

*Радченко Анастасия Александровна*  
*Магистрант*

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет  
имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия  
yudintseva.99@mail.ru

## **ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ НА УЧАСТКЕ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА (СУГ)**

**Аннотация:** Работа посвящена разработке и обоснованию комплекса мероприятий по техническому перевооружению участка сжиженного углеводородного газа (СУГ) автозаправочной станции. В ходе исследования проведён анализ нормативно-правовой базы и современного технического состояния типового участка СУГ, выявлены ключевые дефекты и несоответствия оборудования требованиям промышленной безопасности. Особое внимание уделено оценке эксплуатационных рисков устаревших систем хранения и выдачи СУГ, а также критериям выбора современных резервуарных парков, насосных агрегатов, запорной арматуры и систем обнаружения утечек. Разработана новая схема обвязки резервуаров и технологического оборудования, обоснована методика оценки снижения вероятности аварий. Выполнено экономическое обоснование технического перевооружения с расчётом срока окупаемости инвестиций и предложены практические рекомендации по внедрению комплекса мероприятий на действующих АЗС.

**Ключевые слова:** сжиженный углеводородный газ (СУГ), автозаправочная станция (АЗС), техническое перевооружение, промышленная безопасность, эксплуатационные риски, двустенные резервуары, система обнаружения утечек, противоаварийная защита.

Анализ нормативно-правовой базы и требований к участкам СУГ АЗС в РФ

Нормативно-правовая база, регулирующая эксплуатацию участков СУГ на автозаправочных станциях в Российской Федерации, представляет собой комплекс документов различного уровня обязательности, что порождает неопределенность при применении конкретных требований. В частности, требования к размещению участков СУГ на территории многотопливных автозаправочных станций относительно существующих зданий и сооружений регламентируются некоторыми нормативными актами, однако, как отмечается в научной литературе, «данный документ не входит в перечень, утвержденный, а входит в перечень, утвержденный, с учетом статьи 6 и части 6 статьи 15 поэтому требования, изложенные в нем, не могут носить обязательный характер с учетом части 3 статьи 16.1» [8]. Такая правовая коллизия создает затруднения для проектных организаций и эксплуатирующих компаний, вынужденных самостоятельно определять, какие из нормативов являются обязательными, а какие — рекомендательными. Особенно остро проблема неопределенности проявляется в части установления противопожарных расстояний и оценки пожарного риска на объектах с СУГ. Применение риск-ориентированного подхода, как подчеркивается

в исследованиях, позволяет «провести всеобъемлющий анализ пожарной опасности АГЗС и исключить те требования пожарной безопасности, которые являются избыточными, т.е. требующими излишних материальных затрат и сделать акцент на требования пожарной безопасности, недооценка которых грозит реальной опасностью» [14, с. 64]. Таким образом, переход к оценке фактических рисков вместо формального соблюдения всех предписаний может стать эффективным инструментом для обоснования безопасных расстояний и оптимизации затрат на обеспечение безопасности.

Современные требования промышленной безопасности к оборудованию участков СУГ существенно ужесточились и направлены на предотвращение аварийных ситуаций за счет внедрения многоуровневых систем защиты. В частности, обязательным стало применение насосов с двойными торцовыми уплотнениями, а также систем автоматического контроля таких параметров, как давление, вибрация и температура, с функциями дублирования и самодиагностики. Комплексная противоаварийная защита технологической системы участка СУГ, как указано в нормативных источниках, включает «систему предотвращения переполнения резервуара; систему автоматического контроля концентрации паров СУГ на площадке для АЦ, технологической площадке хранения СУГ, заправочных островках; систему обнаружения пожара; систему постоянного автоматического контроля превышения давления на напорной линии насоса выдачи СУГ, «сухого хода» насоса» [8]. Помимо перечисленных систем, современные стандарты предписывают применение двустенных резервуаров хранения СУГ с заполнением межстенного пространства инертным газом, а также оснащение резервуаров и трубопроводной обвязки электромагнитными клапанами, шаровыми кранами и предохранительными сбросными клапанами. Важным элементом является конструктивная огнезащита резервуаров, обеспечивающая их целостность в течение не менее 60 минут при пожаре. Все эти меры в совокупности с автоматизированными системами безопасности, блокирующими работу оборудования при любых неисправностях, позволяют существенно снизить вероятность аварий и повысить противоаварийную устойчивость участков СУГ.

