

На правах рукописи



МУЛЕНКО ИЛЬЯ ГЕННАДЬЕВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ОЦЕНКИ
КАЧЕСТВА ПРИ ХРАНЕНИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

2.5.22 – Управление качеством продукции. Стандартизация.
Организация производства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тула 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тульский государственный университет».

Научный руководитель:

Благовещенский Дмитрий Иванович,
доктор технических наук, доцент.

Официальные оппоненты:

Димитров Валерий Петрович
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Донской государственный
технический университет», г. Ростов-на-
Дону, заведующий кафедрой

Денискина Антонина Робертовна
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Московский авиационный
институт (национальный исследователь-
ский университет)», и.о. заведующего
кафедрой

Ведущая организация:

ФГАОУ ВО «Самарский национальный
исследовательский университет
им.академика С.П. Королева».

Защита состоится «14» октября 2025 г. в 10.00 на заседании диссертационного совета 24.2.417.06, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» (300012, г. Тула, просп. Ленина, д. 92, 9-101).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТулГУ и на сайте <https://tulsu.ru/science/dissertation/diss-24-2-417-06/mulenko-ig-24-2-417-06>

Автореферат разослан «01» августа 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Литвинова
Ирина Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В последние десятилетия в нашей стране был реализован целый комплекс мероприятий, направленных на повышение качества автомобильного топлива. Значительные усилия в данной области привели к улучшению ситуации в части повышения эксплуатационной эффективности, снижению поломок и повышению экологичности автотранспортных средств.

Однако реализация крупных инфраструктурных проектов в области модернизации производственно-логистической базы переработки нефтепродуктов не в полной мере затронула направление улучшения, которое непосредственно связано с обеспечением качества продукции при хранении в резервуарах на различных этапах перевалки вплоть до конечного потребителя. Также при оценке деятельности предприятий нефтехранилищ актуальным остается вопрос, связанный с повышением качества показателей, используемых для оценки функционирования и результативности. Работа, выполняемая в рамках системы менеджмента, всегда связана с мониторингом деятельности, а значит, повышение объективности оценок направлено на улучшение вопросов обеспечения процессного подхода. Производственные предприятия всегда заточены на оценку протекания основных процессов, что выливается в создание гармоничного комплекса целевых индикаторов. Для предприятий нефтехранилищ основными процессами являются хранение и перевалка объемов с обеспечением качества продукции, здесь также требуется реализация подхода для формирования соответствующего комплекса индикаторов и инструментария с учетом сегодняшних достижений в области науки и практики.

Итак, если рассматривать процессы организаций, осуществляющих функции нефтехранилищ, то в данном случае под пристальный и критический взгляд попадают сразу несколько видов деятельности, совершенствование которых обеспечивает системность улучшений процессов. Это вопрос обеспечения точности и единства измерений на этапах перевалки и хранения нефтепродуктов, который необходимо рассматривать и с точки зрения обеспечения качества процессов и с точки зрения метрологического обеспечения, а также вопрос потери качества нефтепродуктов, которая может произойти при отдельных видах несоответствий и нарушении технологии хранения продукции.

Целью Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года (далее – Стратегия) является развитие системы обеспечения единства измерений до уровня стран-лидеров в области промышленного развития. И в этой ситуации развитие инструментов обеспечения единства измерений в комбинации с инструментами управления качеством необходимо рассматривать как резерв для существенного улучшения реализации сложных процессов системы менеджмента.

Особая роль в процессах управления качеством нефтепродуктов отводится инструментам мониторинга по ключевым параметрам качества, а также таким инструментам, как, например, определения вместимости резервуаров в процессе хранения нефтепродуктов на нефтебазах. В настоящее время каждый перечисленный инструмент рассматривается по отдельности при решении задачи обеспечения качества продукции либо задачи метрологического содержания. Однако представляется, что комплексное развитие инструментария контроля, мониторинга и управления способ-

но решить научно-техническую задачу, направленную на улучшение качества работы предприятий отрасли и обеспечения качества нефтепродуктов.

Степень разработанности темы

Наиболее существенный вклад в развитие науки управления качеством внесли зарубежные и отечественные ученые: Э. Деминг, Дж. Джуран, Ф. Котлер, Ф. Кросби, Г. Тагути, Г.П. Воронин, В.Я. Белобрагин, В.В. Бойцов, Б.В. Бойцов, В.Г. Версан, В.А. Васильев, А.В. Гличев, В.А. Лapidус, В.В. Окрепилов, И.И. Чайка и др.

Развитию инструментов оценки, мониторинга и управления качеством посвятили свои труды Д.В. Антипов, В.Е. Годлевский, А.В. Васильчук, Д.И. Благовещенский, В.Н. Козловский, А.Г. Ивахненко, Д.И. Панюков, Д.В. Айдаров, Х.А. Фасхиев, С.И. Клейменов, М.А. Полякова, С.А. Шанин, В.Л. Шпер, Г.Л. Юнак и др.

Наибольшую научную проработку вопросов, связанных с решением задач единства измерений в рассматриваемой области, осуществили следующие организации: ФГУП ВНИИР, ФГБУ ВНИИМС, ПАО «Роснефть», ПАО «Транснефть», ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина».

Проблематикой резервуаров занимались многие российские и зарубежные ученые: В.Г. Шухов, А.Ф.Суворов, С. Ямамото, К. Кавано, Ахаван-Залджани, Е.Д. Карлсон, К.В.Лялин, М.Кенен, В.П. Вологодин, В.М. Келдыш, А.Ф. Лолейт, А.А. Землянский, И.Э. Лукьянова и другие.

Целью исследования является улучшение процесса оценки качества деятельности предприятий-нефтехранилищ за счет совершенствования инструментов организации работы, оценки результативности и контроля качества продукции при хранении.

Основные задачи исследования:

- провести анализ действующей нормативно-правовой базы, регламентирующей эксплуатацию резервуаров, с позиции обеспечения качества хранения нефтепродуктов;
- установить влияние несоответствий в методиках определения емкости (вместимости) резервуаров при проведении контрольных операций для выявления направлений совершенствования инструментов организации работы и улучшения методики оценки вместимости;
- разработать усовершенствованную методику организации работы по определению вместимости резервуаров предприятий-нефтехранилищ, учитывающую недостатки существующих подходов;
- разработать инструментарий оценки неопределенности измерений в расчетах вместимости резервуаров для нефтепродуктов, который обеспечивает решение задачи по повышению достоверности базового показателя результативности деятельности предприятий-нефтехранилищ, и методику определения фактической емкости резервуаров для нефтепродуктов;
- предложить комплексный инструментарий улучшения процесса оценки деятельности предприятий-нефтехранилищ, учитывающий полученные решения с точки зрения реализации контрольно-учетной деятельности как базового компонента оценки результативности, а также обеспечения системного применения статистического инструментария контроля качества нефтепродуктов с внедрением результатов работы в практику производственных предприятий.

