6.23 — Нейросетевая оценка фракционного состава дизельного топлива при его испарении 1% массы

В таблице 6.4 приведена точность оценки параметров качества дизельного топлива и бензина с применением нейронной сети.

Таблица 6.4 – Точность оценки качества топлива при хранении с применением нейронных сетей

Параметр качества	Точность оценки для бензина, %	Параметр качества	Точность оценки для дизельного топлива
Фракционный состав	96,6	Фракционный состав	97,5
Октановое число	97,5	Цетановое число	-
Содержание воды, мас. %	98%	Содержание воды, мас. %	97
Концентрация фактических смол, мг/100 см ³	97	Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с (сСт)	96
Содержание механических примесей, мас. %	99	Содержание механических примесей, мас. %	97,6

Для каждого параметра качества дизельного топлива или бензина создается отдельная нейронная сеть аналогично уравнению 6.4. Это позволяет достичь высокой точности прогнозирования выбранного параметра. Ψ фактор – вектор переменных окружающей среды, включен в

модель в том числе для учета особенностей климатических зон размещения резервуаров.

6.5 Метод построения каскада нейронных сетей для прогнозирования объема испарившегося топлива из горизонтального цилиндрического резервуара

Для описания таких характеристик, как температура хранимого топлива, температура и давление паровоздушной смеси недостаточно данных о состоянии внешней среды. Важное значение имеет количество топлива в резервуаре и свободное газовое пространство над топливом.

Чтобы построить правильную архитектуру нейронной сети изобразим граф взаимозависимости параметров всей модели системы (рисунок 6.24) по таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Параметры модели для построения графа

Область получения информации	Порядковый номер	Показатель	Ребра графа
Внешние данные	1	Атмосферное давление, Па	5
	2	Температура окружающей среды, °С	6,7
	3	Скорость ветра, м/с	6,7
	4	Относительная влажность воздуха, %	6,7
Данные на основе нейросети	5	Давление газового пространства, Па	12
	6	Температура топлива, °С	12
	7	Температура газового пространства, °С	12
	8	Объем топлива в резервуаре, м ³	5,6,7,12
Исходные параметры	9	Время, мес.	11
	10	Объем резервуара, м ³	5,6,7,8
	11	Приход топлива, м ³	8
Выходные параметры	12	Объем испарившегося топлива, м ³	

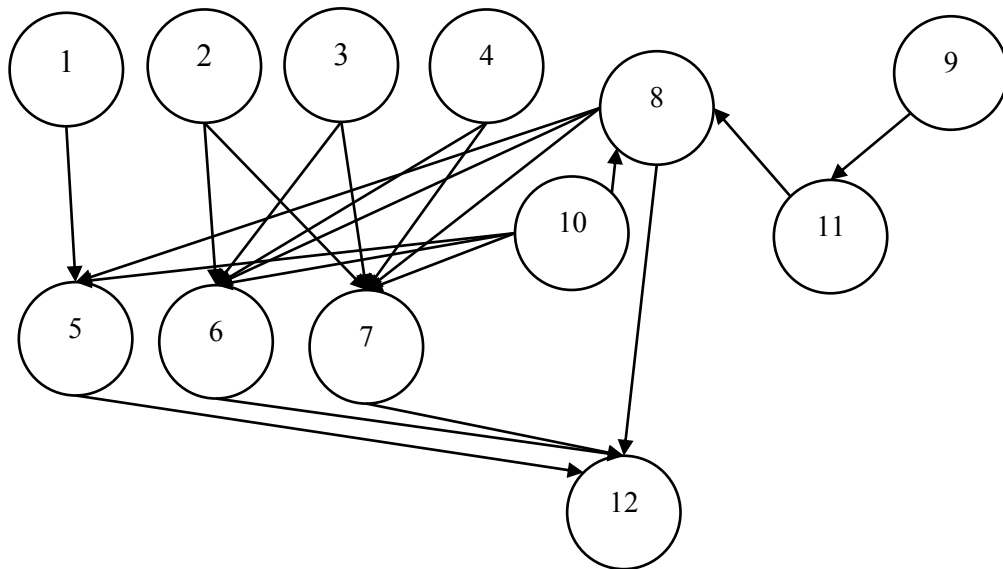


Рисунок 6.24 – Граф взаимозависимости параметров модели системы

Анализируя полученный граф, приходим к выводу, что для получения искомой величины на вход нейронной сети достаточно подать данные с виртуальных датчиков резервуара, которые рассчитывают давление газового пространства, температуру топлива, температуру газового пространства. На вход виртуальных датчиков на основе нейронной сети подаются переменные окружающей среды из облачного хранилища данных и известные параметры резервуара, временного ряда, начальное количество моторного топлива.

Полученная модель осложнена тем, что параметр «Объем топлива в резервуаре» влияет на другие параметры: давление газового пространства, температура топлива, температура газового пространства. Поэтому от точности его расчета будет во многом определяться точность построенной модели.

Для построения нейронной сети для виртуального датчика «Объем топлива в резервуаре» рассмотрим пример по годовой оборачиваемости резервуара объемом 50 м^3 .

Для расчета месячного остатка топлива в объеме резервуара выбрана нейронная сеть с тремя входами, 7 нейронами в скрытом слое. Результат работы сети приведен в таблице 6.6 и на рисунке 6.25.

Таблица 6.6 – Результаты работы нейронной сети по расчету остатка топлива в резервуаре 50 м³

Месяц	Входные данные нейронной сети			Входные данные нейронной сети	Остаток факт, м ³	Точность прогноза, %
	Месяц код	Прием на хранение, м ³	Объем резервуара, м ³	Остаток, м ³		
Апрель	1	22	50	1,94	2	97
Май	2	22	50	3,84	4	96
Июнь	3	22	50	20,9	22	95
Июль	4	22	50	42,24	44	96
Август	5		50	32,98	34	97
Сентябрь	6		50	13,44	14	96
Октябрь	7		50	13,3	14	95
Ноябрь	8		50	3,88	4	97
Декабрь	9		50	0,92	1	92
Январь	10		50	0,92	1	92
Февраль	11		50	0,91	1	91
Март	12		50	0,91	1	91

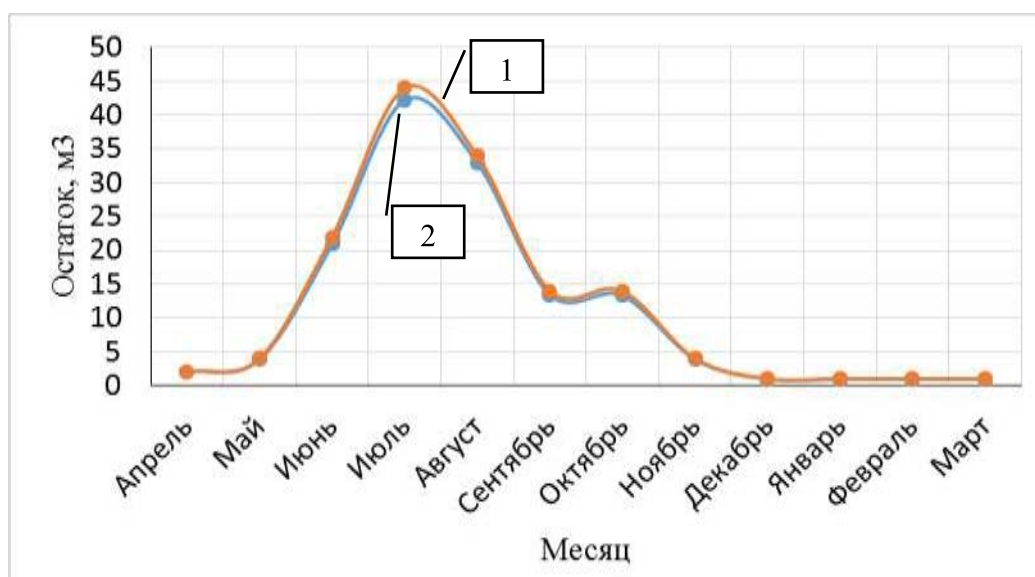


Рисунок 6.25 – Сравнение результатов работы нейронной сети по расчету остатка топлива в резервуаре 50 м³ с фактическими данными: 1 – фактические значения; 2 – расчетные значения

Таким образом, полученная нейронная сеть способна с точностью 95% рассчитать остаток бензина, хранимого в резервуаре за сезон.

Проведем помесечный расчёт потерь от испарения при помощи разработанной каскадной нейронной сети. Полученные результаты сведем в

таблице 6.7 и на рисунке 6.26. Расчет проводился ежемесячно, поэтому данные в таблице являются усредненными значениями за выбранный месяц.

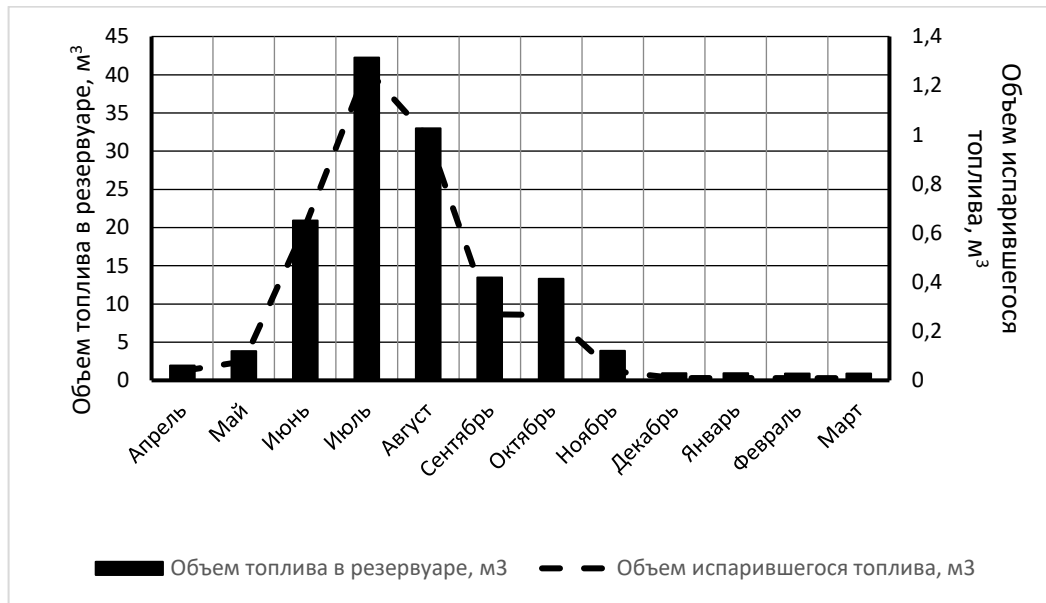


Рисунок 6.26 – Объем испарившегося топлива за сезон

Таблица 6.7 – Расчёт потерь от испарения при помощи каскадной нейронной сети

Месяц	Исходные параметры			Облачные данные				Виртуальные датчики на основе нейросети				Выходные параметры
	Месяц код	Приход топлива, м ³	Объем резервуара, м ³	Атмосферное давление, мм.рт.ст.	Температура окружающей среды, °С	Скорость ветра, м/с	Относительная влажность воздуха, %	Давление газового пространства, МПа	Температура топлива, °С	Температура газового пространства, °С	Объем топлива в резервуаре, м ³	Объем испарившегося топлива, м ³
Апрель	1	22	50	748	8,5	4,3	60	1,5	8,16	7,91	1,94	0,0388
Май	2	22	50	748	15,5	3,8	62	1,5	14,88	14,42	3,84	0,0768
Июнь	3	22	50	750	19,2	3,6	63	1,5	18,432	17,86	20,9	0,627
Июль	4	22	50	750	21	3,3	60	1,5	20,16	19,53	42,24	1,2672
Август	5		50	748	21	3,1	62	1,5	20,16	19,53	32,98	0,9894
Сент.	6		50	745	14	3,6	60	1,5	13,44	13,02	13,44	0,2688
Октябрь	7		50	744	6,4	3,9	65	1,5	6,144	5,95	13,3	0,266
Ноябрь	8		50	742	1	4	65	1,5	0,96	0,93	3,88	0,0388
Декабрь	9		50	740	-3,5	4,8	50	1,5	-3,36	-3,26	0,92	0,0092
Январь	10		50	742	-8	4,4	45	1,5	-7,68	-7,44	0,92	0,0092
Февраль	11		50	745	-7	4,4	50	1,5	-6,72	-6,51	0,91	0,0091
Март	12		50	745	-2	4,5	55	1,5	-1,92	-1,86	0,91	0,0091

Таким образом, полученная нейросетевая модель с высокой точностью способна описать процесс испарения моторного топлива из горизонтального цилиндрического резервуара. Разработанный метод позволит прогнозировать качество топлива на протяжении всего времени его хранения.

6.6 Совершенствование метода моделирования нагревания топлива в динамической среде с применением нейронных сетей

Метод моделирования нагрева топлива в динамической среде, описанный в главе 2, подходит для лабораторных исследований с идеальными условиями проведения эксперимента. В то же время метод имеет некоторые недостатки и допущения, которые ограничивают ее применение в реальных условиях. В методе не учитываются ряд факторов внешней среды, таких как например скорость ветра, временная солнцезащита и т.д., количество моторного топлива в резервуаре. Расчет приводится для одной точки в пространстве, что снижает скорость получения результата для физического объекта. Нейронная сеть вышеперечисленных недостатков лишена. С минимальной погрешностью расчёта, нейронная сеть способна решить данные уравнения с учетом всех факторов окружающей среды.

В интерпретации рассмотренного метода запишем уравнение нейронной сети в виде [195]:

$$\alpha = F(w \cdot \lambda + w \cdot s + w \cdot f_1(\tau) + w \cdot f_2(\tau) + w \cdot T_c + \sum w \cdot \Psi), \quad (6.7)$$

где F – функция активации нейрона, w – вектор весовых коэффициентов, Ψ – вектор переменных окружающей среды.

В работе выбран гиперболический тангенс как функция активации нейронов, с учетом данного условия уравнение нейронной сети характеризующее теплообмен стенки резервуара с бензином запишется в виде [195]:

$$\alpha = 1,7159 \cdot \operatorname{th} \left(\frac{2}{3} \cdot \left(w_0^{\mu,j} + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot \lambda + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot s + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot f_1^{(\mu-1,j)}(\tau) + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot f_2^{(\mu-1,j)}(\tau) + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot T_c^{(\mu-1,j)} + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot f_1^{(\mu-1,j)}(\tau) + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot \Psi \right) \right) \quad (6.8)$$

Апробация созданной нейросетевой модели по расчету теплообмена была проведена путем сравнения данных эксперимента и рассчитанных нейронной сетью. Эксперимент проводили на резервуаре, заполненном бензином. Проводился замер температуры окружающего воздуха, бензина в резервуаре, атмосферного давления. Результаты экспериментальных и расчетных значений в сравнении с первоначальной методикой приведены в таблице 6.8 и на рисунке 6.27.

Таблица 6.8 – Результаты экспериментальных и расчётных значений температуры бензина в резервуаре

Время, ч	Температура замер, °С	Температура расчёт методикой, °С	Температура расчёт нейросетью, °С	Точность расчета, %
8:00	20	20	20	100%
9:00	23	29,6	24	99%
10:00	24	34,8	25	99%
11:00	28	39,5	27	101%
12:00	30	41,8	31	99%
13:00	35	46,3	34	101%
14:00	38	46,8	37	101%
15:00	42	48,3	44	98%
16:00	45	47,1	46	99%
17:00	48	49,7	52	96%

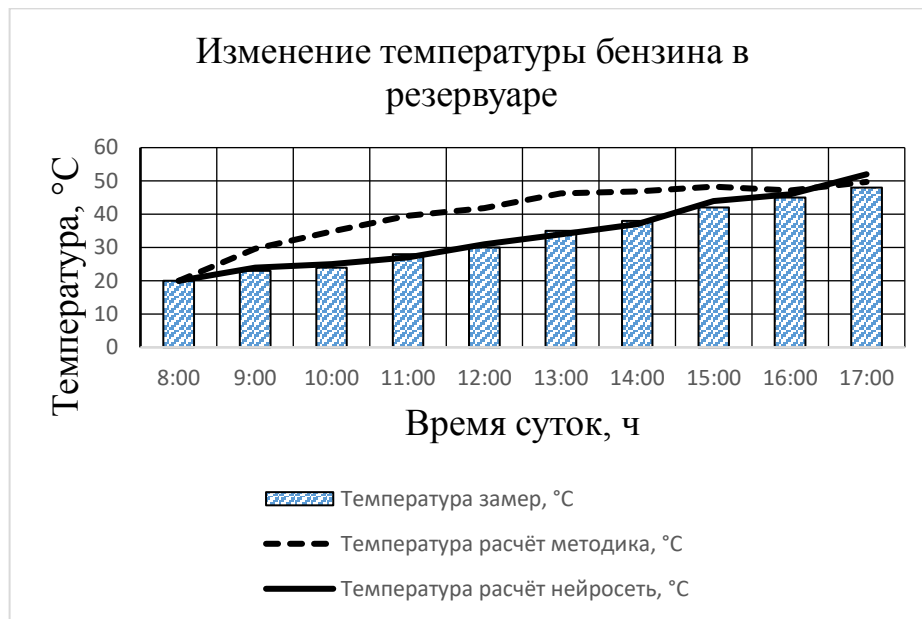


Рисунок 6.27 – Результаты экспериментальных и расчётных значений температуры бензина в бочке

Из графика видно более высокую точность расчетов изменения температуры бензина с применением нейронной сети. Средняя точность полученных значений по методике составляет 93%, средняя точность прогноза нейронной сетью составила 99%.

Таким образом, полученная нейронная сеть с более высокой точностью описывает процессы, протекающие при хранении бензина в динамической среде. Из-за отсутствия недостатков, присущих численным методам решения дифференциальных уравнений, средняя точность расчетов по методике составила 93%, а средняя точность при расчете процесса нейронной сетью составила 99%. В тоже время удалось усовершенствовать классическую методику путем добавления в нейросетевую модель фактора Ψ – вектор переменных окружающей среды. Что позволяет учитывать в нейросетевой модели дополнительные факторы внешней среды.

6.7 Выводы

1. Разработан метод оценки качества моторного топлива при хранении в наземных горизонтальных резервуарах на основе нейронных сетей.

2. Нейронная сеть способна с точностью до 98% рассчитать потери при хранении бензина в горизонтальных наземных резервуарах емкостью менее 100 м³. Благодаря такой точности появилась возможность моделировать варианты хранения топлива и рассчитывать наиболее оптимальный объем хранения с минимальными потерями в течении срока использования резервуара.

3. Разработан метод построения каскада нейронных сетей для имитации виртуальных датчиков горизонтального цилиндрического резервуара, с точностью моделирования потерь топлива от испарения до 97 %.

4. Реализовано совершенствование методики моделирования испарения топлива в динамической среде с применением нейронных сетей. Полученная нейронная сеть с более высокой точностью описывает процессы, протекающие при хранении бензина в динамической среде. Из-за отсутствия недостатков, присущих численным методам решения дифференциальных уравнений, средняя точность расчетов по методике составила 93%, а средняя точность при расчете процесса нейронной сетью составила 99%. В тоже время удалось усовершенствовать классическую методику путем добавления в нейросетевую модель фактора Ψ – вектор переменных окружающей среды. Что позволяет учитывать в нейросетевой модели дополнительные факторы внешней среды, различные особенности климатических зон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ научно-технической, патентной и специальной литературы позволил оценить состояние резервуарного парка сельхозтоваропроизводителей. Выявлено, что на сельскохозяйственных нефтескладах применяются преимущественно наземные горизонтальные цилиндрические резервуары. На долю резервуаров вместимостью 3 и 5 м³ приходится 50 %; 10 м³ – составляют 20 %; 25 м³ и 50 м³ – соответственно, 16 % и 7 %, на долю 75 м³ приходится не более 7 %. Для данных типов резервуаров не существует эффективных технических средств для снижения потерь топлива. Расхождение результатов расчета потерь топлива по нормам естественной убыли с фактическими потерями при хранении на сельских нефтескладах составляет 1,7 и более раз.

2. Выявлены факторы, влияющие на величину испарения. К одному из факторов относится наличие градиента температуры по высоте резервуара в течении суток, который достигает 10 °С. Наличие градиента температуры приводит к неравномерному нагреву топлива, возникновению конвективных токов, за счет которых происходит вытеснение и испарение в первую очередь наиболее ценных легких фракций углеводородного топлива.

3. По разработанным математическим моделям физико-химических процессов, происходящих при хранении моторных топлив установлена взаимосвязь процесса испарения и окисления моторного топлива, а также их однородность в цикле фазовых переходов первого рода. Установлено, что для резервуара 25 м³, заполненного на 50%, кислород, находящийся в газовом пространстве над бензином, способен окислить 46,88 моль бензина, что приводит к дополнительному испарению 1762,7 г топлива. Выявлено, что в результате протекания реакций окисления произойдет не только ухудшение качества топлива, но и на 2% увеличатся потери топлива в результате испарения.

4. Разработан метод расчета потерь моторного топлива от испарения с изменяемой площади поверхности в стальных наземных горизонтальных

резервуарах. По предложенному методу выполнен расчет при заполнении горизонтальных емкостей вместимостью от 3 до 75 м³ до уровня 90 %. Выявлено, что нормативные потери меньше в 1,7 раза для холодного периода и в 1,9 раза в теплый период. Таким образом, нормативы естественной убыли дают очень усредненные данные о потере нефтепродуктов при хранении. Поэтому для точного определения потерь моторного топлива от испарения при хранении в наземных горизонтальных цилиндрических резервуарах необходимо использовать полученные в работе расчетные зависимости.

5. Изготовлены опытно-промышленные образцы ступенчатого блока вихревых труб, выполнено математическое моделирование и теоретическое обоснование конструкции. Проведены лабораторные исследования конструктивно-режимных параметров работы вихревого модуля: при давлении 5 МПа на входе в модуль при ступенчатом соединении двух вихревых труб генерируется температура холодного потока воздуха на выходе до минус 46 °С. На базе полученной конструкции разработан экологически безопасный и энергоэффективный конденсатор блочно-модульного построения. Опыты на экспериментальной установке выявили, что степень конденсации бензина в вихревом модуле достигает 97%.

6. Задачи снижения потерь моторного топлива при хранении носят многоплановый характер, решить которые с высокой точностью невозможно при «ручном» управлении резервуарным парком и нефтехозяйством. Разработана методология автоматизированных интеллектуальных систем на базе нейронных сетей, применение которых позволит обеспечить сельскохозяйственных товаропроизводителей безошибочным управлением средствами предотвращения потерь топлива. Разработана теоретическая база и сформирована концепция «умного» и «интеллектуального» нефтесклада для снижения потерь качества топлива при хранении в стальных горизонтальных резервуарах. Установлено, что нейронная сеть способна с точностью до 98% описать процессы при хранении топлива в горизонтальных наземных резервуарах емкостью менее 100 м³.

7. Разработан метод оценки качества хранимого топлива в наземных горизонтальных цилиндрических резервуарах с применением нейронной сети. Точность оценки параметров качества бензина по предложенному методу составляет 99%, дизельного топлива до 97%.

8. Внедрение разработанных технологий и технических средств позволит достичь экономического эффекта до 22,60 млн. руб. в первый год их эксплуатации на примере выбранного муниципального района Липецкой области.

Список использованной литературы

1. Boardman, H. Storage of Volatile Petroleum Products /H. Boardman // Petro-leum Refiner. - 1946. - Vol. 25. - № 4.
2. Boddley, R. W. For crude or product storage. Choose the right floating roof tank / R.W. Boddley //Petroleum Refiner. - 1961.-Vol.40. - №3. - P. 185-190.
3. Deisslbr, R.G. An Analysis of the Energy Separation in Laminar and Turbulent Compressible Vortex Flows /R.G. Deisslbr , M. Perlmntter // Heat Transfer and Fluid Mechanics Institute. - 1958
4. Design of single deck floating roof for large storage tanks / Petroleum Times.- Vol. 76.-№1935. -1972.-p. 20.
5. Duffie, J. A. Solar Engineering of Thermal Process / J. A.Duffie, W. A.Beckman. - 1st ed.- NY: John Wiley and Sons, 1980.
6. Duffie, J. A. Solar Engineering of Thermal Process /J. A. Duffie , W. A. Beckman. - 2nd ed. - NY: John Wiley and Sons, 1991. 15 p.
7. Edwards, N.W. New design cuts failure rate in floating roof tank /N.W. Edwards , J. De R. Versteeg // Petroleum and Petrochemical International. - 1972. - Vol. 12. - №8. - P. 56-59.
8. Khokhlov A., Khokhlov A., Marin D., Molochnikov D., Gayaziev I. Design adaptation of the automobile and tractor diesel engine for work on mixed vegetable-mineral fuel / BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019). 2020. C. 00077.
9. Huntington, R. Elements of Vaporization and Condensation Calculation of Evaporation Losses from Large Atmospheric Tanks / R. Huntington // Refiner. - 1940. - Vol. IV. - № 19. - P. 85-86.
10. International floating covers for fixed roofs tanks // Oil and Gaz Journal. - 1962. - Vol. 60.-№44. p.i50.
11. Irving, M. Floating tank-covers offer 90% cut in evaporation losses / M. Irving// Canadi-en Petroleum. - 1972. - Vol. 13. - №7. - P. 29-31.

12. Nelson, A.H. Industry experience shows internal floating covers score high / A.H. Nelson// Oil and Gas Journal. - 1971. - Vol. 69. - №37. - P. 84-86.
13. New sealing system for floating roof tanks // Chemical Economy and Engineering Review. - 1972. - Vol. 4. - №8. - 54 p.
14. Rykov V.B. System of energy criteria in the justification of technical units for field production / Rykov V.B., Kambulov S.I., Trubilin E.I., Kastidi Yu.K. // E3S Web of Conferences. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2020). 2020. P. 01008.
15. Tian, Y. Q. Estimating solar radiation on slopes of arbitrary aspect / Y. Q. Tian, R. J. Davies-Colley, P. Gong, B. W. Thorrold // Short communication. Agric. Forest Meteorol. - 2001. - № 109. -P. 67-74.
16. Vorobiev Yu.V., Dunaev A.V., Lomovskikh A.E., Voronin N.Ah., Trishkin I.B. The unique composition and stability of water-fuel emulsion / Vorobiev Yu.V., Dunaev A.V., Lomovskikh A.E., Voronin N.Ah., Trishkin I.B. // Journal of Agriculture and Environment. 2019. № 2 (10). P. 7.
17. Young, W.B. Design and application of floating roofs for refinery storage tanks / W.B. Young// Oil and Gas Journal.- 1973. - Vol. 71. - №49. - P. 48-51.
18. Абдульманов, Г.Ф. О герметизации систем сбора, транспорта нефти и газа на нефтяных промыслах / Г.Ф. Абдульманов, М.М. Губайдуллин // Нефтяное хозяйство. -1974. -№ 1.- С. 63-65.
19. Абрамов, Ю. А. Способы предотвращения потерь бензина при эксплуатации резервуарных парков /Ю. А. Абрамов// Проблемы пожарной безопасности. Выпуск 14 / Харьков : Изд-во "Фолио", 2003. -С. 3-12.
20. Абузова, Ф.Ф. Вывод критериального уравнения массоотдачи при выкачке бензина из резервуара /Ф.Ф. Абузова // из кн. Проектирование строительство и эксплуатация магистральных газонефтепроводов и нефтебаз. (Тр. УНИ, вып. 3). - 1969. - С. 312-315.

21. Абузова, Ф.Ф. К расчету ширины струи после удара о диск-отражатель/ Ф.Ф. Абузова // Проектирование, строительство и эксплуатация магистральных газонефтепроводов и нефтебаз. (Тр. УНИ, вып. 18). - 1974. - С. 164-166.

22. Абузова, Ф.Ф. Массоотдача от поверхности бензина при выкачке его из резервуара/ Ф.Ф. Абузова // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. -1968. - №4. - С.4-6.

23. Абузова, Ф.Ф. Упрощенный метод расчета потерь нефтепродуктов от больших дыханий из наземных металлических резервуаров / Ф.Ф. Абузова, Т.К. Сковородникова // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - 1967. - №2. - С. 22-24.

24. Абузова, Ф.Ф. О коэффициенте диффузии паров нефтепродуктов / Ф.Ф. Абузова, В.И. Черникин //Транспорт и хранение нефти и газа (Тр. НИИТранснефть, в. 1). - М.:Гостоптехиздат, 1961. -С. 146-150.

25. Абузова, Ф.Ф. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении / Ф.Ф. Абузова, И.С. Бронштейн, В.Ф. Новоселов, Е.Л. Ржавский, М.Н. Фокин. - М.: Недра, 1981. - 248 с.

26. Абузова, Ф.Ф. Исследование потерь от испарения нефтей и нефтепродуктов и эффективности средств сокращения их в резервуарах: автореф. дис. ... докт. тех. наук: 05.15.07 / Абузова Фатиха Фиттяховна. - Уфа, 1976. - 46 с.

27. Абузова, Ф.Ф. Исследование потерь от испарения нефтепродуктов из заглубленных резервуаров: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.15.07 / Абузова Фатиха Фиттяховна. Моск. ин-т нефтехим. и газовой пром-сти им. И. М. Губкина - М., 1964. - 14 с.

28. Абузова, Ф.Ф. О температурах закипания нефтей и бензинов в емкостях транспорта и хранения / Ф.Ф. Абузова, И.С. Бронштейн, Д.М. Саттарова // Нефтепромысловое дело и транспорт нефти. - 1984. - № 5. - С. 34-36.