Типовые дефекты и несоответствия оборудования участка СУГ действующим стандартам безопасности

Значительная часть участков СУГ на автозаправочных станциях была введена в эксплуатацию в период 70–90-х годов прошлого века, и их техническая организация производственного цикла осталась на уровне, заложенном при строительстве. Как следствие, такое оборудование характеризуется физическим и моральным износом, а также отсутствием современных систем автоматизации, что не соответствует актуальным требованиям промышленной безопасности. Аварии на опасных объектах, использующих СУГ, произошедшие за последние годы, свидетельствуют о необходимости технического перевооружения, которое позволило бы сделать технологические процессы безопасными, исключить влияние человеческого фактора и пренебрежение правилами безопасности со стороны владельцев АГЗС и перевозчиков СУГ [1, с. 24]. При этом развитие рынков оборудования для нефтепродуктов и для СУГ происходит неравномерно: объекты для нефтепродуктов оснащены системами автоматизации и безопасности почти на

100 %, тогда как степень опасности объектов СУГ не ниже, что подчеркивает критическое отставание.

В насосно-компрессорном отделении типовыми дефектами являются отсутствие двойных торцовых уплотнений, а также систем контроля давления, вибрации и температуры. Согласно современным требованиям, применяемые насосы должны быть экономичны и производительны, с обязательным контролем давления, вибрации, температуры, наличия жидкости или масла во всасывающих и подающих трубопроводах, а также оснащены двойными торцовыми уплотнениями с подачей охлаждающей жидкости [2]. В практике эксплуатации устаревших станций эти требования часто игнорируются, что ведет к повышенному износу оборудования и росту вероятности утечек. Кроме того, недостаточная герметичность трубопроводной обвязки, обусловленная коррозией и усталостью металла, усугубляет опасность эксплуатации участка СУГ.

Критические несоответствия действующим стандартам безопасности выявляются в системах контроля и противоаварийной защиты. Как отмечается, развитие двух рынков – оборудования для нефтепродуктов и оборудования для СУГ – происходит неравномерно, и объекты, предназначенные для хранения и реализации нефтепродуктов, на сегодняшний день оснащены системами автоматизации и безопасности почти на 100 %, хотя степень опасности и рисков на них не превосходит эти показатели для объектов, использующих сжиженные газы [1, с. 24]. На большинстве старых участков СУГ отсутствует автоматический контроль концентрации паров СУГ, система предотвращения переполнения резервуаров (предельный уровень наполнения не должен превышать 85 % внутреннего объема резервуара), а также дублирование сигналов от датчиков, что многократно повышает риск аварийных ситуаций. Помимо этого, на многих действующих АГЗС не реализована система постоянного автоматического контроля превышения давления на напорной линии насоса выдачи СУГ и контроля «сухого хода» насоса. Отсутствие комплексных измерительных систем, позволяющих вести точный учет СУГ в резервуарах, также является распространенным недостатком, причем владельцы часто мирятся с этим из-за сложности модернизации, требующей остановки работы и осушения резервуаров. В результате эксплуатация ведется с нарушением требований промышленной безопасности, что подтверждает необходимость внедрения современных систем обнаружения утечек и аварийной защиты, включающих газоанализаторы, заблокированные с насосами, и устройства контроля заземления автоцистерн.

Оценка рисков эксплуатации устаревших систем хранения и выдачи СУГ

Эксплуатация устаревших систем хранения и выдачи сжиженного углеводородного газа сопряжена с повышенным риском возникновения аварийных ситуаций, что обусловлено как физическим износом оборудования, так и несовершенством технологических процессов. Многие газонаполнительные станции и автозаправочные станции, построенные в 70–90-х годах прошлого века, сохранили свою техническую организацию на уровне, заложенном при их строительстве, что не соответствует современным требованиям промышленной безопасности. Как отмечается в литературе, «аварии на опасных объектах, использующих СУГ, произошедшие за последние годы, свидетельствуют о

необходимости технического перевооружения, которое позволило бы сделать технологические процессы безопасными, исключить влияние человеческого фактора» [1, с. 24]. В условиях, когда персонал перестает воспринимать потенциальную опасность, нередко случаи использования несертифицированных деталей, например, шаровых кранов бытового назначения, что ведет к разгерметизации и создает предпосылки для крупных аварий [1, с. 23]. Статистика происшествий на объектах СУГ подтверждает, что наиболее вероятные аварийные сценарии связаны с частыми ручными операциями, износом оборудования и большой протяженностью трубопроводов. Согласно анализу, «наиболее вероятными сценариями являются те, которые связаны с частыми ручными операциями, износом оборудования, большой протяженностью и разветвлениями трубопроводов» [5, с. 77]. Помимо этого, недостаточный учет количества СУГ в резервуарах из-за устаревших измерительных систем приводит к значительным потерям продукта и повышает риск переполнения емкостей [3, с. 36]. Отсутствие своевременной модернизации и проведения регламентных работ усугубляет ситуацию, делая эксплуатацию таких систем недопустимо опасной.