Тема и содержание диссертационной работы

Соответствует паспорту научной специальности 2.5.22 Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства: п. 3 «Научные основы и совершенствование методов стандартизации и менеджмента качества (контроль, управление, обеспечение, повышение, планирование качества) объектов и услуг на различных стадиях жизненного цикла продукции», п. 5 «Методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством», п. 22 «Разработка методов и средств организации производства в условиях организационно-управленческих, технологических и технических рисков».

Методы исследования

Решение задач диссертационного исследования проведено на основе принципов Всеобщего управления качеством (TQM), положений теории качества, методов математической статистики, процессного и системного подходов. В работе использованы методы оценивания неопределенности измерений, экспериментальные методы определения фактической емкости резервуаров для хранения нефтепродуктов.

Предмет исследования: методы и подходы к оценке качества деятельности предприятий-нефтехранилищ.

Объект исследования: процесс мониторинга и оценки качества деятельности предприятий-нефтехранилищ.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке и реализации комплексного инструментария, направленного на улучшение организации работы и процесса оценки качества на предприятиях-нефтехранилищах. Предлагаемый комплекс включает в себя:

1. Модернизованную методику организации работы по оценке вместимости вертикальных резервуаров на предприятиях-нефтехранилищах, отличающуюся применением лазерного дальномера с возможностью регулировки угла наклона и высоты установки с помощью микрометрических винтов, обеспечивающую сокращение стоимости выполнения контрольно-измерительных операций, направленных на повышение достоверности контрольно-учетных операций (п.22);

2. Методику расчета вместимости резервуара как базового показателя результативности качества деятельности предприятия, отличающуюся введением показателя вычислительной неопределенности, направленную на улучшение качества выполнения контрольно-учетных операций при организации работы нефтехранилища (п. 3);

3. Концепцию и комплексный инструментарий улучшения процесса оценки качества деятельности предприятия-нефтехранилища, отличающиеся совместной реализацией решений по повышению достоверности контрольно-учетных операций и статистического инструментария контроля качества нефтепродуктов (п. 5).

Теоретическая значимость работы заключается в создании научно-технических инструментов, направленных на повышение достоверности оценки качества деятельности предприятий-нефтехранилищ, что обеспечивает улучшение базовых принципов системы менеджмента качества – ориентация на потребителей и принятие решений, основанных на свидетельствах.

Практическая значимость работы заключается в разработке научно-прикладных решений, направленных на улучшение деятельности предприятий-нефтехранилищ в части развития базы прикладных инженерных методик определе-

ния емкости (вместимости) резервуаров с точки зрения особенностей конструкции и технических характеристик. Предложены рекомендации, направленные на обеспечение синхронизации нормативной базы международных и национальных стандартов в части единства требований к достоверности и точности данных по объему нефтепродуктов при перевалке и хранении в нефтехранилищах.

Предложенные в диссертации научно-технические решения внедрены в практику деятельности Технического комитета по стандартизации (ТК 024) «Метрологическое обеспечение добычи и учета энергоресурсов (жидкостей и газов)» при Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии. Результаты работы внедрены в ГОСТ Р 8.996-2020 «ГСИ. Резервуары стальные вертикальные цилиндрические. Методика калибровки электронно-оптическим методом».

Научно-прикладные решения внедрены в устойчивую практику предприятий отрасли: ФБУ «Калужский ЦСМ», г. Калуга; ООО «Нефтепромсервис», г. Пенза, НС «Солнечногорская» Волгоградского РНПУ АО «Транснефть», г. Солнечногорск. Результаты работы внедрены в виде поправочных коэффициентов в измерительные системы Tankvision для резервуаров, которые предназначены для измерений уровня, температуры, давления и вычисления объема, средней плотности, массы нефти, нефтепродуктов, других жидкостей, в т.ч. хранящихся под давлением (сжиженных углеводородных газов (СУГ), широких фракций легких углеводородов (ШФЛУ), сжиженных газов и т.д.) в автоматическом режиме. Способ определения вместимости вертикальных резервуаров применяется аттестованными сотрудниками в ФБУ «Калужский ЦСМ».

Положения, выносимые на защиту

1. Модернизированная методика организации работы по оценке вместимости вертикальных резервуаров на предприятиях-нефтехранилищах.
2. Методика расчета вместимости резервуара с учетом показателя вычислительной неопределенности как базового показателя результативности качества деятельности предприятия.
3. Концепция и комплексный инструментарий улучшения процесса оценки качества деятельности предприятия-нефтехранилища.
4. Результаты апробации и внедрения полученных научно-технических решений в практику промышленных предприятий и организаций.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы и полученные результаты докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Международной молодежной научно-практической конференции «Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование» (г. Курск, 2021 г.); Международной молодежной научно-практической конференции «Качество в производственных и социально-экономических системах» (г. Курск, 2021, 2023 гг.); Всероссийской научно-практической Интернет-конференции (г. Белгород, 2022 г.); Научно-технической конференции «Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований» (г. Комсомольск-на-Амуре, 2023 г.); Всероссийской научно-технической конференции «От качества инструментов к инструментам качества» (г. Тула, 2023 г.); Национальной научно-технической конференции с международным участием «АПИР-29» (г. Тула, 2024 г.).

Личный вклад автора. Постановка задач осуществлялась совместно с научным руководителем. Теоретические и практические исследования автором выполнены самостоятельно.

Публикации. Содержание диссертации отражено в 21 работе, из них 7 статей опубликованы в изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России, также имеется 1 патент на изобретение (авторский вклад объемом 5,7 п. л.).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений, списка литературы из 141 наименования. Работа изложена на 159 страницах текста, содержит 17 таблиц, 30 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определена цель и поставлены основные задачи, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проводится актуализация вопросов развития инструментов управления качеством и организации хранения нефтепродуктов, а также проводится рассмотрение вопросов стандартизации в процессах обеспечения функционирования и результативности предприятий-нефтехранилищ. Раскрываются следующие основные аспекты: стандартизация характеристик резервуаров для хранения нефтепродуктов; обзор технических характеристик основных видов резервуаров и анализ индикаторов качества при организации хранения нефтепродуктов; контроль параметров нефтепродуктов, хранящихся в резервуарах на нефтебазах в условиях действующей системы автоматизированной измерительной системы.

