



УДК 614.841.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПОЖАРОВ В РЕЗЕРВУАРАХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Рахматова Дильноза Мухитдиновна

Аннотация. В тезисе рассматриваются вопросы совершенствования системы предупреждения пожаров в резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов на основе риск-ориентированного подхода. Актуальность исследования обусловлена высокой пожарной и взрывопожарной опасностью резервуарных парков, значительными объёмами хранимых горючих жидкостей и возможностью образования взрывоопасных паровоздушных смесей. Проанализированы основные факторы, способствующие возникновению пожаров, включая нарушение технологических режимов, разгерметизацию оборудования, накопление статического электричества, воздействие атмосферного электричества и неисправность технологических систем. Предложена структурная модель совершенствования системы предупреждения пожаров, основанная на последовательном контроле технологических параметров, выявлении опасных отклонений, оценке пожарного риска, формировании предупреждения и реализации защитного воздействия.

Ключевые слова: резервуар, нефтепродукты, пожарная безопасность, пожарный риск, предупреждение пожаров, риск-ориентированный подход, мониторинг, взрывопожарная опасность, профилактика.

Введение. Нефть и нефтепродукты относятся к широко используемым энергоносителям и промышленному сырью. Их хранение осуществляется преимущественно в резервуарах различных конструкций, объединённых в резервуарные парки. Наличие значительных объёмов горючих жидкостей, паров нефтепродуктов и технологического оборудования формирует комплекс взаимосвязанных пожарных и взрывопожарных опасностей [1, 2].

Одним из основных факторов возникновения пожара является образование горючей паровоздушной смеси в газовом пространстве резервуара. При наличии источника зажигания такая смесь может воспламениться с последующим развитием пожара и, при определённых условиях, взрывного процесса [1, 3].

Возникновение опасной ситуации может быть связано с нарушением герметичности оборудования, неисправностью дыхательной арматуры, отклонением технологических



параметров, нарушением требований при проведении операций налива и слива, накоплением статического электричества, воздействием атмосферного электричества и проведением огневых работ [2, 3].

Традиционная система пожарной безопасности преимущественно ориентирована на обнаружение уже возникшего пожара и последующее применение средств защиты. В современных условиях возникает необходимость усиления профилактической составляющей системы, направленной на выявление опасных состояний до возникновения аварийного события. В связи с этим применение риск-ориентированного подхода позволяет перейти к систематической оценке вероятности возникновения пожара и тяжести возможных последствий [3, 4].

Цель исследования заключается в обосновании направлений совершенствования системы предупреждения пожаров в резервуарах для хранения нефтепродуктов на основе риск-ориентированного подхода.

Методы исследования. В работе проведён анализ основных пожароопасных факторов и возможных сценариев развития аварийных ситуаций в резервуарах для хранения нефтепродуктов. В качестве объектов анализа рассмотрены резервуары, технологические трубопроводы, дыхательная арматура, системы налива и слива, устройства заземления и молниезащиты, а также системы обнаружения и тушения пожара.

Методологической основой исследования является последовательное выявление опасностей, определение возможных сценариев аварии, оценка вероятности возникновения опасного события и тяжести его последствий.

Обобщённо уровень риска может быть представлен зависимостью:

$$R = P \times C,$$

где **R** — уровень риска; **P** — вероятность возникновения опасного события; **C** — тяжесть его возможных последствий.

Для совершенствования системы предупреждения предлагается использовать многоуровневую модель, включающую технологический мониторинг, раннюю диагностику, оценку риска и последующее защитное воздействие. Такой подход позволяет рассматривать пожарную безопасность как непрерывный процесс управления риском, а не только как реагирование на уже возникшее возгорание.

