

На правах рукописи



СКОБЕЛЕВ КИРИЛЛ ДМИТРИЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
КАЧЕСТВОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ
В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ**

2.5.22. Управление качеством продукции.
Стандартизация. Организация производства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»

Научный руководитель: **Минаева Ольга Александровна**
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Лончих Павел Абрамович**
доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», профессор кафедры автоматизации и управления;

Поликарпов Максим Петрович
кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина», заведующий кафедрой Стандартизации, сертификации и управления качеством производства нефтегазового оборудования.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва.

Защита состоится 19 декабря 2025 года в 14.00 на заседании диссертационного совета 24.2.312.08, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68, зал заседаний Ученого совета, А – 330).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и на сайте <https://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=558386>

Автореферат диссертации разослан «____» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.312.08,
доктор экономических наук, доцент



Кудрявцева
Светлана
Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Управление качеством продукции нефтепереработки на всех этапах жизненного цикла не только определяет перспективы развития промышленных предприятий, но и оказывает существенное воздействие на смежные отрасли, влияя на характер технологических процессов, их эффективность и в конечном счете – на качество готовой продукции. Примером высокой оценки значимости отрасли развития национальной экономики является распоряжение Правительства РФ от 16.05.2023 г. №1241-р, которое определяет основные направления и меры государственного содействия отрасли для обеспечения решения стратегических государственных задач.

Отсюда возникает необходимость формирования гибкой и эффективной инфраструктуры контроля качества продукции, которая выполняет функции проведения испытаний сырья и готовой продукции для подтверждения соответствия установленным требованиям к качеству. Значимость этой деятельности определяется наличием системы государственного контроля и мониторинга качества проводимых испытаний.

Тщательная регламентация и множество регулируемых аспектов деятельности испытательных лабораторий в условиях ручного управления генерируют значительное число рисков в области управления качеством. При этом применение современных средств цифровизации способствует автоматизации процедур проведения испытаний, оптимизации использования ресурсов, что оказывает непосредственное положительное воздействие на параметры длительности и качества производственных циклов. Подчеркнем: активная цифровизация технологических процессов в нефтепереработке определяет необходимость встраивания в общий цифровой контур системы менеджмента качества производства цифровых элементов испытательных лабораторий.

Изолированное функционирование испытательных лабораторий помимо прочего приводит к росту рисков возникновения смещений и ошибок оценки результатов испытаний, что порождает негативное воздействие на качество оказания услуг. В связи с этим, элементом системы менеджмента качества испытательной лаборатории является участие в межлабораторных сравнительных (сличительных) испытаниях (МСИ), которые позволяют выявить потенциальные риски неточности и недостоверности полученных результатов испытаний. Мониторинг качества результатов испытаний на основе межлабораторных сравнительных испытаний, встроенных в систему управления качеством испытательной лаборатории, позволяет повысить точность и эффективность ее функционирования. В свою очередь, встраивание алгоритмов анализа результатов межлабораторных сравнительных испытаний в цифровую систему управления испытательной лабораторией позволит существенно повысить оперативность и точность корректирующих действий в случае возникновения отклонений.

В связи с отмеченными обстоятельствами цель, поставленная в рамках диссертационного исследования, характеризуется высокой степенью актуальности и значимости.

Степень разработанности темы исследования. Проблематика цифровой трансформации производственных процессов в силу ее высокой интенсивности находится в центре внимания значительного числа научных работ исследователей.

Проблемам организации производства на основе цифровизации посвящены работы Нургалиева Р. К., Петрова Д. С., Поротькина Е. С., Шинкевича А. И., Шута А. А. и др.

Вопросы организации систем управления качеством рассматриваются в работах Бабушкина В. М., Борковской В. Г., Двадненко М. В., Минаевой О. А., Соколовой И. Н. и др. В работах Григорьева А. А., Дегаева Е. Н., Макаевой А. Р., Малышевой Т. В., Орлова М. С., Понурко И. В., Разинковой А. А. и др. исследуются особенности управления качеством испытательной лаборатории и их цифровые элементы.

Непосредственно функционал лабораторных информационных менеджмент систем (ЛИМС) и оценка их эффективности рассматривается в работах Алексеева В. А., Арцер П. А., Горобец А. И., Дюмаевой И. В., Ермакова С. А., Жданович О. А., Калашникова Р. К., Коротиной Т. Ю., Половян А. В. и др.

Различным аспектам оценки эффективности функционирования системы менеджмента качества испытательной лаборатории посвящены работы Атрошенко С. А., Бояджи К. С., Проницовой Н. В., Пузыревой А. А., Свириденко К. Н., Самогородской М. И., Смирнова А. В., Ткачёвой А. Е. и др. Проблематика цифровизации и информатизации контроля качества продуктов нефтепереработки исследуется Лонцихом П. А., Поликарповым М. П., Яшашиным В. А.

Вместе с этим недостаточно раскрывается специфическая роль межлабораторных сравнительных испытаний и интеграции их результатов в систему управления качеством испытательной лаборатории, а также цифровая реализация таких решений. Используемые для статистического анализа результатов испытаний методы требуют совершенствования, дополнения, интеграции в СМК лабораторий, разработки способов интерпретации их результатов на основе возможностей Big Data, цифровизации в целом. Важным является перспективный мониторинг совершенствования организации нефтеперерабатывающих производств, инфраструктуры транспортировки и хранения производимой ими продукции. Недостаточная проработанность указанных вопросов предопределила выбор темы диссертационного исследования, его цель и задачи.

Цель и задачи диссертационного исследования.

Цель исследования состоит в совершенствовании системы управления качеством испытательной лаборатории на основе развития направлений, методов и цифровых инструментов межлабораторных сравнительных испытаний.

Для достижения указанной цели сформулированы следующие задачи:

- formalизовать перечень типовых процессов, позволяющий обеспечить цифровую интеграцию данных о работе испытательной лаборатории с системой больших данных о деятельности совокупности отраслевых испытательных лабораторий и в перспективе с процессами производства и распределения испытуемой продукции;
- усовершенствовать существующую методику оценки качества результатов испытаний, основанную на количественном анализе, добавлением в процесс оценки качественных характеристик функционирования испытательной лаборатории;
- разработать тектонику цифрового двойника процесса оценки и системы оценки качества испытательной лаборатории на основе межлабораторных сравнительных испытаний;

– предложить алгоритм разработки рекомендаций по повышению качества функционирования испытательной лаборатории, основанный на комплексном анализе результатов межлабораторных сравнительных испытаний и количественном анализе данных внутренних процессов испытательной лаборатории с применением технологий машинного обучения;

– апробировать модельные, методические и цифровизированные решения на примере процесса межлабораторных сравнительных испытаний при оценке качества продукции нефтепереработки.

Объектом диссертационного исследования является испытательная лаборатория и процессы ее функционирования, а также результаты межлабораторных сравнительных (сличительных) испытаний и потоки данных, генерируемых и обрабатываемых внутри лаборатории и в рамках ее взаимодействия с внешними поставщиками образцов и потребителями информации в процессе такой деятельности.

Предметом диссертационного исследования является система управления качеством испытательной лаборатории (на примере лаборатории нефтяных топлив), обеспечивающая интеграцию технико-технологических компонентов в единое информационное пространство с применением современных цифровых концепций и технологий для решения задач минимизации рисков и повышения качества производства и распределения продукции нефтепереработки.

Соответствие исследования паспорту научной специальности. Область диссертационного исследования соответствует научной специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства в пунктах: 4. Инновации при разработке, развитии, цифровизации систем менеджмента качества (СМК) предприятий и организаций; 5. Методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством; 25. Разработка моделей описания, методов и алгоритмов решения задач проектирования производственных систем, организации производства и принятия управленческих решений в цифровой экономике.