Деятельность всех предприятий должна быть направлена на улучшение качества. Отсюда, развитие предприятий-нефтехранилищ самым непосредственным образом зависит от эффективности действующей системы менеджмента качества (СМК) и ее компонентов. Для каждого предприятия в рамках действующей СМК, устанавливаются целевые индикаторы по всем основным процессам. Достижение целей в области качества обеспечивает планомерное улучшение деятельности организаций. Целевые индикаторы качества формируются, исходя из показателей функционирования, результативности и эффективности. В диссертационной работе основное внимание сконцентрировано на улучшении процесса оценки качества деятельности предприятий-нефтехранилищ посредством улучшения индексов и инструментов оценки объемов хранимой, перевалочной продукции и инструментария оценки качества продукции. В ходе исследования действующих на предприятиях информационно-измерительных систем вскрывается проблема применения стандартного поправочного коэффициента, принимаемого равным 0,25, который в действующих документах не достаточно четко обоснован, и при этом его применение оказывает влияние на достоверность отчетных показателей, отражающих функционирование и результативность деятельности предприятий. Также в ходе исследования была выделена проблема в области стандартизации резервуаров и так называемой мертвой полости резервуаров с позиции не достаточно строгого нормативного обеспечения, что также негативно влияет на достоверность выполнения контрольно-учетных операций и контроль качества продукции. На основании вышеизложенного в работе формулируются цель и основные задачи.

Во второй главе диссертации проводится исследование действующего на типовом предприятии процесса контроля качества, а также анализируются вопросы контроля качества при хранении и транспортировки нефтепродуктов.

На рисунке 1 представлены данные, отражающие текущие требования при проведении контрольных испытаний в процессе перевалки и хранении нефтепродуктов.

На рисунке 2 представлена обобщенная и систематизированная схема нормативного обеспечения качества нефтепродуктов при хранении и транспортировке. Во второй главе определяется необходимость системного применения инструментов статистического контроля качества продукции на предприятиях-нефтехранилищах. Также во второй главе актуализируется задача обеспечения стандартизации требований и своевременности при организации зачистки резервуаров на предприятиях.

ГРУППА НЕФТЕПРОДУКТОВ	ПРИЁМНО-САТОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ	КОНТРОЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ
1	2	3
Бензины автомобильные	<u>На нефтебазе, пункте налива:</u> 1. Плотность при 15 °С. 2. Внешний вид: прозрачность, чистота (содержание воды и механических примесей) – визуально. 3. Октановое число по исследовательскому методу. 4. Массовая доля серы. <u>На АЗС:</u> 1. Плотность при 15 °С. 2. Внешний вид: прозрачность, чистота (содержание воды и механических примесей) – визуально.	1. Плотность при 15 °С. 2. Внешний вид: прозрачность, чистота (содержание воды и механических примесей) – визуально. 3. Фракционный состав. 4. Октановое число по исследовательскому методу. 5. Массовая доля серы. 6. Объемная доля бензола. 7. Объемная доля углеводородов: - ароматических, - олефиновых. 8. Концентрация фактических смол (концентрация смол, промытых растворителем). 9. Давление насыщенных паров. 10. Испытание на медной пластине. 11. Содержание ВКЦ.
Топливо дизельное	<u>На нефтебазе, пункте налива:</u> 1. Плотность при 15 °С. 2. Содержание воды и механических примесей – визуально. 3. Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле. 4. Массовая доля серы. 5. Предельная температура фильтруемости (для зимнего, арктического и межсезонного ДТ). <u>На АЗС:</u> 1. Плотность при 15 °С. 2. Визуально – содержание воды и механических примесей.	1. Плотность при 15 °С. 2. Содержание воды и механических примесей – визуально. 3. Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле. 4. Фракционный состав. 5. Массовая доля серы. 6. Температура помутнения (для зимнего, арктического и межсезонного ДТ). 7. Предельная температура фильтруемости (для зимнего, арктического и межсезонного ДТ).

Рисунок 1 - Приёмно-сдаточные и контрольные испытания испытательной лаборатории нефтепродуктов

На основании полученных результатов делается промежуточный вывод о том, что ключевым вопросом обеспечения улучшения в процессе оценки деятельности предприятий-нефтехранилищ является повышение достоверности данных, отражающих объемы хранения и перевалки продукции. Также вопросом исследования является обеспечение комплексности при проведении оценки качества деятельности предприятий-нефтехранилищ. Исходя из промежуточного вывода проводится анализ стандартных способов организации деятельности по определению вместимости резервуаров для нефтепродуктов и их связи с действующими информационными инструментами предприятий. Исследуются: определение вместимости резервуаров объемным методом; определение вместимости резервуаров геометрическим методом с использованием тахеометра; комбинирование геометрического и объемного метода; определение вместимости резервуаров электронно-оптическим методом с использованием 3D-сканера.

Выделены основные недостатки стандартных инструментов организации работы по оценке вместимости резервуаров: при определении вместимости резервуаров больших размеров (РВС- 400, 1000, 2000) фактически невозможно пролить большой объем

на высоту 20 метров; проблема утилизации всей рабочей жидкости; неспособность определения погрешности РВС (П), поскольку под давлением рабочей жидкости резервуар может значительно изменить свою форму за счет коэффициента расширения железа; при практическом использовании, в качестве средства поверки каретки измерительной, референтной методики расчета погрешности резервуара не существует; дороговизна и внешние ограничения возможности приобретения современных технических инструментов организации работы (3D-сканер); проведение трудоемких процедур в течение установленного времени, при этом отсутствует возможность использования оборудования (резервуаров) по основному назначению и т.д.

Схема нормативного обеспечения приема, хранения, транспортировки нефтепродуктов

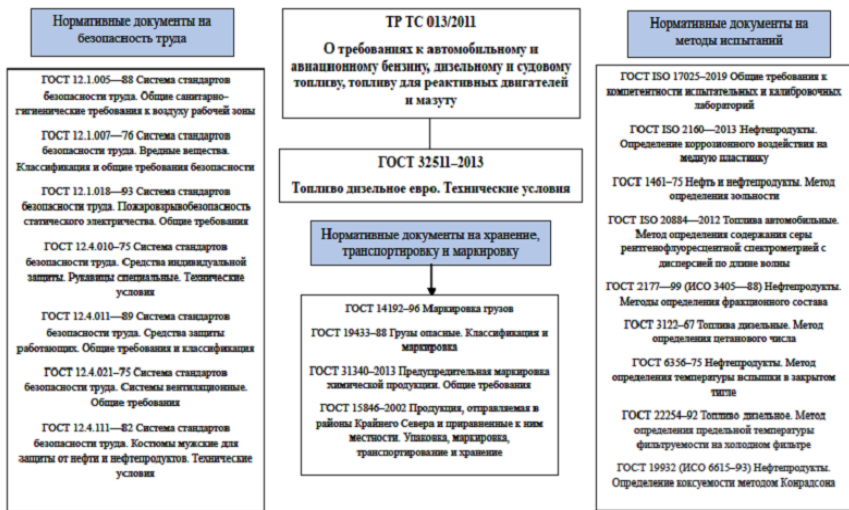


Рисунок 2 - Схема нормативного обеспечения качества при приемке, хранении и транспортировки нефтепродуктов

В третьей главе проводится модернизация инструментов организации и оценки качества деятельности предприятий-нефтехранилищ при определении вместимости резервуаров на предприятиях-нефтехранилищах.