29. Абузова, Ф.Ф. Оптимальный объем газосборника для резервуарных парков с газоуравнительной системой / Ф.Ф. Абузова, М.Н. Фокин, Р.А. Мухамедьярова // Нефтяное хозяйство. - 1977. - №8. - С. 63-64.

30. Абузова, Ф.Ф. Потери нефтепродуктов и нефтей от испарения из подземных резервуаров /Ф.Ф. Абузова, В.И. Черников. - М.: Недра, 1966. - 114 с.

31. Абузова, Ф.Ф. Пути сокращения потерь углеводородов от испарения при хранении и транспортировании нефти и нефтепродуктов. Обзорная информация. Министерство нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности СССР, Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Выпуск 5. / Ф.Ф. Абузова, Г.Д. Теляшева, Ю.Ф. Мишин. - М.: ЦНИИТ-Энефтехим, 1989. - 56 с.

32. Абузова, Ф.Ф. Техника и технология транспорта и хранения нефти и газа : учеб. пособие для нефтегазовых спец. / Ф. Ф. Абузова, Р.А. Алиев, В.Ф. Новоселов; под ред. В. Ф. Новоселова. - М. : Недра, 1992. - 318 с.

33. АВОК справочное пособие Влажный воздух [Электронный ресурс].- М.: НП "Инженеры по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике" (НП "АВОК"), 2004. - Режим доступа: <http://www.stroyplan.ru/docs.php?showitem=44694#i4722193>.

34. Александров, А.А. Исследование процессов улавливания легких фракций углеводородов / А.А. Александров, В.А. Воробьев // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 2004. - № 11. - С. 3-4.

35. Александров, А.А. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / А.А. Александров, И.А. Архаров, В.В. Багров и др.; под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. - М.: ООО НИЦ "Инженер", ООО "Онико-М", 2012. - 791 с.

36. Александров, А.А. Обеспечение безопасности эксплуатации объектов хранения углеводородных топлив: монография / А.А. Александров. - М.: Наука, 2007. - 149 с.
37. Александров, А.А. Обзор действующих систем улавливания паров нефтепродуктов / А.А. Александров, И.А. Архаров, В.Ю. Емельянов // Современная АЗС. - 2005. - № 11(44). - С. 130-133.
38. Алексеев, Т.С. Подсчет потерь нефтепродуктов от испарения / Т.С. Алексеев // Нефтяное хозяйство. - 1955. - №4. - С. 72-78.
39. Аметистов, Е.В. Основы теории теплообмена / Е.В. Аметистов. - М.: МЭИ, 2000. - 242 с
40. Аметистов, Е.В. Тепло - и массообмен. Теплотехнический эксперимент: справочник / Е.В. Аметистов, В.А. Григорьев, Б.Т. Емцев и др. - М.: Энергоиздат, 1982. - 512 с.
41. Андреев, В.К. Термокапиллярная неустойчивость / В.К. Андреев, В.Е. Захватаев, Е.А. Рябицкий. - Новосибирск: Наука, 2000. - 278 с.
42. Аносов, В.Я. Основы физико-химического анализа / В.Я. Аносов, М.И. Озеров, Ю.Я. Фиалков. - М.: Наука, 1976. - 504 с.
43. Антипов, В.В. Примерные нормы расхода ТЭР для сельскохозяйственного производства / В.В. Антипов, Б.А. Гоголев и др. - М.: Россельхозиздат, 1978. - 127с.
44. Апресов, К. Потери нефти от испарения в резервуарах и меры для уменьшения их / К. Апресов // Азербайджанское нефтяное хозяйство. - 1932. - № 8-9. - С. 35-47.
45. Арамович, И.Г. Уравнения математической физики / И.Г. Арамович, В.И. Левин. - М.: Наука, 1969. - 288 с.
46. Аренбиргер, В. В. Технико-экономический анализ потерь нефти и нефтепродуктов / В.В. Аренбиргер. - М.: Химия, 1975. - 240 с.
47. Аренбристер, В.В. Технико-экономический анализ потерь нефти и нефтепродуктов / В.В. Аренбристер. - М.: Химия, 1975. - 160 с.

48. Арзунян, А. С. Сооружение нефтегазохранилищ / А.С. Арзунян, В. А. Афанасьев, А.Д. Прохоров. -М.: Недра, 1986. - 335 с.
49. Архаров, В.А. Опыт эксплуатации газоуравнительной системы / В.А. Архаров, Леви Н.Л. // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 1982. - № 3. - С. 3-6.
50. Афанасьев, В. А. Сооружение газохранилищ и нефтебаз. Учебник для вузов / В. А. Афанасьев, В. Л. Березин. - М.: Недра, 1986. - 334 с.
51. Ахметова, З.Р. Структуризация остаточной нефтенасыщенности для обоснования технологии доизвлечения нефти: дис. ... канд. тех. наук: 25.00.17 / Ахметова Зиля Рашитовна. РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина – М., 2016. - 153 с.
52. Ашкинази, М.И. Опыт борьбы с потерями нефти и нефтепродуктов на нефтебазах Главнефтеснабсбыта УССР / М.И Ашкинази, В.Я. Маевский, М.И Мардер и др. // ТНТО ЦНИИТЭнефтехим, Сер. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 1964. - 100 с.
53. Ашкинази, М.И. К вопросу модернизации резервуаров для хранения легкоиспаряющихся нефтепродуктов / М.И. Ашкинази, П.П. Шабанов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 1969. - № 9. -С. 1-4.
54. Ашкинази, М.И. Определение с помощью номограмм потерь нефтепродуктов от "больших дыханий" резервуаров / М.И. Ашкинази, П.П. Шабанов // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. 1967. - №8. - С. 18-21.
55. Ашкинази, М.И. Расчет потерь нефтепродуктов от испарения при определении эффективности различных систем резервуаров / М.И. Ашкинази, П.П. Шабанов // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - 1969. -№4. - С. 13-18.

56. Ашкинази, М.И. Исследование условий применения газоуравнительных систем для резервуаров повышенного давления / М.И. Ашкинази // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - 1963. - № 7. - С. 11-17.

57. Ашкинази, М.И. Об эффективности типовых резервуаров, включенных в газоуравнительную систему / М.И. Ашкинази, Ю.С. Васюта. // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. -1963. - №2. - С. 21-25.

58. Ашкинази, М.И. Сокращение потерь легкоиспаряющихся нефтепродуктов путем выбора экономичных систем стальных резервуаров / М.И. Ашкинази // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - 1965. - № 3. - С. 18-22.

59. Бабин Л. А. Основы теории и расчет плавающей крыши резервуара / Л.А. Бабин, М.Г. Каравайченко, Р.А. Жданов. - Уфа : Изд-во УНИ, 1990. - 88 с.

60. Барановский, Н.В. Пластинчатые и спиральные теплообменники / Н.В. Барановский, Л.М. Коваленко, А.Р. Ястребенецкий. - М.: Машиностроение, 1972.- 287 с.

61. Бармасов, А.В. Курс общей физики для природопользователей. Молекулярная физика и термодинамика: учебное пособие / А. В. Бармасов, В. Е. Холмогоров; под ред. А.П. Бобровского. - СПб.: БХВ-Петербург, 2009 - 512 с.

62. Барский, А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А.Б. Барский. - М.: Финансы и статистика, 2004. - 176 с.

63. Бахтизин, Р.Н. Транспорт и хранение высоковязких нефтей и нефтепродуктов. Применение электроподогрева / Р.Н. Бахтизин, А.К. Галлямов, Б.Н. Мастобаев и др. - М: Химия, 2004. - 196с.

64. Башаринов, В.П. Эксплуатация резервуара объёмом 10000 м³ с плавающей крышей на Сызранском НПЗ / В.П. Башаринов, В.Ф. Евтихин // НТРС. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья.- М.: ЦНИИТЭнефтехим 1976. - №3. С. 14-16.

65. Башкирцева, Н.Ю. Нефтеперерабатывающий комплекс мира / Н.Ю. Башкирцева // Вестник технологического университета. - 2015. - Т. 18. - № 6. - С. 63-68.
66. Беньковский, В.Г. Рефрактометрическое определение потерь нефти от испарения / В.Г. Беньковский // Нефтяное хозяйство. - 1948. - № 7. - С. 46-48.
67. Березин, В. Л. Прочность и устойчивость резервуаров и трубопроводов / В. Л. Березин, В. Е. Шутов. - М.: Недра, 1973. - 200 с.
68. Березин, В.Л. Температурные условия работы стальных нефтезаводских резервуаров / В.Л. Березин // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 1969. - №6. - С. 1-4.
69. Березина, И.С. Анализ методик расчета процесса испарения светлых нефтепродуктов при перевозке, хранении и сливно-наливных операциях / И.С. Березина, С.Н. Головчун // Вестник Астраханского государственного технического университета. - 2008. - № 6. - С. 188-191.
70. Блейхер, Э.М. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов за рубежом / Э.М. Блейхер., Ю.А. Цимблер. - М.: ЦНИИТЭнефтегаз, 1963. - 112 с.
71. Блинов, И.Г. Перспективные методы сокращения потерь нефтепродуктов от испарения в резервуарах: тематический обзор / И.Г. Блинов, В.В. Герасимов, А.А. Коршак, В.Ф. Новоселов, Ю.А. Седелев. - М.: ЦНИИТЭнефтехим. - 1990. - 83 с.
72. Бойченко, С.В. Рациональное использование углеводородных топлив / С.В. Бойченко. - Киев: Изд-во НАУ, 2001. - 216 с.
73. Больцман, Л. Лекции по теории газов / Л. Больцман. - М.: Гостехиздат, 1956.- 554 с.
74. Боровиков, В.П. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: методология и технологии современного анализа данных / В.П. Боровиков. - 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Горячая линия -Телеком, 2008. - 392 с.

75. Борцов А. В. Определение интенсивности солнечного излучения для наклонной принимающей поверхности / А. В. Борцов, Е. И. Потовская // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. - Х. : НТУ "ХПІ", 2013. - № 59 (1032). - С. 34-39.

76. Бронштейн, И.С. Исследование испарения нефти и нефтепродуктов через щели затвора понтона в емкости / И.С. Бронштейн, Н.Н. Хазиев, Л.И. Савельева // Сбор, подготовка и транспорт нефти и нефтепродуктов (Тр. ВНИИСПТнефть, вып. XI). -Уфа, 1973.-С. 100-109.

77. Бронштейн, И.С. Выбор технических средств для сокращения потерь нефтепродуктов от испарения из резервуаров и транспортных емкостей: методическое пособие / И.С. Бронштейн, В.Ф. Вахмин, В.Е. Губин, П.В. Ривкин. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1969. - 182 с.

78. Бударов, И.П. Потери от испарения моторных топлив при хранении / И.П. Бударов. -М.:ВНИИСТ, 1961. - 264 с.

79. Бударов, И.П. Экспериментальное исследование температурного режима наземных резервуаров / И.П. Бударов, Е.Н. Калайтан // Нефтяное хозяйство. -1954. - № 8. - С. 67-72.

80. Вагин, А.Н. Борьба с потерями нефтепродуктов/ А.Н. Вагин // Нефтяное хозяйство. -1939.-№4-5.-С.59-62.

81. Валявский, П.В. Борьба с потерями светлых нефтепродуктов /П.В. Валявский, Е.К. Диденко, И.Г. Костин, В.М. Покровский. - М.: Азнефтеиздат, 1937. - 131 с.

82. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. - М: Наука, 1972. – 720 с.

83. Васильев, Г. Г. Хранение нефти и нефтепродуктов: учебное пособие / Г. Г. Васильев, А. Д. Прохоров, Ю.Д. Земенков. - 2-ое изд., перераб. и доп. - Тюмень: Изд-во "Вектор Бук", 2003. - 536 с.

84. Васильев, Г.Г., Прохоров А. Д., Пирожков В. Г. Стальные резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов / Г. Г. Васильев, А. Д.

Прохоров, В. Г. Пирожков. - М.: Изд-во РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2005. - 113 с.

85. Верёвкин, В. И. Повышение надежности резервуаров, газгольдеров и их оборудования / В.И. Верёвкин, Е.Л. Ржавский. - М.: Недра, 1980. - 282 с.

86. Вещицкий, В.А. Методика определения эффективности использования понтонов и дисков отражателей в резервуарах для хранения светлых нефтепродуктов / В.А. Вещицкий, В.Д. Грех, М.И. Мардер и др. // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - 1974. -№9.- С.6-10.

87. Волосов, С.С. Управление качеством продукции средствами активного контроля / С.С. Волосов, З.Ш. Гейлер. - М.: Издательство стандартов, 1989. - 264 с.

88. Временная инструкция по выбору технических средств сокращения потерь нефти из резервуаров перекачивающих станций магистральных нефтепроводов. - Уфа: ВНИИСПТнефть, 1976. - 43 с.

89. Временная методика расчета потерь от испарения из наземных резервуаров с дыхательными клапанами высокой пропускной способности. - Уфа: ОЛГТ УНИ, 1975.- 46 с.

90. Вукалович, М.П. Термодинамика / М.П. Вукалович, И.И. Новиков. - М.: Машиностроение, 1972. - 672 с.

91. Вулис, Л. А. Элементарная теория эффекта Ранка / Л. А. Вулис, А. А. Кострица // Теплоэнергетика. - 1962. № 10. - С. 72-77.

92. Гавра, Т.Г. Тепловой и гидравлический расчет теплообменных аппаратов компрессорных установок: учебное пособие / Т.Г. Гавра, П.М. Михайлов, В.В. Рис.-Л.: ЛПИ, 1982. - 72 с.

93. Гадельцин, Р. З. Повышение надежности плавающих покрытий резервуаров / Р. З. Гадельцин, И.Э. Лукьянова. - Уфа: УГНТУ, 1999. - 239 с.

94. Галеев, В.Б. Расчет потерь нефтепродуктов от испарения при наполнении наземных резервуаров / В.Б. Галеев // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. -1969.-№7.- С.22-24.

95. Галеев, В.Б. Экспериментальное исследование насыщения газового пространства металлических резервуаров / В.Б. Галеев // Проектирование, строительство и эксплуатация магистральных газонефтепроводов и нефтебаз. - 1966.- № 1. С. 175-179.

96. Галеев, В.Б. Исследование потерь нефтепродуктов от испарения: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.15.07 / Галеев Виль Бареевич. - М., 1967. - 20 с.

97. Галушкин, А.И. Нейрокомпьютеры и их применение: учебное пособие для ВУЗов. Кн. 1. Теория нейронных сетей / А.И. Галушкин; под общей редакцией А.И. Галушкина. - М.: ИПРЖР, 2000. - 416 с.

98. Галушкин, А.И. Основы нейроуправления / А.И. Галушкин // Приложение к журналу "Информационные технологии". - 2002. - №10. – С. 24 .

99. Галушкин, А.И. Применение нейрокомпьютеров в энергетических системах [Электронный ресурс] / А.И. Галушкин - Режим доступа: <http://www.user.cityline.ru/~neurnews/>.

100. Галушкин, А.И. Современные направления развития нейрокомпьютерных технологий в России / А.И. Галушкин // Открытые системы. - 1997. - №4 (24). - С. 25-28.

101. Гамеева, О.С. Сборник задач и упражнений по физической и коллоидной химии / О.С. Гамеева. – М.: Высшая школа, 1980.

102. Гебхард, Б. Свободно-конвективные течения, тепло- и массообмен / Б. Гебхард, Й. Джалурия, Р. Махаджан, Б. Саммакия. - М.: Мир, 1991.

103. Гиззатов, М.А. Сокращение потерь бензинов от испарения на автозаправочных станциях нефтебаз / М.А. Гиззатов. - Уфа: Уфим. нефт. ин-т, 1987. - 244 с.

104. Гиззатов, М.А. Фактическая естественная убыль автобензинов от испарения из подземных горизонтальных резервуаров АЭС / М.А. Гиззатов, В.В. Репин // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. -1986. - № 4. - С. 26-28.
105. Гиршфельдер Дж. Молекулярная теория газов и жидкостей/ Дж. Гиршфельдер, Ч. Кёртис, Л. Берд. - М. Издательство иностранной литературы, 1961- 928с.
106. Глебов, Н.В. Безопасность при работе с нефтепродуктами / Н.В. Глебов. - 2-е изд., перераб. и доп. -М : Колос, 1979. - 168 с.
107. Глинка, Н.Л. Общая химия / Н.Л. Глинка. - Л.: Химия, 1985 - 731 с.
108. Головкин, В.А. Нейроинтеллект: Теория и применение. Кн. 1. Организация и обучение нейронных сетей с прямыми и обратными связями / В.А. Головкин. - Брест: Изд-во БПИ, 1999. - 264с.
109. Головкин, А.В. Конденсационный метод определения количества парогазовой смеси нефтепродуктов: автореф. дис. ...канд. тех. наук: 05.11.13 / Головкин Александр Владимирович. - Красноярск, 2007. - 23 с.
110. Горбань, А.Н. Нейроинформатика / А.Н. Горбань, В.Л. Дунин-Барковский, А.Н. Кирдин и др. - Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. – 296 с.
111. Гудцов, И.Э. Способы и средства сокращения потерь нефтепродуктов из резервуаров. Обзорная информация / И.Э. Гудцов, М.М. Губайдуллин, Г.М. Кавиёв, Н.А. Чудинова. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1987. - 52 с.
112. Гумеров, М.Г. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов на нефтеперерабатывающих предприятиях. Обзорная информация /М.Г. Гумеров. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1976. - 66 с.
113. Гуреев, А.А. Химмотология / А.А. Гуреев, И.Г. Фукс, В.Л. Лашхи. – М.: Химия, 1986. – 368 с.

114. Гуреев, А.А. Квалификационные методы испытаний нефтяных топлив / А.А. Гуреев, Е.П. Серегин, В.С. Азеев. – М.: Химия, 1984. – 200 с.
115. Гуреев, А.А. Применение автомобильных бензинов / А.А. Гуреев. – М.: Химия, 1972. – 380 с.
116. Гусейнзаде, М.А. Методы математической статистики в нефтяной и газовой промышленности / М.А. Гусейнзаде, Э.В. Калинина, М.Б. Добкина. - М.: Недра, 1979. - 340 с.
117. Гуцол, А.Ф. Эффект Ранка / А.Ф. Гуцол // Успехи физических наук. – 1997. - т. 167. - № 6. С. 665-687.
118. Давлетьяров, Ф. А. Нефтепродуктообеспечение / Ф. А. Давлетьяров, Е. И. Зоря, Д.В. Цагарели; под ред. Д.В. Цагарели - М.: ИЦ "Математика", 1998. - 662 с.
119. Данилов, В.Ф. Технические аспекты сокращения потерь нефтепродуктов при хранении в резервуарном парке / В.Ф. Данилов, А.В. Савельев, Р.И. Кюннап // Труды НИИ 25 МО РФ. - 2014. - № 56. - С. 396-400.
120. Дейт, К. Введение в системы баз данных/ К. Дейт. - 6-е издание: пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2000. - 848 с.
121. Денисова, А. П. Конструкции плавающих крыш для вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов / А.П. Денисова, М.Р. Муртазин, А. А. Землянский. - Саратов : Изд-во Сар. гос. тех. ун-т, 2001. - 58 с.
122. Дмитриев, В.Г. Экологическая безопасность резервуарных парков для нефти и нефтепродуктов / В.Г. Дмитриев, В.А. Шабашев // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 2004. - № 1. - С. 13-15.
123. Дрыжаков, Е.В. Техническая термодинамика /Е.В. Дрыжаков, Н.П. Козлов, Н.К. Корнейчук, В.И. Кофанов, В.И. Крутов, Б.Н. Юдаев. - М.: Высшая школа, 1971. - 472 с.
124. Евтихин, В.Ф. Эксплуатация затвора системы "Виггинс" на резервуаре емкостью 10000 м³ с плавающей крышей / В.Ф. Евтихин //

Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья.- 1971. - №10. - С.26-28.

125. Евтихин, В.Ф. Работоспособность уплотняющих затворов в эксплуатационных условиях на опытных резервуарах с плавающими крышами / В.Ф. Евтихин, В.К. Федоров //Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 1975. -№10.- С. 16-19.

126. Евтихин, В.Ф. Резервуар вместимостью 10 тыс. м³ с понтоном повышенной плавучести и вентиляцией надпонтонного пространства / В.Ф. Евтихин, С.Г. Малахова // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 1984. - № 5. - С. 3-5.

127. Едигаров, С.Г. Проектирование и эксплуатация нефтебаз: учебник для ВУЗов / С.Г. Едигаров, В.М. Михайлов, А.Д. Прохоров и др. - М.: Недра, 1982. - 280 с.

128. Ентус, Н.Р. Техническое обслуживание и ремонт резервуаров / Н.Р. Ентус. - М.: Химия, 1982. - 240 с.

129. Жубейли, Ж. Повышение эффективности эксплуатации резервуаров нефтехранилищ: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.15.13 / Жубейли Жабер. – М., 2000. - 22 с.

130. Жубейли, Ж. К вопросу использования азота в нефтебазовом хозяйстве / Ж. Жубейли, Д.А. Прохоров, Маан-Ал-Мухлеф // Науч.-техн. сб.: "Магистральные и промысловые трубопроводы: проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт". 1998. - № 4. - С. 82-88.

131. Загородских Б.П. Снижение обводнённости дизельного топлива при эксплуатации автотракторной техники / Загородских Б.П., Абрамов С.В., Маяков Д.С. // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. 2018. № 1. С. 72.

132. Зазуля, А.Н. Анализ направлений экономии топливно-смазочных материалов путем модернизации нефтехозяйств / А.Н. Зазуля, С.А. Нагорнов, Ю.Н. Сапьян, И.Г. Голубев. - М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2010. - 167 с.

133. Зазуля, А.Н. Нефтепродукты, оборудование нефтескладов и заправочные комплексы: каталог-справочник / А.Н. Зазуля, С.А. Нагорнов, В.В. Остриков и др. - М.: Информагротех, 1999. -176 с.

134. Землянский, А. А. Принципы конструирования и экспериментально-теоретические исследования крупногабаритных резервуаров нового поколения / А. А. Землянский. - Саратов : Изд-во СГГУ, 2005. - 320 с.

135. Зоря, Е. И. Сохранение качества при обороте нефтепродуктов: практическое пособие / Е. И. Зоря, О. В. Лощенкова, Ю. Н. Киташов. - М.: Изд-во "НЕФТЬ И ГАЗ", 2009. - 492 с.

136. Зоря, Е.И. Техническая эксплуатация автозаправочных комплексов: учебное пособие для ВУЗов / Е.И. Зоря, В.Г. Коваленко, А.Д. Прохоров. - М.: Паритет Граф, 2001. - 492 с.

137. Берёзина, И.С. Анализ методик расчета процесса испарения светлых нефтепродуктов при перевозке, хранении сливно-наливных операциях / И. С. Берёзина, С. Н. Головчун // Вестник АГТУ. - 2008. - № 6 (47). - С. 188-191.

138. Иванов, Н.Д. Эксплуатационные и аварийные потери нефтепродуктов и борьба с ними / Н.Д. Иванов. - М.: Недра, 1968. - 180 с.

139. Ильницкий, Д.В. Нефтехозяйства колхозов и совхозов / Д.В. Ильницкий, Ю.В. Арсению, В.С. Деревянко. - Киев: Изд-во "Урожай", 1979. - 184 с.

140. Ирисов, А.С. Испаряемость топлив для поршневых двигателей и методы ее исследования / А.С. Ирисов. - М.: Гостоптехиздат, 1955. - 288 с.

141. Кавиев, Г.М. Охрана воздушного бассейна на предприятиях нефтепереработки и нефтехимии в связи с переходом на экономические методы управления. Тематический обзор. Серия: Нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность / Г.М. Кавиев, В.С. Моряков, В.К. Загвоздкин, В.А. Ходякова. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1990. - 56 с.

142. Кавиев, Г.М. Сокращение потерь углеводов / Г.М. Кавиев, М.М. Губайдуллин, М.М. Гибадуков // Нефтяное хозяйство. - 1989. - №5. - С. 3-7.
143. Казубов, А.И. Понтоны из синтетических материалов для резервуаров / А.И. Казубов // ТНТО ЦНИИТЭнефтехим. Сер. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 1975. - 70 с.
144. Каравайченко, М.Г. Резервуары с плавающими крышами. / М.Г. Каравайченко, Л.А. Бабин, Р.М. Усманов. - М.: Недра, 1992. - 236 с.
145. Карапетьянц, М.Х. Химическая термодинамика / М.Х. Карапетьянц. - М: Химия. 1975. – 583 с.
146. Каширская, О.А. Кинетика испарения и конденсации органических веществ и воды в присутствии неконденсирующихся газов: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04 / Каширская Ольга Александровна. – М., 2010. - 18 с.
147. Коваленко, В.П. Опыт борьбы с потерями нефтепродуктов при хранении, транспортировке и выдаче / В.П. Коваленко, В.Е. Турчанинов // Серия Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1985. - 57 с.
148. Коваленко, В.П. Проектирование объектов системы нефтепродуктообеспечения: методические рекомендации по дипломному проектированию / В.П. Коваленко, А.В. Симоненко, В.С. Яковлев. - М.: МГАУ, 2000. - 64 с.
149. Коган, В.Б. Равновесие между жидкостью и паром. Справочник / В.Б. Коган, В.М. Фридман, В.В. Кафаров. - М.: Наука. 1967.- 646 с.
150. Козлов, Б.Н. Газоуравнительная система резервуаров / Б.Н. Козлов // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 1992. - № 5. - С. 5-7.
151. Компанеец, А. С. Теоретическая физика : учебное пособие для вузов / А. С. Компанеец . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Просвещение, 1957 . – 563 с.

152. Константинов, Н.Н. Борьба с потерями от испарения нефти и нефтепродуктов / Н.Н. Константинов. - М.: Гостоптехиздат, 1961. - 260 с.
153. Концепция развития аграрной науки и научного обеспечения агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2025 года [одобрена Общим годичным собранием Россельхозакадемии 13.02.2007 г., утверждена приказом Минсельхоза России от 25.06.2007 г. № 342]. - М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2007. - 46 с.
154. Кореннов, Б.Е. Исследование водовоздушных эжекторов с удлиненной цилиндрической камерой смешения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.03/ Кореннов Б.Е. - М., 1980. - 23с.
155. Коршак, А.А. 50 вопросов и ответов о том, как сократить выбросы паров бензина из резервуаров в атмосферу / А.А. Коршак.- Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. - 87 с.
156. Коршак, А.А. Основы нефтегазового дела: учебник для ВУЗов / А.А. Коршак, А.М. Шаммазов. - Уфа.: ООО "ДизайнПолиграфСервис", 2005 - 528 с.
157. Коршак, А.А. Современные средства сокращения потерь бензинов от испарения / А.А. Коршак.- Уфа: ООО "ДизайнПолиграфСервис", 2001. - 144 с.
158. Коршак, А.А. Об эффективности применения понтонов для сокращения потерь бензинов / А.А. Коршак, Г.Н. Бусыгин, А.М. Шаммазов // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 1997. - №10. - С. 9-12.
159. Коршак, А.А. Экологическая целесообразность применения плавающих покрытий в резервуарах / А.А. Коршак, С.А. Коршак // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: Докл. 4-й Всерос. науч.- практ. конф. – СПб, 1999. – С. 416-417.
160. Коршак, А.А. О целесообразности применения понтонов в бензиновых резервуарах / А.А. Коршак, С.А. Коршак // Наука и технология углеводородных дисперсных систем: Материалы 2-го Междунар. симп. – Уфа, 2000. – Т.1. – С. 234-235.

161. Коршак, А.А. Оценка фактических потерь нефти и нефтепродуктов / А.А. Коршак, С.А. Коршак // Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. – Уфа: ООО "ДизайнПолиграфСервис", 2002. - С. 359-423.

162. Коршак, С.А. Критерий подобия для описания процессов массоотдачи в резервуарах длительного хранения нефти и нефтепродуктов / С.А. Коршак // Транспорт и хранение нефтепродуктов.-2002.-№10-11. - С.27-28.

163. Коршак, С.А. Массоотдача в емкости с частично открытой поверхностью / С.А. Коршак, А.А. Коршак // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов.- 1998. - №10. -С.24-25.

164. Коршак, А.А. О расходах через дыхательную арматуру резервуаров при "больших дыханиях" /А.А. Коршак, Г.Н. Бусыгин, А.Б. Галяутдинов // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 1995. - №7. - С. 11-12.

165. Коршак, А.А. Системы улавливания легких фракций нефти и нефтепродуктов из резервуаров: учебное пособие / А.А. Коршак, И.Г. Блинов, В.Ф. Новоселов. - Уфа: Изд. Уфимс. нефт. ин-та, 1991. - 71 с.

166. Коршак, А.А. Выбор средств сокращения потерь нефтепродуктов из резервуаров с учетом времени их внедрения / А.А. Коршак, Г.Н. Бусыгин, А.М. Шаммазов // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 1998. - № 10. - С. 6-8.

167. Коршак, А.А. Нефтебазы и АЗС: учеб. пособие для системы проф. переподгот. по направлению "Транспорт и хранение нефти, нефтепродуктов и газа" / А.А. Коршак, Г.Е. Коробков, Е.М. Муфтахов. - Уфа: ДизайнПоли-графСервис, 2006. - 416 с.

168. Коршак, А.А. Применение "Норм естественной убыли нефтепродуктов при приеме, хранении, отпуске и транспортировании" / А.А. Коршак, В.П. Ботыгин. - Уфа: Изд-во Уфимс. нефт. ин-та, 1994. - 58 с.