Научная новизна исследования заключается в цифровой трансформации системы поддержки принятия решений по управлению качеством функционирования испытательной лаборатории и повышению качества процессов производства и распределения продукции нефтепереработки.

Содержание научной новизны представлено следующими научными результатами:

– *усовершенствована* процессная модель функционирования системы менеджмента качества испытательной лаборатории, *отличающаяся* от существующих моделей добавлением модуля интеграции в единое информационное пространство данных о функционировании испытательных лабораторий и объединением иерархической системы управления качеством с операционной деятельностью, *что позволяет* повысить качество межлабораторных сравнительных испытаний и выявить проблемы функционирования промышленных предприятий сектора нефтепереработки, а также интегрировать цифровые системы управления качеством в структуре цепи поставок продукции нефтепереработки (пункт паспорта 4. Инновации при разработке, развитии, цифровизации систем менеджмента качества (СМК) предприятий и организаций);

– *разработана* методика оценки качества функционирования испытательной лаборатории, *отличающаяся* расширением возможностей существующей процедуры оценки результатов испытаний в рамках межлабораторных сравнительных испытаний за счет учета качественных характеристик функционирования испытательных лабораторий, *что позволяет* повысить точность такой оценки, снизить риски необъективной оценки качества промышленной продукции и выявить пути повышения качества функционирования испытательных лабораторий (пункт паспорта 5. Методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством);

– *сформирована* цифровая модель процесса межлабораторных сравнительных испытаний, *отличающаяся* выделением ее тектоники, *что позволило* разработать лабораторную информационную менеджмент-систему межлабораторных сравнительных испытаний, обеспечивая автоматизацию и эффективность процедуры межлабораторных сравнительных испытаний за счет сокращения рутинных операций сбора и обработки данных, а также оперативности получения результатов испытаний (пункт паспорта 4. Инновации при разработке, развитии, цифровизации систем менеджмента качества (СМК) предприятий и организаций);

– *предложен* алгоритм разработки рекомендаций по повышению качества функционирования испытательной лаборатории, *отличающийся* возможностью выявления направлений совершенствования процессов производства и распределения (транспортировки и хранения) нефтепродуктов, *позволяющий* на основе предложенной системы количественного анализа данных с применением технологии машинного обучения выявить ключевые риски управления качеством работы испытательной лаборатории и предлагать решения, направленные на их минимизацию (пункт паспорта 25. Разработка моделей описания, методов и алгоритмов решения задач проектирования производственных систем, организации производства и принятия управленческих решений в цифровой экономике).

Теоретическая значимость работы. Обобщены научные подходы к построению цифровой системы управления качеством испытательной лаборатории в рамках Государственной программы Российской Федерации «Информационное общество» и ее подпрограмм и проектов, на основе чего сформулированы теоретические положения формирования цифровых элементов системы менеджмента качества испытательной лаборатории, учитывающие особенности ее процессной структуры, а также применение автоматизированной процедуры межлабораторных сравнительных испытаний. В работе обосновано применение современных цифровых инструментов обработки данных межлабораторных сравнительных (сличительных) испытаний для целей совершенствования системы управления качеством испытательной лаборатории.

Практическая значимость работы исследования заключается в разработке прикладных инструментов управления качеством продукции, основанных на применении алгоритмов автоматизации процессов функционирования испытательной лаборатории и разработки рекомендаций по совершенствованию системы управления качеством испытательной лаборатории, позволяющей существенно повысить эффективность проведения процедуры межлабораторных (сравнительных) сличительных испытаний и повысить применимость их результатов для совершенствования системы менеджмента качества испытательной лаборатории.

Методология и методы исследования.

Теоретической основой исследования стали работы отечественных и зарубежных ученых, научные статьи в периодических изданиях, тексты нормативно-правовых документов.

Методика исследования включает методы системного анализа, статистического анализа, кластерного анализа, а также общенаучные методы наблюдения, анализа, синтеза и др.

Информационной базой исследования послужили результаты проведения МСИ, включающие данные по 160 испытательным лабораториям, как принадлежащим предприятиям нефтеперерабатывающей отрасли, так и независимым, по различным параметрам пяти категорий продуктов нефтепереработки.

Положения, выносимые на защиту:

1. Процессная модель функционирования системы менеджмента качества испытательной лаборатории.
2. Методика оценки качества функционирования испытательной лаборатории.
3. Цифровая модель процесса межлабораторных сравнительных испытаний.
4. Алгоритм разработки рекомендаций по повышению качества функционирования испытательной лаборатории.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность полученных результатов исследования обеспечивается наличием значительного массива информации о показателях качества результатов испытаний, а также значительного объема теоретических материалов, опубликованных в рецензируемых отечественных и зарубежных журналах, которые лежат в основе сформулированных выводов и полученных результатов.

Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на научно-практических международных и всероссийских конференциях: X Международная научно-практическая конференция «Менеджмент качества, цифровая безопасность, информационные технологии» 2025 QM&DS&IT (г. Калининград, 2025 г.); «Актуальные тренды цифровой трансформации промышленных предприятий» (г. Казань, 2024 г.); «Тенденции развития логистики и управления цепями поставок в условиях цифровизации» (г. Казань, 2024г.); Выставка лабораторного оборудования и химических реактивов «Аналитика Экспо» (семинар «Способы обеспечения качества результатов испытаний в лаборатории») (г. Москва, 2023 г.), «Оптотех-2023 мероприятия (г. Москва, РТУ-МИРЭА, 2023 г.); «Развитие химико-аналитических заводских лабораторий в условиях импортозамещения» (г. Тобольск, 2023 г.); «Технологическое лидерство: природа, люди, ресурсы. Технология. Оборудование» (г. Москва, ФГАУ «НИИ «ЦЭПП», 2023 г.); «Роль технического регулирования и стандартизации в условиях цифровой экономики» (г. Екатеринбург, Уральский федеральный университет, 2023 г.) и др.

Результаты исследования используются в АНО «Научно-исследовательский институт транспортно-строительного комплекса» и ООО «Полиэфир», что подтверждено соответствующими справками.

Научные положения и решения, полученные автором, зарегистрированы в виде программ для ЭВМ «Автоматизированный расчет рейтинговой оценки участников

межлабораторных сравнительных испытаний» (свидетельство о государственной регистрации 2025663664 от 29.05.2025 г.) и «Автоматизированная процедура межлабораторных сравнительных испытаний» (свидетельство о государственной регистрации 2025663535 от 28.05.2025 г.).

Публикации. По теме исследования опубликованы 19 научных работ общим объемом 6,45 п. л. (с авторским участием 4,52 п. л.), из них 6 статей – в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России («Контроль качества продукции», «Компетентность», «Автоматизация в промышленности», «Качество. Инновации. Образование»); зарегистрированы две программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационное исследование состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы; включает 46 рисунков, 7 таблиц. Список литературы состоит из 129 наименований. Общий объем работы – 166 страниц, основной текст диссертации – 148 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении освещена актуальность предлагаемого исследования; определены цели и задачи работы; раскрыты основные положения, выносимые на защиту, и их научная новизна; определена теоретическая и практическая значимость результатов исследования; обобщены основные результаты, полученные в рамках исследования.

В первой главе «Современный уровень развития лабораторно-информационных систем менеджмента качества продукции в Российской Федерации» рассмотрено современное состояние научных исследований в области цифровых инструментов управления качеством, практика нормативно-правового регулирования в сфере контроля качества продукции.