Методика организации процесса определения вместимости резервуаров нефтехранилищ на примере РВС (П), нивелирующая выделенные выше недостатки, реализует геометрический способ оценки вместимости, используя вместо тахеометра лазерный дальномер. По трудовым и временным затратам данная методика находится вровень с методикой, применяющую 3D-сканер, но отличается на порядок по стоимости применяемых средств определения вместимости резервуара. При этом в процессе организации оценки, резервуар не выводится из оборота и может использоваться по прямому назначению. Работа выполняется без потери качества, в сравнении со стандартным инструментарием.

Сущность процесса модернизации методики оценки вместимости резервуара на предприятии-нефтехранилище заключается в том, что мы в рамках единого способа

используем ряд стандартных инструментов, но при этом дополняем их в процессе организации работы инструментарием, обеспечивающим повышение достоверности оценки, а также предусматривающим возможность минимизации временных затрат на реализацию процесса оценки вместимости для того, чтобы снизить временной отрезок, когда оборудование проходит через рассматриваемую процедуру. Известен способ определения погрешности резервуаров РВС (П), указанный в ГОСТ 8.570-2000 «ГСИ. Резервуары стальные вертикальные цилиндрические. Методика поверки» (далее – ГОСТ 8.570-2000), где даны фиксированные значения погрешности резервуаров при применении геометрического метода. Для измерения радиальных отклонений образующих резервуара от вертикали по ГОСТ 8.570-2000 «ГСИ. Резервуары стальные вертикальные цилиндрические. Методика поверки» вместо предлагаемых средств поверки каретки измерительной и электронно-оптического оборудования в процессе организации работы предлагается использовать дальномер лазерный, предназначенный для измерения расстояний и вертикальных углов. Для жесткой фиксации дальномера лазерного во время измерений и точного наведения предлагается использовать адаптер Leica FTA360 (рисунок 2), с возможностью регулировки угла наклона и высоты установки с помощью микрометрических винтов. При организации работы по проведению оценки вместимости резервуаров дальномер лазерный устанавливается на штативе с помощью адаптера для установки углов и с помощью винта регулируется высота установки для измерения расстояния до первого пояса вертикального резервуара, соответствующую $3/4$ высоты первого пояса. Далее с помощью микрометрического винта изменяется угол установки дальномера лазерного для наведения на точки измерений радиальных отклонений вышестоящих поясов. После проведения измерений производится расчет радиальных отклонений вертикального резервуара по формуле $a_k = L_0 - \cos \alpha \cdot L_k$ (рисунок 3). Полученные радиальные отклонения вводятся в стандартное программное обеспечение для расчета вместимости вертикальных резервуаров в соответствии с ГОСТ 8.570-2000.

Применение лазерного дальномера при организации работ по оценке вместимости резервуаров направлено на разработку новой методики определения погрешности вместимости резервуаров стальных вертикальных цилиндрических, при проведении оценки вместимости

геометрическим методом с более высокой точностью определения погрешности. Основным смыслом является разработка методики определения погрешности емкости резервуаров стальных вертикальных цилиндрических при проведении поверки с оценкой вместимости резервуаров геометрическим методом и как следствие, применение результатов вычисления погрешности при учетно-расчетных операциях за содержимое резервуаров.

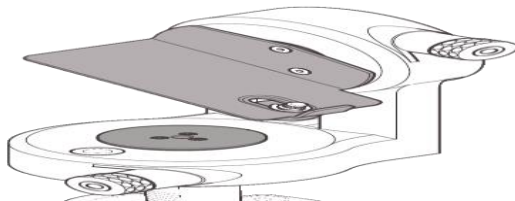


Рисунок 3 - Адаптер Leica FTA36

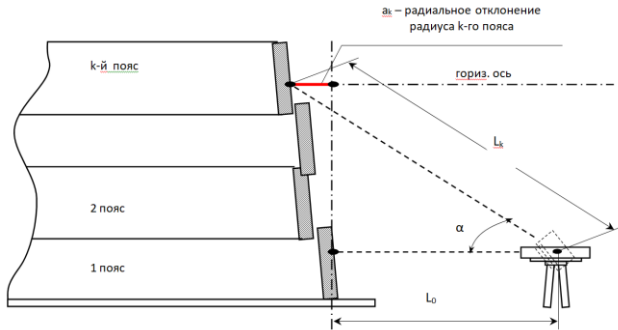


Рисунок 4 – Схема проведения измерений

Что соответственно, влечет за собой улучшение показателей оценки функционирования, результативности деятельности предприятия-нефтехранилища. При этом полученные поправочные коэффициенты будут учтены в информационных системах, используемых на предприятиях, что также направлено на улучшение деятельности по хранению и перевалке нефтепродуктов. Современные системы учета и контроля емкости резервуаров, применяемые в частности на нефтебазе, содержат требование о вводе погрешности резервуара, которые были определены во время поверки (калибровки), градуировки в программное обеспечение этих систем учета и контроля, аттестованными специалистами. Отличительным признаком предлагаемой методики являются: возможность использования данного расчета в качестве референтной методики по определению погрешности резервуаров стальных вертикальных цилиндрических при проведении поверки; расчет неопределенности резервуаров стальных вертикальных цилиндрических при проведении поверки с применением каретки измерительной; установление доверительных границ истинного значения погрешности метода измерения; учет значения мертвой полости (нижняя часть резервуара, из которой нельзя выбрать жидкость, используя приемно-раздаточный патрубок); искажение нижней части резервуара в следствии выдавливания жидкости при длительной эксплуатации ГОСТ 8.570-2000) резервуаров стальных вертикальных цилиндрических при расчете погрешности; стоимость применяемого оборудования многократно меньше стоимости тахеометра или 3D-сканера, также меньше стоимости измерительной каретки для измерения радиальных отклонений.