169. Коршак, А.А. Ресурсосберегающие методы и технологии транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов / А.А. Коршак. - Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006. - 196 с.

170. Коршак, А.А. Современные средства сокращения потерь бензинов от испарения/ А.А. Коршак. - Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2001. - 141 с.

171. Коршак, А.А. Универсальный метод расчета суммарных потерь от "дыханий" резервуаров / А.А. Коршак, С.А. Коршак // Известия вузов. Нефть и газ. - 1999. - № 4. - С. 85-87.

172. Коршак, С.А. Новые критериальные уравнения массоотдачи от поверхности бензина в резервуарах типа РВС / С.А. Коршак, А.А. Коршак, А.М. Шаммазов // Нефть и газ. - 2003. - № 5. - С. 73-76.

173. Коршак, С.А. Совершенствование методов расчета потерь бензинов от испарения из резервуаров типа РВС и РВСП : автореф. дис. ...канд. тех. наук: 25.00.19 / Коршак Сергей Алексеевич. - Уфа, 2003. - 22 с.

174. Красильников, П.М. Введение в физику конденсированных сред и макромолекул / П.М. Красильников, Н.Л. Левшин, М.В. Тамм. - М.: Изд-во МГУ, 2007. - 95 с.

175. Краснов, В. И. Модели отказов резервуаров с плавающей крышей / В. И. Краснов, М.Г. Каравайченко, Г.М. Валитова // III Всесоюз. науч. конф. – Ташкент, 1983.- С. 11-13.

176. Краснов, М. Л. Сборник задач по обыкновенным дифференциальным уравнениям: учебное пособие / М. Л. Краснов, А. И. Киселев, Г. И. Макаренко. – изд. 3-е, перераб., и доп. – М.: Высш. шк., 1978. – 287 с.

177. Кузнецов, Е.В. Модели и алгоритмы прогнозирования потерь светлых нефтепродуктов при проведении технологических операций на нефтебазах: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.01 / Кузнецов Евгений Вячеславович. – М., 2010. - 135 с.

178. Кулагин, А.В. К расчету потерь нефти и нефтепродуктов из подземных емкостей / А.В. Кулагин, А.А. Коршак //Трубопроводный транспорт нефти и газа: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. - 2002. - С. 125 - 128.

179. Кулагин, А.В. Повышение экологической безопасности автозаправочных станций при сливе бензина в резервуар / А.В. Кулагин, А.А. Коршак //Проблемы нефтегазового комплекса: Материалы научно-методической конференции. - 2000. - С. 195.

180. Кулагин, А.В. Разработка методик расчета и сокращения потерь бензина из резервуаров автозаправочных станций / А.В. Кулагин, А.А. Коршак //Проблемы нефтегазового комплекса: Материалы научно-методической конференции. - 2000. - С. 196.

181. Кулагин, А.В. Улавливание паров бензина при его приеме в резервуары автозаправочных станций / А.В. Кулагин, А.А. Коршак //Трубопроводный транспорт нефти и газа: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. - 2002. - С. 128 - 132.

182. Кулагин, А.В. Прогнозирование и сокращение потерь бензинов от испарения из горизонтальных подземных резервуаров АЗС : дис. ... канд. тех. наук : 25.00.19 / Кулагин Андрей Владимирович. - Уфа, 2003. - 183 с.

183. Курганский, М.И. Определение герметичности покрытия железобетонных резервуаров / М.И. Курганский, П.Р. Ривкин // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. -1976. -№ 12. -С. 32-34.

184. Кухмазов, К.З. Нефтехозяйство сельскохозяйственного предприятия: учебное пособие / К.З. Кухмазов, З.Ш. Хабибуллин, Ю.В. Гуськов. - Пенза: РИО ПГСХА, 2002. - 180 с.

185. Кутателадзе, С.С. Тепломассообмен и волны в газожидкостных системах / С.С. Кутателадзе, В.Н. Накоряков. - Новосибирск: Наука, 1984. - 302 с.

186. Ландау, Л.Д. Механика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. - М.: Гостехиздат, 1953.- 788 с.

187. Ландау, Л.Д. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика / Л.Д. Ландау, А.И. Ахиезер, Е.М. Лифшиц. - М.: Наука. 1969.- 400 с.
188. Ландау, Л.Д. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. - М.: Наука, 1986.- 736 с.
189. Ландау, Л.Д. Статистическая физика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. - М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1940. – 616 с.
190. Лебедев, И.В. Модели расчета мощности выброса углеводородов в атмосферу при транспортировке и хранении нефтепродуктов /И.В. Лебедев, Ф.Ф. Абузова, В.Е. Щеглов // Экология и промышленность России. - 2006. - № 5. - С. 28-29.
191. Левин М.Ю. Метод расчета потерь топлива при заполнении наземных горизонтальных цилиндрических резервуаров [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю. // Наука в центральной России. 2019. № 5 (41). С. 119-125.
192. Левин М.Ю. Совершенствование технологии хранения светлых нефтепродуктов с использованием интеллектуального нефтесклада [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю. // Наука в центральной России. 2019. № 6 (42). С. 84-91.
193. Левин М.Ю. Сокращение потерь топлива при заполнении наземных горизонтальных цилиндрических резервуаров [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А. // Наука в центральной России. 2019. № 1 (37). С. 99-103.
194. Левин М.Ю. Исследование температурного поля в наземном горизонтальном цилиндрическом резервуаре [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А. // Наука в центральной России. 2019. № 1 (37). С. 103-107.
195. Левин М.Ю. Совершенствование методики расчета потерь моторного топлива от испарения [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю. // Естественные и технические науки 2018 .- Т. 125 , № 11 .- С. 444 - 447

196. Левин М.Ю. Расчет потерь моторного топлива от испарения с изменяемой поверхности [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Романцова С.В. // Наука в центральной России. 2017. № 2 (26). С. 77-84.
197. Левин М.Ю. Использование вихревых систем для сохранения качества моторного топлива [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю. // Наука в центральной России. 2017. № 3 (27). С. 101-112.
198. Левин М.Ю. Особенности процесса испарения топлива из наземных горизонтальных резервуаров [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю. // Наука в центральной России. 2017. № 4 (28). С. 121-130.
199. Левин М.Ю. Управление рисками при хранении светлых нефтепродуктов с применением нейронных сетей [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А. // Наука в центральной России. 2017. № 1 (25). С. 79-86.
200. Левин М.Ю. Модель рассеяния неоднородного потока атмосферного воздуха для расчета зоны испарения топлива при его хранении [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А. // Наука в центральной России. 2017. № 1 (25). С. 86-90.
201. Левин М.Ю. Формализация алгоритма проектирования архитектуры нейронных сетей на практике [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А. // Наука в центральной России. 2016. № 1 (19). С. 81-87.
202. Левин М.Ю. Новый метод анализа состояния упругого тела от массовых сил, порождаемых нанодисперсными магнитными жидкостями [Текст] / Пеньков В.Б., Левина Л.В., Левин М.Ю., Кузьменко Н.В. // Наука в центральной России. 2016. № 2 (20). С. 12-16.
203. Левин М.Ю. Влияние архитектуры многослойной персептронной нейронной сети на результаты прогноза стабильности водно-биотопливной эмульсии [Текст] / Левина Е.Ю., Левин М.Ю., Нагорнов С.А. // Естественные и технические науки. 2015. № 4 (82). С. 137-140.
204. Левин М.Ю. Моделирование течения жидких сред в процессе механоактивации [Текст] / Левина Е.Ю., Левин М.Ю., Нагорнов С.А. // Инновации и инвестиции. 2015. № 4. С. 136-138.

205. Левин М.Ю. Прогнозирование показателей качества водно-био-топливной эмульсии с применением нейронных сетей [Текст] / Левина Е.Ю., Левин М.Ю., Нагорнов С.А. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2015. № 1. С. 156-161.

206. Левин, М.Ю. Совершенствование методов и технических средств для снижения потерь моторного топлива при хранении: Монография / М.Ю. Левин, Е.Ю. Левина. – Липецк: Колор, 2020. – 272 с.

207. Левин М.Ю. Сохранение качества биодизельного топлива за счет совершенствования технологии его хранения : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01, 05.20.03 / Левин Максим Юрьевич; [Место защиты: Мичурин. гос. аграр. ун-т]. - Мичуринск-Наукоград РФ, 2012. - 186 с. : ил.

208. Левитин, Р.Е. Подземное хранение нефтепродуктов в горизонтальных стальных резервуарах с использованием инертных газов: дис. ... канд. тех. наук: 25.00.19/ Левитин Роман Евгеньевич. - Тюмень, 2008. - 138 с.

209. Ликсутина А.П. Химическая технология органических веществ : учебное пособие / М.Ю. Субочева, А.П. Ликсутина, М.А. Колмакова, А.А. Дегтярев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – Ч. 3. – 80 с

210. Ломовских А.Е. Активатор для повышения физико-химических свойств дизельного топлива [Текст] / Ломовских А.Е., Свиридов А.А., Волокитин А.А., Жулин А.Д., Скопин И.А. // Проблемы совершенствования машин, оборудования и технологий в агропромышленном комплексе. материалы международной научно-технической конференции. 2019. С. 277-280.

211. Любин, Е.А. Обоснование технологии улавливания паров нефти из резервуаров типа РВС с использованием насосно-эжекторной установки : автореф. дис. ... канд. тех. наук: 25.00.19 / Любин Евгений Анатольевич. - СПб.: 2010. - 21 с.

212. Лямаев, Б.Ф. Применение водовоздушных эжекторов для откачки воздуха из центробежных насосов / Б.Ф. Лямаев // Водоснабжение и санитарная техника. - 1966. - № 10. - С.1-13.

213. Маделунг, Э. Математический аппарат физики / Э. Маделунг. - М.: Наука. 1968.- 618 с.

214. Макаренко, О.А. Управление ресурсом безопасной эксплуатации стальных резервуаров для хранения нефтепродуктов: автореф. дис. ... докт. тех. наук: 05.26.03;25.00.19 / Макаренко Олег Анатольевич. - Уфа, 2010. - 47 с.

215. Малышева, И.В. Потери нефтепродуктов от испарения из заглубленных резервуаров траншейного типа / И.В. Малышева, Т.А. Рудницкая, И.А. Лескович, П.И. Назаров // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. -1967.-№3.-С. 24-27.

216. Марков, В.А. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях: Монография / В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.Г. Семенов, А.В. Шахов, В.В. Багров. - М.: ООО НИЦ "Инженер", ООО "Онико-М", 2012. - 536 с.

217. Мартяшова, В.А. Определение потерь от испарения при заполнении резервуара бензином / В.А. Мартяшова, Ф.Ф. Абузова, В.Ф. Новоселов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 1976. - №4. - с. 10-12.

218. Матяш, В.П. Пути сокращения потерь нефтепродуктов от испарения в резервуарных парках НПЗ / В.П. Матяш, М.Г. Гумеров, Н.М. Фатхиев // Тематический обзор. Серия Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - М.: УНИИТЭНефтехим, 1979. - 49 с.

219. Медникова, М.И. Сравнительный анализ методик расчета потерь нефти от испарений/ М.И Медникова // Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. ЛП

междунар. студ. науч.-практ. конф.– 2017 – № 4(51). – Режим доступа: [https://sibac.info/archive/technic/4\(51\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/4(51).pdf)

220. Меркулов, А.П. Гипотеза взаимодействия вихрей/ А.П. Меркулов //Изв. вузов. Энергетика. - 1964. -№3.- С.74-82.

221. Меркулов, А.П., Вихревой эффект и его применение в технике/ А.П. Меркулов. - М.: Издательство "Машиностроение", 1969. - 183 с.

222. Методика расчета потерь от испарения нефти и нефтепродуктов из наземных резервуаров: учебно-методическое пособие. - Уфа: Изд-во УНИ, 1974. - 68 с.

223. Методика расчета потерь от испарения нефти и нефтепродуктов из резервуаров. - Уфа: НИИТранснефть, 1965. - 76 с.

224. Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров / Гос. комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. - М., 1997. - 56 с.

225. Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров. - М.: Госкомэкологии России, 1997. - 48 с.

226. Методические указания по проектированию нефтескладов для колхозов и совхозов / А.Н. Никифоров, Н.П. Гермаш, А.В. Викторов и др. - М.: ВИМ, 1985. - 40 с.

227. Молчанова, Р.А. Исследования по выбору типов резервуаров для хранения легкоиспаряющихся нефтепродуктов : дис. ... канд. тех. наук : 05.15.07 / Молчанова Раиса Абубакировна. - Уфа, 1981. - 165 с.

228. Моряков, В.С. Потери нефти и нефтепродуктов при эксплуатации резервуаров на НПЗ / В.С. Моряков, Л.Л. Татарников, Е.Я. Кардаш, А.С. Ярмухаметов // Химия и технология топлив и масел. - 1977. - № 8. - С. 8-10.

229. Мстиславская, Л.П. Нефтегазовое производство (Вопросы, проблемы, решения): учебное пособие/ Л.П. Мстиславская. - М.: РГУ нефти и газа, 1999.- 103 с.

230. Нагорнов, С.А. Показатели качества биодизеля по технологическим параметрам рапсового масла для обучения нейронной сети / С.А. Нагорнов, М.Ю. Левин / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012620041. -Заявка № 2011620865 от 17 ноября 2011 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10 января 2012 г.

231. Нагорнов, С.А. Повышение качества хранения светлых нефтепродуктов / С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, А.Н. Зазуля, И.Г. Голубев. - М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2005. - 256 с.

232. Нагорнов, С.А. Повышение эффективности работы нефтехозяйств в АПК: Научное издание / С.А. Нагорнов, А.Н. Зазуля, С.В. Романцова, И.Г. Голубев. - М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2008. - 168 с.

233. Нагорнов, С.А. Эффективное использование нефтепродуктов в сельском хозяйстве / С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, А.Н. Зазуля, И.Г. Голубев. - М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2006. - 192 с.

234. Несговоров, А.М. Совершенствование систем, методов и способов измерения количества и качества нефтепродуктов: автореф. дис. ...канд. тех. наук: 05.15.13 / Несговоров Алексей Михайлович. - Уфа, 1994. - 23 с.

235. Нехаев, Г. А. Проектирование и расчет стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления: учебное пособие / Г. А. Нехаев. - М.: Изд-во АСВ, 2005. - 216 с.

236. Новоселов, В. Ф. Резервуары для хранения нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов / В. Ф. Новоселов. - М.: Недра, 1999. - 365 с.

237. Нормы естественной убыли нефтепродуктов при приеме, транспортировании, хранении и отпуске на объектах магистральных нефтепродуктопроводов: РД 153-39.4-033-98. -М.:Транснефтепродукт, 1998.- 24 с.

238. Нормы естественной убыли нефтепродуктов при приеме, хранении, отпуске и транспортировании. Астрахань: Госкомнефтепродукт СССР, 1986. - 38 с.

239. Нормы естественной убыли нефти и нефтепродуктов при приеме, отпуске и хранении. - М.: Госнаб СССР, 1977. - 36 с.

240. Нургалева, А.Р. Усовершенствование технологии извлечения остаточных запасов углеводородов из заблокированных зон на основе теории нелинейной волновой механики: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.17 / Нургалева Аделя Ринатовна. - Тюмень, 2005 - 27 с.

241. Оленев, Н.М. Хранение нефти, нефтепродуктов и газа / Н.М. Оленев. - Л.: Гостоптехиздат, Ленинградское отделение, 1954. - 618 с.

242. Оленев, Н.М. Хранение нефти, нефтепродуктов и газа: учебное пособие / Н.М. Оленев. - Л.: Гос. науч.-тех. издат. нефтяной и горно-топливной литературы, 1958. - 531 с.

243. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский - М.: Финансы и статистика, 2002. - 344 с.

244. Охотникова, Е.С. Особенности совместимости высоковязких нефтей / Е.С. Охотникова, Е.Е. Барская, Ю.М. Ганеева, Т.Н. Юсупова, Л.В. Федонина, Г.В. Романова //Химия и технология топлив и масел. - 2015. - № 1. - С. 17-20.

245. Чепмен, С. Математическая теория неоднородных газов / С. Чепмен, Т. Каулинг. - М.: Издательство иностранной литературы, 1960.- 511 с.

246. Пальченков, Г.И. Исследование теплообмена модельной частицы с псевдооживленным слоем / Г.И. Пальченков, А.И. Тамарин // Инж.-физ. ж. - 1983. - Т.45. - № 3. - С. 427-433.

247. Панков, А.Н. Топливо-энергетический комплекс России, повышение качества оптимизации проектов через экономическую и экологическую эффективность / А.Н. Панков // Вопросы экономики и права. - 2015. - № 6.- С. 79-82.

248. Пархоменко, В. В. Анализ крупногабаритных резервуаров и разработка универсальной управляемой воздушной камеры с целью сокращения потерь нефтепродукта при хранении / В. В. Пархоменко // Вестник СевКавГТУ. - 2009. - №4 (21).- С. 41-45.

249. Пархоменко, В. В. Изучение прочности защитного материала при действии на него знакопеременных усилий /В. В. Пархоменко // Научный потенциал студенчества в XXI веке: Материалы III международной научной студенческой конференции. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2009. – Т1. – С. 171-172.

250. Пархоменко, В. В. Метод уменьшения потерь нефтепродукта при "дыханиях" резервуара / В. В. Пархоменко // Научный потенциал студенчества будущему России: Материалы всероссийской научной студенческой конференции. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2006. –Т3.- С. 67.

251. Пархоменко, В. В. Модернизация резервуара вертикального стального/ В. В. Пархоменко // Научный потенциал студенчества будущему России: Материалы международной научной студенческой конференции. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2007.-Т1.- С 34-35.

252. Пархоменко, В. В. Разработка и испытание универсальной управляемой камеры / В. В. Пархоменко // Вестник СевКавГТУ. - 2011. - №3 (28). - С. 7882.

253. Пархоменко, В. В. Техничко-экономическое обоснование эффективности устройств сокращения потерь нефтепродукта в резервуарах / В. В. Пархоменко // Вестник СевКавГТУ. - 2010. -№2 (23). - С. 22-26.

254. Пархоменко, В. В. Результаты испытаний опытной модели управляемой воздушной камеры / В.В. Пархоменко, Е. Д. Басов // Материалы XXXVIII научно-технической конференции по итогам работы профессорско-преподавательского состава. - Ставрополь: СевКавГТУ, 2009. - Т1. - С 64.

255. Пархоменко, В.В. Новые технологии в газовой промышленности / В.В. Пархоменко, Б.Г. Шумский // Тезисы докладов

восьмой всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов. -2009. - С. 131.

256. Пархоменко, В.В. Обоснование параметров универсальной управляемой камеры для сокращения потерь нефтепродуктов при хранении в резервуарах: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19/ Пархоменко Виктор Викторович. - Ставрополь, 2010. - 136 с.

257. Патент RU 2 592 801 C1. Комбинированный статический смеситель-активатор / Нагорнов С.А., Левина Е.Ю., Левин М.Ю. // Дата начала отсчета срока действия патента: 23.06.2015

258. Патент РФ № 2035365. Установка для хранения и налива испаряющихся продуктов /Ф.Ф. Прохоренко, Г.А. Андреева // Изобретения. - 1995. - № 14. -С. 134.

259. Патент РФ № 2134654. Устройство для регенерации паров в резервуаре легкоиспаряющимися жидкостями / В.А. Майоров, Д.В. Майоров // Открытия. Изобретения. - 1999. -№ 23. - С. 174.

260. Патент РФ № 2156727. Устройство для регенерации паров в резервуаре с легкоиспаряющимися жидкостями / В.А. Майоров, Д.В. Майоров.

261. Патент РФ № 2163560. Устройство для предотвращения потерь легкоиспаряющейся жидкости, хранящейся в резервуаре / В.В. Жабо, К.Е. Зегер.

262. Пиралишвили, Ш.А. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения / Ш.А. Пиралишвили, В.М. Поляев, М.Н. Сергеев; под ред. А.И. Леонтьева. - М.: УНПЦ "Энергомаш", 2000.- 412 с.

263. Понтон для вертикальных стальных резервуаров/ Симонов Дмитрий Александрович, Багдасаров Реджинальд Сергеевич, Багдасарова Юлия Александровна // 2307776
[<http://www.findpatent.ru/patent/230/2307776.html>]

264. Попова, З.А. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов / З.А. Попова. - М.: Недра, 1972. - 88 с.

265. Послание Президента РФ В.В. Путина Федеральному Собранию РФ от 3 декабря 2015 г. б/н (О положении в стране и основных направлениях внутренней и внешней политики государства) [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/40542>
266. Правила технической эксплуатации нефтебаз. –М.:Недра, 1986. - 168 с.
267. Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов. РД 39-0147103-385-87. -Уфа : ВНИИСПТнефть, 1988.- 282 с.
268. Прандтль, Л. Гидроаэромеханика / Л. Прандтль. - М.: Изд-во иностранной литературы, 1949.- 520 с.
269. Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. - М.: Изд-во НИУ "Высшая школа экономики", 2017. - 138 с.
270. Прохоров, А. Г. Исследование процессов слива и хранения автомобильных бензинов на АЗС: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.07/ Прохоров Александр Григорьевич . - М., 1978. - 268 с.
271. Путилов, А.В. Использование азота в качестве инертной среды газового пространства резервуаров при хранениях нефти и нефтепродуктов / А.В. Путилов, Ю.С. Каджоян, Н.П. Коптев, И.П. Соколов, И.Ю. Мареев // Экология и промышленность России. - 2003. - № 9. - С. 31-33.
272. Путьковская, С.С. Определение потерь топлива от испарения методом непосредственного сравнения образцов / С.С. Путьковская, Н.И. Тихонов // Нефтяное хозяйство. - 1955. - № 9. - С. 78-82.
273. Пышков, Н.Н. Улавливание паров легких углеводородов / Н.Н. Пышков, Т.Н. Самолаева, В.Б. Сохранский // Газовая промышленность. - 2000. - № 2. - С. 10.
274. Радушкевич, Л.В. Курс термодинамики / Л.В. Радушкевич. - М.: Просвещение, 1979.- 288 с.

275. Рамм, В.М. Абсорбционные процессы в химической промышленности / В.М. Рамм.- М.: Госхимиздат, 1951.-351с.
276. Результаты испытаний эластичного газосборника ёмкостью 1000 м / В.М. Качалин, Б.Н. Козлов, Г.К. Лебедев и др. // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 1974. -№ 5. - С. 15-17.
277. Ржавский, Е.Л. Испытания уплотняющих затворов в резервуарах с плавающими крышами /Е.Л. Ржавский, Е.И. Глушков // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - 1970. - № 9. - С. 16-21.
278. Ржавский, Е.Л. Методы и средства борьбы с потерями нефти и нефтепродуктов при транспортировке и хранении / Е.Л. Ржавский //ТНТО ВНИИОЭНГ. Сер. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - М.: ВНИИОЭНГ, 1969. - 65 с.
279. Россия, наконец, добыла больше нефти, чем в 1990 году (22-05-2013 г.) [Электронный ресурс] - Режим доступа:<http://novostink.ru/sng/47141-rossiya-nakonec-dobyla-bolshe-nefti-chem-v-1990-godu.html#ixzz5P5AEIbwc>
280. Рошак, И.И. Разработка насосно-эжекторных агрегатов для утилизации низкопотенциальных природных и нефтяных газов: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.07 / Рошак Иосиф Иванович. - М., 1983.- 166 с.
281. Рошак, И.И. Расчет характеристик жидкостно-газового / И.И.Рошак, К.Г. Донец, А.В. Городивский // //Нефтяное хозяйство. -1980.- №8.-С.44-46.
282. Руфанова, И.М. Анализ процессов перетока паровоздушной смеси в газо-уравнительной системе резервуаров / И.М. Руфанова, А.А. Коршак // Известия ВУЗов. Сер. Нефть и газ. - 2000. - № 1. - С. 84-87.
283. Рябинин, В.П. Повышение остойчивости понтонов вертикальных стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов : дис. ...канд. тех. наук: 25.00.19 / Рябинин Владимир Петрович. Уфим. гос. нефтяной техн. ун-т. - Уфа, 2009. - 240 с.

284. Савватеев, Н.Ю. Сокращение потерь углеводородов при промышленной подготовке нефти к магистральному транспорту: дис. ... канд. тех. наук: 25.00.19 / Савватеев Николай Юрьевич. - Тюмень, 2002. - 172 с.

285. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017660610. Система автоматизированного управления горизонтальными резервуарами на нефтескладе / М.Ю. Левин, С.А. Нагорнов; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. – №; заявл.; опубл. от 22.09.2017.

286. Сальников, А.В. Потери нефти и нефтепродуктов: учебное пособие / А.В. Сальников. - Ухта: УГТУ, 2012. - 108 с.

287. Сагтарова, Д.М. Потери от испарения из резервуаров и параметры работы газоуравнительных систем при операциях с нестабильными бензинами: дис. ... канд. тех. наук: 05.15.07 / Сагтарова Дина Мухамадгалеевна. Уфим. нефт. ин-т. - Уфа, 1982. - 179 с.

288. Сагтарова, Д.М. К расчету величины потерь нефтепродуктов из резервуаров в условиях интенсификации технологических процессов / Д.М. Сагтарова, Ф.Ф. Абузова, В.И. Жерновкова // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - 1981. - №9.- С.24-25.

289. Сафарян, М. К. Металлические резервуары и газгольдеры / М. К. Сафарян. - М.: Недра, 1987. - 200 с.

290. Сафиуллин, Р.Н. Методология повышения эффективности функционирования автотракторной техники на основе оценки и реализации технологического уровня применяемого топлива: автореф. дис. ... доктор техн. наук: 05.20.03 / Сафиуллин Равиль Нуруллович. - СПб., 2015 - 37 с.

291. Сафонова, Т.А. Приближенная оценка влияния выделения теплоты трения на потери от испарения нефти из резервуаров / Т.А. Сафонова, Ф.Ф. Абу-зова, Л.Р. Хакимьянова // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - 1980. - №8. -С. 24-26.

292. Светлые нефтепродукты: способы получения, основные свойства и использование / А.П. Уханов, Ю.В. Гуськов, С.А. Нагорнов, А.Н. Зазуля. - Пенза: РИО ПГСХА, 2008. - 203 с.

293. Семикашев, В.В. Рост цен на бензин в России и возможные меры по его сдерживанию / В.В. Семикашев // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. - 2006. - Т. 4. - С. 415-429.

294. Сергеев, Ю. А. Процессы движения фаз и массообмена в неоднородных дисперсных системах: дис. ...д-ра наук: 01.02.05 / Сергеев Юрий Александрович.- М., 1990.- 302 с.

295. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика/ Д.В. Сивухин. - М.: Наука, 1975.- 552 с.

296. Скршшиков, В.П. Теплофизические свойства жидкостей в метастабильном состоянии / В.П. Скршшиков, Е.Н. Сеницын и др.- М.: Атомиздат, 1980. -208 с.

297. Смоленцев, В.М. Прогнозирование потерь нефти в резервуарных парках нефтеперекачивающих станций магистральных нефтепроводов: дис. ... канд. тех. наук: 25.00.19 / Смоленцев Василий Михайлович. - Тюмень, 2003. - 135 с.

298. Спиридонов А.А., Васильев Н.Г. Планирование эксперимента / А.А. Спиридонов, Н.Г. Васильев. - Свердловск: Изд-во УПИ им. С.М. Кирова, 1975. - 149 с.

299. Старков, М.В. Потери нефти и нефтепродуктов при транспортировке и хранении за рубежом / М.В. Старков // Тематический обзор. Серия: Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - М.: ЦНИ-ИНефтехиммаш, 1980. - 53 с.

300. Степанова, Г.С. Расчет фазовых равновесий углеводородных смесей газоконденсатных месторождений / Г.С. Степанова, Н.М. Выборнов, Я.И. Выборнова. - Москва: Недра, 1969. - 65 с.

301. Суслов, А. Д. Вихревые аппараты / А. Д. Суслов, С. В. Иванов, А. В. Мурашкин, Ю. В. Чижиков. - М.: Машиностроение, 1985. - 256 с.

302. Тарабанов, М.Г. J-d диаграмма влажного воздуха. Методические указания / М.Г. Тарабанов. - Волгоград, 2003. – 24 с.
303. Тарасова, Н.М. Кратко о проблемных вопросах нефтедобычи в России / Н.М. Тарасова // Вестник Казанского технологического университета. - 2013. - Т. 16. - № 11. - С. 247-248.
304. Татаренко, А.В. Сравнение двух методов расчета потерь от "малых дыханий" / А.В. Татаренко // Изв. ВУЗов. Сер. Нефть и газ. - 1990. - №1. - С. 68-70.
305. Татаренко, А.В. К построению математической модели для расчета потерь летучих жидкостей от испарения /А.В. Татаренко // Изв. ВУЗов. Сер. Нефть и газ. - 1990. - № 2. - С.63-65.
306. Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. - М.: Атомиздат, 1979.- 416 с.
307. Теляшева, Г.Д. Давление насыщенных паров бензинов при различных соотношениях паровой и жидкой фаз / Г.Д. Теляшева, Н.В. Дьяченко // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - 1983.- №7. - С. 15-16.
308. Терехов, В.А. Нейросетевые системы управления / В.А. Терехов, Д.Я. Ефимов, И.Ю. Тюкин, В.Н. Антонов - СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 1999. - 265 с.
309. Титков, В.И. Некоторые вопросы проектирования газовых обвязок для сырьевых резервуарных парков / В.И. Титков // Нефтяное хозяйство. - 1960. - № 6. - С. 61-66.
310. Тихонов, А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. - М: Наука, 1966. – 444 с.
311. Ткачев, О.А. Сокращение потерь нефтепродуктов при транспортировке и хранении / О.А. Ткачев, П.И. Тугунов. - М.: Недра, 1988. - 116 с.
312. Топливо и смазочные материалы: учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений / В.В. Остриков, С.А. Нагорнов,

О.А. Клейменов, Н.Н. Тупотилов, С.А. Булавин, С.В. Стребков. - Белгород: Изд-во Белгородской ГСХА, 2008. - 230 с.

313. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебное пособие / В.В. Остриков, А.П. Уханов, К.У. Сафаров, С.А. Нагорнов, О.А. Клейменов, В.Д. Прохоренков. - Ульяновск, 2009. - 575 с.

314. Тронов, В.П. Совершенствование технологии улавливания легких фракций на промыслах / В.П. Тронов, В.П. Метельков, В.П. Моргаев // Нефтяное хозяйство. - 1985. - №3. - С. 49-50.

315. Труб, И.А. О выборе типа газоотсасывающего устройства для вакуумного деаэрата отопительной котельной / И.А. Труб, З.С. Гриднева // Водоснабжение и санитарная техника. - 1968.- №5. - С.22-25.

316. Тугунов, П.И. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов: учебное пособие для ВУЗов // П.И. Тугунов, В.Ф. Новоселов, А.А. Коршак. и др. - Уфа: ООО "ДизайнПолиграфСервис", 2002. - 658 с.

317. Уварова, Л. А. Теплоперенос в оптически нелинейных средах: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.14 / Уварова Людмила Александровна. - СПб., 1991. - 264 с.

318. Уварова, Л.А. Математическая теория высокотемпературного парообразования неоднородных жидкостей в капиллярах: монография / Л.А. Уварова, В.Л. Малышев. - Могилев: УПКП "Могилев обл. укрупн. тип.", 2002. - 126 с.

319. Уиггинс, Дж. Способы уменьшения потерь нефти от испарения/ Дж. Уиггинс. - Баку, 1925. - 78 с.

320. Фатхиев, Н. М. К расчету нестационарного испарения нефти в резервуаре с плавающей крышей / Н. М. Фатхиев / / Трубопроводный транспорт нефти северных месторождений. - Уфа : УНИ, 1984. - С. 92-979,

321. Фатхиев, Н.М. Исследование процесса испарения горячих нефтепродуктов в резервуарах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук.: 05.316 / Фатхиев Н.М. - М., 1970. - 17 с.

322. Фатхиев, Н.М. Расчет потерь горячих нефтепродуктов от "больших дыханий" резервуаров // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья.- 1970.-№10.-с. 1-3.

323. Фатхиев Н.М. Расчет расхода паровоздушной смеси через дыхательные клапаны при наполнении и опорожнении резервуаров / Н. М. Фатхиев // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 1970. - №3. - С. 4-6.

324. Фатхиев, Н.М. Применение плавающих покрытий для сокращения потерь нефти и нефтепродуктов / Н. М. Фатхиев // ТНТО ВНИИОЭНГ. Сер. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - 1979. - 60 с.

325. Фиалков, Ю. Л. Двойные жидкие системы / Ю. Л. Фиалков. - Киев: Техніка, 1969 – 219 с.

326. Филиппов А.Ф. Сборник задач по дифференциальным уравнениям / А.Ф. Филиппов. - М.: Интеграл-Пресс, 1998. — 208 с.

327. Финн, Р. Равновесные и капиллярные поверхности. Математическая теория / Финн Р. - М.: Мир, 1989. – 310 с.

328. Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления: в 3 т. / Г.М. Фихтенгольц. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 3 т.

329. Фролов, В.В. Химия: учебное пособие для машиностроительных специальностей ВУЗов / В.В. Фролов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М: Высшая школа, 1986. -543 с.

330. Фролов, Ю. Г. Физическая химия: учебное пособие для вузов / Ю. Г. Фролов, В.В. Белик; под ред. Ю. Г. Фролова. - М., Химия, 1993. - 464 с.

331. Хакимьянова, Л.Р. Сокращение потерь от испарения бензинов в промышленных резервуарах: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.13. / Хакимьянова Ляля Руфгатовна. - Уфа, 1985. - 249 с.

332. Ханнуф, Т.И. Уплотнения резервуаров с плавающей крышей / Т.И. Ханнуф. - Минск: БГПА, 1994. - 36 с.

333. Хафизов, Ф.М. Сокращение потерь от испарения бензинов из резервуаров уменьшением взаимодействия воздуха с испаряющейся поверхностью: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.13 / Хафизов Ф.М. - Уфа, 1988. - 179 с.

334. Хафизов, А.Р. Повышение эффективности технологических процессов сокращения потерь при сборе и подготовке углеводородного сырья: автореф. дис. ... докт. тех. наук: 05.15.06 / Хафизов Айрат Римович. - Уфа, 1998. - 48 с.

335. Хафизов, А.Р. Повышение эффективности технологических процессов сокращения потерь при сборе и подготовке углеводородного сырья: дис. ... докт. тех. наук: 05.15.06 / Хафизов Айрат Римович. - Уфа, 1998. - 463 с.

336. Хафизов, Ф.М. О размерах дисков-отражателей для горизонтальных цилиндрических резервуаров / Ф.М. Хафизов, А.Р. Махмутзянов, Ф.Ф. Абузова // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 1988. - № 3. - С. 15-16.

337. Хейфиц, Л.И. Многофазные процессы в пористых средах / Л.И. Хейфиц, А. В. Неймарк. - М.: Химия, 1982. - 320 с.

338. Цегельский, В.Г. Защита атмосферы от выбросов углеводородов из резервуаров для хранения и транспортирования нефти и нефтепродуктов / В.Г. Цегельский, П.Н. Ермаков, В.С. Спиридонов // Безопасность жизнедеятельности. - 2001. - № 3. - С. 16-21.

339. Цимблер, Ю.А. Потери нефтепродуктов из подземных резервуаров / Ю.А. Цимблер, В.И. Черников // Известия ВУЗов, Сер. Нефть и газ. - 1961. - №2. - С. 107-113.

340. Чекмарев, П.А. О состоянии машинно-тракторного парка, совершенствовании работы инженерно-технических служб АПК и задачах в рамках реализации Госпрограммы на 2013-2020 годы [Электронный ресурс] / П.А. Чекмарев. - Режим доступа:

http://irkobl.ru/sites/agroline/02_Chekmarev_31_01_%D0%98%D1%82%D0%BE%D0%B3_.pdf.

341. Чепурин, А. В. Анализ потребления автотранспортом нефтепродуктов и пути модернизации топливозаправочных комплексов / А. В. Чепурин, А. С. Ефимов // Международный научный журнал. - 2013. - № 3. - С. 102-104.

342. Черников, В.И. Сооружение и эксплуатация нефтебаз / В.И. Черников. - М.: Гостоптехиздат, 1955.-518 с.

343. Черников, В.И. Борьба с потерями от "больших дыханий" из резервуаров, работающих под давлением /В.И. Черников // Нефтяное хозяйство. - 1954. - № 12. - С. 69-73.

344. Черников, В.И. Проектирование, сооружение и эксплуатация нефтебаз / В.И. Черников. - М., Л.: Гостоптехиздат, 1949. - 500 с.

345. Черников, В.И. Сооружение и эксплуатация нефтебаз / В.И. Черников. - М.: Гостоптехиздат, 1955. - 522 с.

346. Черняк, И.Л. Эксплуатация нефтебаз / И.Л. Черняк, Л.А. Мацкин. - М.: Гостоптехиздат, 1956.-391 с.

347. Чикинева, Т.И. Определение объема газосборника в газоуравнительных системах резервуарных парков / Т.И. Чикинева // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 1974. - № 2. - С. 8-9.

348. Чурикова, Л.А. Анализ методов и перспективы борьбы с потерями нефти на месторождении / Л.А. Чурикова, Т.Б. Джексонов // Технические науки в России и за рубежом: материалы VI Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2016 г.). - М.: Буки-Веди, 2016. - С. 59-63.

349. Шабаева, А.С. Система улавливания паров бензинов, выбрасываемых в атмосферу при наливке железнодорожных цистерн / А.С. Шабаева, Г.И. Розенберг, В.С. Моряков // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 1981. - №5. - С. 24-26.

350. Шабаров, А.Б. Физико-математическая модель процессов движения и испарения нефти в резервуарном парке нефтепровода / А.Б. Шабаров, Ю.Д. Земенков, В.М. Смоленцев // Теплофизика, гидрогазодинамика, теплотехника: сборник статей. Вып.1. - Тюмень: ТюмГУ, 2002. - С. 62-70.
351. Шаммазов, А.М. Метод расчета суммарных потерь от "дыханий" резервуаров / А.М. Шаммазов, А.А. Коршак, С.А. Коршак // Научно-технические достижения в газовой промышленности. - Уфа: Изд-во УГНТУ, 2001. - С.286-288.
352. Шаммазов, А. М. Основы нефтепродуктообеспечения (нефтебазы и АЗС) / А. М. Шаммазов, А. А. Коршак, Г. Е. Коробков. - Уфа : ДизайнПолиграф Сервис, 2001. - 232 с.
353. Шахпаронов, М.И. Введение в молекулярную теорию растворов / М.И. Шахпаронов. - М.: Гостехиздат, 1956. – 507 с.
354. Шмидт, Л. Потери продуктов от испарения при хранении/ Л. Шмидт. -М.-Л.: Госуд. научно-технич. горно-геолого-нефтяное изд-во, 1934. - 32 с.
355. Щепин, С.Л. Улавливание паров бензина из резервуаров с использованием жидкостно-газовых эжекторов: дис. ...канд. тех. наук: 25.00.19 / Щепин Сергей Леонидович. - Уфа, 2007. - 148 с.
356. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. - 104 с. [Электронный ресурс]: LAW94054_0_20151002_142857_54007.pdf
357. Эрих, В.Н. Химия и технология нефти и газа / В.Н. Эрих, М.Г. Расина, М.Г. Рудин. - Л.: Химия, 1985. – 408 с.
358. Яковлев, В.С. Хранение нефтепродуктов. Проблемы защиты окружающей среды / В.С. Яковлев. - М.: Химия, 1987. - 152 с.

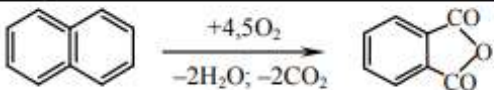
ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Тепловые эффекты наиболее распространённых реакций окисления.

Окисление относится к числу самых экзотермических процессов органического синтеза. Запишем тепловые эффекты наиболее распространённых реакций окисления в таблицу А.1.

Таблица А.1 – Тепловые эффекты важнейших реакций окисления

Реакция	ΔH_{298}° , кДж/моль
$RCH_2R + 0,5O_2 \rightarrow RCH(OH)R$	146...188
$RCH_2R + O_2 \rightarrow RCOR + H_2O$	≈ 355
$RCH_3 + O_2 \rightarrow RCHO + H_2O$	284...336
$C_6H_5CH_3 + 1,5O_2 \rightarrow C_6H_5COOH + H_2O$	567,4
$RCHO + 0,5O_2 \rightarrow RCOOH$	260...271
$RCH_2CH_2R + 2,5O_2 \rightarrow 2RCOOH + H_2O$	982...1003
	1807
$CH_2=CH_2 + 0,5O_2 \rightarrow CH_3CHO$	218,2
$CH_2=CH_2 + 0,5O_2 \rightarrow CH_2-CH_2O$	103,3
$RCH=CH_2 + H_2O_2 \rightarrow RCH-CH_2O + H_2O$	≈ 210
$RCH=CH_2 + CH_3COOOH \rightarrow RCH-CH_2O + CH_3COOH$	≈ 210
$C_6H_5CH_3 + 2HNO_3 \rightarrow C_6H_5COOH + 2NO + 2H_2O$	361

В работе [209] сделаны выводы: « ΔH_{298} возрастает с повышением глубины окисления, особенно при образовании карбоновых кислот из углеводородов (реакция 4), при деструктивном окислении парафинов (реакция 6) и ароматических систем (реакция 7). Менее экзотермичны процессы образования карбонильных соединений из углеводородов (реакции 2, 3 и 8) и карбоновых кислот из альдегидов (реакция 5). Тепловой эффект ещё заметнее снижается при получении спиртов из углеводородов (реакция 1) и α -оксидов из олефинов (реакция 9). Приведённые данные позволяют сравнить экзотермичность процессов окисления при использовании разных окислительных агентов».

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Расчет испарения с переменной поверхности.

Геометрические характеристики резервуара: D — диаметр, L — длина цилиндрической части, f — выпуклость днища.

Объем цилиндрической части:

$$V_I = 0,7854 \cdot D^2 \cdot L;$$

Объем конического днища:

$$V_K = 0,2618 \cdot D^2 \cdot f;$$

Объем сферического днища:

$$V_C = 0,523 \cdot f \cdot (0,75 \cdot D^2 + f^2);$$

Общий объем: резервуара с плоским днищем

$$V = V_I;$$

с коническим днищем

$$V_{II} = V_I + 2 \cdot V_K;$$

со сферическим днищем

$$V_{III} = V_I + 2V_C.$$

Пусть v — текущий объем жидкости в резервуаре, коэффициентом объема называется отношение $v_i / V = K_i$. В нормативных документах приведены в виде таблиц зависимости K_i от H_i / D (где H_i — текущая высота слоя жидкости в резервуаре. Для цилиндрической, конической и сферической частей резервуара при одном значении H_i / D величины K_i будут различными. Безразмерная величина H_i / D будет являться аргументом в зависимостях, определяющих размер поверхности испарения. Производительность насоса Q , а также время его работы t — известные величины. Текущий объем топлива в резервуаре на момент времени t составит:

$$v = v_0 + Q \cdot t,$$

где v_0 — начальный объем топлива (в момент времени $t = 0$).

При наливе топлива Q — положительная величина ($v > v_0$), при сливе отрицательная ($v < v_0$).

С использованием коэффициентов объема получается:

для резервуара с плоским днищем:

$$v_I = K_I \cdot V_I$$

для резервуара с коническим днищем:

$$v_{II} = K_I \cdot V_I + 2K_K \cdot V_K$$

для резервуара со сферическим днищем:

$$v_{III} = K_I \cdot V_I + 2K_c \cdot V_c.$$

Обозначим

$$K_{II} = v_{II} / V_{II}; \quad K_{III} = v_{III} / V_{III}.$$

После преобразований можно записать:

$$K_{II} = K_I \cdot V_I / V_{II} + 2K_K \cdot V_K / V_{II};$$

$$K_{III} = K_I \cdot V_I / V_{III} + 2K_c \cdot V_c / V_{III}.$$

По геометрическим размерам горизонтальных резервуаров для хранения нефтепродуктов можно рассчитать объемы V_I ; V_K и V_c , а затем определить значения V_{II} и V_{III} .

Для одного значения H/D по табличным данным определяется K_I K_K ; K_c и рассчитываются значения K_{II} и K_{III} . Получаются в табличной форме функции $K_j = K_j(H/D)$, $j = I; II; III$, а затем аппроксимируются обратные функции $H/D = H/D(K_j)$ соотношениями вида:

$$H/D = \exp(A/\exp K_j) \cdot K_j B \quad (Б.1)$$

Значения коэффициентов A и B приведены в таблице Б.1.

Расчет приведенной высоты проводится при $0 < K < 0,5$.

Для значений аргумента $1 > K > 0,5$ вследствие симметричности резервуара соотношение (Б.1) примет вид:

$$H/D = 1 - \exp [A/\exp(1 - K_j)] \cdot (1 - K_j) B \quad (Б.2)$$

Значение коэффициентов A и B так же берутся из таблицы Б.1.

Таблица Б.1 – Значения коэффициентов для определения приведённой высоты H/D

Тип резервуара	днища	I. Плоское		II. Коническое		III. Сферическое	
		Ограничения по объему	Без ограничений	V < 50м ³	V.50м ³	V <50м ³	V.50м ³
Коэффициент А		- 0,403		-0,418	-0,410	-0,428	-0,414
Коэффициент В		0,647		0,631	0,640	0,623	0,637

Находим зависимости площади поверхности испарения от приведенной высоты H/D.

I. Резервуар с плоским дном.

$$F_1 = 2D \cdot L \cdot [H/D \cdot (1 - H/D)]^{0,5} = 2R \cdot L \cdot [H/R \cdot (2 - H/R)]^{0,5} = \\ = 2R \cdot L \cdot [1 - (1 - H/R)^2]^{0,5} = 2R \cdot L \cdot [1 - h^2]^{0,5}$$

где R - радиус цилиндрической части резервуара;

$$h = (1 - H/R) \text{ — безразмерная переменная.}$$

II. Резервуар с коническим дном.

Площадь поверхности испарения представляет сечение кругового конуса плоскостью на высоте H. Поместим начало трехмерной системы координат в точку вершины конуса и ось Z направим по оси симметрии резервуара. В этой системе уравнение кругового конуса имеет вид:

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{a^2} = \frac{Z^2}{b^2},$$

Конус пересекает цилиндрическую часть резервуара по плоскости Z = f. Линия пересечения конуса и цилиндра - окружность радиуса R. Уравнение этой линии в плоскости Z = f будет: X² + Y² = R². Получаем из этих условий значения для коэффициентов a и b.

$$X^2 + Y^2 = Z^2 \cdot R^2 / f^2$$

Линия пересечения данного конуса горизонтальной плоскостью Y = (R - H) представляет собой гиперболу, уравнение которой имеет вид:

$$Z^2 / [f^2 \cdot (R - H)^2 / R^2] - X^2 / (R - H)^2 = 1$$

При любой высоте налива $H - R$ площадь поверхности испарения в конической части резервуара будет равна площади гиперболы, у которой ордината Z меняется от $Z_H = f/(1 - H/R)$ до $Z = f$. Площадь данной гиперболы определяем по соотношению:

$$\begin{aligned} F_k &= R^2 \cdot f / R \cdot \{(1 - h^2)^{0,5} - h^2 \cdot \ln[1/h + (1/h^2 - 1)^{0,5}]\} = \\ &= R^2 \cdot f / R \cdot [(1 - h^2)^{0,5} - h^2 \cdot \operatorname{arch}_+(1/h)]. \end{aligned}$$

где arch – функция, обратная гиперболическому косинусу Arch_+

$$\operatorname{arch}_+ x = \ln(x + \sqrt{x^2 - 1})$$

Для резервуаров с коническими днищами отношение $f/R = 0,24$ независимо от диаметра. Тогда соотношение примет вид:

$$F_k = 0,24R^2 \cdot [(1 - h^2)^{0,5} - h^2 \cdot \operatorname{arch}_+(1/h)]$$

При $H = R$ в пересечении плоскости $Y = 0$ с конусом получим равнобедренный треугольник с основанием D и высотой f .

Площадь данного треугольника $F_k = R \cdot f$ при $H = R$.

Это значение F_k можно получить при $H = R$ ($h = 0$) величина $h^2 \cdot \operatorname{arch} 1/h = 0$.

Общая площадь испарения резервуара с коническим днищем составит:

$$F_{II} = F_I + 2F_k$$

III. Резервуар со сферическим днищем.

Помещаем начало трехмерной системы координат в центр сферы, которая образует днище резервуара. Уравнение сферы:

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = r^2$$

Поверхность днища образована пересечением сферы радиуса r и цилиндра радиуса R . Пересечение проходит в плоскости $Z = (Z - f)$. Линия пересечения в этой плоскости $X^2 + Y^2 = R^2$. С учетом этого уравнение сферической поверхности примет вид:

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = (R^2 + f^2) / (4 \cdot f^2)$$

При наливе в резервуар жидкости до высоты H поверхность испарения будет находиться в пересечении сферы с плоскостью $Y = (R - H)$. Уравнение линии пересечения в этой плоскости будет иметь вид:

$$X^2 + Z^2 = [(R^2 + f^2)^2 / (4 \cdot f^2)] - (R - H)^2$$

Это уравнение окружности с радиусом, равным:

$$R' = [(R^2 - f^2)^2 - 4f^2 \cdot H \cdot (2R - H)]^{0,5} / (2f)$$

Максимальное значение $R' = (R^2 + f^2) / (2f)$ принимает при $H = R$.

Площадь испарения в сферической части резервуара будет представлять собой сегмент, границами которого в плоскости $Y = R - H$ будут: уравнение окружности и линия пересечения плоскостей $Z = (Z - f)$ и $Y = (R - H)$. После преобразований получается:

$$F_C = R^2 \left\{ \left[\left(\frac{1 - \frac{f^2}{R^2}}{2 \cdot \frac{f}{R}} \right) + 1 - h^2 \right] \cdot \frac{2 \cdot \frac{f}{R}}{1 - \frac{f^2}{R^2}} \cdot \arctg \left[\sqrt{1 - h^2} \right] - \frac{1 - \frac{f^2}{R^2}}{2 \cdot \frac{f}{R}} \sqrt{1 - h^2} \right\}$$

С учетом того, что у резервуаров со сферическими днищами отношение $f/R = 0,26$ получаем соотношение для практических расчетов:

$$F_C = R^2 \{ (4,05 - h^2)^{0,57} \cdot \arctg[\sqrt{1 - h^2}] - 1,75 \sqrt{1 - h^2} \}$$

Общая поверхность испарения составит: $F_{III} = F_I + 2F_C$.

Площади поверхности испарений резервуаров с различными днищами являются функциями от безразмерной переменной величины $h = 1 - H/R$, которая в свою очередь является сложной функцией $h = h[K(t, Q)]$ от времени t залива (слива) нефтепродуктов и производительности насоса Q .

Характер процесса испарения от свободной поверхности в атмосферу определяет произведение критериев Грасгофа (Gr) и Прандтля (Pr).

Критерий Прандтля для процесса испарения принимается равным $Pr = 0,66$.

Для горизонтальных поверхностей при ламинарном режиме ($Gr \cdot Pr < 1,1 \cdot 10^9$) испарение с поверхности жидкости, пары которой тяжелее воздуха (что характерно для светлых топлив), скорость испарения находят по соотношению:

$$w_i = 1,78 \cdot 10^{-7} \cdot d_o^{0,25} \cdot D_{ж}^{0,5} \cdot (P_{ж} - P_{ж0})^{1,25} \cdot M_{ж}^{1,25} \cdot (1 - M_c/M_{ж})^{0,25} \cdot (K_2/K_1) \cdot F_i \quad (Б.3)$$

При турбулентном режиме ($Gr \cdot Pr > 1,1 \cdot 10^9$) скорость испарения определяют по соотношению:

$$w_i = 4,17 \cdot 10^{-8} \cdot D_{ж}^{1/3} \cdot (P_{ж} - P_{ж0})^{4/3} \cdot M_{ж}^{4/3} \cdot (1 - M_c/M_{ж})^{1/3} \cdot (K_2/K_1) \cdot F_i \quad (Б.4)$$

В зависимостях Б.3 и Б.4:

$D_{ж}$ — коэффициент диффузии паров нефтепродуктов;

$P_{ж}$, $P_{ж0}$ — парциальное давление паров нефтепродуктов над поверхностью жидкости и в окружающей среде соответственно;

$M_{ж}$, M_c — молекулярные массы паров нефтепродуктов и окружающей среды соответственно;

K_1 - коэффициент, учитывающий снижение температуры поверхности жидкости при испарении (для бензина $K_1 = 1,3$; для дизельного топлива $K_1 = 1,0$);

K_2 — коэффициент, учитывающий степень закрытия поверхности испарения. Он определяется в зависимости от соотношения $S = F_o/F_i$, где F_o — открытая поверхность испарения (площадь люка), по соотношению:

$$S > 0,8 \quad K_2 = 1$$

$$0,8 > S > 0,5 \quad K_2 = S - 0,2$$

$$0,5 > S > 0,1 \quad K_2 = 0,25 \cdot S + 1,75$$

$$0,1 > S > 0,01 \quad K_2 = 1,11 \cdot S + 0,089$$

$$0,01 > S > 0,001 \quad K_2 = 10 \cdot f_i$$

Были проведены расчеты текущей скорости испарения w_i , средней скорости испарения U и массы испарившегося топлива W для горизонтальных резервуаров вместимостью от 10 до 100 м³ при шести различных объемных скоростях подачи (слива) топлива от 4,12 до 19 дм³/с. Объем начального заполнения резервуара изменялся при расчете от $v_o = 0$ до $v_o = 0,5 V$. Расчеты проведены для бензина, дизельного топлива и керосина

при варьировании температуры паров нефтепродуктов от 5 до 40 °С и температуры окружающей среды от –8 до 25 °С.

Объем испарившегося топлива растет с увеличением объема резервуара, температуры топлива и уменьшении расхода подачи (слива) топлива.

При равенстве всех указанных величин скорость испарения будет выше у того топлива, у которого при данной температуре выше давление насыщенных паров. Для одного топлива средняя скорость испарения, получаемая делением массы испарившегося вещества на время залива (слива) не зависит от объема резервуара V и объемного расхода Q , а является только функцией давления насыщенных паров нефтепродуктов или температуры. Обработка полученных данных методом наименьших квадратов позволила получить зависимости $U = U(P)$, $U = U(t)$:

$$U = P^A e^B$$

для бензина $A = 1,757$; $B = -16,481$;

для керосина $A = 1,313$; $B = -10,857$;

для дизтоплива $A = 1,300$; $B = -10,560$;

давление насыщенных паров P в пределах 6400–64 Па.

$$U = e^{(k t + N)} \quad (\text{Б.5})$$

для бензина $k = 65,607$; $N = 0,354$;

для керосина $k = 68,499$; $N = -4,249$;

для дизтоплива $k = 67,945$; $N = -5,342$;

температура паров топлива в пределах 40–5 °С.

Наиболее удобна для практических расчетов зависимость Б.5, которая позволяет только по значениям температуры газового пространства резервуара и объемной скорости подачи топлива рассчитать среднюю скорость испарения и массу испарившегося за данное время топлива.

Анализ полученных данных потерь от испарения при различном начальном уровне заполнения резервуара v_0 показал, что значения W уменьшаются пропорционально увеличению v_0 . С учетом того, что при

определении максимальных значений W_{\max} заполнение резервуара составляло 90 % зависимость W/W_{\max} ($v = V$, $v_0 = 0$) от v_0/V будет иметь вид:

$$\frac{W}{W_{\max}} = -0,1 \frac{v_0}{v} + 1$$

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Приборы и оборудование для исследования вихревых труб.

Для экспериментов была выбрана вихревая трубка меркулова с рубашкой и без рубашки охлаждения. Вихревая зона исследуемой трубы выполнена в виде усеченного конуса с расширением в сторону дросселя и углом конусности 2° , в сопловом входе установлена трехзаходная улитка, дроссель выполнен в виде конуса (рисунок В.1).



Рисунок В.1 – Вихревая трубка с рубашкой охлаждения

Для измерения температур горячего и холодного потоков вихревой трубы, а также температуры входного воздуха был выбран прибор Термодат-16М3 (рисунок В.2).



Рисунок В.2 – Термодат-16МЗ

Приборы серии Термодат-16 имеют графический жидкокристаллический дисплей. На дисплее отображается график температуры, измеренное значение температуры и уставку.

Дисплей. Размер рабочей части экрана дисплея 67х33 мм. Количество точек 128х64. Масштаб графика на экране можно изменять от 2°C до 3000°C, время - от 2 минут до 240 часов.

Универсальный вход предназначен для подключения термопар или термосопротивлений, а также датчиков с токовым выходом. Режимы работы: нагрев, охлаждение, или комбинированный нагрев/охлаждение. Разрешение по температуре 1°C или 0,1°C, зависит от типа датчика и задается пользователем.

Для измерения давления входного воздушного потока был использован манометр МПЗ-Уф (рисунок В.3).



Рисунок В.3 – Манометр

Для исследования влияния входного давления был использован компрессор с двумя ресиверами (рисунок В.4).



Рисунок В.4 – Компрессор

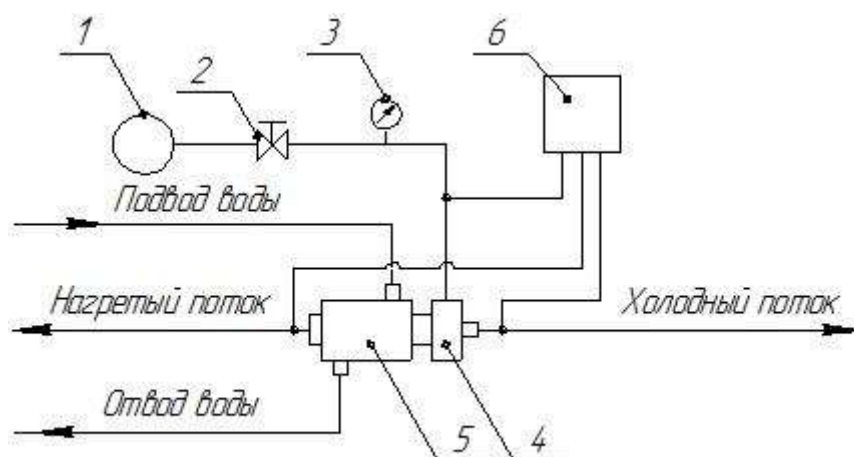
Программа исследования вихревой трубы

Для разработки эффективных инновационных методов предотвращения количественных и качественных потерь моторного топлива при хранении решено применять вихревые трубы как холодильную установку, конденсирующую атмосферную влагу при «вдохе» и пары топлива при «выдохе». Для выполнения поставленной цели проводились исследования холодного потока в вихревой трубе, и исследования, направленные на

достижения требуемых температур для конденсации атмосферной влаги и паров испарившегося топлива.