Для кардинального снижения эксплуатационных рисков необходимо внедрение современных конструктивных решений, в первую очередь двустенных резервуаров хранения СУГ. В качестве одного из ключевых мероприятий по предотвращению образования горючей среды нормативные документы предписывают «применение двустенных резервуаров хранения СУГ с заполнением межстенного пространства инертным газом» [8]. Кроме того, следует предусмотреть систему рециркуляции паров СУГ при сливе топлива из автоцистерны, а также установить сигнализаторы взрывоопасных газов, сблокированные с насосами, для автоматического отключения технологических систем при достижении 10 % нижнего концентрационного предела распространения пламени [8, с. 102]. Важным элементом является также система предотвращения переполнения резервуара, ограничивающая наполнение до 85 % внутреннего геометрического объема [8, с. 102]. Автоматизация процессов и непрерывный контроль герметичности позволяют минимизировать последствия возможных утечек и исключить влияние человеческого фактора. Современные системы управления должны включать автоматический контроль уровня и плотности СУГ, а также управляемые клапаны, регулирующие наполнение и отбор из конкретного резервуара в соответствии с показаниями уровнемеров [1, с. 24]. Обязательным является оснащение участка системой непрерывного контроля герметичности трубопроводов и оборудования, а также системой автоматического контроля превышения давления на напорной линии насоса и защиты от «сухого хода» [8, с. 102]. Для повышения надежности учета и снижения простоев установку современных измерительных систем, например, на базе поплавковых уровнемеров, рекомендуется проводить в период плановых регламентных работ [3, с. 36].

## Модернизация оборудования

Критерии выбора современных резервуарных парков для СУГ: безопасность и производительность

В условиях выявленных рисков эксплуатации устаревших систем хранения СУГ первостепенное значение приобретает обоснованный выбор конструктивных решений для новых резервуарных парков. Ключевым требованием является применение двустенных резервуаров, межстенное пространство которых заполняется инертным газом, что обеспечивает вторичную защиту и оперативное обнаружение разгерметизации. Кроме того, в соответствии с современными нормами, «применение конструктивной огнезащиты резервуара СУГ с трубопроводной обвязкой, обеспечивающую целостность защиты и ее теплоизолирующую способность в течение времени и в условиях эксплуатации резервуара» [8] является обязательным условием для повышения огнестойкости оборудования. Материалы изготовления должны обладать повышенной химической стойкостью к воздействию пропан-бутановой смеси, а проектные расчеты учитывать температурные расширения и колебания давления в рабочем диапазоне. Важнейшим эксплуатационным параметром, непосредственно влияющим на безопасность, является ограничение предельного уровня наполнения резервуара. Согласно действующим требованиям, «систему предотвращения переполнения резервуара (предельный уровень наполнения не должен превышать 85 % внутреннего геометрического объема резервуара)» [8] необходимо включать в состав противоаварийной защиты. Данное требование направлено на создание паровой подушки, компенсирующей тепловое расширение жидкости, и предотвращение гидроударов. Дополнительно для минимизации последствий возможных утечек предусматривается установка сборной емкости и организация вторичной защиты, что в совокупности с устройствами предотвращения перелива формирует надежный барьер безопасности.

Помимо конструктивных характеристик самих резервуаров, критическое значение имеет схема их обвязки, обеспечивающая как безопасность, так и производительность эксплуатации. Современный подход предполагает оснащение каждого резервуара индивидуальными управляемыми клапанами или задвижками, что позволяет избирательно вести операции наполнения или отбора. Как отмечается в исследованиях, «целесообразно оснащение емкостей управляемыми клапанами или задвижками, регулирующими эксплуатацию именно того резервуара, наполнение которого или отбор из него происходят в данный момент. Причем система должна это делать автоматически, сверяясь с показаниями уровнемеров» [1, с. 24]. Такая схема не только повышает точность учета и управления запасами, но и исключает возможность несанкционированного перетока продукта между резервуарами. Для обеспечения достоверного учета и контроля за состоянием СУГ необходима интеграция систем уровнеметрии и массового измерения. Например, современные уровнемеры способны не только фиксировать уровень, но и передавать на пульт управления данные о плотности жидкой и паровой фаз, а также общем количестве продукта в емкости [1, с. 24]. Техническая организация обвязки должна предусматривать удобный доступ для обслуживания и возможность полного опорожнения каждого резервуара. Для

минимизации мертвых объемов и потерь продукта при смене режимов целесообразно проектировать изоляционные и перепускные линии, что позволяет изолировать отдельные резервуары без остановки всего технологического процесса.