Данный метод, по сравнению с методом измерений измерительной кареткой, позволяет сократить число персонала, задействованного для измерений, с трех до одного человека. Для обработки полученных результатов используется стандартное программное обеспечение (ПО) для расчетов резервуаров и не требуется дополнительное дорогостоящее ПО для предварительной обработки данных, полученных с помощью тахеометра или 3D-сканера.

В третьей главе предложена методика расчета индикатора неопределенности при оценке вместимости резервуаров. Методика построена с учетом данных, приведенных в международном стандарте ISO 7507-ч.1,ч.2 «Нефть и жидкие нефтепродукты — калибровка вертикальных цилиндрических резервуаров», для необходимости интегрирования расчета вместимости РВС (П) на территории РФ с международной

практикой определения вместимости резервуаров. Определение индикатора неопределенности решает ряд научно-практических задач, связанных с уточнением базового показателя функционирования и результативности деятельности предприятия-нефтехранилища, поскольку индикатор неопределенности представляет собой поправочный коэффициент, который используется в информационных системах предприятий для учета хранения и перевалки нефтепродуктов.

Измерение длины окружности первого пояса.

Стандартная неопределенность длины измерительной ленты (рулетки).

$$uL_{st} = \frac{UL_{st}}{k} \quad (1)$$

где UL_{st} – расширенная неопределенность, указанная в сертификате калибровке, к коэффициентом охвата, $k=2$.

Стандартная неопределенность показаний длины

$$uL_{tr} = \frac{\sqrt{n} \times rL_{tr}}{2\sqrt{3}} \quad (2)$$

где rL_{tr} - разрешение рулетки.

Стандартная неопределенность, вызванная натяжением и положение измерительной ленты.

Неопределенность натяжения и положения измерительной ленты включают в себя следующие компоненты: неопределенность натяжения на устройстве для измерения длины (лента); неопределенность распределения натяжения вдоль ленты из-за трения о резервуар; неопределенность из-за того, что лента не находится в одной плоскости; неопределенность из-за того, что плоскость ленты не перпендикулярна оси резервуара.

$$uL_{tp} = \frac{tL_{tp}}{2\sqrt{3}}, \quad (3)$$

где tL_{tp} -длина окружности резервуара

Стандартная неопределенность совмещения ленты на участках eL_{ta} .

Измеренная длины L , при использовании рулетки, получается n -е количество участка Na .

$$uL_{tr} = \frac{\sqrt{Na} \times eL_{ta}}{2\sqrt{3}}$$

Стандартная неопределенность измерения длины окружности первого пояса. Измерение длины окружности Nm , uLm .

$$uL_{em} = \sqrt{\frac{uL_{tr}^2 + uL_{tp}^2 + uL_{ta}^2}{N_m} + (N_n^2 \times uL_{st}^2) + uL_m^2} \quad (4)$$

Стандартная неопределенность внешнего радиуса первого пояса

$$uR_{ext} = \frac{uL_{em}}{2\pi} \quad (5)$$

Стандартная неопределенность толщины металла и краски

$$uL_{mp} = \frac{wt_{mp}}{2\sqrt{3}} \quad (6)$$

Измерение радиальных отклонений и расчет внутренних радиусов.

Источники неопределенности:

ut_v – стандартная неопределенность максимального отклонения от вертикали троса измерительной каретки (принимается 0,05 % от высоты);

ut_r – стандартная неопределенность, которая представляет собой максимальную погрешность показаний (наихудшая погрешность, включая погрешность шкалы, ее разрешение и человеческую ошибку) и одинакова для всех показаний (принимается $ut_r = 0,001$ м);

ut_{mp} – стандартная неопределенность толщины металла и краски.

Стандартная неопределенность измерения радиальных отклонений

$$uma_j = \frac{\sqrt{[(H_j - H_{ref}) \cdot ut_v]^2 + 2 \cdot ut_r^2}}{2\sqrt{3}} \quad (7)$$

Расчет стандартной неопределенности измерения внутренних радиусов

$$uR_{ia} = \sqrt{uR_{ext}^2 + \frac{\Sigma(uma_i)^2}{N_{mc}} \cdot K_{sv} + ut_{mp}^2} \quad (8)$$

Расчет стандартной неопределенности вызванная плавающим покрытием

$$uV_{dis} = \frac{tV_{dis} \times V_{dis}}{2\sqrt{3}} \quad (9)$$

где $tV_{dis} = 5\%$ относительно V_{dis} .

При отсутствии плавающего покрытия $uV_{dis} = 0$.

Дополнительные неопределенности uV_{ad} : поправки на наклон резервуара; аппроксимация и т.д. Где $uV_{ad} = 0,005$ % относительно V_r (объема резервуара).

Стандартная неопределенность вместимости мертвой полости

$$uV_0 = \sqrt{\left(\frac{\delta_{cv}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_h}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (10)$$

Стандартная неопределенность объема резервуара

$$uV_r = \sqrt{\left(2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^n R_{ia} \cdot uR_{ia} \cdot \Delta h_i\right)^2 + (uV_0^2 \cdot V_0^2) + (uV_{ad}^2 \cdot V_r^2) + (uV_{dis}^2 \cdot V_{dis}^2)} \quad (11)$$

Поправка объема резервуара при измерениях.

Стандартная неопределенность измерения плотности жидкости в резервуаре:

$$u\rho = \frac{U\rho}{k} \quad (12)$$

Принимается $U\rho = 5$ кг/м³ (неопределенность плотномера, которым измеряли плотность жидкости), $k = 2$. Где eE - Погрешность определения модуля Юнга материала стенок резервуара.

Стандартная неопределенность плотности модуля Юнга

$$uE = \frac{eE}{2\sqrt{3}}, \quad (13)$$

где $E = 200 \cdot 10^9$ Н/м².