Анализ опубликованных исследований на тему цифровых систем управления качеством испытательной лаборатории демонстрирует их ориентацию на цифровизацию внутренней оценки качества испытаний, в то время как статистически значимой также является сравнительная оценка, получаемая в рамках межлабораторных сравнительных испытаний, которая позволяет выявить системные ошибки.

Исследование мирового опыта внедрения лабораторных информационных менеджмент-систем свидетельствует о значительных масштабах их использования как в развитых странах (США, Канада, Европа), так и в развивающихся странах (Китай, Индия и др.). Динамика рынка лабораторных информационных систем демонстрирует активный рост, при этом темпы этого роста нарастают. Что касается российского опыта внедрения ЛИМС, то крупнейшие российские промышленные предприятия активно внедряют их в структуру своих систем управления качеством, что позволяет существенно повысить оперативность и точность сбора и обработки информации об испытаниях, автоматизировать рутинные операции.

Во второй главе «Модель организации цифровизированной лаборатории контроля качества промышленной продукции» исследована структура и характер взаимосвязей основных процессов испытательной лаборатории, на основе чего разработана процессная модель функционирования ее системы менеджмента качества,

а также определено место межлабораторных сравнительных испытаний в данной модели, разработана методика оценки качества результатов испытаний на основе анализа результатов межлабораторных сличительных испытаний, предложена цифровая модель реализации межлабораторных сличительных испытаний, предполагающая информационное взаимодействие участников и провайдера, а также автоматизированный анализ результатов и разработку рекомендаций по управлению системой менеджмента качества испытательной лаборатории.

Процессная модель включает в себя все основные процессы, наблюдаемые в испытательной лаборатории, реализация которых позволяет осуществлять деятельность в соответствии с ГОСТ ISO/IEC 17025–2019. В самом общем виде можно выделить две категории процессов: (1) процессы управления качеством и (2) процессы испытаний (рисунок 1).

Выделение процедуры межлабораторных сравнительных испытаний имеет особую значимость, поскольку данный процесс включает в себя обязательное взаимодействие с внешними участниками, что в условиях необходимости обеспечения конфиденциальности функционирования испытательной лаборатории (согласно ГОСТ ISO/IEC 17025–2019) определяет потребность в создании специфического подхода к управлению информацией, используемой и хранимой в рамках данного процесса. Кроме этого, следует выделить двустороннее влияние процессов управления качеством и процессов испытаний, когда выходы процессов испытаний становятся входами для процессов менеджмента качества, что в данном случае обусловлено тем фактом, что последнее предполагает постоянное развитие и совершенствование процессов контроля и управления качеством на основе итерационного подхода.

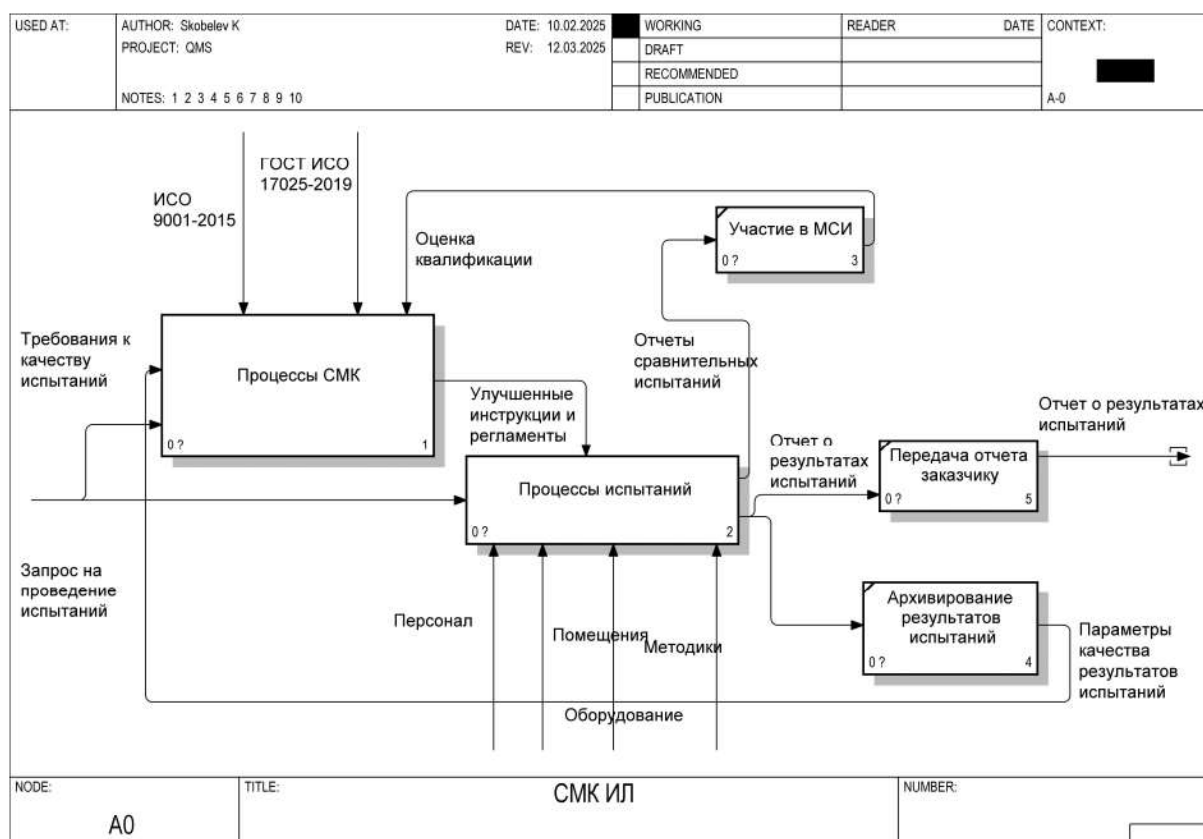


Рисунок 1 – Процессная модель функционирования системы менеджмента качества испытательной лаборатории (разработана автором)

Данные для совершенствования процессов управления качеством поступают как из процессов испытаний (внутренние источники развития), так и из результатов межлабораторных сравнительных испытаний (внешние источники развития). В первом случае разработка мероприятий по совершенствованию системы менеджмента качества осуществляется на основе анализа текущих результатов деятельности испытательной лаборатории, во втором – на основе информации о ее относительной результативности в сравнении с другими участниками рынка.

Эффективность системы менеджмента качества определяется объективностью результатов испытаний, для ее оценки, в рамках участия в межлабораторных сравнительных испытаниях проводится сравнительный анализ. Используемые для статистического анализа результатов испытаний методы регламентированы международными и национальными стандартами (ГОСТ Р 50779.60-2017, серия ГОСТ Р ИСО 5725 (части 1, 2, 5), ГОСТ Р ИСО 16269-4-2017, ГОСТ Р 54500.3 – 2011, ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015). В рамках используемой методики межлабораторных сравнительных испытаний реализуется последовательная оценка, включающая следующие этапы:

- проверка наличия грубых выбросов на основе критерия Граббса (ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002);

- оценка качества результатов испытаний с использованием z-критерия:

$$z = \frac{(x_i - x_{pt})}{\sigma_{pt}}, \quad (1)$$

где x_i – фактически полученное значение полученного компонента; x_{pt} – приписанное значение определяемого компонента; σ_{pt} – стандартное отклонение для проверки квалификации.

Количественное значение z-критерия определяет оценку компетентности. ($z \leq 2$ – результаты приемлемы; $z \leq 3$ – результаты сомнительны, что характеризует нахождение испытательной лаборатории в зоне предупреждения; $z \geq 3$ – результаты неприемлемы).