Инновационные насосные агрегаты и запорная арматура для систем СУГ: обзор и сравнительный анализ

Выбор насосных агрегатов и запорной арматуры для систем СУГ определяется комплексом жестких требований, направленных на обеспечение безопасности и производительности. В первую очередь предпочтение отдается агрегатам с высокой энергетической эффективностью, что подтверждается рекомендацией использовать экономичные и производительные насосы [1, с. 24]. Устойчивость к кавитации является критическим параметром, так как образование газовых пузырей в потоке СУГ может привести к разрушению рабочих колес и снижению надежности. Конструкция насосов для СУГ обязательно включает двойные торцовые уплотнения с системой подачи охлаждающей жидкости, что предотвращает утечки легковоспламеняющегося продукта. Как отмечается в отраслевых требованиях, «применяемые насосы должны быть экономичны и производительны с обязательным контролем давления, вибрации, температуры, наличия жидкости или масла во всасывающих и подающих трубопроводах. Насосы должны быть с двойным торцовым уплотнением и подачей охлаждающей жидкости» [1, с. 24]. Помимо этого, конструктивная защита от «сухого хода» реализуется через датчики наличия жидкости, что исключает работу насоса без перекачиваемой среды и предотвращает аварийные ситуации. Эффективная эксплуатация насосного оборудования невозможна без непрерывного мониторинга ключевых параметров: давления, вибрации и температуры. Для обеспечения надежности контроля «все параметры должны контролироваться системой управления с обязательным дублированием и самодиагностикой приборов и датчиков» [2]. Это позволяет своевременно выявлять отклонения в работе агрегатов и предотвращать развитие аварийных ситуаций, связанных с разгерметизацией или перегревом. Материалы, используемые для изготовления насосов и запорной арматуры, должны быть стойкими к воздействию сжиженных углеводородов, обладать коррозионной устойчивостью и сохранять механические свойства в широком диапазоне температур. Уплотнения, в частности, выбираются с учетом совместимости с СУГ и способности выдерживать циклические нагрузки. Таким образом, совокупность перечисленных критериев — от энергоэффективности и кавитационной стойкости до применения двойных уплотнений и интеллектуальных систем мониторинга — формирует основу для выбора современного и безопасного оборудования для участков СУГ.

Современные системы обнаружения утечек и аварийной защиты участка СУГ

Ключевым элементом системы обнаружения утечек на участке СУГ является газоаналитический контроль концентрации паров топлива в воздухе. Согласно требованиям, «применение системы контроля концентрации паров СУГ выполнена на базе газоанализатора-сигнализатора взрывоопасных газов и паров в комплекте с конвекционными датчиками на пропан, заблокированными с насосами СУГ и ЖМТ

для отключения технологических систем при достижении 10 % НКПРП, устанавливаются на расстоянии 50–100 мм от уровня площадки у заправочных колонок СУГ; на площадке у резервуаров хранения СУГ и оборудования для перекачивания СУГ; у площадки АЦ СУГ...» [8, с. 102]. Такое размещение сенсоров в непосредственной близости от потенциальных источников утечки (колонок, резервуары, сливные устройства) обеспечивает минимальное время реакции на появление горючей среды. Установка порога срабатывания на уровне 10 % от нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПРП) является общепринятой мерой, позволяющей задействовать автоматику до достижения взрывоопасной концентрации. При превышении этого порога система незамедлительно блокирует работу насосов выдачи СУГ и перекрывает запорную арматуру, что предотвращает дальнейшее истечение продукта. Данный подход, дополненный непрерывным мониторингом на площадках слива и хранения, формирует первый рубеж защиты, интегрированный в общую систему противоаварийной автоматики.

Противоаварийная защита технологической системы участка СУГ включает комплекс взаимосвязанных подсистем, контролирующих критические параметры оборудования. В частности, предусматривается «систему постоянного автоматического контроля превышения давления на напорной линии насоса выдачи СУГ, „сухого хода“ насоса; систему контроля заземления АЦ...» [8]. Кроме того, обязательными являются система предотвращения переполнения резервуаров (с ограничением наполнения до 85 % геометрического объёма), непрерывный контроль герметичности межстенного пространства двустенных резервуаров, а также применение взрывозащищённого электрооборудования и устройств молниезащиты. Все перечисленные элементы объединены в единую сеть, обеспечивающую автоматическое отключение насосов и запорной арматуры при любом отклонении от нормы, что существенно снижает риск аварийной ситуации.