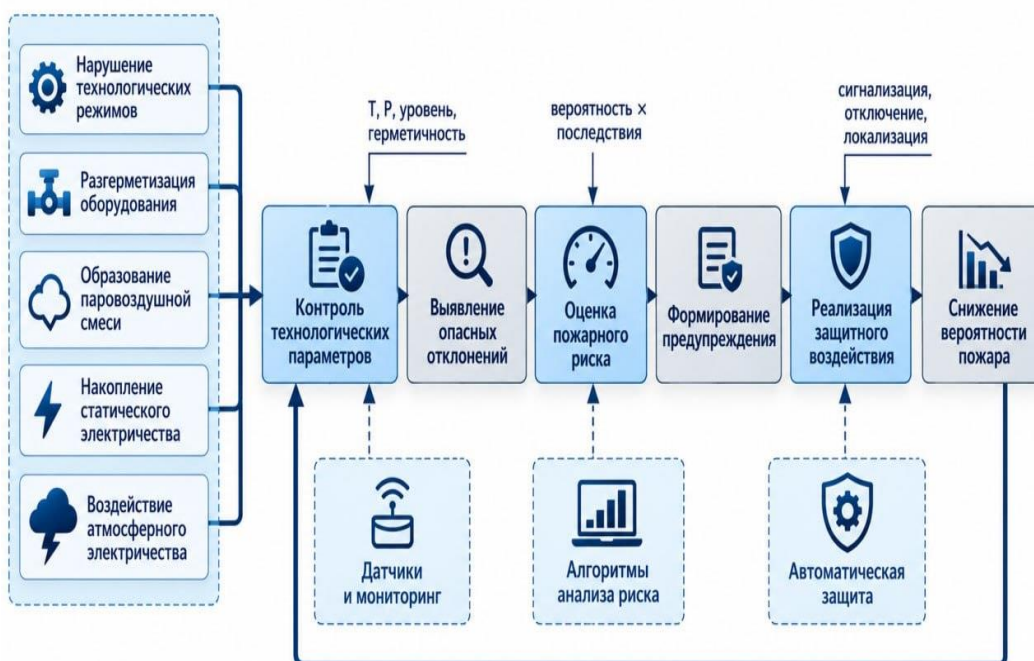
Результаты исследования. Проведённый анализ показал, что эффективная система предупреждения пожаров в резервуарных парках должна обеспечивать



непрерывное получение и обработку информации о состоянии технологического оборудования.

На первом уровне осуществляется контроль технологических параметров. Основными контролируруемыми показателями являются температура, давление, уровень нефтепродукта, состояние оборудования и наличие признаков утечки.

На втором уровне выполняется выявление опасных отклонений от установленных эксплуатационных параметров. Особое значение имеет своевременное обнаружение признаков разгерметизации, повышения температуры и концентрации горючих паров.



1-Рис. Структурная модель совершенствования системы предупреждения пожаров на основе риск-ориентированного подхода.

На третьем уровне проводится оценка пожарного риска. Определяются вероятность развития опасного события и возможная тяжесть его последствий. Это позволяет выделить наиболее критические сценарии и определить приоритетность профилактических мероприятий.

На четвёртом уровне формируется предупреждение об опасном состоянии. Информация от средств контроля должна передаваться оператору или в автоматизированную систему управления для своевременного принятия решения.