Для проведения экспериментов по распределению температур от вихревого эффекта применялась трубка Ранка с рубашкой охлаждения. Первым шагом стало определение максимального охлаждающего эффекта, который сможет произвести вихревая трубка. Поэтому в проводимых экспериментах к трубке Ранка с рубашкой охлаждения не подводилась вода.

Схема установки, на которой проводился эксперимент, приведена на рисунке В.5.



1 - компрессор, 2 – регулятор давления, 3 – манометр, 4 – вихревая труба, 5 – рубашка охлаждения, 6 – температурный регистратор.

Рисунок В.5 – Схема установки

Алгоритм проведения эксперимента:

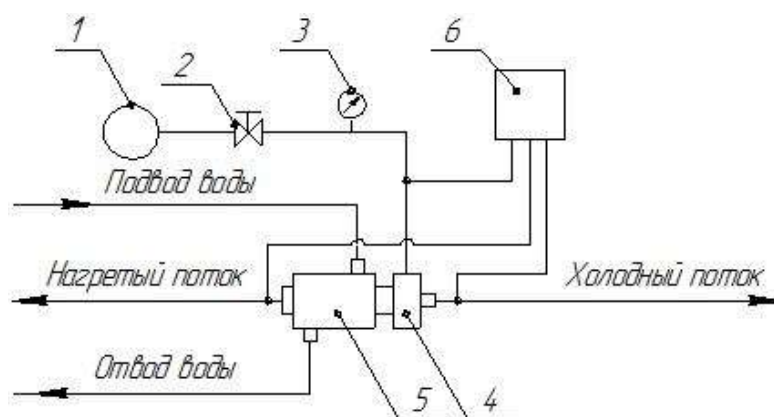
1. Сбор установки согласно схеме;
2. Установка давления, производимого компрессором на 2 Атм;
3. Замер температуры окружающего воздуха, температуры горячего и холодного потоков;

4. Изменение степени открытия дроссельной заслонки, замер температур по п.3. Фиксация наиболее низкой температуры холодного потока;

5. Установка давления, производимого компрессором на +0,2 Атм.
Повторение шагов п. 3,4;

Дальнейшим направлением исследования вихревой трубы является понижение температуры холодного потока.

Согласно гипотезе, утилизация горячего потока должна повлиять на эффект охлаждения в целом. Поэтому для исследования влияния охлаждения корпуса вихревой трубки на температуру холодного и горячего потоков была собрана установка, на которой проводился эксперимент (рисунок В.6).



1 - компрессор, 2 – регулятор давления, 3 – манометр, 4 – вихревая труба, 5 – рубашка охлаждения, 6 – температурный регистратор.

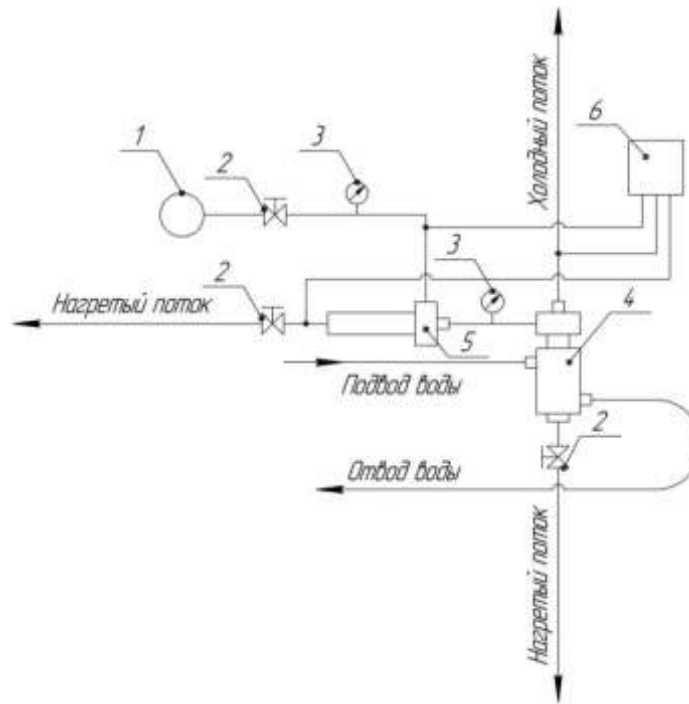
Рисунок В.6 – Схема установки

Алгоритм проведения эксперимента:

1. Сбор установки согласно схеме;
2. Установка давления, производимого компрессором на 2 Атм;
3. Замер температуры окружающего воздуха, температуры горячего и холодного потоков, температуры воды для охлаждения;
4. Изменение степени открытия дроссельной заслонки, замер температур по п.3. Фиксация наиболее низкой температуры холодного потока;
5. Установка давления, производимого компрессором на +0,2 Атм.
Повторение шагов п. 3,4.

Для проверки гипотезы о получении высокого эффекта охлаждения от двух и более вихревых труб была разработана программа исследования ступенчатой схемы соединения вихревых труб.

Для проведения экспериментов была собрана установка, состоящая из двух вихревых труб, одна из которых была с рубашкой охлаждения (рисунок В.7).



1 - компрессор, 2 - регулятор давления, 3 - манометр, 4 - вихревая труба с рубашкой охлаждения, 5 – вихревая труба, 6 - температурный регистратор.

Рисунок В.7 – Схема ступенчатой установки вихревых труб

Установка собрана таким образом, что воздух под давлением подавался на вихревую трубу (5), выход холодного потока из которой являлся входом воздушного потока вихревой трубы с рубашкой охлаждения (4). Корпус вихревой трубы охлаждался водой с температурой $t_{\text{воды}} = 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$. При такой схеме работы установки, ожидается низкая температура холодного потока на выходе из установки.

Алгоритм проведения эксперимента:

1. Сбор установки согласно схеме;
2. Установка давления, производимого компрессором на 2 Атм;

3. Замер температуры окружающего воздуха, температуры горячего и холодного потоков на первой ступени, температуры горячего и холодного потоков на второй ступени, температуры воды для охлаждения;

4. Изменение степени открытия дроссельной заслонки, замер температур по п.3. Фиксация наиболее низкой температуры холодного потока;

5. Установка давления, производимого компрессором на +0,2 Атм.
Повторение шагов п. 3,4.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Формализация проектирования архитектуры нейронных сетей.

Использование нейронных сетей позволило решить многофакторные производственные задачи, когда на исследуемые выходы Y нелинейно влияют факторы X .

При получении моделей производственного процесса с применением нейронной сети проводились эксперименты по проектированию ее архитектуры и ее влиянию на конечную модель. Проведенные эксперименты позволяют формализовать алгоритм проектирования архитектуры нейронных сетей для решения практических задач.

В качестве примера известно, что нейронная сеть способна прогнозировать механические свойства горячекатаной стали с достаточно высокой точностью и может быть использована для оптимизации режимов прокатки.

Нейронная сеть способна прогнозировать плотность, кинематическую вязкость, содержание механических примесей по физико-химическим показателям исходного масла и может быть использована для оптимизации режимов получения биодизеля.

Также нейронная сеть была применена в исследовании качества водно-био-топливной эмульсии. Установлено, что нейронная сеть способна прогнозировать стабильность эмульгированных топлив к седиментации и коалесценции и может быть использована для оптимизации получения топливных эмульсий.

Для изучения любого технологического процесса и его описания математической моделью необходимо собрать массив экспериментальных данных, содержащий значения входных X и выходных Y параметров.

Исключение размерности при обучении и прогнозировании с использованием нейронной сети достигается нормированием исходных

данных. Экспериментальным путем установлено, что нормировка значений на диапазон $[-1; 1]$ является наиболее приемлемой.

Для обучения нейронной сети массив экспериментальных данных следует разбить на две части. Первая служит для обучения нейронной сети, а вторая – контролирующей выборкой, которая необходима для того, чтобы предупредить момент переобучения нейронной сети, когда среднеквадратичная ошибка обучения уменьшается, а среднеквадратичная ошибка контролирующей выборки начинает возрастать. Возможны случаи разбиения массива на три части, для дополнительной оценки ошибки построенной математической модели.

Основным и наиболее трудоемким этапом в работе с нейронной сетью является выбор архитектуры нейронной сети, которая будет наиболее точно описывать технологический процесс. Данный этап включает в себя выбор топологии сети, расчет количества скрытых слоев в сети, количества нейронов в каждом слое, функции активации нейронов, выбор алгоритма оптимизации весовых коэффициентов.

Результаты сравнения применения нейронной сети различных типов к решению соответствующей задачи приведены в таблице Г.1 (плюсы означают возможность применения).

Так как многослойный персептрон (MLP) способен решать широкий круг математических задач по обработке данных, то для исследований и построения математических моделей производственных процессов рекомендуется использовать данный вид сети.

«Выбор вида функции активации нейронов зависит от задач, для решения которых предполагается использовать синтезируемую нейросетевую модель. Обычно в качестве функции активации выбирают логистическую функцию или гиперболический тангенс. Эти функции применимы для широкого круга задач.

Из проведенных ранее исследований известно, что результаты прогноза с наименьшей ошибкой, показывают нейронные сети с гиперболической

функцией активации нейронов $y = a \cdot th(bx)$, где a и b – константы ($a = 1,7159$ и $b = 2 / 3$). Данная функция активации способна описать нелинейные процессы.

Таблица Г.1 – Сравнение различных типов нейронных сетей по решению задач

Топология нейронной сети	Ассоциативная память и распознавание образов	Сжатие информации	Прогнозирование	Оптимизация	Классификация, экспертные системы и	Кластеризация	Аппроксимация функции	Сглаживание (обобщение)
Сеть Хопфилда	+			+				
Сеть встречного распространения	+	+						
Сеть радиального базиса (RBF)			+		+		+	+
Карта Кохонена				+	+	+		
Многослойный персептрон (MLP)	+	+	+		+		+	+
Двунаправленная ассоциативная память	+							
Сеть Хэмминга	+				+			
Вероятностная сеть PNN					+			
Сеть адаптивного резонанса ART2					+	+		

Строго определенной процедуры для выбора количества нейронов и количества слоев в сети нет. Поэтому выбирать количество нейронов и количество слоев в сети необходимо исследуя их влияние на конечную ошибку обучения. Для начального выбора количества нейронов в исследованиях необходимо использовать теорему Колмогорова, согласно которой для реализации нейронной сети с N входными параметрами

достаточно использовать скрытый слой с $(2N + 1)$ нейронами. А далее полученное значение уменьшалось и увеличивалось с некоторым шагом.

После построения архитектуры нейронной сети инициализируются начальные значения весовых коэффициентов. Затем проводится обучение нейронной сети, что означает подбор весовых коэффициентов сети для решения задачи минимакса.

Для примера пусть сеть состоит из M слоёв, в μ -ом слое которого находится N_μ нейронов ($\mu=1, \dots, M$). Парой (μ, i) будем обозначать i -й нейрон μ -го слоя. Неоднородное адаптивное суммирование этого нейрона:

$$net^{(\mu, i)} = w_0^{(\mu, i)} + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu, i)} y_j^{(\mu-1, i)} = w^{T(\mu, i)} u^{(\mu, i)},$$

где $w^{(\mu, i)} = (w_0(\mu, i), w_1(\mu, i), \dots, w_n(\mu, i))$, $\mu=1, \dots, M$, – вектор весовых коэффициентов ($n=N_{\mu-1}$ – число нейронов в предыдущем слое), $y^{(\mu-1, i)} = (1, y_1(\mu-1, i), \dots, y_n(\mu-1, i))$, $\mu=1, \dots, M$, – расширенный входной вектор нейрона μ -го слоя (является выходом нейрона предыдущего слоя), здесь $y(0, i) = x(i)$ – входы сети.

Выход нейрона записывается в виде: $y(\mu, i) = F(net(\mu, i))$, $i=1, \dots, N_\mu$, $\mu=1, \dots, M$.

Вектор всех выходных сигналов μ -го слоя: $y(\mu) = (y(\mu, 1), \dots, y(\mu, N_m))$ т.

Матрица весов μ -го слоя: $W = (w(\mu, 1), \dots, w(\mu, N_m)) = (w_0(\mu), W_1(\mu))$ – размерности $N_\mu(N(\mu-1)+1)$.

В векторно-матричной форме соотношение «вход – выход слоя» можно записать так:

$$y(\mu) = F(\mu)(w_0(\mu) + W_1(\mu)y(\mu-1)) = F(\mu)(y(\mu-1)), \mu=1, \dots, M.$$

Соотношение «вход–выход сети»: $Y(\mu) = F(M)(w_0(M) + W_1(M)F(M-1)(w_0(M-1) + W_1(M-1)F(M-2)(\dots(w_0(2) + W_1(2)F(1)(w_0(1) + W_1(1)x)))) = F(M)F(M-1)\dots F(1)x$.

Схематично такая нейронная сеть представлена на рисунке Г.1.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Особенности реализации программы.

Для нормальной работы программы «Нейронная сеть» необходимо персональный компьютер с тактовой частотой процессора не ниже 1600 МГц, желателен процессор Pentium, оперативная память объёмом 384Мб или больше [207].

Входные и выходные данные

Исходные данные для обучения (прогноза) загружаются из файла. В качестве входных данных используются следующие:

1. Обучающая выборка, представляющая собой массив данных – зависимость выхода (отклика) сети от входных данных (факторов) сети;
2. Структура сети, представляющая информацию о числе слоёв, количестве нейронов в каждом слое;
3. Точность обучения и максимальное количество итераций при обучении.

В качестве выходной информации выдаются:

4. Невязка (ошибка обучения сети);
5. Количество итераций, используемое для достижения заданной точности минимизации;
6. Графическое представление результатов расчета сети и фактических значений;
7. Графическое представление ошибки расчета и прогноза;
8. Весовые и нормировочные коэффициенты.

Результаты обучения могут быть сохранены в файле, который далее может использоваться программой (либо для расчёта по найденным весовым коэффициентам значений откликов при различных сочетаниях факторов, либо для продолжения незаконченного расчёта, либо для расчёта с большей точностью).

Характеристики

Программа позволяет работать с многослойной персептронной сетью, с различным количеством входных сигналов и выходных параметров.

Внешний вид программы

Вид сети

Закладка содержит информацию об архитектуре сети и массиве данных для обучения или прогноза. А также выводит результат прогноза при прогнозировании (рисунок Д.1).

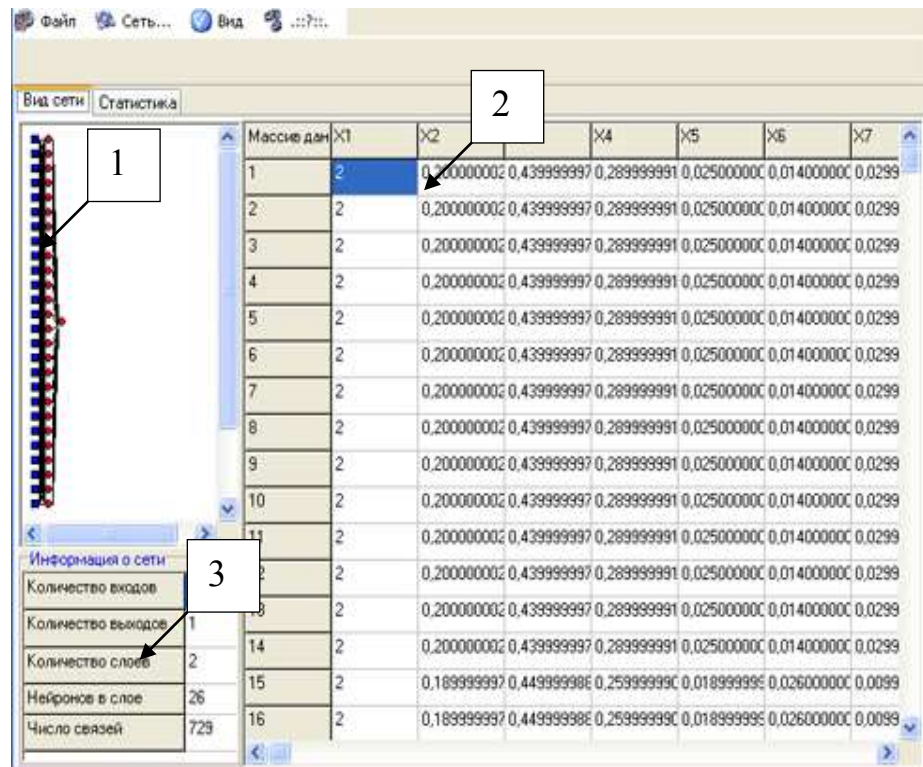


Рисунок Д.1 – Окно программы с активной закладкой «Вид сети»

1. Графическое изображение нейронной сети с заданным числом входных данных, числом нейронов в скрытом слое и числом выходов;
2. Массив данных для обучения (прогнозирования);
3. Информация о нейронной сети (количество входов, количество выходов, количество скрытых слоев, количество нейронов в слое, число связей).

Статистика

Закладка содержит статистическую информацию об обучении нейронной сети (рисунок Д.2).

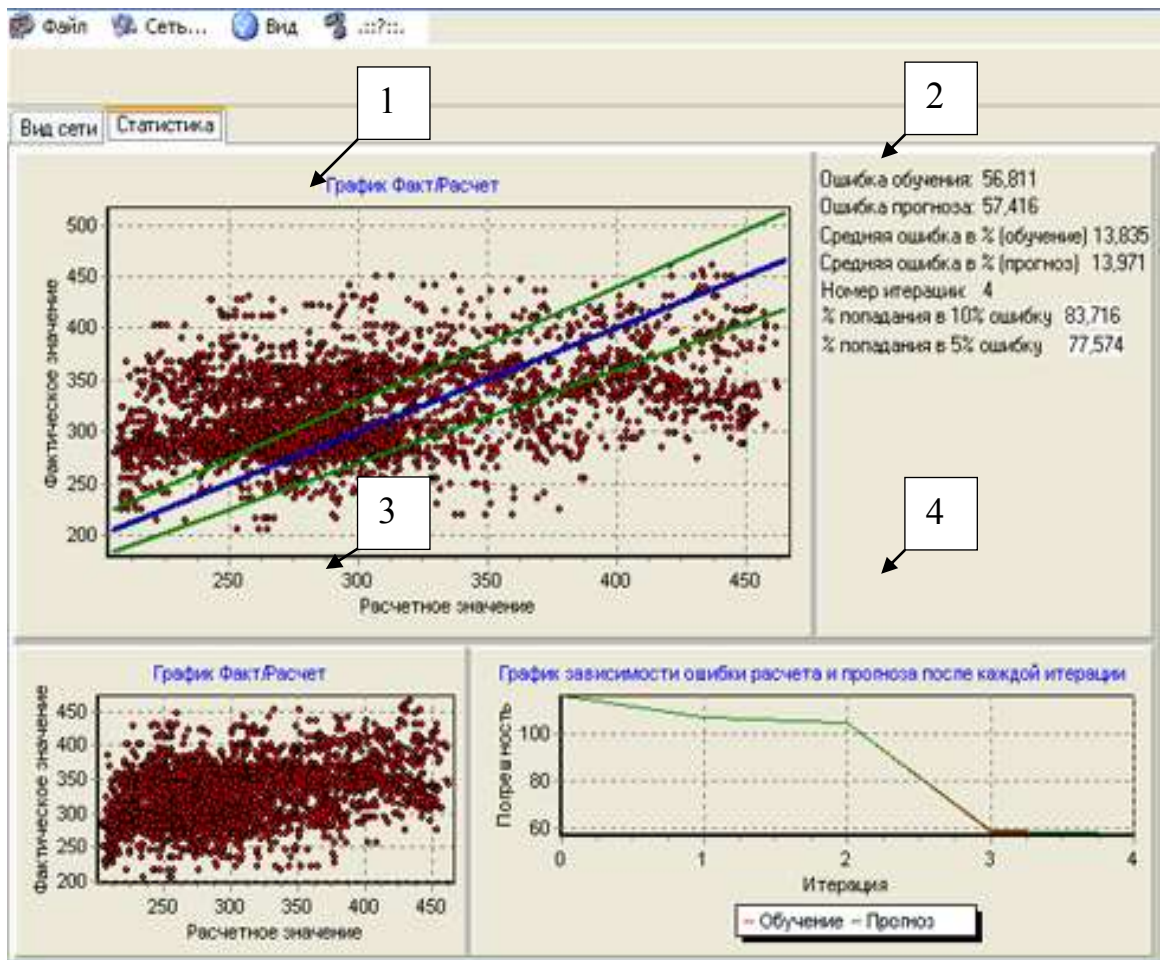


Рисунок Д.2 – Окно программы с активной закладкой «Статистика»

1. Графическое представление распределения фактического значения и рассчитанного нейронной сетью для обучающей выборки;
2. Статистика обучения (ошибка обучения, ошибка прогноза, средняя ошибка в процентах для обучающей выборки и выборки для прогноза, номер итерации);
3. Графическое представление распределения фактического и значения рассчитанного нейронной сетью выборки для прогноза;
4. Значения ошибок обучения и прогноза на каждой итерации.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Корректировка математических моделей вихревого эффекта.

Обзор математических моделей вихревого эффекта, предложенных различными авторами в период 1971-2009 гг., показал, что существующие модели недостаточно полно отражают картину вихревого эффекта в связи с большим количеством допущений, что объясняется недостаточным развитием вычислительной техники для обработки больших массивов данных на момент составления моделей. С использованием современных пакетов прикладных программ вычислительной газодинамики имеется возможность создать модель с незначительными допущениями и повысить точность описания вихревого эффекта для практической реализации [207].

Для составления системы уравнений математической модели необходимо описать особенности моделирования турбулентных течений, и произвести обоснованный выбор уравнений математической модели.

Вследствие нелинейности, в уравнениях Рейнольдса появляются дополнительные члены $\tau = \rho \overline{u_i u_j}$, которые получили название напряжений Рейнольдса, учитывающие дополнительные потери и перераспределение энергии в турбулентном потоке.

Современная теория турбулентности не располагает возможностями теоретическим путем получить уравнения для определения напряжений Рейнольдса. Поэтому единственным способом, позволяющим замкнуть систему, является привлечение полуэмпирических соотношений, связывающих эти напряжения с усредненными по времени компонентами скорости. По аналогии, при усреднении уравнения энергии также появляется неизвестный член $q_i = -\rho u_i \overline{\varphi}$, называемый турбулентными потерями тепла. Для замыкания системы уравнений необходимо определить зависимости, описывающие функции τ_{ij} и q_i , описываемые полуэмпирическими моделями турбулентности. Обзор существующих моделей турбулентности указывает на

целесообразность применения двухпараметрической k - σ модели, как наиболее используемой в широком диапазоне чисел Рейнольдса.

В существующих моделях вихревых течений для описания состояния газа многие авторы используют уравнение идеального газа Менделеева-Клапейрона. Такое допущение корректно лишь для узкого диапазона параметров течения газа в вихревой трубе, и для однокомпонентных газов. При низких значениях давления и температуры проявляются критические свойства реальных газов, и уравнение состояния идеального газа дает погрешность до 80%.

Для адекватного описания термодинамических характеристик воздуха во всех диапазонах работы вихревых труб с учетом многокомпонентности воздуха целесообразно применять уравнение состояния в форме Редлиха-Квонга:

$$p = \frac{R \cdot T}{(v - b)} - \frac{a}{(v - b) \cdot v \cdot \sqrt{T}}$$

$$a = \frac{0,42748 \cdot R^2 \cdot T_{кр}^{2,5}}{p_{кр}}$$

$$b = \frac{0,08662 \cdot T_{кр}}{p_{кр}}$$

Сравнительные исследования показали, что в рассматриваемом диапазоне параметров потока уравнение состояния идеального газа дает погрешность до 30%.

Исходя из уравнений Редлиха-Квонга: $\frac{p}{p_{кр}} < \frac{T}{2 \cdot T_{кр}}$, определено, что данное уравнение справедливо для всего диапазона рассматриваемых параметров потока $p \leq 3,0$ МПа; T принадлежит $(-70 \dots +100)$ °С.

Таким образом, основные уравнения математической модели термогазодинамических процессов вихревой трубы в интегрально-дифференциальном виде выглядят так:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(-\rho \delta_{ij} - \rho u'_i u'_j + \mu_{lt} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i},$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i H + q_i - u_i \tau_{ij}) = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_k k) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\left(\mu + \frac{\mu_\tau}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_k} \right) + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon,$$

$$\frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_k \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\left(\mu + \frac{\mu_\tau}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_k} \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} f_1 \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} f_2 \frac{\rho \varepsilon^2}{k},$$

Модель подразумевает квазистационарность течения. Допущения: стенки проточной части абсолютно гладкие; теплообмен с окружающей средой отсутствует (стенки проточной части адиабатичные).

Решения составленной системы уравнений получены в пакете FlowVision, для фиксированной геометрии вихревой трубы при различных соотношениях площадей выходных отверстий и различных значениях газодинамических параметров.

Граничные условия:

- Скорость потока на стенке нулевая:

$$u|_s = 0$$

- Массовый расход во входном сечении:

$$\rho u|_s = \rho_s u_n$$

- Полное давление и полная температура окружающей среды на выходе

$$p^*_{\text{вых}}, T^*_{\text{вых}}$$

$$p^* = p \left(\frac{T^*}{T} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$H(T^*) = h(T) + \frac{|U^2|}{2}$$

Рабочее тело задано как сжимаемая жидкость с физическими характеристиками, соответствующими характеристикам воздуха.

Программа FlowVision представляет результаты расчета в виде полей параметров, радиальных эпюр траекторий движения частиц потока и различных графических зависимостей.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

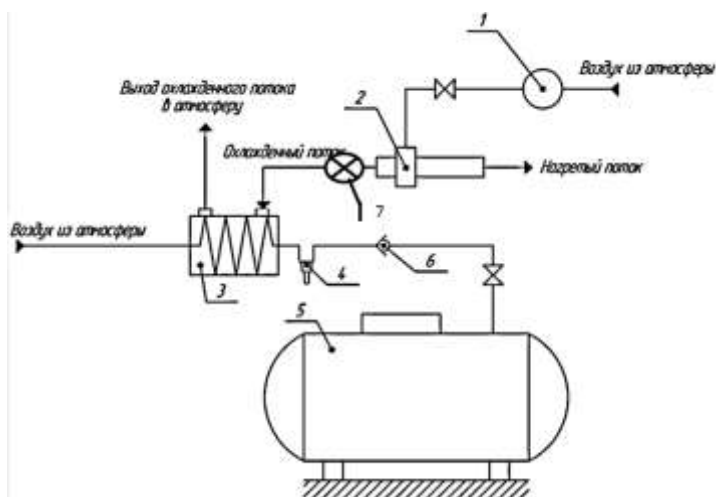
Устройство защиты топлива от обводнения.

В устройстве защиты топлива от обводнения атмосферной влагой вихревая труба будет генерировать требуемую температуру для конденсации в теплообменнике паров воды из атмосферного воздуха [207]. Работа устройства начинается с момента открытия дыхательного клапана на «вдох».

До тех пор, пока температура в системе остается выше температуры воздухоочистителя, условий для образования конденсата не существует. Установка обеспечивает постоянную точку росы выходящего воздуха (обычно от 1,7 до 10,0 °С). Температура воздуха на входе обычно не выше +38 °С, поэтому используется охлаждающее устройство.

Проведённые эксперименты с вихревыми трубами показали, что одна трубка может обеспечить охлаждение входного потока до -9 °С и это является достаточным условием для конденсации паров воды из атмосферного воздуха.

Принципиальная схема установки изображена на рисунке Ж.1.



1- компрессор, 2 - вихревое устройство, 3 - теплообменник, 4 –слив конденсата, 5 - резервуар, 6 – дыхательный клапан, 7- пульсатор.

Рисунок Ж.1 – Установка по защите топлива от обводнения

При снижении давления в стальном резервуаре по отношению к атмосферному через дыхательный клапан (6) проникает атмосферный воздух.

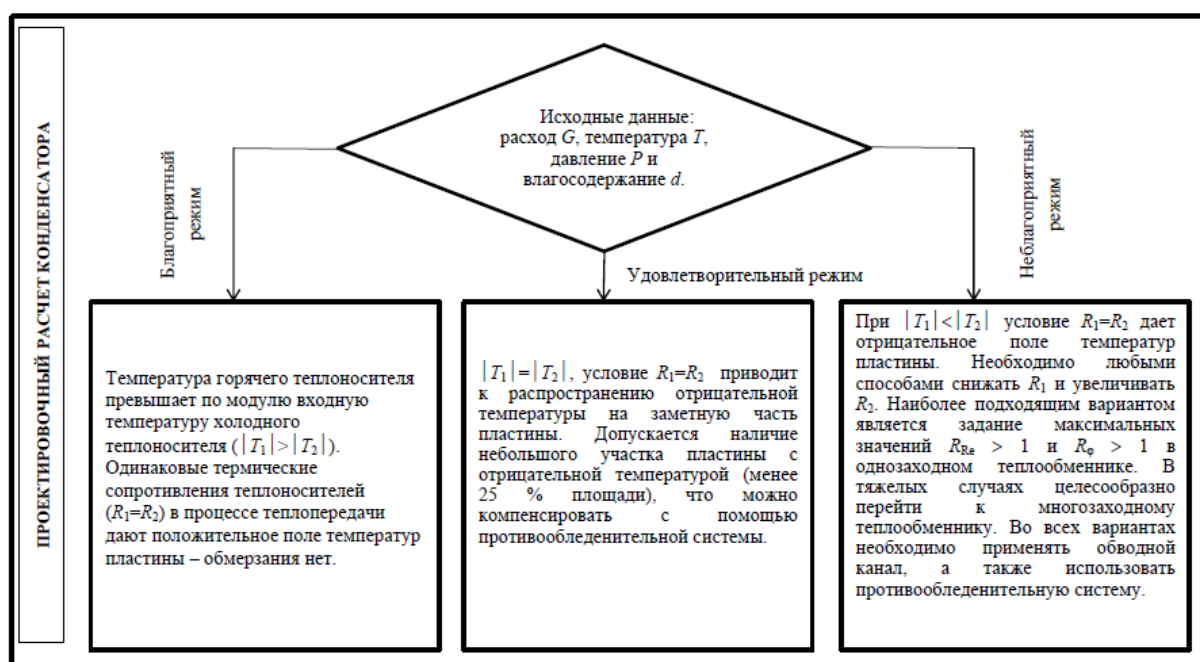
Вместе с атмосферным воздухом попадают и пары воды. Вода затем конденсируется на стенках резервуара. Разработанная установка позволяет осушить воздух перед его попаданием в стальной резервуар с топливом.