Максимальное отклонение для оценки температуры измерений длины окружности eT_{tr} . Стандартная неопределенность оценки температуры измерений длины окружности

$$uT_{tp} = \frac{eT_{tp}}{2\sqrt{3}} \quad (14)$$

Максимальное отклонение для оценки коэффициентов линейного расширения $e\alpha_{tp}$ и $e\alpha_{tk}$ составляет $2 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Стандартная неопределенность оценки коэффициентов линейного расширения

$$u\alpha_{tp} = \frac{e\alpha_{tp}}{2\sqrt{3}} \quad (15)$$

$$u\alpha_{tk} = \frac{e\alpha_{tk}}{2\sqrt{3}} \quad (16)$$

Расчет стандартной неопределенности с поправками к вместимости под действием гидростатического давления столба налитой жидкости

$$uV_h = V_h \cdot \sqrt{\left(3 \cdot \frac{uR_{ai}}{R_i}\right)^2 + \left(\frac{u\rho}{\rho - \rho_{ref}}\right)^2 + \left(\frac{uE}{E}\right)^2 + \left(\frac{u\tau_m}{\tau_m}\right)^2}, \quad (17)$$

Расчет расширенной неопределенности:

Конечным результатом расчета погрешности емкости резервуара стального вертикального будет расчет расширенной неопределенности - UV

$$UV = k \cdot u_c = 2 \cdot \sqrt{uV_r^2 + uV_h^2 + uV_{cal}^2 + (uV_t^2 \cdot V^2) + uV_b^2}, \quad (18)$$

где k - коэффициент охвата (для уровня доверия 0,95 равен 2), u_c - суммарная стандартная неопределенность.

По результатам расчета получается суммарная неопределенность геометрических составных частей РВС (П) с доверительными границами, что гораздо точнее погрешности, указанной в ГОСТ 8.570-2000, поскольку учитываются реальные факторы, влияющие на погрешность вертикального резервуара: физические свойства железа, из которого выполнен резервуар, поведение его в разных климатических и температурных средах, учтено поведение геометрии резервуара на различных почвах и фундаментах, в ГОСТ 8.570-2000.

В четвертой главе предложена концепция и инструментарий улучшения процесса оценки качества деятельности предприятия-нефтехранилища. Графическая интерпретация комплексного инструментария улучшения процесса оценки качества деятельности на предприятиях-нефтехранилищах представлена на рисунке 5.

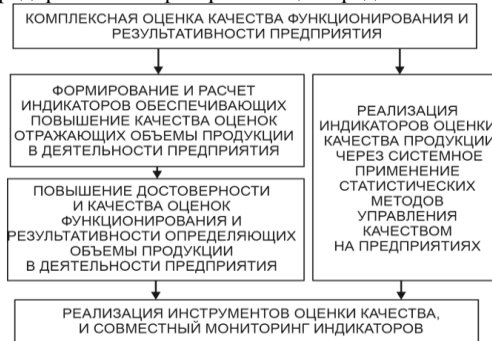


Рисунок 5 - Графическая интерпретация комплексного инструментария улучшения процесса оценки качества деятельности на предприятиях-нефтехранилищах

В таблице 1 представлены данные, отражающие результаты сравнения при реализации стандартной и предложенной в диссертации методики оценки погрешности и неопределенности при формировании оценки вместимости мертвой полости резервуаров.

Как видно, предлагаемая методика организации работы и расчетная методика оценки вместимости решает задачи по повышению достоверности результатов оценки. При помощи математического моделирования и многократного измерений определена надежность предлагаемой методики расчета вместимости РВС (П) на одинаковых резервуарах в разных географических широтах и разных сезонах (лето, зима).

Таблица 1 - Расчет вместимости мертвой полости РВС (П)-2000 при комбинированной и предлагаемой методике

Комбинированный метод			Геометрический метод расчетом неопределенности (предлагаемый в исследовании)		Отклонение методов	
Уровень наполнения	Вместимость, м³	Погрешность геом. метода, %	Вместимость, м³	Неопределенность. метода, %	Отклонение вместимости, м³	Отклонение, %
1 см	0,044	0,25	0,034	0,112	-0,010	-22,50
10 см	0,957	0,25	0,945	0,112	-0,012	-1,27
50 см	10,036	0,25	10,006	0,116	-0,030	-0,30
100 см	25,948	0,25	25,887	0,124	-0,061	-0,24
150 см	41,847	0,25	41,754	0,140	-0,093	-0,22
200 см	50,884	0,25	50,773	0,179	-0,111	-0,22
250 см	57,893	0,25	51,223	0,179	-0,111	-0,22

Результаты системного внедрения статистических инструментов управления качеством в практику предприятия-нефтехранилища в виде контрольных карт представлены на рисунках 6 и 7.

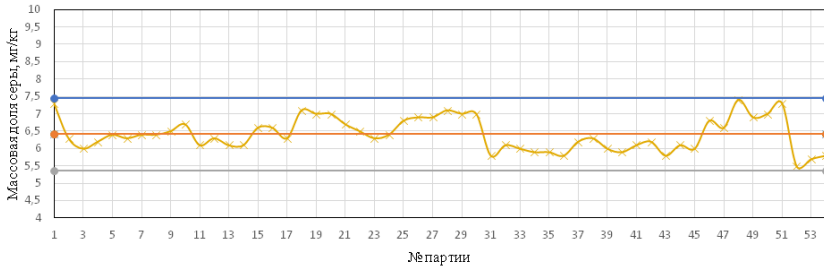


Рисунок 6 - X-карта анализирующая нефтепродукт по показателю массовой доли серы

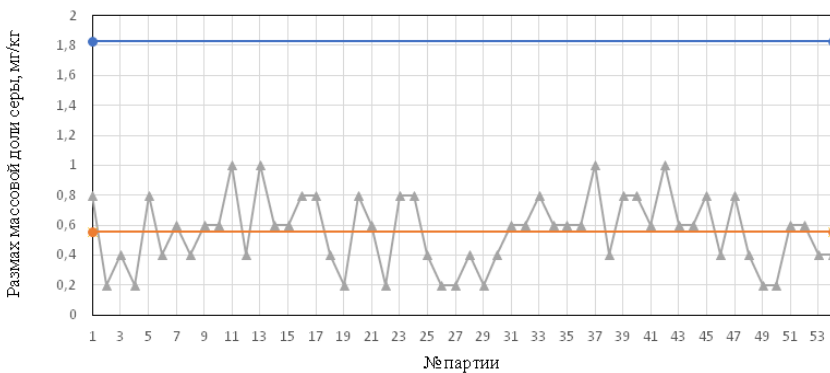
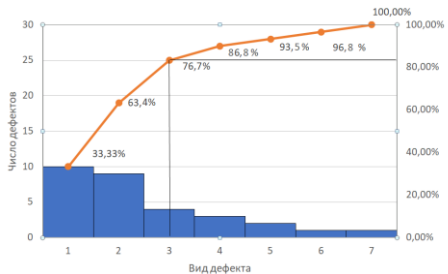


Рисунок 7 - R-карта, анализирующая нефтепродукт по показателю массовой доли серы

Из анализа контрольных карт X-типа и R-типа видим, что все точки находятся в пределах контрольных границ. Процесс находится в статистически управляемом состоянии. Для изображения диаграммы Парето используем данные предыдущего исследования (контрольного листа) по выявленным дефектам, обнаруженным при приеме нефтепродуктов. Данные для диаграммы Парето и собственно диаграмма приведены на рисунке 8.