Однако, на наш взгляд, данный подход носит достаточно ограниченный характер, так как он не дает возможности сформировать полную оценку системы менеджмента качества лаборатории, а также определить направления развития. Поэтому в рамках исследования предложено его усовершенствовать посредством добавления ряда аналитических этапов (рисунок 2):

- расчет рейтинговой оценки испытательной лаборатории по z-критерию;
- кластерный анализ показателей по всем участникам для классификации испытательной лаборатории по уровням качества;
- разработка рекомендаций по улучшению системы менеджмента качества испытательной лаборатории.

Рейтинговая оценка определяет относительные позиции испытательной лаборатории в общей численности анализируемых лабораторий. Показатель рассчитывается по формуле:

$$R_i = \frac{\varepsilon}{\Pi_i}. \quad (2)$$

где Π_{ij} – значение i-го участника сравнительного анализа, ε_j – эталонное значение (минимальное значение z-критерия, полученное в рамках сравнительных испытаний).



Рисунок 2 – Предлагаемая методика оценки качества функционирования испытательной лаборатории на основе результатов межлабораторных сличительных испытаний (разработана автором)

Провайдер межлабораторных сличительных испытаний осуществляет ранжирование участников испытаний на основе рейтинговой оценки – определяя позиции испытательной лаборатории в части обеспечения качества испытаний. Использование рейтинга в условиях обеспечения конфиденциальности информации может быть реализовано посредством отражения позиций участника в общей структуре участников, а также анализа изменений такой позиции. Далее проводится кластерный анализ по комплексу показателей: z-критерий, процентное отклонение и рейтинговая оценка. Такая группировка позволит выделить три группы участников: участники с низкими рисками управления качеством; участники со средними рисками управления качеством; участники с высокими рисками управления качеством.

Предлагаемая методика существенно расширяет границы обработки данных МСИ, позволяя решить в значительной степени задачи управления качеством в части оценки эффективности СМК и выявления рисков возникновения неудовлетворительных и сомнительных результатов испытаний. Отслеживание позиций испытательной лаборатории в рейтинге относительно других участников межлабораторных сравнительных испытаний, а также выявление группы риска позволяет принимать своевременные решения по повышению эффективности управления качеством, выявлению «узких мест» и обеспечению эффективного функционирования испытательной лаборатории в долгосрочной перспективе.

Цифровизация управления качеством испытательной лаборатории определяет необходимость автоматизации обработки данных в рамках проведения сравнительных испытаний. Согласно процессной модели, представленной на рисунке 1, процедура

межлабораторных сравнительных испытаний должна быть интегрирована в систему информационного обмена системы менеджмента качества испытательной лаборатории. Разработанная в рамках исследования цифровая модель проведения межлабораторных сравнительных испытаний с применением информационных средств представлена на рисунке 3.

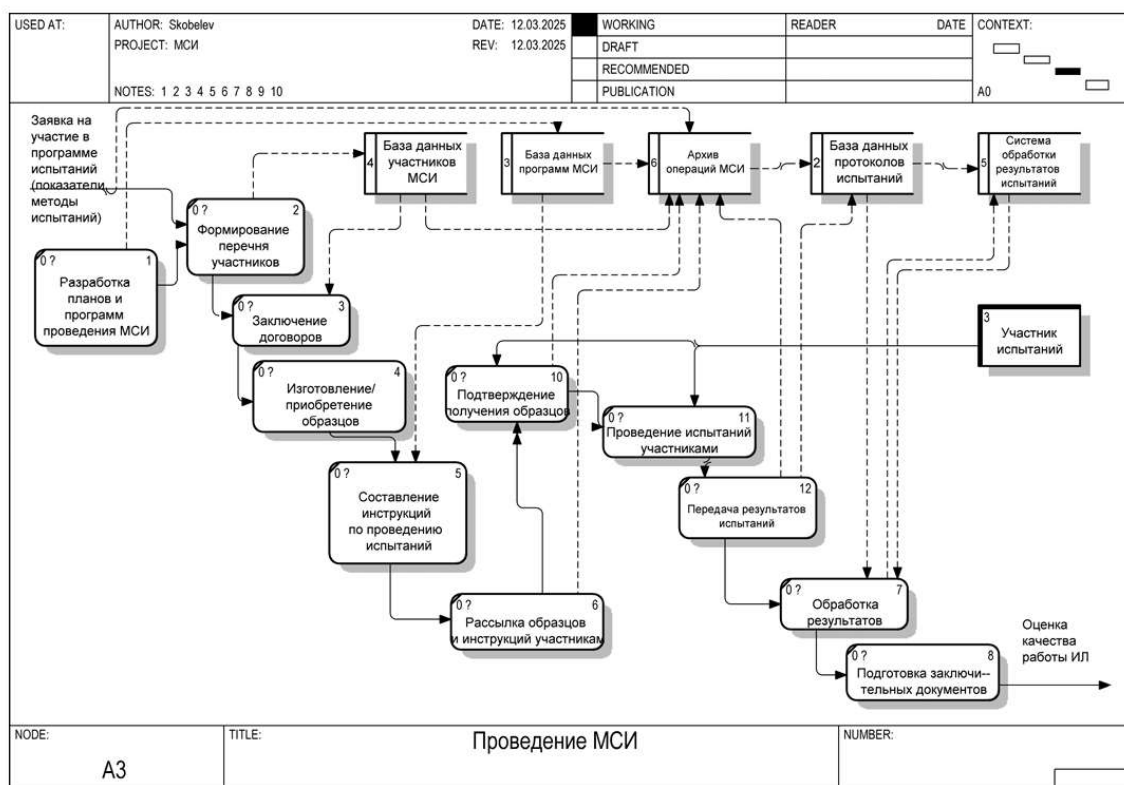
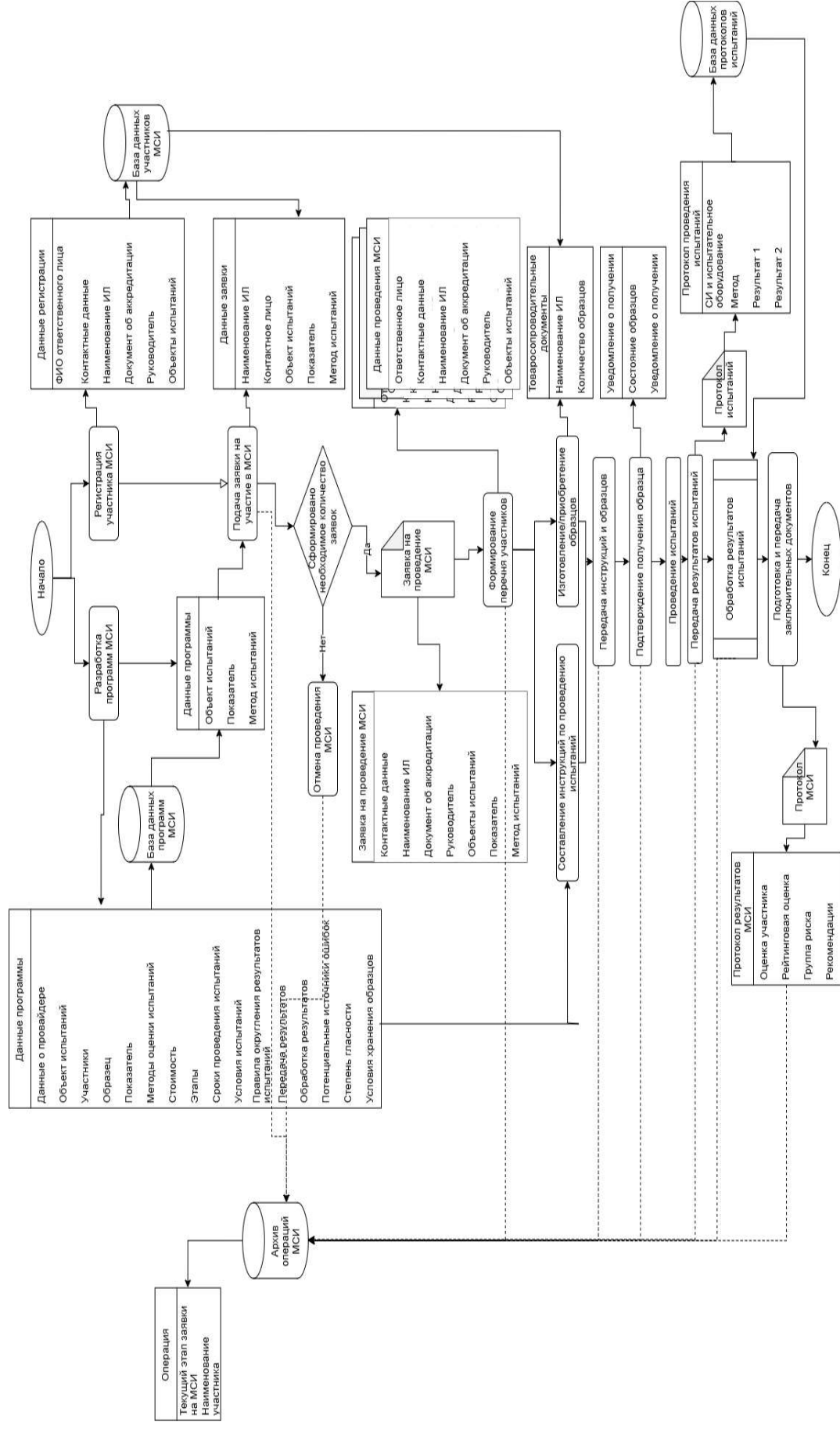