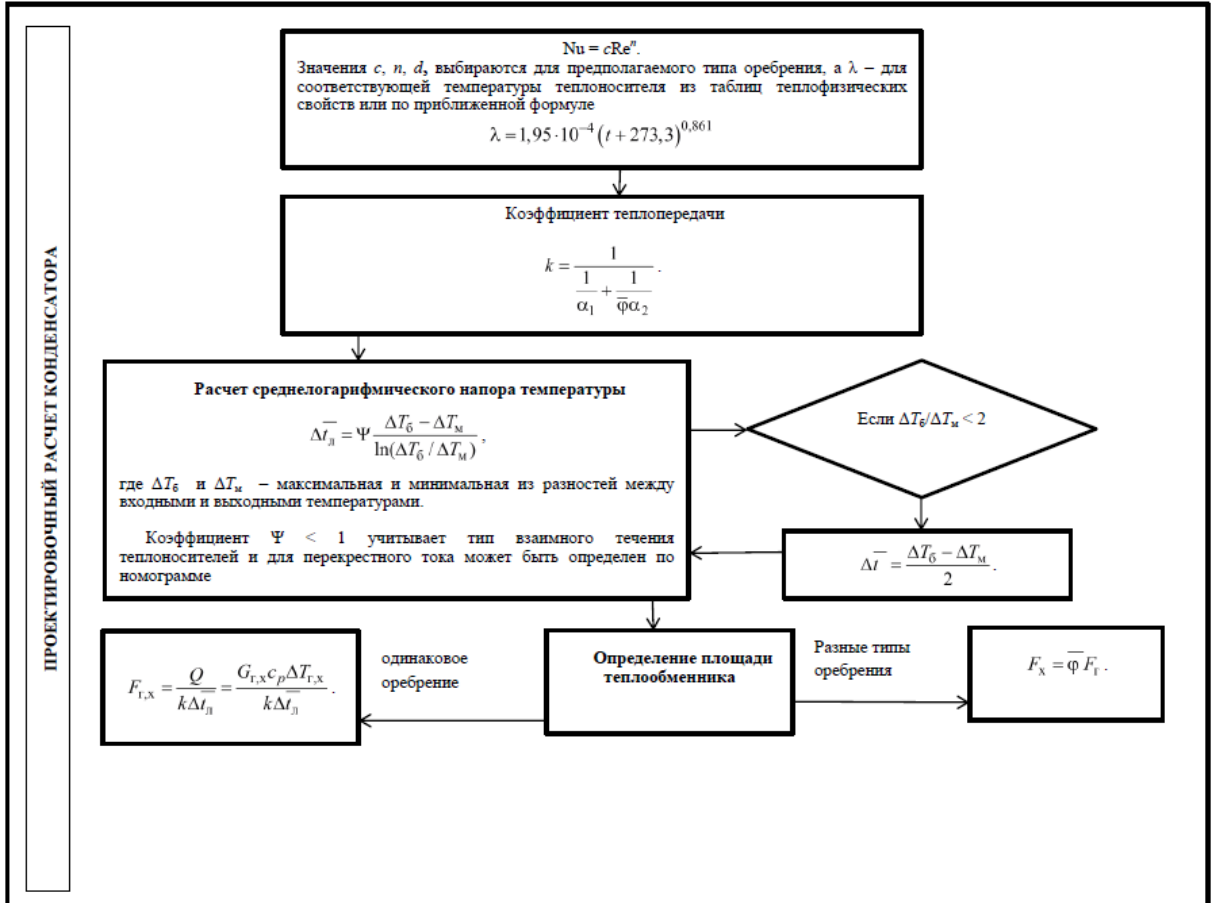
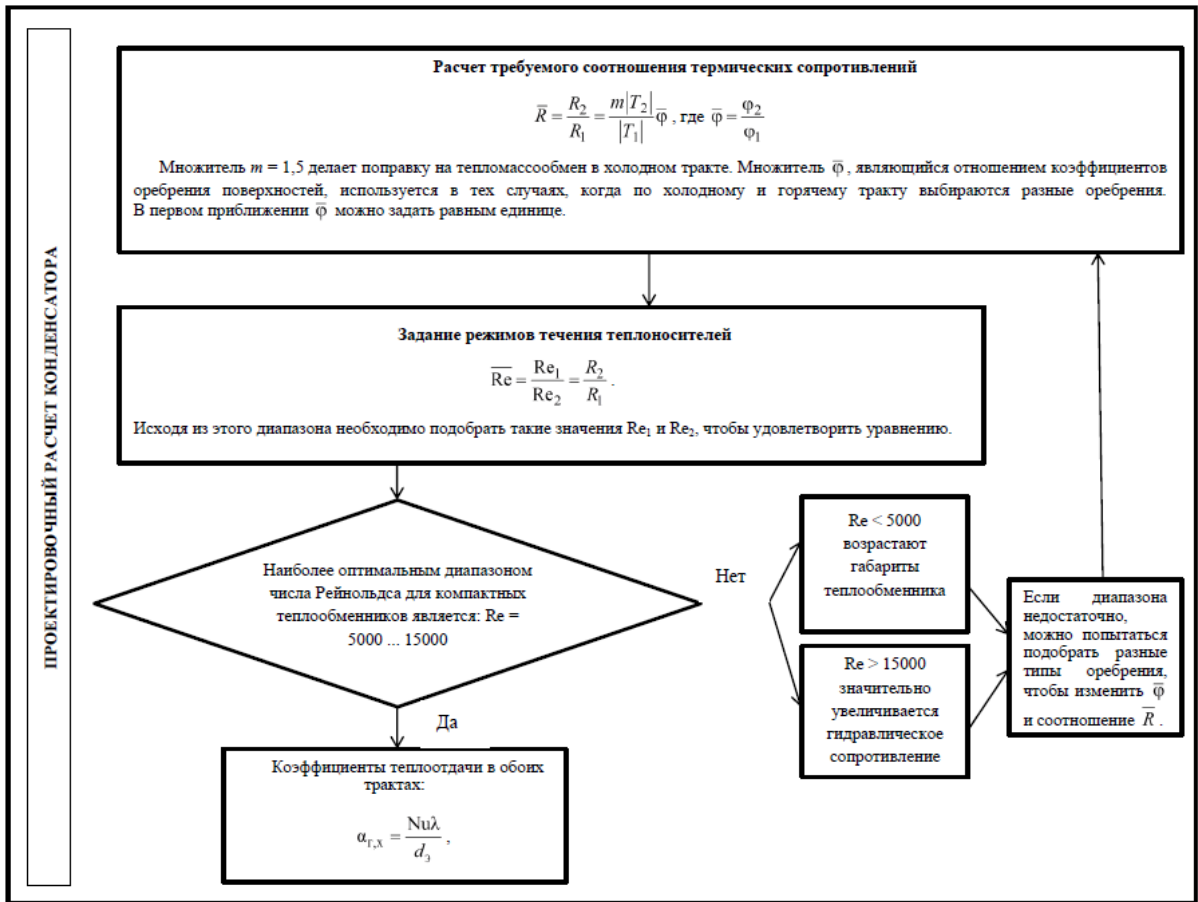
В теплообменнике (3) воздух охлаждается до температуры ниже температуры точки росы. Необходимая температура генерируется при помощи вихревой трубы (2). Влага, содержащаяся в атмосферном воздухе, конденсируется на стенках теплообменника и сливается, а осушенный воздух попадает в резервуар с топливом (5).

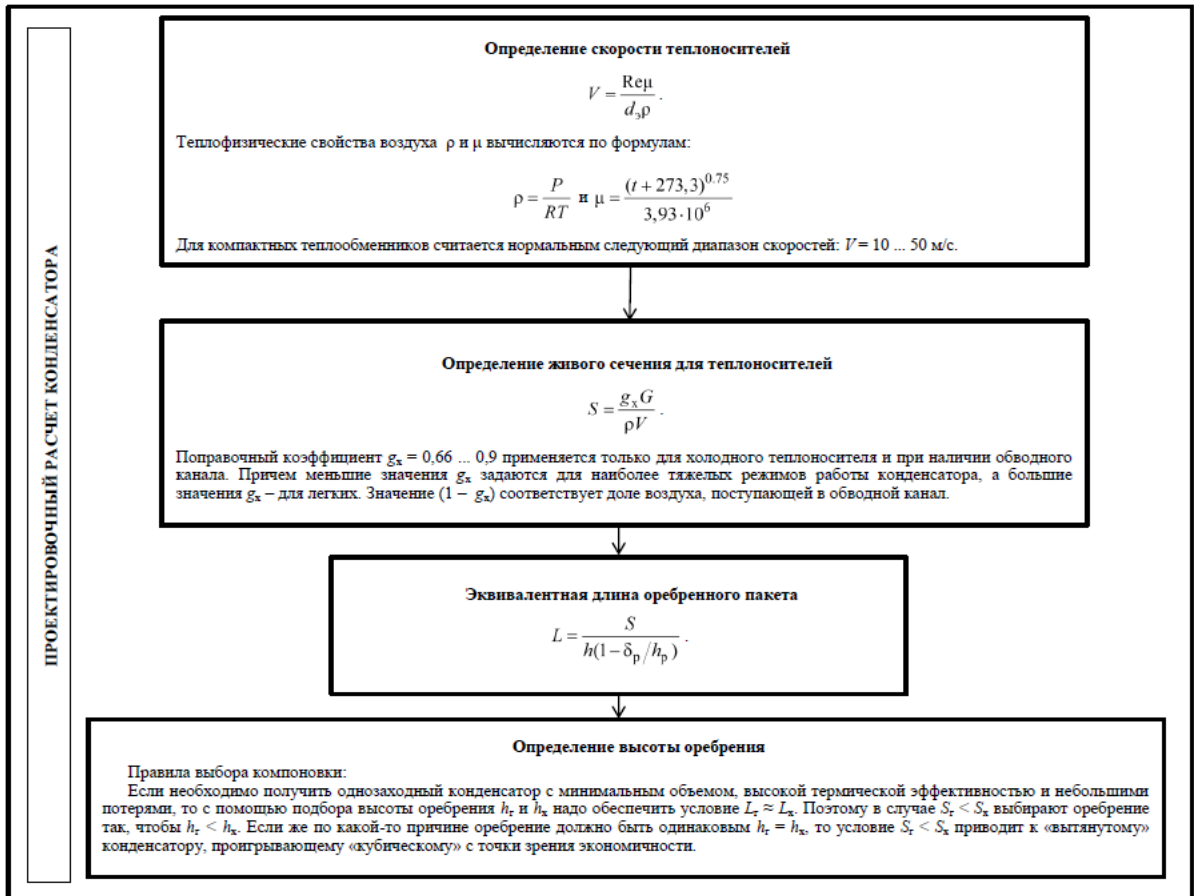
Для работы установки в летних условиях средней климатической зоны компрессору достаточно подавать воздух в вихревую трубку под давлением 2-3 МПа. Тем самым в теплообменном аппарате будет поддерживаться необходимая температура для конденсации паров воды.

Эффективность работы системы будет зависеть от правильного выбора оптимального теплообменного аппарата. Расчет и оптимизация пластинчато-ребристых теплообменных аппаратов для конденсации паров воды из атмосферного воздуха составлен в работе [207].

Для расчета теплообменного аппарата для конденсации составлен алгоритм (рисунок Ж.2).







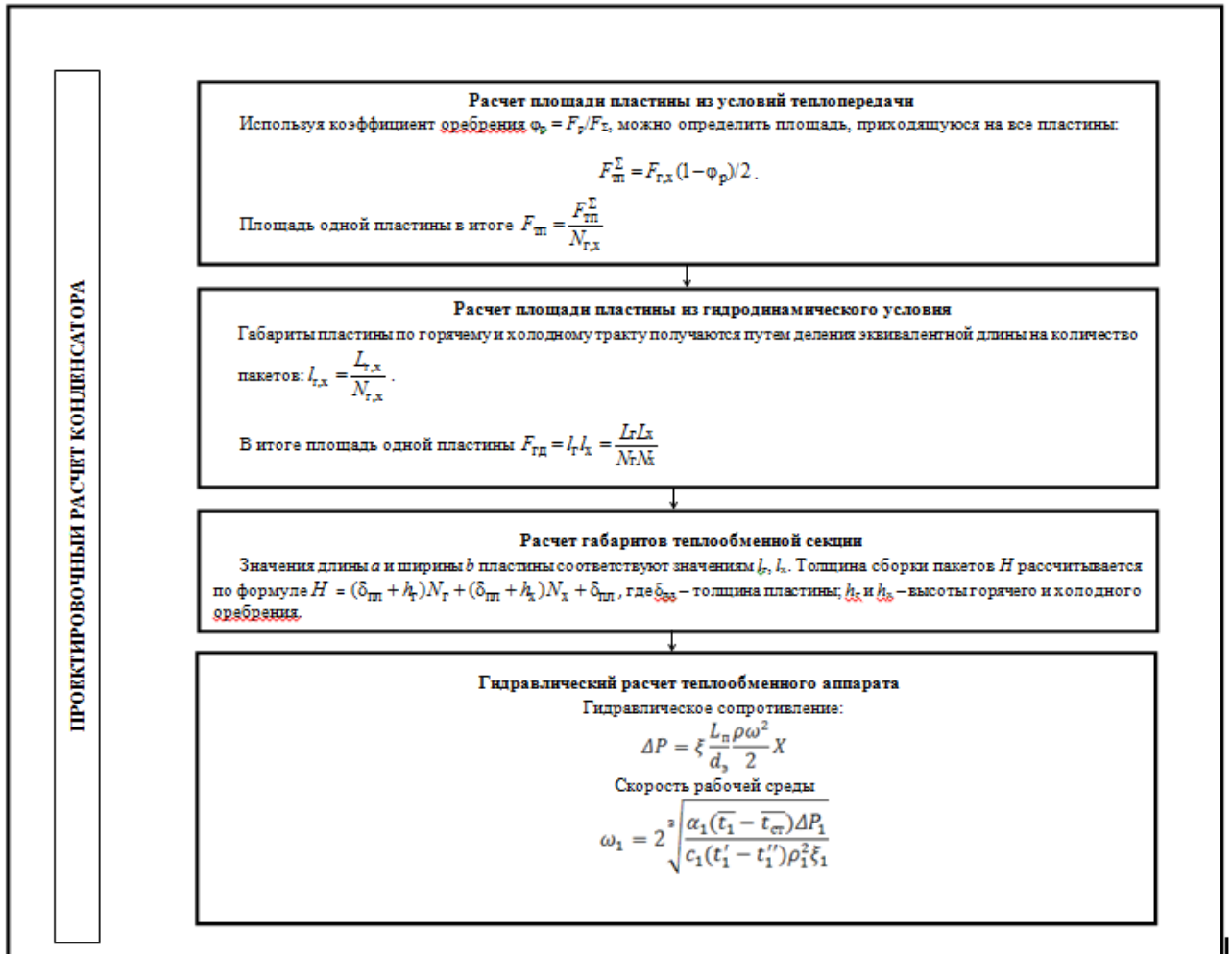


Рисунок Ж.2 – Алгоритм расчета конденсатора.

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Расчет годового количества выбросов бензина из резервуаров сельхозтоваропроизводителей при хранении.

Обратимся к разделу методики «Расчет выбросов паров нефтепродуктов в атмосферу из резервуаров нефтебаз, ТЭЦ, котельных, складов ГСМ».

Валовые выбросы паров нефтепродуктов рассчитываются по формулам:

максимальные выбросы (М, г/с)

$$M = C_1 \cdot K_p^{\max} \cdot V_{\text{ч}}^{\max} : 3600$$

годовые выбросы (G, т/год)

$$G = (Y_2 \cdot V_{\text{оз}} + Y_3 \cdot V_{\text{вл}}) \cdot K_p^{\max} \cdot 10^{-6} + G_{\text{хр}} \cdot K_{\text{нп}} \cdot N_p$$

где: C_1 - концентрация паров нефтепродукта в резервуаре, г/м³, принимается по таблице К.2;

Y_2, Y_3 - средние удельные выбросы из резервуара соответственно в осенне-зимний и весенне-летний периоды года, г/т, принимаются по таблице К.3;

$G_{\text{хр}}$ - выбросы паров нефтепродуктов при хранении бензина автомобильного в одном резервуаре, т/год, принимается по таблице К.3;

$K_{\text{нп}}$ - опытный коэффициент, принимается по таблице К.3.

Количество закачиваемой в резервуар жидкости принимается по данным предприятия в осенне-зимний ($V_{\text{оз}}$, т) период года и весенне-летний ($V_{\text{вл}}$, т) период. Поэтому поделим общий объем топлива резервуара поровну между периодами. Значения опытных коэффициентов K_p принимается по данным таблицы К.1.

Проведем типовой расчет по потерям бензина от испарений из типовых горизонтальных резервуаров сельскохозяйственных нефтехозяйств различной емкости (75, 50, 25, 10, 5, 3 м³) для второй климатической зоны.

Для выполнения расчета примем плотность бензина АИ-92 равной 760 кг/м³. Исходные коэффициенты сведем в таблице К.4.

Таблица К.1 – Значения опытных коэффициентов K_p

Категория	Конструкция Резервуаров	K_p^{\max} , или K_p^{cp}	Объем резервуара, V_p , м ³			
			100 и менее	200-400	700-1000	2000 и более
1	2	3	4	5	6	7
Режим эксплуатации "мерник". ССВ - отсутствуют						
А	Наземный вертикальный	K_p^{\max}	0.90	0.87	0.83	0.80
		K_p^{cp}	0.63	0.61	0.58	0.56
	Заглубленный	K_p^{\max}	0.80	0.77	0.73	0.70
		K_p^{cp}	0.56	0.54	0.51	0.50
	Наземный горизонтальный	K_p^{\max}	1.00	0.97	0.93	0.90
		K_p^{cp}	0.70	0.68	0.65	0.63

Таблица К.2 – Значения концентраций паров нефтепродуктов в резервуаре C_i удельных выбросов Y_2 , Y_3 и опытных коэффициентов $K_{\text{нп}}$

Нефтепродукт	климатическая зона									$K_{\text{нп}}$, при t 20°C
	1			2			3			
	C_i	Y_2	Y_3	C_i	Y_2	Y_3	C_i	Y_2	Y_3	
	г/м ³	г/т	г/т	г/м ³	г/т	г/т	г/м ³	г/т	г/т	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Бензин автомоб.	777,6	639,60	880,0	972,0	780,0	1100,0	1176,12	967,2	1331,0	1,1
Дизельное топливо	2,59	1,56	2,08	3,14	1,9	2,6	3,92	2,36	3,15	$2,9 \cdot 10^{-3}$

Примечание. Значения Y_2 (осенне-зимний период года) принимаются равными – Y_3 (весенне-летний период) для моторного топлива, мазутов и масел.

Таблица К.3 – Количество выделяющихся паров бензинов автомобильных при хранении в одном резервуаре C_{ip} , т/год

$V_p, \text{ м}^3$	Вид резервуара					
	Наземный				Загублен ный	Горизонтал ьный
	Средства сокращения выбросов					
	Отсутств.	Понтон	пл. крыша	ГОР		
1-я климатическая зона						
100 и менее	0.18	0.040	0.027	0.062	0.053	0.18
2-я климатическая зона						
100 и менее	0.22	0.049	0.033	0.077	0.066	0.22
3-я климатическая зона						
100 и менее	0.27	0.060	0.041	0.095	0.081	0.27

Таблица К.4 – Исходные данные для расчета потерь от испарения

$V_p, \text{ м}^3$	C_i г/м ³	Y_2 г/т	Y_3 г/т	C_{ip}	N_p , шт.	ссв	K_p^{max}	климатическая зона
75,50,25,10,5,3	972,0	780,0	1100,0	0.22	1	отсут.	1.0	2

Расчет годовых выбросов бензина для средней климатической зоны различных объемов резервуаров (G , кг/год):

$$G_{75} = ((780 \cdot 28125 + 1100 \cdot 28125) \cdot 1 \times 10^{-6} + 0,22 \cdot 1,1 \cdot 1) \cdot 1000 = 294,9$$

$$G_{50} = ((780 \cdot 18750 + 1100 \cdot 18750) \cdot 1 \times 10^{-6} + 0,22 \cdot 1,1 \cdot 1) \cdot 1000 = 277,3$$

$$G_{25} = ((780 \cdot 9375 + 1100 \cdot 9375) \cdot 1 \times 10^{-6} + 0,22 \cdot 1,1 \cdot 1) \cdot 1000 = 259,6$$

$$G_{10} = ((780 \cdot 3750 + 1100 \cdot 3750) \cdot 1 \times 10^{-6} + 0,22 \cdot 1,1 \cdot 1) \cdot 1000 = 249,1$$

$$G_5 = ((780 \cdot 1875 + 1100 \cdot 1875) \cdot 1 \times 10^{-6} + 0,22 \cdot 1,1 \cdot 1) \cdot 1000 = 245,5$$

$$G_3 = ((780 \cdot 1125 + 1100 \cdot 1125) \cdot 1 \times 10^{-6} + 0,22 \cdot 1,1 \cdot 1) \cdot 1000 = 244,1$$

Расчитанные значения по методике в сравнении с фактом приведены в таблице К. 5 и на рисунках К.1-К.3 для различных климатических зон.

Таблица К.5 – Расчет годовых выбросов бензина из горизонтальных резервуаров различной емкости по методике в сравнении с фактическими

Вместимость резервуара, V, м ³	Масса топлива, кг	Потери автомобильного бензина при хранении за год по климатическим зонам страны, кг					
		Северная		Средняя		Южная	
		Расчет	Факт	Расчет	Факт	Расчет	Факт
3	2250	199,7	40,5	244,1	55,2	299,6	86,6
5	3750	200,8	52,5	245,5	71,5	301,3	112,1
10	7500	203,7	88,4	249,1	120,4	305,6	188,8
25	18750	212,2	161,8	259,6	220,4	318,5	345,5
50	37500	226,5	323,6	277,3	440,9	340,1	691,1
75	56250	240,7	407,7	294,9	555,6	361,6	870,8

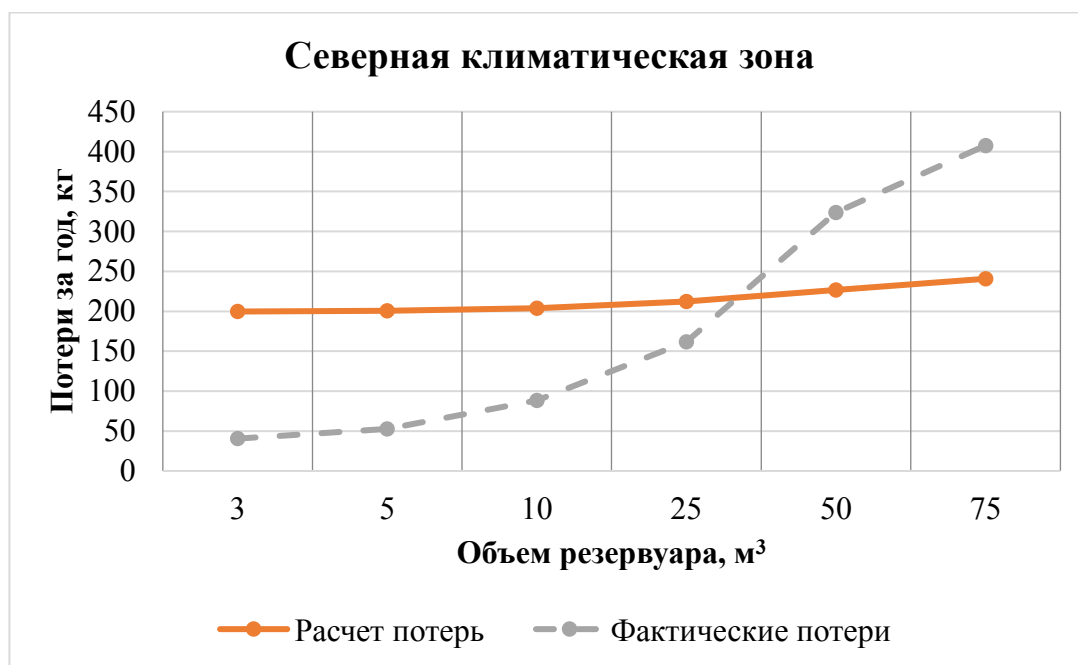


Рисунок К.1 – Сравнение фактических потерь за период с методикой расчета вредных выбросов в северной климатической зоне за год

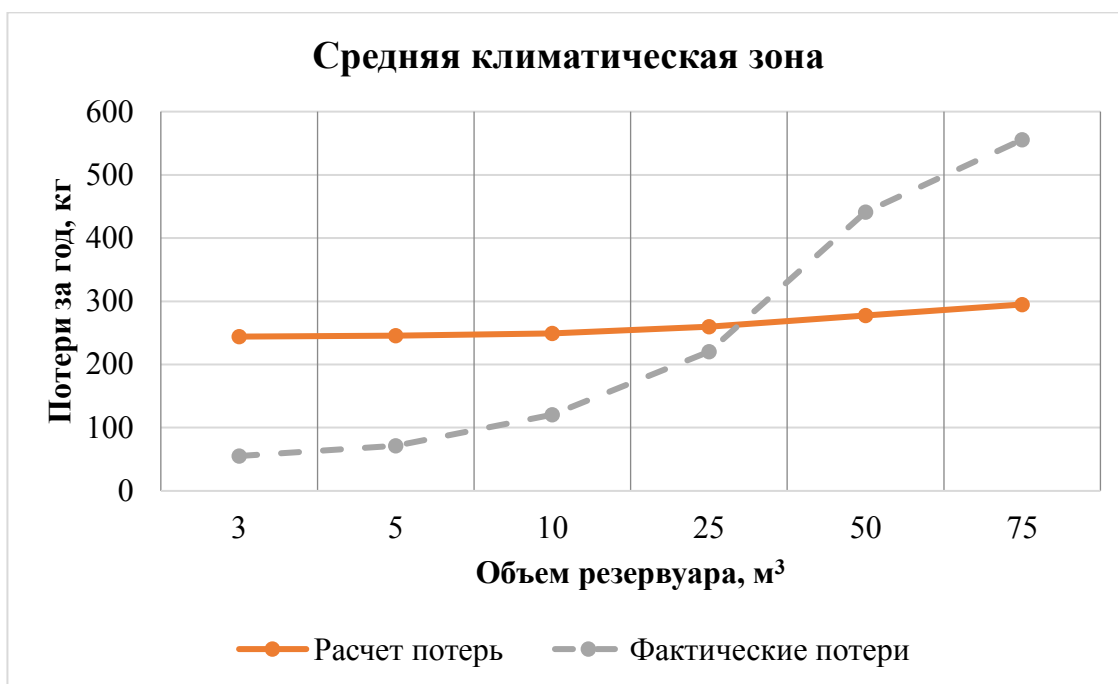


Рисунок К.2 – Сравнение фактических потерь за период с методикой расчета вредных выбросов в средней климатической зоне за год