№	Тип дефекта	Количество дефектов	Процентная доля дефектов, %	Суммарные доли дефектов, %
1	Массовая доля серы	10	33,32	33,32
2	Температура	9	30,1	63,42
3	Цепановое число	4	13,32	76,74
4	Зольность	3	10,1	86,84
5	Массовая доля воды	2	6,67	93,51
6	Плотность	1	3,32	96,83
7	Массовая доля полициклических ароматических углеводородов	1	3,32	100
Всего		30	100	



а)

б)

Рисунок 8 – Диаграмма Парето по проблемам качества нефтепродуктов

Применение инструментов статистического контроля качества на предприятии нефтехранилище, в течение 2024 г. позволило выявить наиболее значимые проблемы контроля нефтепродуктов: отклонения в массовой доле серы; отклонение по температуре; отклонение цетанового числа. Три первых дефекта составляют долю 76,74 % в общем сегменте проблем, поэтому реализация мероприятий по повышению качества по этим позициям обеспечивает существенный рост качества продукции.

Применение предложенных в работе инструментов улучшения процесса оценки качества деятельности предприятий-нефтехранилищ в комплексе обеспечивает повышение достоверности оценки функционирования и результативности предприятия, а также обеспечивает возможность для оперативного контроля и мониторинга качества продукции при хранении и перевалке.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В диссертационной работе предложено решение важной научно-технической задачи, направленной на улучшение процесса оценки качества при хранении нефтепродуктов на предприятиях-нефтехранилищах за счет совершенствования инструментов организации работы, оценки результативности и контроля качества продукции. В ходе решения поставленных в работе задач получены следующие основные научно-технические результаты:

1. Предложенная модернизированная методика организации работы по оценке вместимости вертикальных резервуаров на предприятиях-нефтехранилищах отличается от известных применением лазерного дальномера с возможностью регулировки угла наклона и высоты установки с помощью микрометрических винтов. Применение методики организации работы в отраслевой практике обеспечивает снижение стоимости специализированного оборудования, применяемого при оценке вместимости резервуаров, с 12 – 15 млн руб. до 100 тыс. руб. без потери времени и качества выполнения работ. Также с учетом того, что 3D-сканеры производятся исключительно за рубежом, предложенная методика обеспечивает решение задачи по импортозамещению.

2. Предложенный в диссертации показатель вычислительной неопределенности при оценке вместимости резервуара позволяет учитывать допустимый разброс количественного показателя вместимости, возникающий из-за конструктивных особенностей и условий окружающей среды, в которой эксплуатируется резервуар при выполнении контрольно-учетных операций посредством введения поправочных коэффициентов в автоматизированные измерительные системы контроля характеристик предприятий. Тем самым достигается улучшение базового показателя результативности качества деятельности предприятия-нефтехранилища – оценки вместимости резервуара. Предложено перейти от усредненного значения стандартной погрешности при оценке отклонения показателя вместимости, устанавливаемого на уровне 0,25, к показателю вычислительной неопределенности получаемой посредством реализации методики организации работы по оценке вместимости вертикальных резервуаров (не менее 2 раз за период в 1 год). Показано, что применение неопределенности при расчетах вместимости в соответствии с ГОСТ 8.570-2000 и соответствующей методике расчета обеспечивается улучшение достоверности показателей результативности качества работы предприятия: с одного цикла отгрузки РВС (П) - 400 – около 300 литров, РВС (П) -1000 – около 500 – 550 литров нефтепродуктов, РВС (П) - 2000 – около 700 – 750 литров нефтепродуктов.

3. Установлено, что при проведении экспортных отгрузочных контрольно-учетных операций в соответствии с действующими национальными стандартами разница между показателями отгрузки и приемки с каждого 1 млн литров может достигать 1000 – 2000 литров. Применение предложенной методики расчета вместимости резервуара, учитывающей вычислительную неопределенность, обеспечивает улучшение качества выполнения контрольно-учетных операций при организации работы нефтехранилища и нивелирует выделенный недостаток за счет синхронизации предложенного инструментария с требованиями международных стандартов.

4. Предложенные концепции и комплексный инструментарий улучшения оценки качества деятельности предприятия-нефтехранилища обеспечивают решение задачи, направленной на улучшение процесса оценки качества деятельности предприятия-нефтехранилища за счет повышения достоверности контрольно-учетных операций и системного применения статистического инструментария контроля качества нефтепродуктов. Так по результатам применения методов статистического контроля качества на предприятии-нефтехранилище в течение 2024 г. получены данные, показывающие, что наиболее значимыми по уровню дефектности являются отклонения нефтепродуктов: по массовой доле серы (доля составляет 33,32 %); по температуре (30,1 %); по цетановому числу (13,32 %). Работа по введению корректирующих и предупреждающих мероприятий обеспечивает существенное снижение дефектности нефтепродуктов вплоть до 76,74 % от общего объема. Установлено, что наиболее важным при обеспечении качества нефтепродуктов при совместном применении предложенных инструментов оценки качества продукции является контроль «мертвой полости» резервуаров.

5. Основные научно-технические результаты работы внедрены в практику предприятий и организаций отрасли. Предложены рекомендации, направленные на обеспечение синхронизации нормативной базы международных и национальных стандартов в части обеспечения единства требований к достоверности и точности данных по объему нефтепродуктов при перевалке и хранении в нефтехранилищах. Предложенные в диссертации научно-технические решения внедрены в практику деятельности Технического комитета по стандартизации (ТК 024) «Метрологическое обеспечение добычи и учета энергоресурсов (жидкостей и газов)» при Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии. Результаты работы внедрены в ГОСТ Р 8.996-2020 «ГСИ. Резервуары стальные вертикальные цилиндрические. Методика калибровки электроно-оптическим методом».

Научно-прикладные решения внедрены в устойчивую практику предприятий отрасли: ФБУ «Калужский ЦСМ», г. Калуга; ООО «Нефтепромсервис», г. Пенза; НС «Солнечногорская» Волгоградского РНПУ АО «Транснефть», г. Солнечногорск. Результаты работы внедрены в виде поправочных коэффициентов в измерительные системы Tankvision для резервуаров, которые предназначены для измерений уровня, температуры, давления и вычисления объема, средней плотности, массы нефти, нефтепродуктов, других жидкостей, в т.ч. хранящихся под давлением (сжиженных углеводородных газов (СУГ), широких фракций легких углеводородов (ШФЛУ), сжиженных газов и т.д.) в автоматическом режиме. Способ определения вместимости вертикальных резервуаров применяется аттестованными сотрудниками в ФБУ «Калужский ЦСМ».