Рисунок 3 – Цифровая модель процесса межлабораторных сравнительных испытаний (предложена автором)

На данной схеме отражены взаимосвязи отдельных операций с элементами цифровой системы МСИ. Основные элементы модели:

- база данных участников межлабораторных сравнительных испытаний является источником информации об участниках испытаний на всех этапах проведения МСИ;
- база данных программ межлабораторных сравнительных испытаний, которая включает описание, методов, условия и оборудования проведения испытаний для каждого объекта испытаний; формируется при определении области аккредитации провайдера МСИ;
- архив операций межлабораторных сравнительных испытаний, который определяет порядок операций в рамках их проведения на основе заданных алгоритмов и фиксирует информацию по ходу реализации процедуры;
- база данных протоколов испытаний;
- система обработки результатов испытаний, в которую поступает информация о протоколах испытаний и где анализируется качество проведения испытаний на основе установленной методики; эта система генерирует данные для заключительных документов для участников.

В рамках ЛИМС осуществляется обработка данных указанных баз на основе алгоритмов операций, представленном на рисунке 4.



Предлагаемый алгоритм обеспечивает последовательную автоматизированную обработку результатов межлабораторных сравнительных испытаний, обеспечивая оперативный доступ и привязку необходимых документов, возможность отслеживания текущего состояния конкретного межлабораторного сравнительного испытания, а также, при необходимости доработке, статистику проводимых межлабораторных сравнительных испытаний.

В третьей главе «Организационно-технические инструменты создания цифровизированной системы менеджмента качества испытательной лаборатории» проведен количественный анализ результатов межлабораторных сравнительных испытаний на основе предложенного алгоритма, систематизирована оценка уровня рисков управления качеством по анализируемой выборке, а также предложена математическая модель связи параметров ресурсов испытательной лаборатории и ее уровня рисков для разработки рекомендаций по совершенствованию системы менеджмента качества.

В рамках исследования был произведен анализ показателей точности оценки испытательных лабораторий, участвовавших в межлабораторных сравнительных испытаниях за период 2014–2022 гг. Далее в таблицах за 2021 г. указаны данные за 2021–2022 гг. суммарно. В обследовании приняли участие 160 лабораторий. Оценка показателей производили по пяти видам нефтепродуктов, для каждого из которых было проанализировано от двух до семнадцати параметров.

Проведен статистический анализ отклонений полученных лабораториями испытаний от приписанного значения, в результате чего выявлено преимущественно правостороннее распределение как средних значений, так и стандартных отклонений; помимо этого наблюдается утончение и укорачивание правого «хвоста», что демонстрирует уменьшение частоты наблюдения редких значений и снижение размаха таких отклонений, то позволяет судить об относительной стабилизации распределения значений.

В результате кластерного анализа показателей с ненулевыми значениями отклонений было выделено три кластера объектов: испытательные лаборатории с низкими, средними и высокими рисками системы менеджмента качества. Средние значения по анализируемым показателям в разрезе трех кластеров представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Средние значения показателей по трем кластерам (рассчитано автором)

Показатели	2014	2016	2017	2020	2021
1 ^й кластер					
z-критерий	0,003	0,135	0,051	0,000	0,017
Процентное отклонение, доли	0,003	0,014	0,039	0,020	0,003
Рейтинговая оценка	0,636	0,010	0,506	0,389	0,698
Количество наблюдений, ед.	3	17	8	3	5
2 ^й кластер					
z-критерий	0,152	-0,125	0,288	0,118	0,034
Процентное отклонение, доли	0,005	0,011	0,035	0,016	0,005
Рейтинговая оценка	0,034	0,008	0,093	0,001	0,297
Количество наблюдений, ед.	31	4	29	24	9
3 ^й кластер					
z-критерий	0,368	0,434	1,080	0,290	0,169
Процентное отклонение, доли	0,006	0,021	0,035	0,022	0,036
Рейтинговая оценка	0,005	0,002	0,021	0,000	0,070
Количество наблюдений, ед.	6	14	10	13	17

Количественные значения определяют следующие характеристики кластеров:

– 1^й кластер – испытательные лаборатории с минимальными рисками системы менеджмента качества, характеризуются высокими рейтинговыми оценками и относительно низкими процентным отклонением и z-критерием;

– 2^й кластер – испытательные лаборатории со средним уровнем рисков качества, демонстрируют относительно более высокие отклонения и z-критерий и низкие рейтинговые оценки;

– 3^й кластер – испытательные лаборатории с высокими рисками качества, демонстрируют самые высокие процентные ошибки и z-критерий, и, соответственно, низкую рейтинговую оценку.

Диаграммы, представленные на рисунке 5, демонстрируют относительное расположение кластеров: первый располагается правее и ниже, третий – левее и выше, демонстрируя рост средней величины z-критерия и снижение рейтинговой оценки по процентной ошибке.

На основе предлагаемого подхода построен алгоритм разработки рекомендаций по повышению качества функционирования испытательной лаборатории. Сравнительная оценка рисков системы менеджмента качества представляет собой основу логико-информационной модели предлагаемого алгоритма. Анализ количественных данных изменений является сигналом к реализации алгоритма, основанного на анализе большого массива неструктурированных данных по трем основным источникам риска: организация рабочих мест, методики (процедуры) и оборудование. Выявленные отклонения определяют наличие факторных изменений в параметрах работы отдельных ресурсов испытательной лаборатории, в связи с этим использование машинных технологий обработки данных и построения на их основе цифровых моделей позволяет выявить причины таких отклонений, а также разработать рекомендации по их устранению и повышению качества работы испытательной лаборатории.