Наряду с автоматическими системами, важную роль в обеспечении безопасности играют инженерно-организационные мероприятия, направленные на локализацию возможных разливов и предотвращение образования взрывопожароопасных зон. Согласно нормативным требованиям, предусматривается «установку модуля СУГ на островок безопасности высотой не менее 0,2 м; мероприятия по предотвращению разлива СУГ в систему канализации (гидравлические затворы на приемных колодцах, создание уклонов и препятствий для предотвращения попадания СУГ в приемные колодцы, герметизация крышек колодцев водопровода и канализации)» [8]. Дополняют эти меры физические барьеры вокруг технологических модулей, система видеонаблюдения, чёткая маркировка взрывоопасных зон, а также обучение и инструктаж персонала. Комплексное применение организационных и технических средств позволяет минимизировать вероятность инцидентов и обеспечивает готовность к оперативной локализации последствий.

Проектирование новой схемы обвязки резервуаров и технологического оборудования

Оптимизация схемы обвязки резервуаров начинается с разделения сливных и наливных коллекторов по каждому резервуару, что позволяет исключить взаимное

влияние технологических операций и снизить риск перекрестного загрязнения продукта. Минимизация протяжённости трубопроводов и устранение мёртвых объёмов достигается за счёт компактного размещения оборудования и использования коротких прямолинейных участков, что уменьшает потери давления и облегчает дренаж системы. При проектировании особое внимание уделяется учёту температурных деформаций, для чего предусматриваются компенсаторы и уклоны труб, обеспечивающие самотёчное удаление остатков жидкости. «мероприятия по предотвращению разлива СУГ в систему канализации (гидравлические затворы на приемных колодцах, создание уклонов и препятствий для предотвращения попадания СУГ в приемные колодцы, герметизация крышек колодцев водопровода и канализации)» [8, с. 102] подтверждают необходимость таких решений для локализации аварийных ситуаций. Для нормализации рабочего и аварийного режимов в обвязку интегрируются обратные, предохранительные и сбросные линии. На выходном патрубке каждого насоса устанавливается обратный клапан, предотвращающий обратный ток жидкости, что исключает гидравлические удары и самопроизвольное опорожнение напорного трубопровода. «Кроме того, на выходном патрубке насоса установлен обратный клапан, предотвращающий обратный ток жидкости через насос» [10, с. 136]. Предохранительные клапаны, настроенные на предельно допустимое давление, сбрасывают избыток среды в дренажную систему, а сбросные линии с ручным или автоматическим управлением позволяют быстро опорожнить участок при ремонте. Система предотвращения переполнения резервуара, ограничивающая наполнение до 85 % геометрического объёма, дополняет эти меры, обеспечивая безопасность при аварийном повышении уровня.

Интеграция устройств контроля и обслуживания в обвязку требует рационального размещения точек отбора давления и измерения расхода. На напорных линиях насосов выдачи СУГ устанавливаются массовые или объёмные счётчики, обеспечивающие точный учёт продукта и возможность контроля производительности. Для автоматической защиты от аварийных режимов предусмотрена «систему постоянного автоматического контроля превышения давления на напорной линии насоса выдачи СУГ, «сухого хода» насоса...» [8, с. 102], что предотвращает работу насоса без жидкости и повреждение уплотнений. Дополнительно, в соответствии с рекомендациями по унификации программно-технических средств [9, с. 55], контроллеры сбора данных интегрируются в единую систему управления, что снижает затраты на обслуживание и повышает достоверность измерений. Межстенный контроль утечек в двустенных трубопроводах реализуется путём установки датчиков давления или вакуума в межтрубном пространстве, что позволяет мгновенно обнаружить разгерметизацию внутренней стенки. Для обеспечения быстрого перекрытия аварийных участков на ключевых отводах монтируются локальные запорные устройства с дистанционными приводами, управляемыми с пульта оператора. Как показано в типовых решениях насосных станций, на входном и напорном патрубках насоса устанавливаются задвижки с электроприводом, позволяющие дистанционно изолировать агрегат [10, с. 138]. Доступные участки для ремонта, оснащённые съёмными соединениями и дренажными вентилями, обеспечивают возможность

быстрой замены оборудования без остановки всей станции, что повышает ремонтпригодность системы.