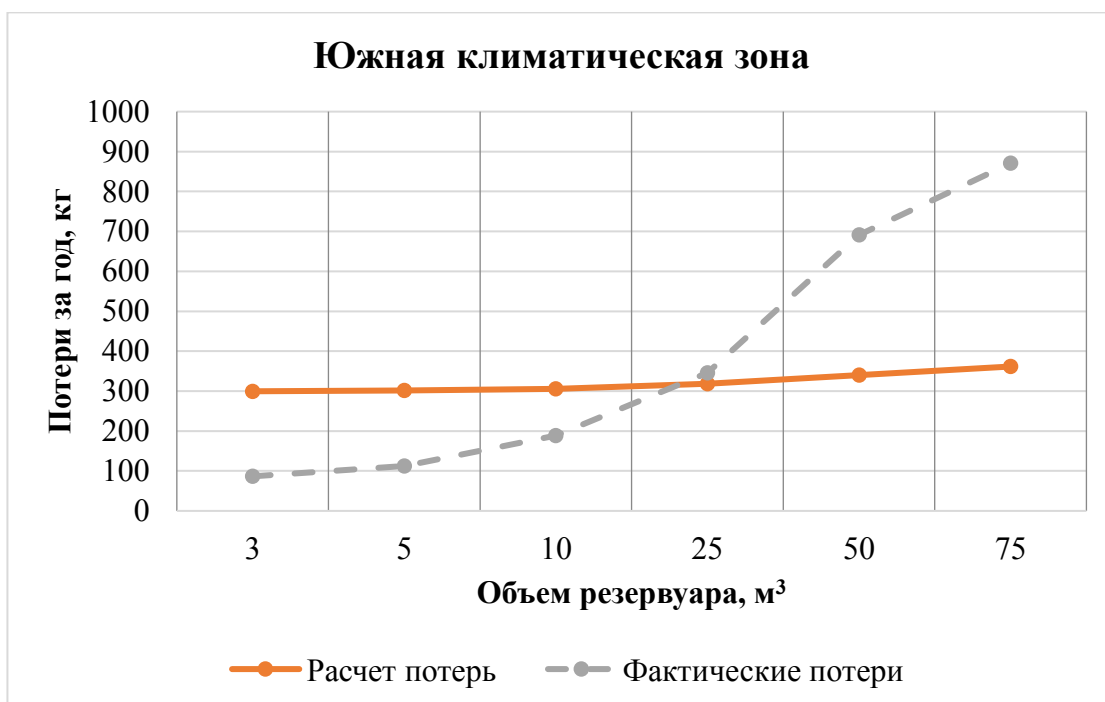


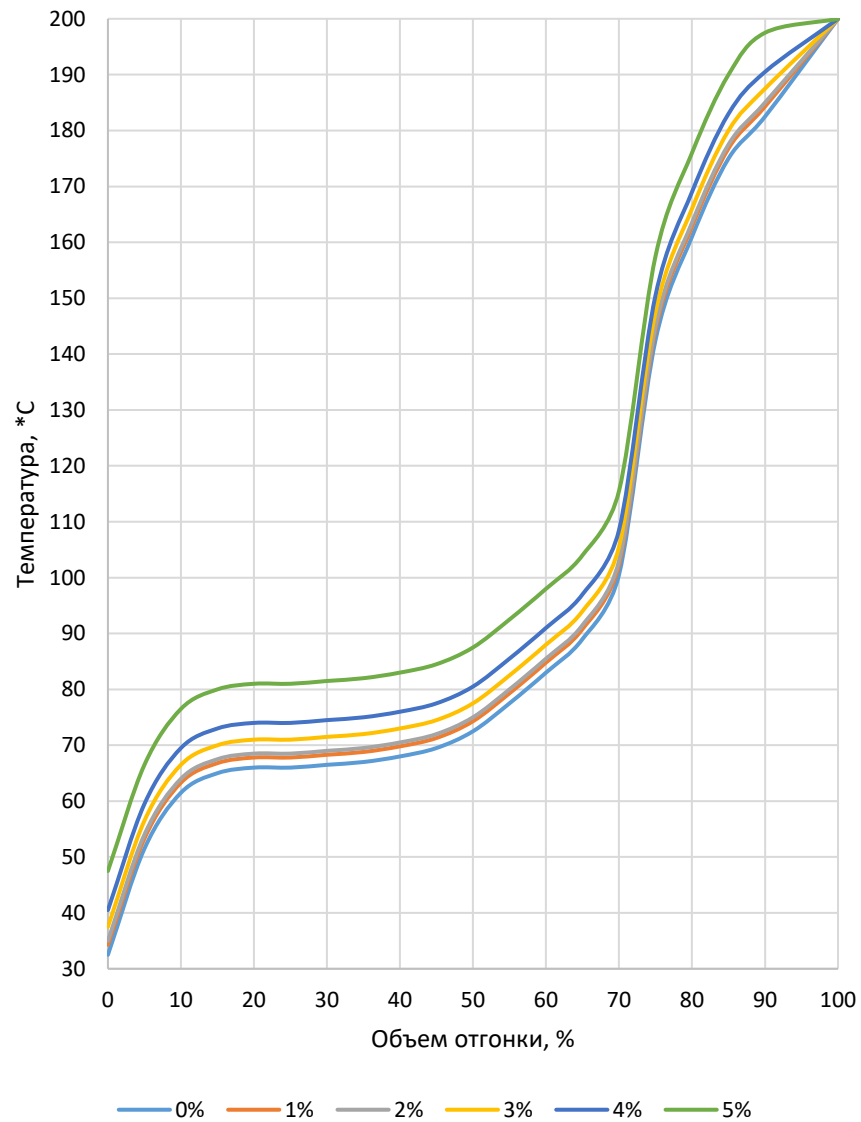
Рисунок К.3 – Сравнение фактических потерь за период с методикой расчета вредных выбросов в южной климатической зоне за год

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Таблица Л.1 – Результаты эксперимента по изменению показателей качества бензина при хранении в экспериментальной установке

Испарившийся объем, %	0			1			2			3			4			5		
Замер температур, °С																		
% отгонки	Макс	Мин	Ср	Макс	Мин	Ср	Макс	Мин	Ср	Макс	Мин	Ср	Макс	Мин	Ср	Макс	Мин	Ср
0	34	31	32,5	35,8	32,8	34,3	36,5	33,5	35	39	36	37,5	42	39	40,5	49	46	47,5
5	52	51	51,5	53,8	52,8	53,3	54,5	53,5	54	57	56	56,5	60	59	59,5	67	66	66,5
10	65	58	61,5	66,8	59,8	63,3	67,5	60,5	64	70	63	66,5	73	66	69,5	80	73	76,5
15	69	61	65	70,8	62,8	66,8	71,5	63,5	67,5	74	66	70	77	69	73	84	76	80
20	69	63	66	70,8	64,8	67,8	71,5	65,5	68,5	74	68	71	77	71	74	84	78	81
25	69	63	66	70,8	64,8	67,8	71,5	65,5	68,5	74	68	71	77	71	74	84	78	81
30	70	63	66,5	71,8	64,8	68,3	72,5	65,5	69	75	68	71,5	78	71	74,5	85	78	81,5
35	70	64	67	71,8	65,8	68,8	72,5	66,5	69,5	75	69	72	78	72	75	85	79	82
40	70	66	68	71,8	67,8	69,8	72,5	68,5	70,5	75	71	73	78	74	76	85	81	83
45	70	69	69,5	71,8	70,8	71,3	72,5	71,5	72	75	74	74,5	78	77	77,5	85	84	84,5
50	75	70	72,5	76,8	71,8	74,3	77,5	72,5	75	80	75	77,5	83	78	80,5	90	85	87,5
55	80	75	77,5	81,8	76,8	79,3	82,5	77,5	80	85	80	82,5	88	83	85,5	95	90	92,5
60	86	80	83	87,8	81,8	84,8	88,5	82,5	85,5	91	85	88	94	88	91	101	95	98
65	90	88	89	91,8	89,8	90,8	92,5	90,5	91,5	95	93	94	98	96	97	105	103	104
70	102	99	100,5	103,8	100,8	102,3	104,5	101,5	103	107	104	105,5	110	107	108,5	117	114	115,5
75	150	135	142,5	151,8	136,8	144,3	152,5	137,5	145	155	140	147,5	158	143	150,5	165	150	157,5
80	162	160	161	163,8	161,8	162,8	164,5	162,5	163,5	167	165	166	170	168	169	177	175	176
85	180	170	175	181,8	171,8	176,8	182,5	172,5	177,5	185	175	180	188	178	183	195	185	190
90	185	180	182,5	186,8	181,8	184,3	187,5	182,5	185	190	185	187,5	193	188	190,5	200	195	197,5
100	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Октановое число, АИ	92			92			91,8			91,5			91,3			90		

Кривая разгонки бензина



Октановое число

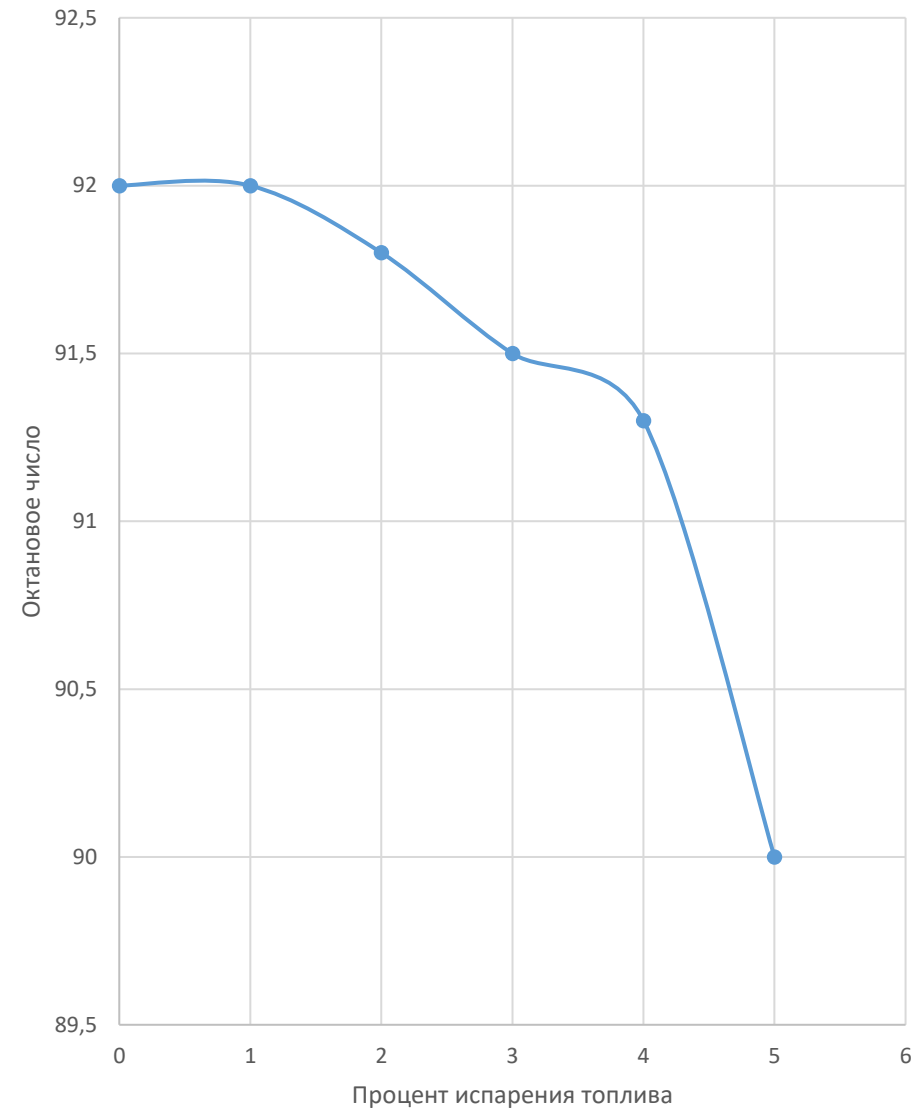


Таблица Л.2 – Результаты эксперимента по сохранению показателей качества бензина при хранении в экспериментальной установке

Возврат 1% испарившегося объема	0			1			2			3			4			5		
	Замер температур, °C																	
% отгонки	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее
0	34	31	32,5	34	31	32,5	35	30	32,5	33	32	32,5	35	33	34	35	31	33
5	52	51	51,5	53	51	52	52	49	50,5	54	51	52,5	52	50	51	55	51	53
10	65	58	61,5	67	58	62,5	64	56	60	65	57	61	64	55	59,5	64	58	61
15	69	61	65	69	61	65	69	59	64	68	61	64,5	69	59	64	68	60	64
20	69	63	66	69	63	66	69	60	64,5	69	63	66	69	62	65,5	69	60	64,5
25	69	63	66	69	63	66	69	64	66,5	70	63	66,5	69	63	66	69	61	65
30	70	63	66,5	69	63	66	70	65	67,5	71	63	67	70	64	67	70	64	67
35	70	64	67	71	64	67,5	70	65	67,5	71	64	67,5	70	65	67,5	73	62	67,5
40	70	66	68	71	66	68,5	70	68	69	72	66	69	70	67	68,5	74	62	68
45	70	69	69,5	71	69	70	74	72	73	74	69	71,5	73	69	71	70	69	69,5
50	75	70	72,5	75	70	72,5	75	72	73,5	78	70	74	75	72	73,5	75	70	72,5
55	80	75	77,5	82	74	78	80	77	78,5	83	75	79	80	73	76,5	80	75	77,5
60	86	80	83	85	81	83	86	79	82,5	87	80	83,5	86	79	82,5	86	80	83
65	90	88	89	91	88	89,5	90	88	89	90	88	89	90	85	87,5	90	88	89
70	102	99	100,5	103	99	101	102	100	101	104	99	101,5	102	95	98,5	104	96	100
75	150	135	142,5	152	137	144,5	150	137	143,5	149	135	142	150	138	144	150	135	142,5
80	162	160	161	160	158	159	162	160	161	165	160	162,5	162	157	159,5	162	160	161
85	180	170	175	182	168	175	180	169	174,5	179	170	174,5	180	169	174,5	181	171	176
90	185	180	182,5	187	180	183,5	185	179	182	184	180	182	185	182	183,5	184	180	182
100	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Октановое число	92																	

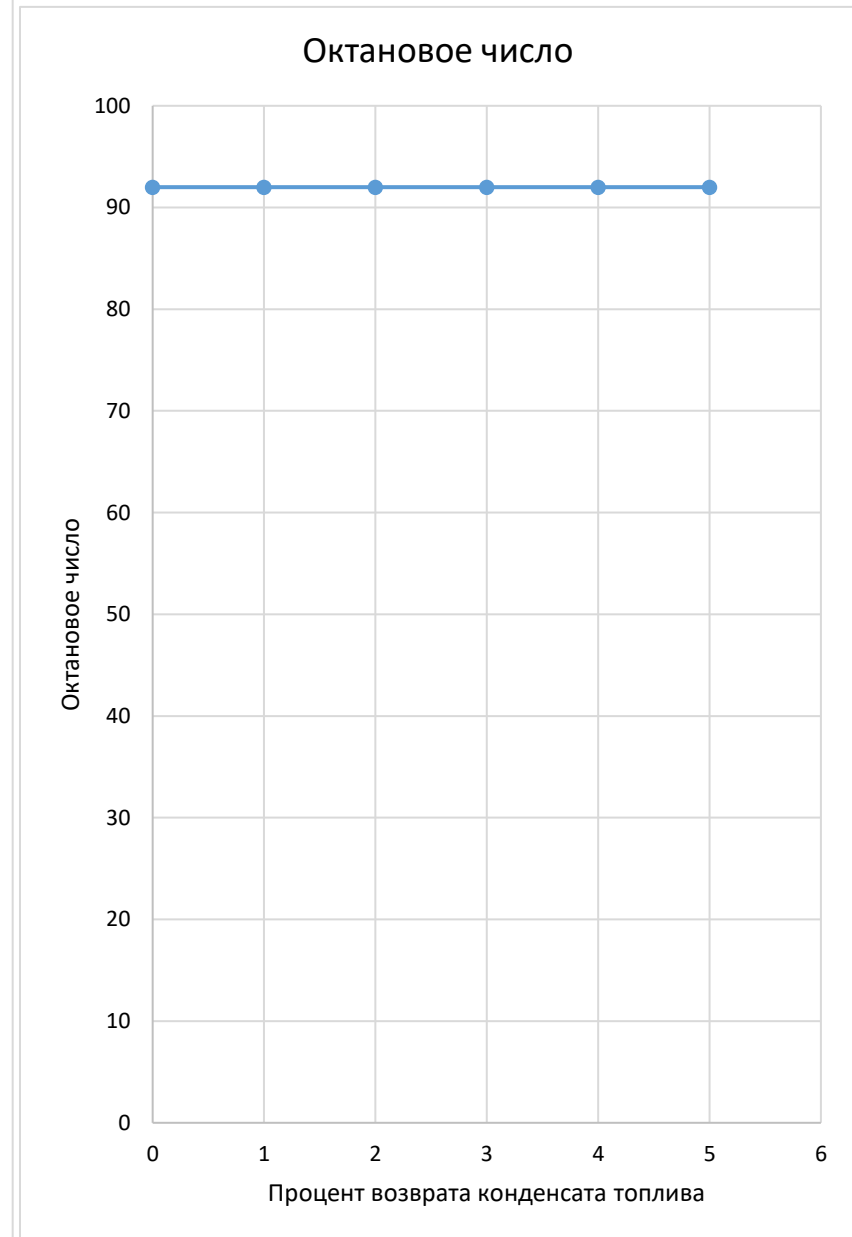
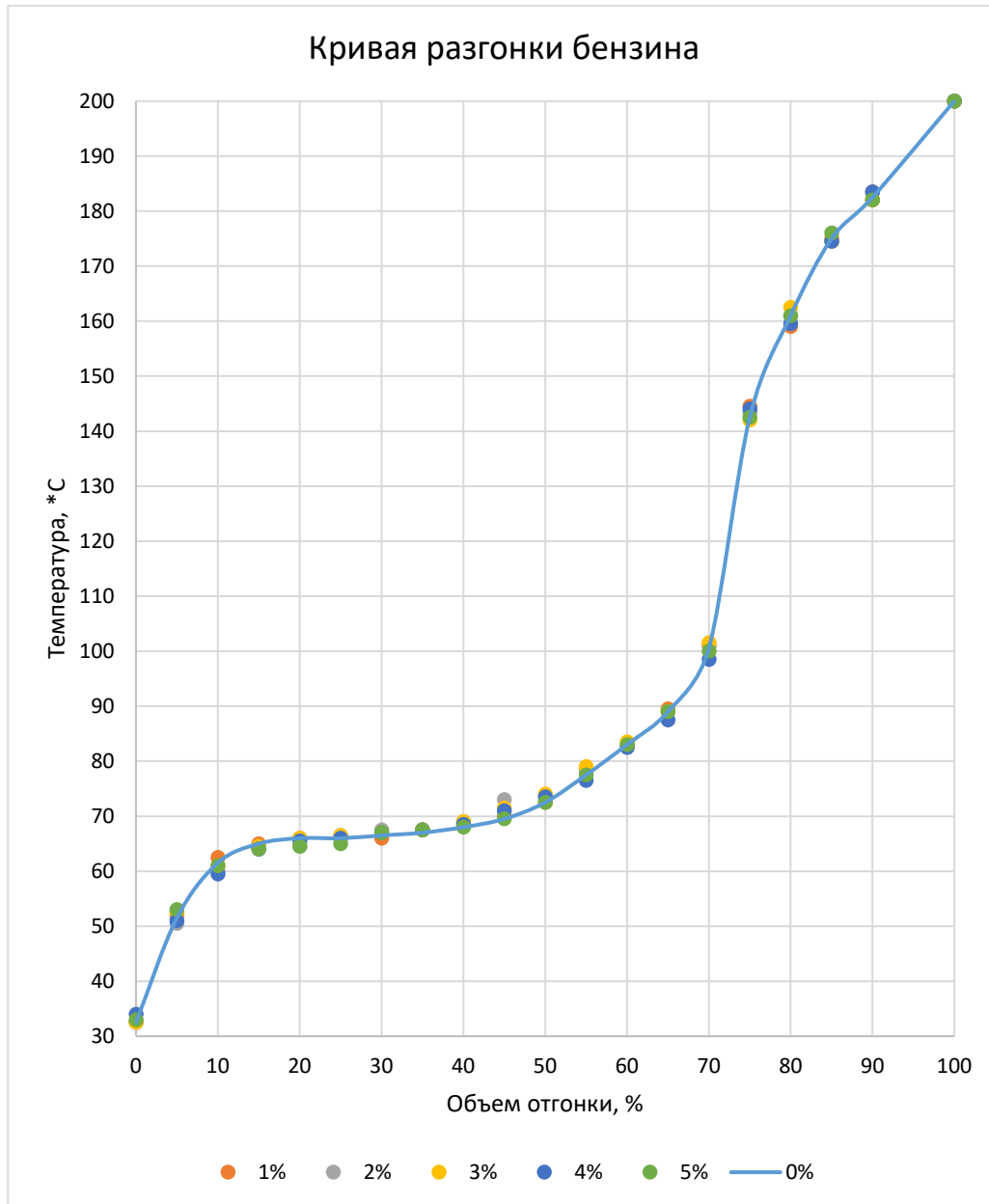
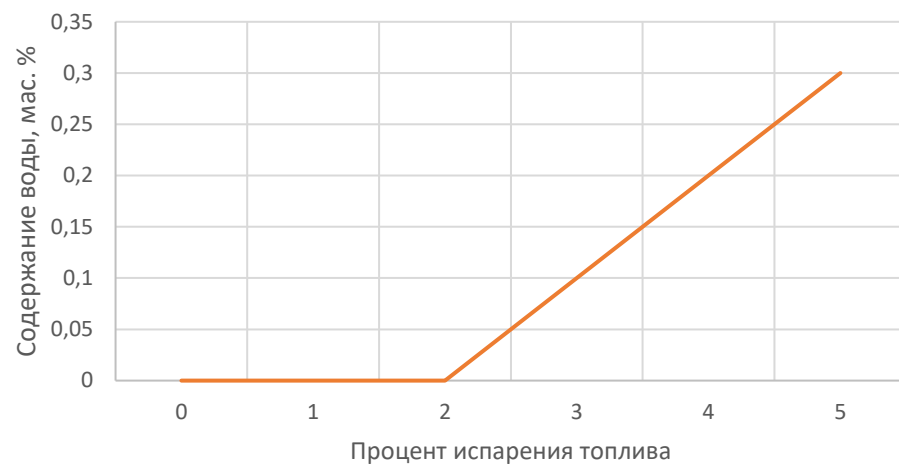
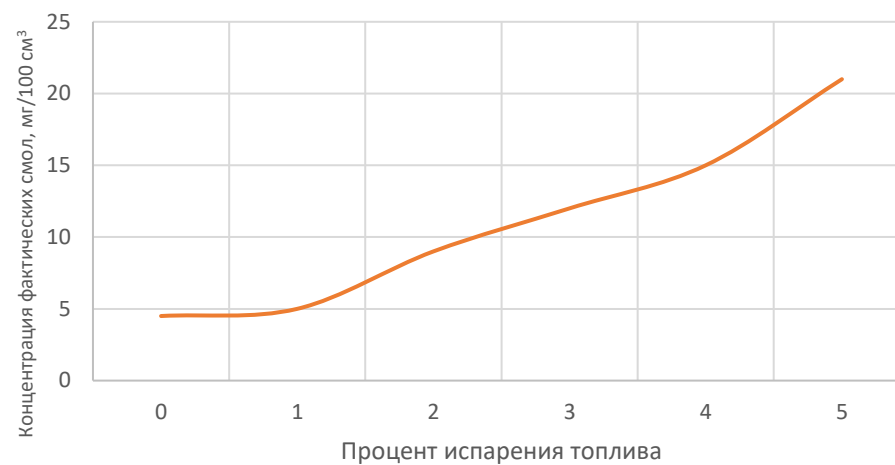


Таблица Л.3 — Результаты эксперимента по изменению показателей качества бензина при хранении в экспериментальной установке

Испарившийся объем, %	0			1			2			3			4			5		
	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее
Содержание воды, мас. %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,3
Концентрация фактических смол, мг/100 см ³	5	4	4,5	5	5	5	10	8	9	14	10	12	16	14	15	22	20	21
Содержание механических примесей, мас. %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,0 ₁	0,01	0,01	0,0 ₁	0,02	0,02	0,0 ₂

Содержание воды, мас. %

Концентрация фактических смол, мг/100 см³

Содержание механических примесей, мас. %

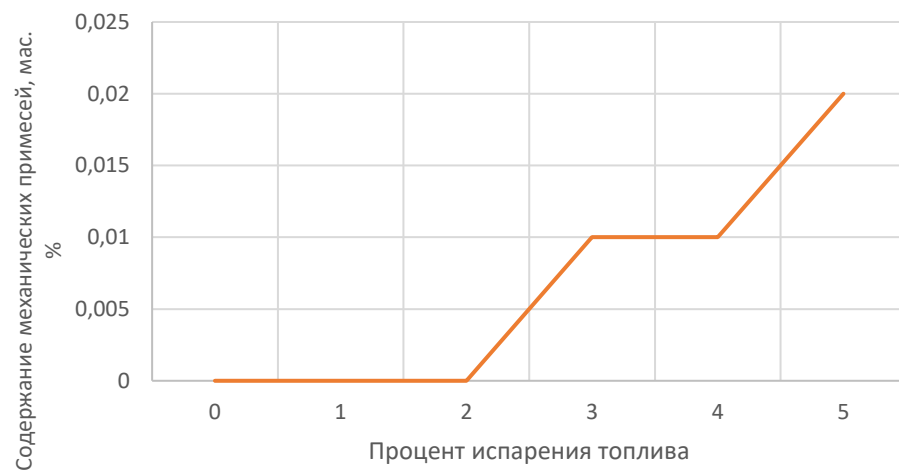


Таблица Л.5 — Результаты эксперимента по изменению показателей качества дизельного топлива при хранении в экспериментальной установке

Испарившийся объем, %	0			1			2			3			4			5		
	Замер температур, °С																	
% отгонки	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее
50	245	245	245	245	245	245	249	249	249	252	251	252	257	256	256	261	260	261
55	245	245	245	245	245	245	249	249	249	252	251	252	256	256	256	259	259	259
60	245	245	245	245	245	245	249	249	249	252	251	252	256	256	256	259	259	259
65	250	246	248	250	246	248	252	254	253	255	254	255	259	259	259	262	262	262
70	260	252	256	260	252	256	260	264	262	263	262	263	267	267	267	270	270	270
75	270	263	267	270	263	267	270	274	272	274	273	273	277	277	277	281	281	281
80	280	274	277	280	274	277	281	284	282	284	283	284	288	288	288	291	291	291
85	350	345	348	350	345	348	351	354	352	355	354	354	358	358	358	362	362	362
90	350	345	348	350	345	348	351	354	352	355	354	354	358	358	358	362	362	362
95	360	360	360	360	360	360	364	364	364	367	366	367	371	371	371	374	374	374
Цетановое число	47																	

Таблица Л.6 — Результаты эксперимента по сохранению показателей качества дизельного топлива при хранении в экспериментальной установке

Возврат 1% испарившегося объема	0			1			2			3			4			5		
	Замер температур, °С																	
% отгонки	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее
50	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
55	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
60	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
65	250	246	250	246	250	246	250	246	250	246	250	246	250	246	250	246	250	246
70	260	252	260	252	260	252	260	252	260	252	260	252	260	252	260	252	260	252
75	270	263	270	263	270	263	270	263	270	263	270	263	270	263	270	263	270	263
80	280	274	280	274	280	274	280	274	280	274	280	274	280	274	280	274	280	274
85	350	345	350	345	350	345	350	345	350	345	350	345	350	345	350	345	350	345
90	350	345	350	345	350	345	350	345	350	345	350	345	350	345	350	345	350	345
95	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
Цетановое число	47																	

Таблица Л.7 — Результаты эксперимента по изменению показателей качества (содержание воды, кинематическая вязкость, примесей) дизельного топлива при хранении в экспериментальной установке

Испарившийся объем, %	0			1			2			3			4			5		
	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее
Содержание воды, мас. %	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с (сСт)	3,4	3,4	3,4	5	4	4,5	5	5	5	5,6	5	5,3	5,8	5	5,4	6	5,8	5,9
Содержание механических примесей, мас. %	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02