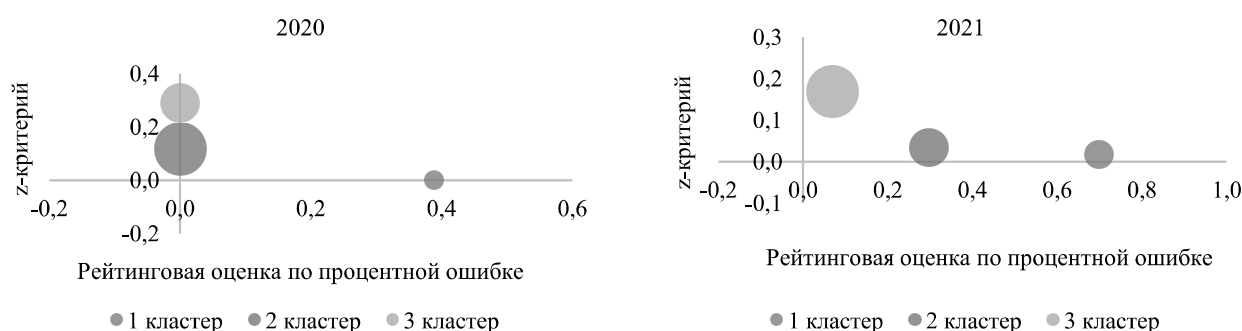


Рисунок 5 – Изменение относительного положения кластеров (построено автором)

Таким образом, предлагаемый алгоритм разработки рекомендаций по повышению качества функционирования лаборатории, основанный на комплексном анализе результатов межлабораторных сравнительных испытаний, имеет вид, представленный на рисунке 6.

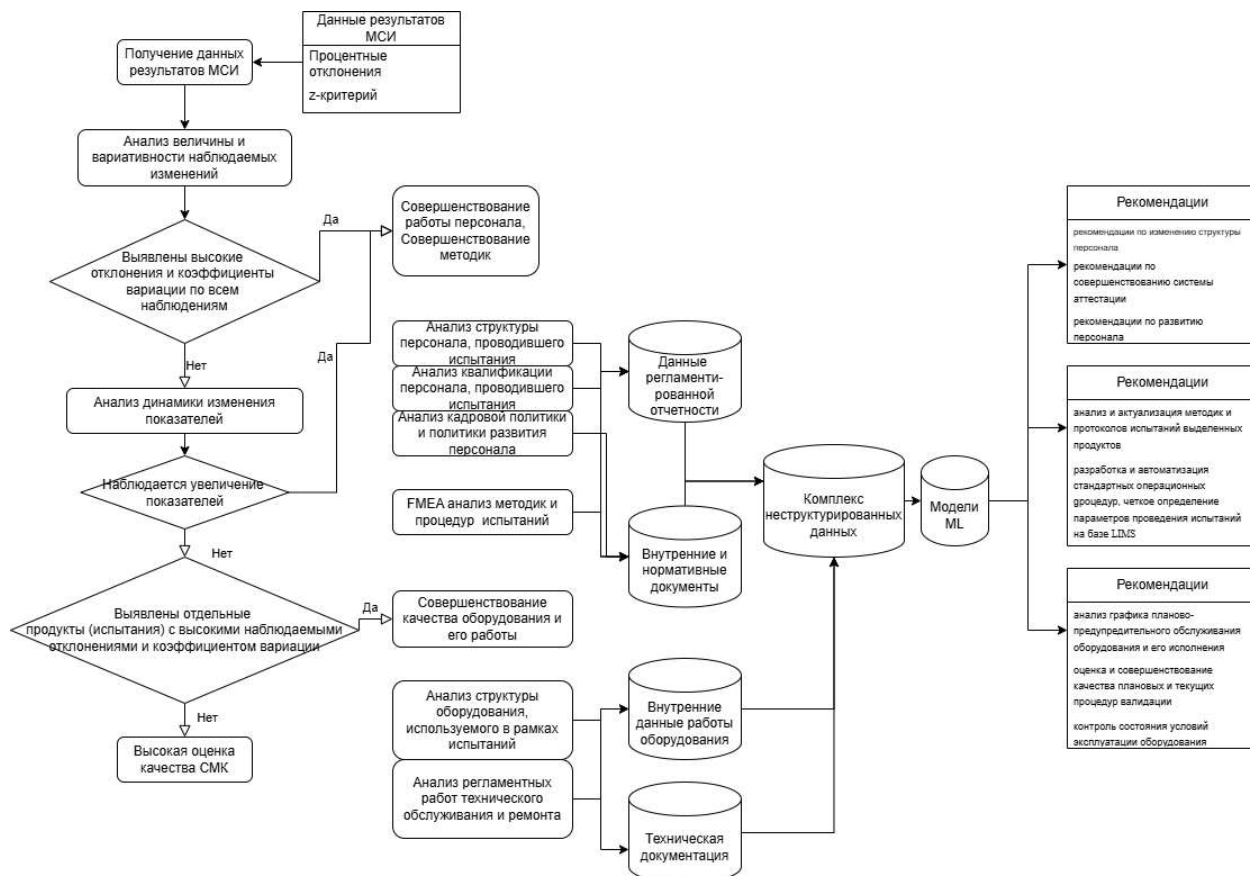


Рисунок 6 – Алгоритм разработки рекомендаций по повышению качества функционирования испытательной лаборатории на основе результатов межлабораторных сравнительных испытаний (предложен автором)

Ядром предлагаемого алгоритма является комплекс неструктурированных данных о деятельности испытательной лаборатории, в том числе внутренние и внешние нормативные и плановые документы, данные регламентированного и управленческого учета, статистические данные работы оборудования, а также техническая документация. Комплексный анализ указанных информационных элементов позволяет выявить причинно-следственные связи факторов возникновения отклонений и разработать рекомендации по устранению таких отклонений и совершенствованию системы менеджмента качества.

Функциональная зависимость, выстраиваемая в рамках моделирования эффективности системы менеджмента качества, имеет вид:

$$y = f(P, M, Q), \quad (3)$$

$$P = f(P_1, P_2, P_3, \dots), \quad (4)$$

$$M = f(M_1, M_2, M_3, \dots), \quad (5)$$

$$Q = f(Q_{i1}, Q_{i2}, Q_{i3}, \dots), \quad (6)$$

где y – это величина наблюдаемого отклонения, рассчитанного в рамках проведения МСИ; P – комплексный параметр качества организации рабочих мест; M – комплексный параметр качества методик и процедур; Q – комплексный параметр качества работы оборудования; $P_1, P_2, P_3, \dots$ – перечень показателей качества человеческих ресурсов (численность, возраст, стаж и опыт работы, уровень квалификации, частота повышения квалификации, наличие специализированных видов повышения квалификации и т.п.); $M_1, M_2, M_3, \dots$ – параметры качества исполнения методик (количество, порядок и длительности

процедур, наличие и соблюдение регламентов процедур, наличие и соблюдение стандартных процедур и т.п.); $Q_{i1}, Q_{i2}, Q_{i3} \dots$ – параметры работы i -го вида оборудования (длительность и интенсивность работы, мощность, технические параметры проведения испытания, данные текущего и планового обслуживания и ремонта, данные соответствующих планов и т.п.).

Интеграция качественного и количественного анализа функционирования испытательной лаборатории в рамках межлабораторных сравнительных испытаний позволяет использовать данный алгоритм для своевременного выявления отклонений, а также для оценки вероятности возникновения таких отклонений по мере накопления хронологических данных.

В четвертой главе «Апробация цифровой модели системы управления качеством на примере оценки качества образцов продукции нефтепереработки» рассмотрены вопросы внедрения предложенной модели и величина эффекта от ее использования в рамках сферы нефтепереработки и управления качеством испытательной лаборатории.