#### Оценка эффективности решений

Методика оценки снижения эксплуатационных рисков и вероятности аварий

Разработка методики оценки снижения эксплуатационных рисков на участках СУГ базируется на всестороннем анализе текущей аварийности автомобильных газовых заправочных станций. Как отмечается в литературе, «за несколько месяцев текущего года в разных регионах нашей страны произошли крупные аварии на АГЗС СУГ, повлекшие за собой человеческие жертвы и полностью уничтожившие АГЗС. К сожалению, ситуация начинает принимать системный характер и требует принятия серьезных профилактических мер по неукоснительному соблюдению действующих требований промышленной безопасности» [16]. Данная статистика подтверждает, что аварийность на объектах СУГ приобрела системный характер, что обуславливает необходимость разработки количественных методов оценки эффективности внедряемых мер безопасности, позволяющих перейти от качественных заключений к численным критериям приемлемого риска [5, с. 75].

Ключевым элементом разработанной методики является учет применения двустенных наземных резервуаров и технологических трубопроводов, а также полностью автоматизированных систем безопасности с блокировками. Как показано в расчетах, при использовании двустенных резервуаров «индивидуальный пожарный риск для людей, находящихся на территории АГЗС, составит в здании  $R_m \text{ зд} = 2,65 \cdot 10^{-8}$  и на открытой площадке  $R_m \text{ оп} = 2,62 \cdot 10^{-8}$ , что в соответствии со ст. 93 п. 41 позволяет говорить о соответствии расчетного значения нормативному значению» [14]. Кроме того, в научных работах обосновывается, что применение модулей АГЗС повышенной заводской готовности, выполненных по двустенной технологии, позволяет «существенно снизить риски возникновения аварийных ситуаций» [16, с. 21]. Таким образом, методика интегрирует данные о снижении вероятности утечек и аварий за счет конструктивных решений, что подтверждается количественными оценками пожарного риска.

Методика также включает оценку влияния модернизации насосно-компрессорного оборудования с двойными торцовыми уплотнениями и системами контроля параметров на снижение рисков отказов. Согласно анализу вероятности аварийных ситуаций, опубликованному в источниках, при нормальном режиме эксплуатации и качественном обслуживании аварии на АГЗС маловероятны, однако тяжесть последствий при их реализации может быть критической [5, с. 79, 84]. Внедрение современных насосных агрегатов с непрерывным мониторингом давления, вибрации и температуры позволяет существенно уменьшить частоту возникновения иницирующих событий, таких как разгерметизация или отказ запорной арматуры, что напрямую отражается на снижении вероятности аварий по наиболее опасным сценариям.

Применение риск-ориентированного подхода в рамках методики позволяет количественно оценить снижение вероятности аварий за счет концентрации на критических факторах и исключения избыточных требований безопасности. В

соответствии с методическими указаниями, аварии на АГЗС по тяжести последствий относятся к категории умеренного риска (С), за исключением сценариев с образованием «огненного шара», которые относятся к категории значительного риска (В) [5, с. 79]. Внедрение предложенных технических решений, таких как двустенные резервуары и автоматизированные системы, позволяет снизить индивидуальный пожарный риск до значений, не превышающих нормативные (менее  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>) [14, с. 65], что подтверждает эффективность модернизации и обосновывает целесообразность применения риск-ориентированного подхода при проектировании.

Экономическое обоснование технического перевооружения: расчет срока окупаемости и снижение затрат

Экономическое обоснование технического перевооружения участка СУГ предполагает детальный расчет капитальных вложений, включающих замену устаревших насосов, запорной арматуры, систем управления и монтаж двустенных резервуаров. Однако модернизация действующих АГЗС, в отличие от новых объектов, требует обязательной остановки работы газовой составляющей с осушением резервуаров и проведением монтажных и пусконаладочных работ, что сопряжено с дополнительными затратами и простоем АГЗС [3, с. 36]. Эти издержки необходимо учитывать при формировании общего бюджета проекта, чтобы избежать неучтенных расходов и корректно оценить реальную стоимость перевооружения.

Внедрение автоматизированных систем контроля и учета продукта позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты за счет минимизации потерь СУГ при сливо-наливных операциях. Недостаточный учет продукта, характерный для устаревших систем, может приводить к значительным потерям сжиженного газа в процессе эксплуатации [3, с. 36]. Кроме того, автоматизация уменьшает вероятность аварийных остановок и необходимость внеплановых ремонтов, что дополнительно сокращает текущие расходы и повышает экономическую эффективность работы участка.