Направления дальнейших исследований определяются развитием предложенных в работе научно-технических инструментов в области автоматизации и ин-

форматизации, а также развитием нормативно-технической базы стандартов и документов с обеспечением улучшения и синхронизации инструментов контроля качества и учета нефтепродуктов.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Перечень работ, опубликованных в изданиях, входящих в перечень ВАК

1. Муленко, И.Г. К вопросу о точности методик измерения вместимости резервуаров / И.Г. Муленко, О.В. Пучка, Р.В. Рябко, Е.О. Пучка // Компетентность. 2022. № 5. С. 28-36.
2. Муленко, И.Г. Стандартизация производства резервуаров. Особенности проектирования производства резервуаров / И.Г. Муленко // Качество и жизнь. 2023. № 3. С. 25-30.
3. Муленко, И.Г. Процессный подход на нефтяных базах и его влияние на качество сырья / И.Г. Муленко О.В. Пучка, Р.В. Рябко // Стандарты и качество. 2023. № 3. С. 81-85.
4. Муленко, И.Г. Применение статистических инструментов управления при мониторинге качества нефтепродуктов / И.Г. Муленко, Д.И. Благовещенский // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 12. С. 489-493.
5. Муленко, И.Г. Процессы, нормативное обеспечение и методы контроля качества нефтепродуктов / И.Г. Муленко, Д.И. Благовещенский // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 12. С. 497-502.
6. Муленко И.Г. Стандартизированные методы определения вместимости резервуаров в процессах управления качеством хранения нефтепродуктов / И.Г.Муленко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 12. С. 502-506.
7. Муленко, И.Г. Анализ отечественного аналога автоматизированной системы учета параметров нефтепродуктов на нефтебазах / И.Г. Муленко, О.В. Пучка, Р.В. Рябко, А.О. Милер, К.А. Пелипенко // «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». 2024. № 3. С. 174-181.

Другие наиболее значимые публикации

8. Муленко, И.Г. К вопросу об однозначности толкования основных терминов и определений в области обеспечения единства измерений / И.Г. Муленко, О.В. Пучка // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сборник научных трудов 8-й Международной молодежной научно-практической конференции. Курск, Юго-Западный государственный университет, 2021. С. 220-224.
9. Муленко, И.Г. Резервуары: средства измерений или технические устройства / И.Г. Муленко, О.В. Пучка // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сборник научных трудов 8-й Международной молодежной научно-практической конференции. Курск, Юго-Западный государственный университет, 2021. С. 224-229.
10. Муленко, И.Г. Основные коллизии в нормативных документах и методических рекомендациях в области обеспечения единства измерений на территории РФ / И.Г. Муленко, О.В. Пучка, С.В. Черников, Е.О. Пучка // Законодательная и прикладная метрология, 2022. № 4. С. 9-12.
11. Муленко, И.Г. Влияние метрологических характеристик передвижных резервуаров на качество пищевой продукции, транспортируемой в автоцистернах / И.Г. Муленко, О.В. Пучка, Р.В. Рябко, Е.О. Пучка // Качество в производственных и социально-экономических системах. Сборник научных статей 10-й Международной молодежной научно-технической конференции. Курск, Юго-Западный государственный университет, 2022. С. 290-294.
12. Муленко, И.Г. Сближение отечественной и зарубежной нормативной базы в области обеспечения единства измерений, как фактор повышения качества продукции / И.Г. Муленко, О.В. Пучка, Р.В. Рябко // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук. Сборник докладов Национальной конференции с международным участием. Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. С. 78-83.

13. Муленко, И.Г. Использование автоматических измерительных систем для повышения точности определения фактической ёмкости резервуаров / И.Г. Муленко, О.В. Пучка, Р.В. Рябко // Актуальные проблемы менеджмента качества, стандартизации и метрологии. Сборник докладов IX Всероссийской научно-практической Интернет-конференции. Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. С. 104-112.
14. Муленко, И.Г. Совершенствование автоматизированного метода определения фактической ёмкости резервуаров для нефтепродуктов / И.Г. Муленко // Сборник научных трудов 6-й Всероссийской национальной научной конференции молодых ученых Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Комсомольск-на-Амуре, КНАГУ, 2023. С. 423-425
15. Муленко, И.Г. Как соответствовать критериям точности Ч.1 / И.Г. Муленко, О.В. Пучка, Р.В. Рябко // Мир измерений, 2023. № 4. С. 46-50.
16. Муленко, И.Г. Применение электронно-оптического метода при определении вместимости резервуаров / И.Г. Муленко, О.В. Пучка, Р.В. Рябко, А.О. Милер // Сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции «От качества инструментов к инструментам качества», посвященная 120-летию со Дня рождения проф. Петрухина С.С. Тула, ТулГУ, 2023. С. 134-137.
17. Муленко, И.Г. Автоматизация процессов измерительных систем параметров нефтепродуктов, хранящихся в резервуарах на нефтебазах / И.Г. Муленко // Вестник Тульского государственного университета. Автоматизация: проблемы, идеи, решения: сборник научных трудов Национальной научно-технической конференции с международным участием, Тула, 2024. Тульский государственный университет, 2024. С. 209–212.
18. Муленко, И.Г. Как соответствовать критериям точности Ч.2 / И.Г. Муленко, О.В. Пучка, Р.В. Рябко // Мир измерений, 2024. № 1. С. 51-55.
19. Муленко, И.Г. Методология автоматизации определения вместимости резервуаров в РФ / И.Г. Муленко, О.В. Пучка, Р.В. Рябко, К.А. Пелипенко А.О. Милер // Автоматизация и информатизация ТЭК, 2024. № 3. С. 61-65.
20. Муленко, И.Г. Метрологическое обеспечение нефтехранилищ/ И.Г. Муленко, О.В. Пучка, Р.В. Рябко А.О. Милер // Датчики и системы, 2024. № 2. С. 50-56.

Патент на изобретение

21. Патент на изобретение № 2835551от 26.02.2025 г. Способ определения погрешности ёмкости вертикального резервуара / И.Г. Муленко, О.В. Пучка, В.С. Бессмертный, С.В. Черников; заявитель и правообладатель Муленко Илья Геннадьевич.

Авторское редактирование

Подписано в печать 29.07.2025
 Формат бумаги 70х100 1/16. Бумага офсетная.
 Цифровая печать Усл. печ. л. 1,6. Тираж 100 экз. Заказ
 Отпечатано в издательстве ТулГУ.
 300012, г. Тула, просп. Ленина, 95