В основе предлагаемого алгоритма лежит последовательное выявление причин отклонений уровня достоверности результатов испытаний в соответствии с указанными видами ресурсов и соответствующими видами рисков (рисунок 7).



Рисунок 7 – Модуль алгоритма разработки рекомендаций, позволяющий выявлять и оценивать риски снижения ресурсной эффективности испытательной лаборатории (предложен автором)

Предлагаемый модуль, направленный на выявление «узких мест», представляет собой последовательность определения отклонений, что позволяет установить уровень рисков по отдельным видам ресурсов. Кроме этого, выявление закономерностей в причинах отклонений по разным продуктам и/или показателям дает возможность выявить системные проблемы, приводящие к появлению системных отклонений достоверности результатов и уровня качества услуг испытательной лаборатории.

На основе предлагаемой методики целесообразно проводить аудит качества испытательной лаборатории в части обеспечения достоверности результатов проведения испытаний. При этом решается задача не только оценки качества используемых ресурсов и совершенствования процедур их распределения, но и задача своевременного выявления потенциальных рисков, способных привести к негативным последствиям с точки зрения обеспечения качества функционирования испытательной лаборатории в целом. Выявление однородных источников рисков в структуре ресурсов на основе данного алгоритма анализа позволяет существенно упростить процесс разработки мероприятий по повышению качества функционирования испытательной лаборатории.

На основе анализа количественных данных по рассматриваемой выборке предлагаются следующие количественные критерии отнесения испытательной лаборатории к соответствующему кластеру (таблица 2).

Таблица 2 – Полученные значения оцениваемых параметров качества результатов испытаний для каждого кластера (рассчитано автором)

Показатели	Значения параметров испытательных лабораторий, включенных в кластер, % от наблюдаемых значений
1 ^й кластер	
z-критерий	0–15,3%
процентное отклонение, доли	0–47,5%
Рейтинговая оценка	33–100,0%
2 ^й кластер	
z-критерий	15,3–31,5%
процентное отклонение, доли	47,5–64,5%
Рейтинговая оценка	4,6–33,0%
3 ^й кластер	
z-критерий	31,5–100,0%
процентное отклонение, доли	64,5–100,0%
Рейтинговая оценка	0–4,6%

Учитывая указанные количественные значения параметров испытательных лабораторий, можно однозначно отнести ту или иную лабораторию к соответствующему кластеру на основе анализа результатов МСИ. То есть, в Отчете по результатам участия в межлабораторных сравнительных испытаниях провайдер формирует дополнительную информацию, связанную с оценкой уровня рисков и основными рекомендациями по управлению ими на основе применения каскадного подхода к выявлению «узких мест» испытательной лаборатории.

Продуктовая и сырьевая специфика продукции отрасли нефтепереработки порождает высокий уровень комплексности ее цепей поставок. Вместе с этим значительное влияние процессов транспортировки и хранения на качество продукции нефтепереработки определяет необходимость проведения процедур контроля ее качества продукции на всех этапах товародвижения, что обуславливает потребность в интеграции цифровых систем управления испытательной лабораторией и результатов проведения испытаний в систему производственного управления (рисунок 8).



Рисунок 8 – Интеграция цифровых систем управления качеством испытательной лаборатории в процессную структуру цепи поставок продукции нефтепереработки (предложено автором)

Оценка качества продукции производится на этапах входа в процесс и выхода из процесса. Данные о результатах испытаний поступают в базы данных по входящим материалам и исходящей продукции. После этого эти данные анализируются и моделируются для разработки рекомендаций по организации производственных процессов на основе методов предиктивной аналитики. Кроме этого, такой сбор цифровых данных позволяет собирать информацию по мере движения материального потока по цепи поставок и выявлять характер воздействия отдельных звеньев цепи и технологических процессов на параметры качества произведенной продукции. В этой связи необходимо обеспечить достаточную степень достоверности данных о качестве продукции, так как именно эти данные лежат в основе цифровых моделей прогнозирования и разработки рекомендаций по технологическим параметрам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Достижение цели и решение задач диссертационного исследования позволили получить ряд новых научных результатов, которые были апробированы для совершенствования процедуры МСИ испытательных лабораторий контроля качества продукции отрасли нефтепереработки.

1. Формализована в виде, пригодном для последующей цифровизации, процессная модель функционирования системы менеджмента качества испытательной лаборатории, которая определяет характер взаимосвязи двух ключевых процессов функционирования испытательной лаборатории: (1) управление качеством и (2) реализация процедур испытаний продукции. Разработанная процессная модель отражает характер взаимосвязей процессов управления качеством и процессов испытаний, определяя характер их интеграции в рамках лабораторных информационных менеджмент-систем.

2. Разработана методика оценки качества функционирования испытательной лаборатории, дополненная параметрами рейтинговой оценки, позволяющей оценить относительное положение испытательной лаборатории в отрасли по параметрам качества проводимых испытаний. Предложенная методика позволяет сгруппировать участников межлабораторных сравнительных испытаний по уровню оценки рисков: испытательные лаборатории, демонстрирующие минимальные риски и максимальную точность полученных результатов (нулевые значения отклонений); испытательные лаборатории, характеризующиеся низкими, средними и высокими рисками. Предлагаемая методика существенно расширяет возможности практического применения результатов обработки данных МСИ, реализуя в значительной степени задачи управления качеством испытательной лаборатории в части оценки эффективности ее функционирования и выявления рисков снижения качества результатов испытаний. Это позволило выявить испытательные лаборатории с высокими рисками в деятельности (средневзвешенный процент за период наблюдения 31,1), деятельность которых по стандартным методикам удовлетворяет контролирующие органы.

3. На основе анализа процесса информационного обмена участников межлабораторных сравнительных испытаний и провайдера разработана модель, формализующая основные элементы информационного обмена и их взаимодействие в рамках аналитической обработки результатов проведения испытаний. Предлагаемая цифровая модель обеспечивает последовательную автоматизированную обработку результатов межлабораторных сравнительных испытаний, обеспечивая оперативный доступ и привязку необходимых документов, возможность отслеживания текущего состояния конкретного испытания, а также, при необходимости доработке, статистику проводимых сравнительных испытаний. По результатам внедрения предлагаемого алгоритма улучшаются временные параметры проведения процедуры межлабораторных сравнительных испытаний: отклонение длительности проведения обработки заявки снизилось на 87%, что обеспечивает помимо прочего большую прогнозируемость длительности проведения испытаний, аналогично длительность обработки результатов сократилась на 66%; на 80% увеличилась доля заявок на проведение МСИ, выполненных в срок; на 15% выросла точность формирования отчетов.

4. Разработан рекомендательный алгоритм по управлению качеством испытательной лаборатории, основанный на анализе большого массива данных по трем основным источникам риска: организация рабочих мест, методики (процедуры) и оборудование. Выявленные отклонения определяют наличие факторных изменений в параметрах работы отдельных ресурсов испытательной лаборатории, в связи с этим использование машинных технологий обработки данных и построения на их основе цифровых моделей позволяют выявить причины таких отклонений, а также разработать рекомендации по повышению качества функционирования испытательной лаборатории. Реализация алгоритма позволит снизить годовой объем некачественных нефтепродуктов на рынке суммарно на 1,9 %.

Рекомендуется применение авторских результатов в рамках развития систем менеджмента качества продукции нефтепереработки, а также для повышения эффективности работы провайдеров межлабораторных сравнительных испытаний.