Расчет срока окупаемости инвестиций в техническое перевооружение базируется на сопоставлении суммы капитальных затрат с прогнозируемой годовой экономией от снижения аварийности, уменьшения штрафов за нарушение требований промышленной безопасности и сокращения простоев оборудования. Аварии на опасных объектах, использующих СУГ, произошедшие за последние годы, свидетельствуют о необходимости технического перевооружения, которое позволило бы сделать технологические процессы безопасными, исключить влияние человеческого фактора и пренебрежение правилами безопасности со стороны владельцев АГЗС и перевозчиков СУГ [1, с. 24]. Таким образом, предотвращение убытков от потенциальных инцидентов напрямую влияет на сокращение периода возврата вложенных средств.

Финансовая привлекательность проекта подтверждается возможностью проведения оснащения АГЗС современными измерительными системами, например «Струна», в рамках плановых регламентных работ. Как отмечается в специализированной литературе, оснащение АГЗС измерительными средствами лучше всего проводить во время плановых регламентных работ или до запуска

новой АГЗС в эксплуатацию [3, с. 36]. Такой подход позволяет избежать дополнительных затрат, связанных с внеплановой остановкой и осушением резервуаров, что сокращает общий срок окупаемости инвестиций и делает модернизацию более выгодной.

Рекомендации по внедрению комплекса мероприятий на действующих АЗС

На первом этапе модернизации действующих АГЗС целесообразно заменить одностенные резервуары на двустенные, а также обновить технологические трубопроводы. Такой подход позволяет повысить противоаварийную устойчивость объекта без полного прекращения его функционирования, поскольку работы можно выполнять поэтапно, отключая лишь отдельные участки. Как отмечается в литературе, «можно отметить тенденцию в современных АЗК к качественному обновлению автозаправочной техники и технологий. Это и многорукавные колонки, двустенные резервуары, очистные сооружения, системы регенерации паров, широкое использование информационных технологий при повседневном контроле, отпуске и учете товаров» [3]. Таким образом, внедрение двустенных резервуаров является первым шагом к повышению безопасности и соответствует общей тенденции обновления оборудования.

Одновременно с заменой насосно-компрессорного оборудования необходимо внедрять автоматизированные системы управления, оснащенные дублированием и самодиагностикой измерительных приборов. Комплексный подход к автоматизации позволяет обеспечить непрерывный контроль технологических параметров и реализовать алгоритмы аварийной защиты. Как показывают исследования, «повышение надежности оборудования за счет непрерывного контроля и реализации автоматических алгоритмов управления и защиты, роста стабильности протекания технологических процессов, снижения вероятности ошибочных действий персонала» [9] является ключевым фактором эффективности модернизации. Синхронное выполнение этих работ исключает необходимость повторных остановок станции для дооснащения.

Установка современных измерительных систем, например, типа «Струна», для точного учета сжиженного углеводородного газа должна быть приурочена к плановым регламентным работам или выполняться на этапе ввода станции в эксплуатацию. Такой подход позволяет избежать дополнительных простоев, поскольку модернизация действующих АГЗС связана с необходимостью осушения резервуаров и проведения монтажных работ. Специалисты подчеркивают: «Поэтому оснащение АГЗС измерительными средствами лучше всего проводить во время плановых регламентных работ или до запуска новой АГЗС в эксплуатацию» [3, с. 36]. Это минимизирует затраты и потери продукта, связанные с остановкой технологического процесса.

Для автозаправочных станций, находящихся в границах населенных пунктов, наиболее рациональным решением является использование модульных АГЗС полной заводской готовности. Такие изделия проходят все необходимые испытания и сертификацию на предприятии-изготовителе, что гарантирует соответствие актуальным требованиям промышленной безопасности. Модульная конструкция позволяет быстро провести замену старого оборудования без длительного вывода станции из эксплуатации, что особенно важно в условиях

плотной городской застройки. Применение риск-ориентированного подхода (как указано в [14]) позволяет избежать избыточных требований и сконцентрироваться на действительно значимых аспектах безопасности.

#### Заключение

Проведённое исследование подтвердило, что на значительной части российских автозаправочных станций, реализующих сжиженный углеводородный газ, продолжает эксплуатироваться оборудование, характеризующееся как моральным, так и физическим износом. Такое состояние технологических систем не соответствует современным требованиям промышленной безопасности, предъявляемым к объектам СУГ. В этих условиях техническое перевооружение выступает не как опциональное улучшение, а как обязательное условие продления безопасного срока службы АЗС и снижения уровня аварийности.