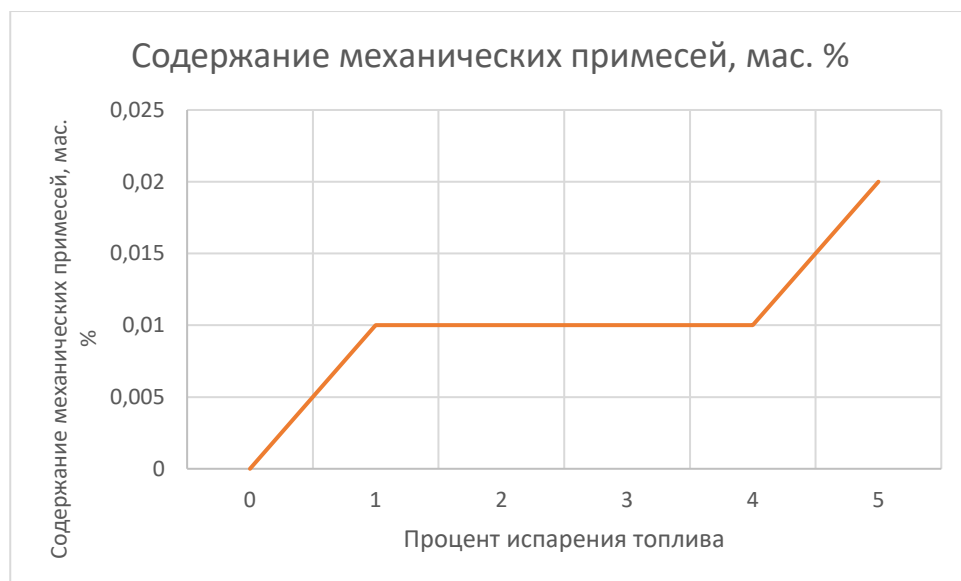
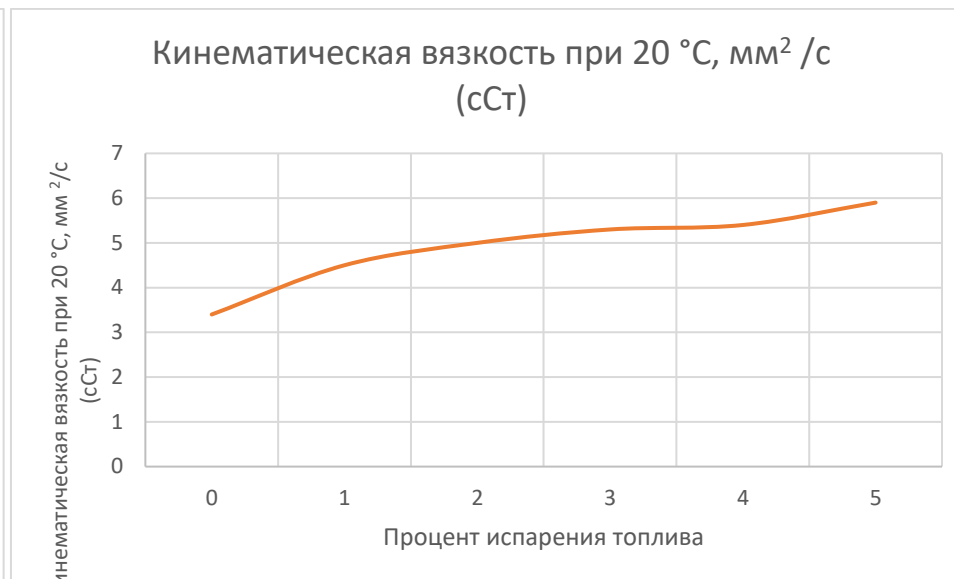
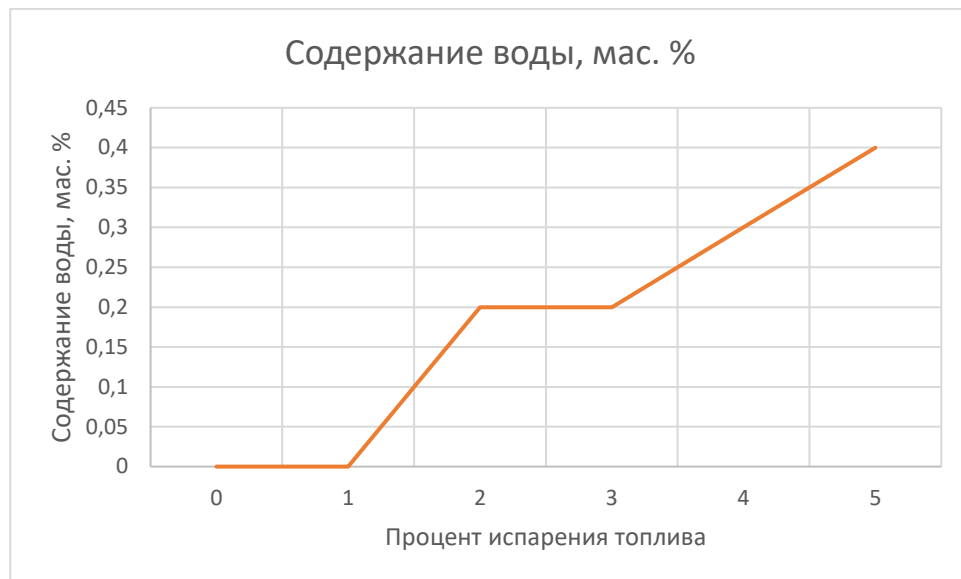


Таблица Л.8 — Результаты эксперимента по сохранению показателей качества (содержание воды, кинематическая вязкость, примесей) дизельного топлива при хранении в экспериментальной установке

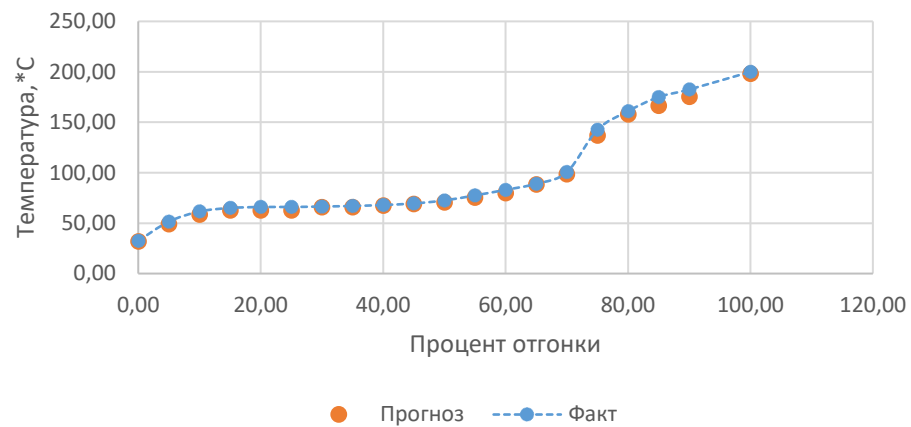
Возврат 1% испарившегося объема	0			1			2			3			4			5		
	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее
Содержание воды, мас. %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с (сСт)	3,4	3,4	3,4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Содержание механических примесей, мас. %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01

Таблица Л.9 — Результаты оценки качества (фракционный состав, октановое число) бензина при хранении в экспериментальной установке с применением НС

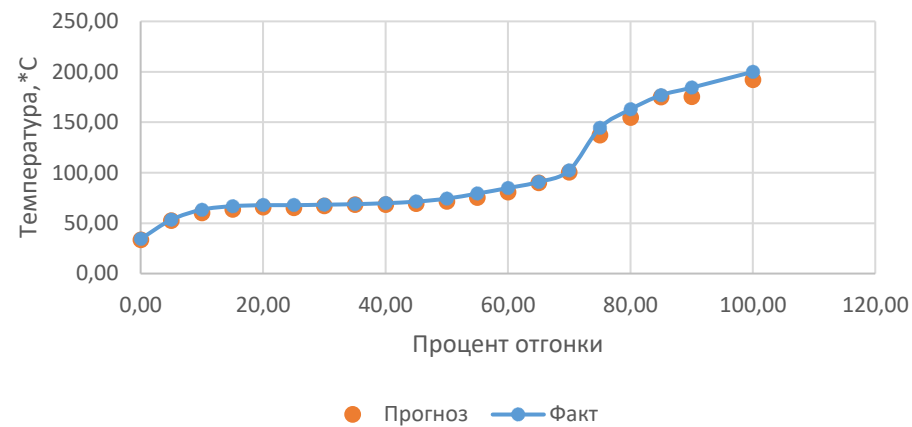
Испарившийся объем, %	0			1			2			3			4			5		
	Замер температур, °С																	
% отгонки	Факт	Прогн оз	Точность, %	Факт	Прогн оз	Точность, %	Факт	Прогн оз	Точность, %	Факт	Прогн оз	Точность, %	Факт	Прогн оз	Точность, %	Факт	Прогн оз	Точность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	32,50	31,85	0,98	34,3	33,27	0,97	35,0	34,65	0,99	37,5	36,75	0,98	40,5	39,69	0,98	47,5	47,03	0,99
5	51,50	48,93	0,95	53,3 0	52,23	0,98	54,0 0	51,30	0,95	56,5 0	54,81	0,97	59,5 0	56,53	0,95	66,5 0	64,51	0,97
10	61,50	58,43	0,95	63,3 0	60,14	0,95	64,0 0	62,72	0,98	66,5 0	64,51	0,97	69,5 0	66,03	0,95	76,5 0	74,21	0,97
15	65,00	62,40	0,96	66,8 0	63,46	0,95	67,5 0	66,83	0,99	70,0 0	69,30	0,99	73,0 0	71,54	0,98	80,0 0	78,40	0,98
20	66,00	62,70	0,95	67,8 0	65,77	0,97	68,5 0	67,13	0,98	71,0 0	69,58	0,98	74,0 0	70,30	0,95	81,0 0	76,95	0,95
25	66,00	62,70	0,95	67,8 0	65,09	0,96	68,5 0	65,08	0,95	71,0 0	67,45	0,95	74,0 0	72,52	0,98	81,0 0	80,19	0,99
30	66,50	65,84	0,99	68,3 0	66,93	0,98	69,0 0	65,55	0,95	71,5 0	69,36	0,97	74,5 0	71,52	0,96	81,5 0	77,43	0,95
35	67,00	65,66	0,98	68,8 0	68,11	0,99	69,5 0	68,81	0,99	72,0 0	68,40	0,95	75,0 0	72,75	0,97	82,0 0	81,18	0,99
40	68,00	67,32	0,99	69,8 0	68,40	0,98	70,5 0	67,68	0,96	73,0 0	70,81	0,97	76,0 0	74,48	0,98	83,0 0	80,51	0,97
45	69,50	68,81	0,99	71,3 0	69,16	0,97	72,0 0	68,40	0,95	74,5 0	73,01	0,98	77,5 0	76,73	0,99	84,5 0	81,97	0,97
50	72,50	70,33	0,97	74,3 0	71,33	0,96	75,0 0	71,25	0,95	77,5 0	75,95	0,98	80,5 0	76,48	0,95	87,5 0	86,63	0,99
55	77,50	75,18	0,97	79,3 0	75,34	0,95	80,0 0	78,40	0,98	82,5 0	80,85	0,98	85,5 0	82,08	0,96	92,5 0	89,73	0,97
60	83,00	79,68	0,96	84,8 0	80,56	0,95	85,5 0	84,65	0,99	88,0 0	83,60	0,95	91,0 0	88,27	0,97	98,0 0	97,02	0,99
65	89,00	88,11	0,99	90,8 0	89,89	0,99	91,5 0	88,76	0,97	94,0 0	92,12	0,98	97,0 0	96,03	0,99	104,00	100,88	0,97
70	100,50	98,49	0,98	102	100	0,98	103	97,85	0,95	105	102	0,97	108	104	0,96	115	112	0,97

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
75	142,50	136,80	0,96	144,30	137,09	0,95	145,00	140,65	0,97	147,50	146,03	0,99	150,50	145,99	0,97	157,50	155,93	0,99
80	161,00	157,78	0,98	162,80	154,66	0,95	163,50	160,23	0,98	166,00	159,36	0,96	169,00	160,55	0,95	176,00	167,20	0,95
85	175,00	166,25	0,95	176,80	175,03	0,99	177,50	175,73	0,99	180,00	178,20	0,99	183,00	175,68	0,96	190,00	186,20	0,98
90	182,50	175,20	0,96	184,30	175,09	0,95	185,00	179,45	0,97	187,50	178,13	0,95	190,50	180,98	0,95	197,50	187,63	0,95
100	200,00	198,00	0,99	200,00	192,00	0,96	200,00	190,00	0,95	200,00	192,00	0,96	200,00	192,00	0,96	197,50	195,53	0,99
Октановое число факт	92,00			92,00			91,80			91,50			91,30			90,00		
Октановое число прогноз	91,08			90,16			89,05			90,59			87,65			89,10		
Точность, %	0,99			0,98			0,97			0,99			0,96			0,99		

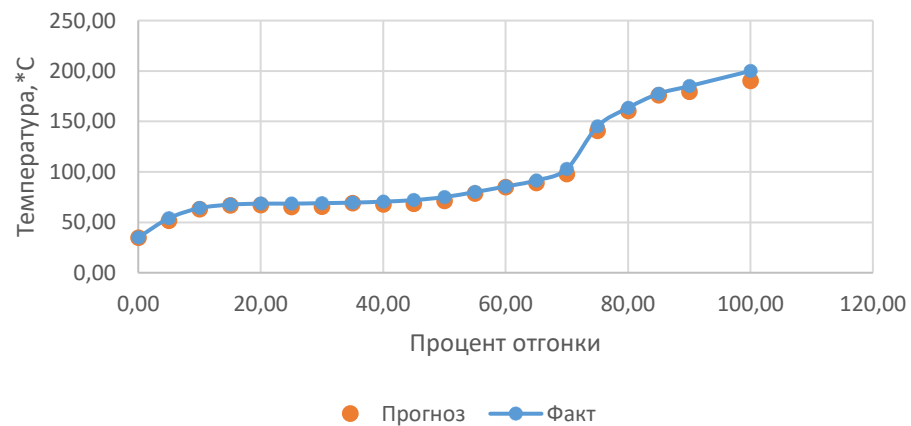
Оценка качества бензина НС, при 0%
испарений



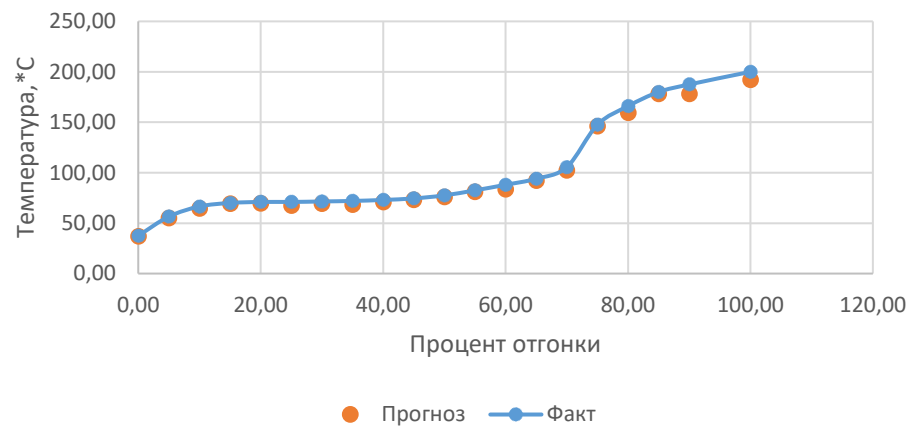
Оценка качества бензина НС, при 1%
испарений



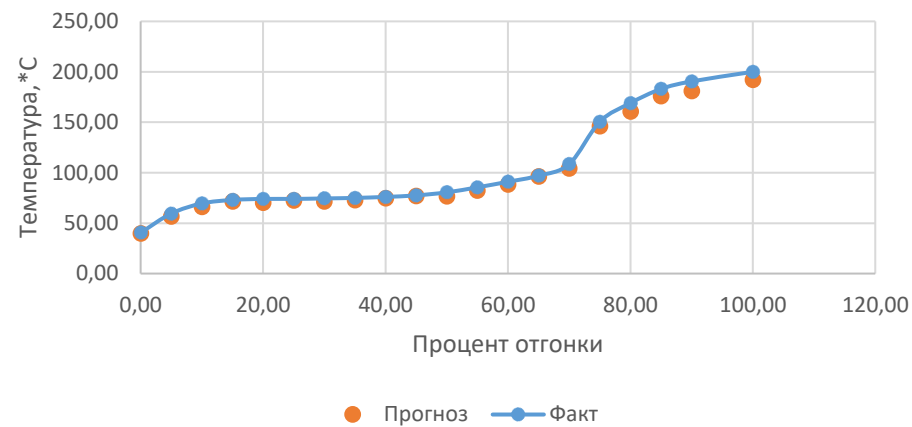
Оценка качества бензина НС, при 2%
испарений



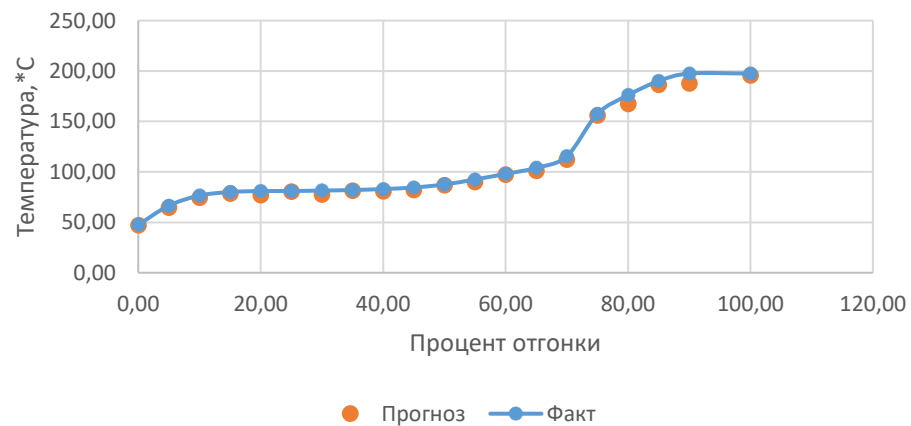
Оценка качества бензина НС, при 3% испарений



Оценка качества бензина НС, при 4% испарений



Оценка качества бензина НС, при 5% испарений



Оценка ОЧ НС

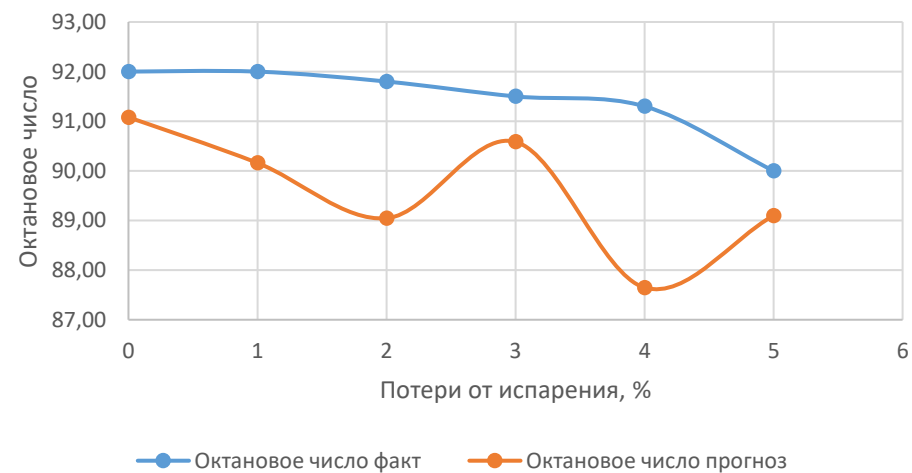


Таблица Л.10 — Результаты оценки качества (Содержание воды, мас. %, Концентрация фактических смол, мг/100 см³, Содержание механических примесей, мас. %) бензина при хранении в экспериментальной установке с применением НС

Испарившийся объем, %	0			1			2			3			4			5		
	Факт	Прогн оз	Точность, %	Факт	Прогн оз	Точность, %	Факт	Прогн оз	Точность, %	Факт	Прогн оз	Точность, %	Факт	Прогн оз	Точность, %	Факт	Прогн оз	Точность, %
Содержание воды, мас. %	0	0,0	1	0	0,0	1	0	0,0	1	0,1	0,1	0,96	0,2	0,2	0,95	0,3	0,3	0,99
Концентрация фактических смол, мг/100 см ³	4,5	4,3	0,96	5	4,8	0,95	9	8,6	0,96	12	11,6	0,97	15	14,4	0,96	21	20,8	0,99
Содержание механических примесей, мас. %	0	0,0	1	0	0,0	1	0	0,0	1	0,01	0,0	0,98	0,01	0,0	0,97	0,02	0,0	0,96

Таблица Л.12 — Результаты оценки качества (Содержание воды, Кинематическая вязкость, Содержание механических примесей) дизтоплива при хранении в экспериментальной установке с применением НС

Испарившийся объем, %	0			1			2			3			4			5		
	Факт	Про гноз	Точн ость, %	Факт	Пр ог но з	Точно сть,%	Фак т	Пр огн оз	Точн ость, %	Факт	Пр огн оз	Точн ость, %	Факт	Пр огн оз	Точн ость, %	Факт	Пр огн оз	Точ ност ь,%
Содержание воды, мас. %	0	0,0	1	0	0,0	1	0,2	0,2	0,97	0,2	0,2	0,97	0,3	0,3	0,99	0,4	0,4	0,95
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с (сСт)	3,4	3,3	0,98	4,5	4,3	0,96	5	4,9	0,97	5,3	5,1	0,97	5,4	5,3	0,99	5,9	5,6	0,95
Содержание механических примесей, мас. %	0	0,0	1	0,01	0,0	0,99	0,01	0,0	0,99	0,01	0,0	0,96	0,01	0,0	0,97	0,02	0,0	0,99

ПРИЛОЖЕНИЕ М

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ОАО «Добринское
автотранспортное
предприятие»



Шибаяев В.А.

« 10 » февраля 2020 г.

А К Т

внедрения результатов исследований диссертационной работы на соискание
ученой степени доктора технических наук

Левина Максима Юрьевича

Настоящий акт составлен в том, что материалы исследований Левина Максима Юрьевича «Совершенствование методов и технических средств для снижения потерь моторного топлива при хранении». Особый интерес представляют разработанные Левиным М.Ю. алгоритмы и программные средства с использованием нейронных сетей для интеллектуального управления нефтехозяйством; алгоритм расчета потерь топлива от испарения при его хранении в наземных горизонтальных резервуарах емкостью до 100 м³; эффективные инновационные технические средства предотвращения количественных и качественных потерь моторного топлива при хранении с использованием вихревых трубок.

Использование вышеуказанных материалов Левина Максима Юрьевича позволит сохранить качество бензина и дизельного топлива при его хранении в стальных горизонтальных наземных резервуарах объемом до 100 м³ за счет практически полного исключения обводнения и испарения топлива. Результаты экспериментов Левина М.Ю., свидетельствуют о перспективности использования разработок диссертации в нефтехозяйстве ОАО «Добринское автотранспортное предприятие».

Генеральный директор
ОАО «Добринское АТП»



Шибаяев В.А.

Доцент кафедры транспортных
средств и техносферной безопасности
ФГБОУ ВО ЛГТУ

Левин М.Ю.

УТВЕРЖДАЮ

«Индивидуальный

предприниматель

Кудашкина Екатерина

Борисовна»



Кудашкина Е.Б.

2020 г.

АКТ

внедрения результатов исследований диссертационной работы на соискание
ученой степени доктора технических наук

ЛЕВИНА Максима Юрьевича

Настоящий акт составлен в том, что материалы исследований Левина Максима Юрьевича «Совершенствование методов и технических средств для снижения потерь моторного топлива при хранении» рассмотрены, приняты для внедрения и используются в хозяйстве ИП Кудашкина Е.Б. с целью расчета в реальном времени и прогнозирования качества и количества потерь бензина и дизельного топлива при хранении в наземных горизонтальных резервуарах ёмкостью до 100 м³.

Точность расчётов по разработанным алгоритмам и математическим моделям с использованием нейронных сетей для прогнозирования потерь топлива от испарения достигает 99% для бензина и дизельного топлива при его хранении в нефтехозяйствах сельхозтоваропроизводителей Ростовской области.

ИП Кудашкина Е.Б.



Кудашкина Е.Б.

Доцент кафедры транспортных
средств и техносферной безопасности
ФГБОУ ВО ЛГТУ

Левин М.Ю.



УТВЕРЖДАЮ
ИП Глава КФХ
Кудашкин Б.М.

Кудашкин Б.М.

14 марта 2022 г.

А К Т

внедрения результатов исследований диссертационной работы на соискание
ученой степени доктора технических наук

ЛЕВИНА Максима Юрьевича

Настоящий акт составлен в том, что результаты диссертационной работы Левина Максима Юрьевича «Совершенствование методов и технических средств для снижения потерь моторного топлива при хранении» использованы в процессе хранения моторного топлива в КФХ Кудашкина Бориса Михайловича.

Разработанные Левиным М.Ю. алгоритмы и программные средства с использованием нейронных сетей, математическая модель расчета потерь топлива от испарения при его хранении в наземных горизонтальных резервуарах емкостью до 100 м³ позволяют прогнозировать как качественные, так и количественные потери дизельного топлива и бензина, планировать уровень их запаса в нефтехозяйстве.

Технические средства для конденсации паров топлива, разработанные Левиным М.Ю., позволили исключить качественные и количественные потери топлива как при заполнении резервуаров, так и при хранении топлива в них.

ИП Глава КФХ
Кудашкин Б.М.



ИП Кудашкин Б.М.

Доцент кафедры транспортных
средств и техноферной безопасности
ФГБОУ ВО ЛГТУ

Левин М.Ю.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель главы администрации
Добринского муниципального
района Липецкой области

Неворова В.Т.

« 10 » февраля 2020 г.



А К Т

внедрения результатов исследований диссертационной работы на соискание
ученой степени доктора технических наук

Левина Максима Юрьевича

Настоящий акт составлен в том, что материалы исследований Левина Максима Юрьевича «Совершенствование методов и технических средств для снижения потерь моторного топлива при хранении» рассмотрены и приняты для внедрения в агропромышленный комплекс Добринского муниципального района Липецкой области. Сельское хозяйство Добринского муниципального района является одной из ведущих системообразующих сфер экономики, значение которой определяется наличием значительного земельного, трудового и производственного ресурсов. В аграрной экономике района насчитывается 112 хозяйствующих субъектов, которым рекомендованы к внедрению методы и технические средства для снижения потерь моторного топлива при хранении, разработанные в диссертации М.Ю. Левина.

Заместитель главы администрации
Добринского муниципального района



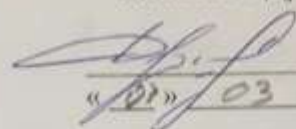
Неворова В.Т.

Доцент кафедры транспортных
средств и техносферной безопасности
ФГБОУ ВО ЛГТУ

Левин М.Ю.

УТВЕРЖДАЮ

ИП ГКФХ Дронов С.П.


 Дронов С.П.
 «02»/03 2020 г.

А К Т

внедрения результатов исследований диссертационной работы на соискание
 ученой степени доктора технических наук

ЛЕВИНА Максима Юрьевича

Настоящий акт составлен в том, что материалы исследований Левина Максима Юрьевича «Совершенствование методов и технических средств для снижения потерь моторного топлива при хранении», используются в ИП ГКФХ Дронов С.П. с целью сохранения качества и количества бензина и дизельного топлива в горизонтальных наземных цилиндрических резервуарах объемом 10 м³ и 25 м³ соответственно.


Программа «Система автоматизированного управления горизонтальными резервуарами на нефтескладе» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017660610 от 22.09.2017) применяется для контроля технологических параметров (температуры, давления, уровня топлива) резервуаров РГС-10 и РГС-25 при хранении светлых нефтепродуктов, и управления системой защиты от обводнения и испарения топлива.

Глава КФХ

Доцент кафедры транспорта,
 средств и техносферной безопасности
 ФГБОУ ВО ЛГТУ

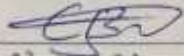


 Дронов С.П.


 Левин М.Ю.

УТВЕРЖДАЮ

ИП ГКФХ Выюнов С.В.


Выюнов С.В.
« 03 » 03 2020 г.**А К Т**

внедрения результатов исследований диссертационной работы на соискание
ученой степени доктора технических наук

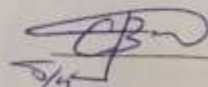
ЛЕВИНА Максима Юрьевича

Настоящий акт составлен в том, что материалы исследований Левина Максима Юрьевича «Совершенствование методов и технических средств для снижения потерь моторного топлива при хранении» рассмотрены, приняты для внедрения и используются в ИП ГКФХ Выюнов С.В. с целью сохранения качества и количества бензина и дизельного топлива.


Особый интерес представляет методика расчета потерь бензина от испарения при хранении в наземных горизонтальных цилиндрических резервуарах при различном наполнении резервуаров емкостью от 3 до 75 м³ для средней климатической зоны.

Используемые технические средства диссертации Левина М.Ю. для конденсации паров топлива позволила исключить потери топлива от испарений.

Глава КФХ


Выюнов С.В.

Доцент кафедры транспортных
средств и техносферной безопасности
ФГБОУ ВО ЛГТУ


Левин М.Ю.

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «Раненбургъ»,
Липецкая область, г. Чаплыгин,
ул. Индустриальная, д. 9

10 » февраля 2020 г.

А К Т

внедрения результатов исследований диссертационной работы на соискание
ученой степени доктора технических наук

ЛЕВИНА Максима Юрьевича

Настоящий акт составлен в том, что материалы исследований Левина Максима Юрьевича «СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ МОТОРНОГО ТОПЛИВА ПРИ ХРАНЕНИИ» рассмотрены и приняты для внедрения в агропромышленный комплекс ООО «Раненбургъ». Практический интерес представляют разработанные Левиным М.Ю. алгоритмы и программные средства с использованием нейронных сетей для интеллектуального управления нефтехозяйством; алгоритм расчета потерь топлива от испарения при его хранении в наземных горизонтальных резервуарах емкостью до 100 м³; экологически чистая система сохранения качества топлива с использованием вихревого генератора холода.

Использование вышеуказанных материалов Левина Максима Юрьевича позволило сохранить качество бензина и дизельного топлива при его хранении в стальных горизонтальных резервуарах объемом до 100 м³ за счет практически полного исключения обводнения и испарения топлива. Установка показала вполне удовлетворительные результаты, свидетельствующие о перспективности использования вышеуказанных разработок. Автоматическое управление установкой позволяет применять результаты на крупном нефтехозяйстве.

Генеральный директор
ООО «Раненбургъ»



Ежеусский А.А.

Доцент кафедры транспортных
средств и техносферной безопасности
ФГБОУ ВО ЛГТУ

Левин М.Ю.

УТВЕРЖДАЮ

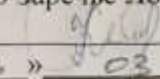
Глава КФХ

Индивидуальный предприниматель

Докучаев Константин Станиславович

Липецкая область, Чаплыгинский район,

село Заречье Ломовое


 Докучаев К.С.

«03» 03 2020 г.

А К Т

внедрения результатов исследований диссертационной работы на соискание
ученой степени доктора технических наук

Левина Максима Юрьевича

Настоящий акт составлен в том, что материалы исследований Левина Максима Юрьевича «**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ МОТОРНОГО ТОПЛИВА ПРИ ХРАНЕНИИ**» используются в КФХ «ИП Докучаев Константин Станиславович» с целью сохранения качества и количества бензина и дизельного топлива в горизонтальных наземных цилиндрических резервуарах за счет полного исключения его обводнения и испарения. Результаты работы Левина М.Ю. свидетельствуют о перспективности использования разработок диссертации.

Глава КФХ

Индивидуальный предприниматель

Докучаев Константин Станиславович



Докучаев К.С.

Доцент кафедры транспортных
средств и техносферной безопасности
ФГБОУ ВО ЛГТУ



Левин М.Ю.