Перспективы дальнейшего развития темы заключаются в апробации предлагаемой цифровой модели и алгоритма разработки рекомендаций в смежных отраслях,

а также в рамках формирования единого цифрового пространства цепи поставок продукции нефтепереработки.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

1. Скобелев, К. Д. Управление качеством испытательных лабораторий в условиях цифровизации / К. Д. Скобелев // Компетентность. – 2025. – № 3. – С. 14–18. – 0,35 п. л.
2. Скобелев, К. Д. Цифровая модель повышения качества работы испытательных лабораторий / К. Д. Скобелев // Контроль качества продукции. – 2025. – № 7. – С. 26–31. – 0,4 п. л.
3. Скобелев, К. Д. Цифровая система поддержки принятия управленческих решений в области проведения испытаний / К. Д. Скобелев // Качество. Инновации. Образование. – 2025. – № 4. – С. 3–8. – 0,45 п. л.
4. Скобелев, К. Д. Автоматизация контроля качества при производстве ультрафиолетовых радиометров / О. А. Минаева, С. И. Аневский, О. И. Останина, К. Д. Скобелев, Т. Ч. Минь, Р. В. Минаев // Автоматизация в промышленности. – 2025. – № 2. – С. 3–6. – 0,34 п. л./0,1 п. л.
5. Скобелев, К. Д. Специфика проведения программ проверки квалификации на газовых смесях / К. Д. Скобелев, Д. М. Кокурина, Д. А. Загорская // Контроль качества продукции. – 2023. – № 3. – С. 21–25. – 0,35 п. л./0,15 п. л.
6. Скобелев, К. Д. Стандартные образцы в системе контроля качества угольной продукции / М. В. Доброхотова, С. А. Эйпштейн, Т. Н. Воропаева, К. Д. Скобелев // Компетентность. – 2014. – № 2(113). – С. 39–43. – 0,39 п. л./0,1 п. л.

Свидетельства о регистрации базы данных ЭВМ и электронного ресурса

7. Скобелев, К. Д. Автоматизированная процедура межлабораторных сравнительных испытаний / К. Д. Скобелев // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025663535 Российская Федерация: заявл. 15.05.2025 г.: опубл. 28.05.2025 г.
8. Скобелев, К. Д. Автоматизированный расчет рейтинговой оценки участников межлабораторных сравнительных испытаний / К. Д. Скобелев // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025663664 Российская Федерация: заявл. 19.05.2025 г.: опубл. 29.05.2025 г.

Публикации в других научных изданиях и сборниках материалов конференций

9. Скобелев, К. Д. МСИ как элемент управления качеством испытательных лабораторий в сфере современной электроники / О. А. Минаева, С. И. Аневский, К. Д. Скобелев // Оптические технологии, материалы и системы (Оптотех – 2024): Международная научно-техническая конференция, Москва, 02–08 декабря 2024 года. – Москва: МИРЭА – Российский технологический университет, 2024. – С. 672–676. – 0,3 п. л./0,1 п. л.
10. Скобелев, К. Д. Автоматизация менеджмента качества испытательной лаборатории в контексте соответствия надлежащим лабораторным практикам (GLP) / К. Д. Скобелев // Тенденции развития логистики и управления цепями поставок в условиях цифровизации: сборник статей V международной научно-практической конференции, Курск, 24–25 сентября 2024 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 222–226. – 0,25 п. л.
11. Скобелев, К. Д. LIMS как инструмент цифровизации процессов функционирования испытательных лабораторий / К. Д. Скобелев // Актуальные тренды цифровой трансформации промышленных предприятий: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 30–31 октября 2024 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 236–239. – 0,24 п. л.

12. Скобелев, К. Д. Особенности управления качеством производственных процессов в условиях Арктики / О. А. Минаева, С. И. Аневский, К. Д. Скобелев, П. Ю. Пушкин // Перспективные материалы и технологии (ПМТ-2024): Сборник докладов Международной научно-технической конференции, Москва, 12–16 апреля 2024 года. – Москва: МИРЭА – Российский технологический университет, 2024. – С. 98–100. – 0,3 п. л./0,1 п. л.
13. Скобелев, К. Д. Подготовка специалистов в области метрологии и стандартизации / О. А. Минаева, С. И. Аневский, В. Р. Александров [и др.] // Мир измерений. – 2024. – № 1. – С. 56–61. – 0,35 п. л./ 0,1 п. л.
14. Скобелев, К. Д. Особенности переработки отходов в Арктической зоне как элемент планирования качества / К. Д. Скобелев // Региональное сотрудничество БРИКС: современные проблемы экологии и природопользования: Материалы второй международной научно-практической конференции: тезисы докладов, Петрозаводск, 18–20 сентября 2024 года. – Петрозаводск: Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН», 2024. – С. 99. – 0,2 п.л.
15. Скобелев, К. Д. Основные принципы проверки квалификации для повышения качества результатов работы испытательной лаборатории / О. А. Минаева, К. Д. Скобелев, А. О. Голованов, Д. М. Кокурина // Перспективные материалы и технологии (ПМТ - 2023): Сборник докладов Национальной научно-технической конференции с международным участием Института перспективных технологий и индустриального программирования РТУ – МИРЭА, Москва, 10–15 апреля 2023 года / Под редакцией А. Н. Юрасова. Том 2. – МИРЭА – Российский технологический университет, 2023. – С. 396–402. – 0,4 п.л./0,12 п. л.
16. Скобелев, К. Д. Метрологическое обеспечение средств измерений в области радиометрии и фотометрии / И. Романова, Д. Муравьев, К. Скобелев [и др.] // Роль технического регулирования и стандартизации в условиях цифровой экономики: материалы V Международной научно-практической конференции молодых ученых, Екатеринбург, 02 ноября 2023 года. – Екатеринбург: Издательский дом «Ажур», 2023. – С. 299–304. – 0,25 п. л./0,1 п. л.
17. Скобелев, К. Д. Основы управления качеством производственных процессов в условиях Арктики / К. Д. Скобелев, О. А. Минаева // Оптические технологии, материалы и системы (Оптотех – 2023): Сборник докладов Международной научно-технической конференции, Москва, 11–15 декабря 2023 года. – Москва: МИРЭА – Российский технологический университет, 2023. – С. 469–474. – 0,24 п. л./0,15 п. л.
18. Скобелев, К. Д. МСИ для подтверждения качества контроля характеристик средств измерений радиометрических величин / С. И. Аневский, О. А. Минаева, К. Д. Скобелев [и др.] // Оптические технологии, материалы и системы (Оптотех – 2022): Сборник докладов конференции, Москва, 05–10 декабря 2022 года. – Москва: МИРЭА – Российский технологический университет, 2022. – С. 409–414. – 0,32 п. л./0,1 п. л.
19. Скобелев, К. Д. Подготовка к вступлению в силу ТР ЕАЭС 041/2017 «О безопасности химической продукции» как шаг к глобализации и развитию цифровой экономики / К. Д. Скобелев, Д. А. Загорская // Вестник Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева: Гуманитарные и социально-экономические исследования. – 2020. – № 11–2. – С. 101–111. – 0,5 п. л./0,3 п. л.
20. Скобелев, К. Работа ТК по стандартизации / М. А. Доброхотова, К. Д. Скобелев, С. В. Вертышев // Стандарты и качество. – 2019. – № 4. – С. 28–30. – 0,34 п. л./0,12 п. л.
21. Скобелев, К. Д. Обработка результатов МСИ в соответствии с российскими НД и ASTM Int / Ж. И. Елоза, Т. Н. Ларионова, К. Д. Скобелев, С. С. Кошкарёв // Контроль качества продукции. – 2016. – № 2. – С. 14–22. – 0,48 п. л./0,25 п. л.