Анализ действующей нормативной базы и фактического технического состояния типового участка СУГ позволил выявить ключевые недостатки, среди которых — износ резервуарного парка, насосного оборудования и запорной арматуры. Дополнительно установлено отсутствие современных средств контроля утечек и аварийной защиты, что создаёт предпосылки для возникновения аварийных ситуаций. Совокупность этих факторов сформировала конкретный перечень узлов и элементов, подлежащих замене при модернизации.

В рамках разработанного комплекса мероприятий предложено использовать двустенные резервуары, оснащённые системами контроля герметичности, и современные насосные агрегаты с диагностическими системами. Для повышения уровня безопасности предусмотрена установка газоанализаторов, контролирующих концентрацию паров СУГ, а также систем предотвращения переполнения и аварийного отключения оборудования. Реализация этих решений позволяет существенно снизить риск возникновения аварий и повысить общий уровень промышленной безопасности объекта.

Выполненная оценка эффективности подтвердила, что предложенные мероприятия обеспечивают снижение вероятности аварий и эксплуатационных рисков, а также являются экономически целесообразными. Разработанная методика и практические рекомендации могут быть использованы при техническом перевооружении действующих автозаправочных станций с участками СУГ. Тем самым достигнута основная цель исследования — обоснован проект технического перевооружения, обеспечивающий повышенную безопасность и снижение эксплуатационных рисков.

#### Список литературы

1. Барабанов Андрей Александрович Безопасность технологических процессов на объектах, использующих СУГ // Транспорт на альтернативном топливе. — 2012. — С. 23–26.
2. Барабанов А.А. Безопасность технологических процессов на ГНС // Транспорт на альтернативном топливе. — 2009. — С. 43–45.

3. Галустян О.Э. Измерительные системы «Струна» для светлых нефтепродуктов и СУГ // Транспорт на альтернативном топливе. — 2009. — С. 36–40.
4. Евсеева М.В., Фесина М.И. АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ И ПУТЕЙ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ИСКЛЮЧЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В СОСТАВЕ ВЗРЫВОПОЖАРОБЕЗОПАСНЫХ АВТОЗАВПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ И ТОПЛИВОЗАПРАВОЧНЫХ ЭСТАКАД // Теория и практика современной науки. — 2017. — С. 324–334.
5. Емельянова В. А. Оценка безопасности функционирования автомобильной газозаправочной станции путем анализа технологического риска // Вопросы анализа риска. — 2020. — №2. — С. 74–85.
6. Коротков Никита Сергеевич, Мухамеджанов Владислав Нариманович Автоматические установки пожаротушения на установках подготовки нефти: проблемы проектирования и современные решения // Молодой учёный. — 2025. — №45. — С. 31–34.
7. Котов Д.В., Мулякко В.В., Мусина Д.Р. Оценка экономической эффективности проектов технического перевооружения нефтеперерабатывающего завода // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. — 2017. — С. 39–39.
8. Парфёненко А.П., Тимофеев А.Б. Проблемы противопожарного расстояния на территории многотопливных автозаправочных станций // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. — 2021. — С. 99–103.
9. Сальников Сергей Владимирович, Сарма Роман Евгеньевич, Кислый Евгений Анатольевич Построение интегрированной системы управления АГНКС // Транспорт на альтернативном топливе. — 2017. — С. 49–55.
10. Свистунов Владимир Андреевич Автоматизация насосной станции с применением частотно-регулируемого электропривода // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2013. — С. 135–140.
11. Усиков А.И., Потапова С.О. Анализ современного состояния проблемы обеспечения безопасности функционирования автомобильных газозаправочных станций // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. — 2018. — №9. — С. 917–922.
12. Фомина И.Г. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ // DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals). — 2016. — №4. — С. 50–56.
13. Честиков М.В., Бочкарев А.С. Методические принципы оценки экономической эффективности нефтегазовых проектов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2010. — №10. — С. 95–100.
14. Шевцов Сергей Александрович, Макрушин Алексей Анатольевич Риск-ориентированный подход к обеспечению пожарной безопасности автомобильных газозаправочных станций // Современные проблемы гражданской защиты. — 2017. — С. 64–67.

15. Шевцов С.А., Каргашилов Д.В., Быков И.А. Анализ пожарного риска модульной автозаправочной станции // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». — 2017. — №1. — С. 46–52.
16. Шеногин М.В., Надеин Е.С. НЕОБХОДИМОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АГЗС СУГ // Вестник магистратуры. — 2021. — С. 21–22.