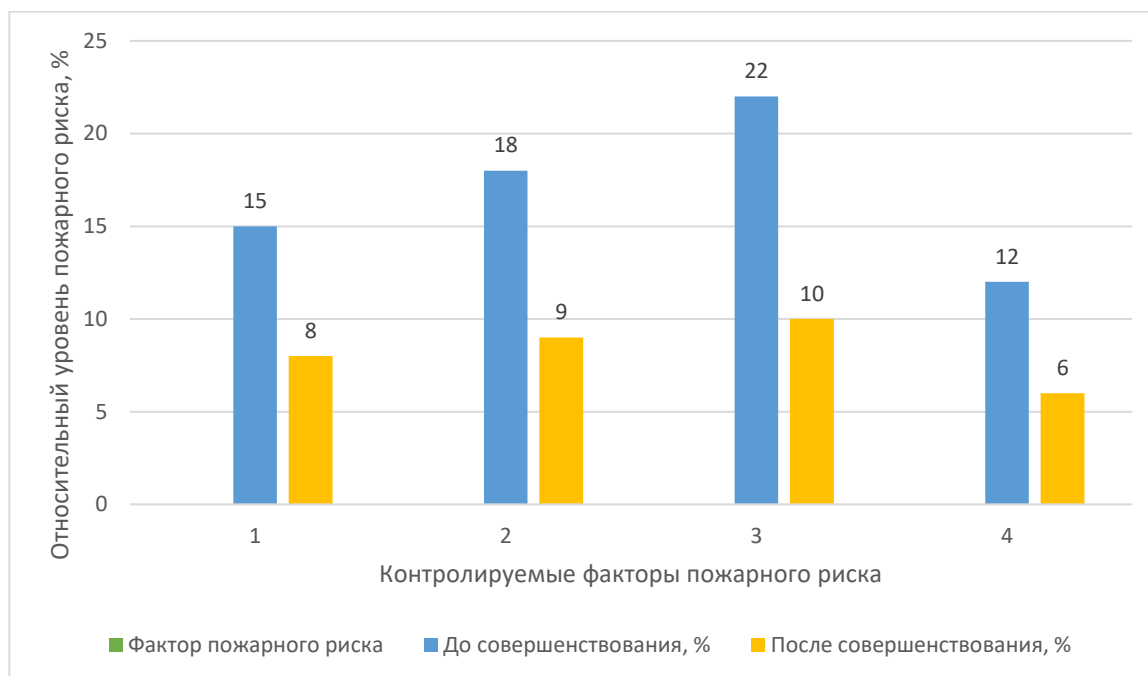


На пятом уровне реализуется автоматическое или оперативное защитное воздействие. В зависимости от характера опасности могут применяться предусмотренные технологические блокировки, прекращение подачи продукта, системы охлаждения, обнаружения и пожаротушения.

Завершающим этапом является анализ результата и корректировка мероприятий безопасности. Полученные данные должны использоваться для совершенствования режимов эксплуатации, технического обслуживания и профилактических мероприятий.

Эффективность защитного воздействия определяется своевременностью реагирования на выявленное опасное отклонение и соответствием выбранного мероприятия характеру возникающей опасности. При этом необходимо учитывать не только достигнутое значение контролируемого параметра, но и скорость его изменения, продолжительность отклонения и взаимосвязь с другими технологическими показателями. Такой подход позволяет повысить обоснованность принятия решений и обеспечить переход от общего контроля состояния резервуара к адресному управлению конкретным видом пожарной опасности.

Предлагаемая структура может быть представлена следующей последовательностью:



1-График. Сравнительная оценка уровня пожарного риска до и после совершенствования системы предупреждения пожаров.

Согласно представленному графику, после совершенствования системы предупреждения пожаров наблюдается снижение уровня всех рассмотренных факторов



пожарного риска. Наиболее выраженная положительная динамика отмечается для факторов, связанных с наличием источников зажигания, утечками нефтепродуктов и образованием опасной концентрации паров. Снижение также прослеживается по факторам перегрева нефтепродукта, роста давления в резервуаре, перелива нефтепродукта и снижения эффективности противопожарной защиты.

В целом графическая оценка показывает, что применение риск-ориентированного подхода обеспечивает снижение влияния основных факторов пожарной опасности. Это достигается за счёт последовательного контроля технологических параметров, своевременного выявления опасных отклонений, оценки пожарного риска, формирования предупреждающих сигналов и реализации защитных мероприятий.

Таким образом, риск-ориентированный подход позволяет своевременно выявлять опасные отклонения, оценивать уровень пожарного риска и принимать необходимые защитные меры. Полученные результаты используются для совершенствования контроля, технического обслуживания и профилактики, что способствует повышению пожарной безопасности резервуаров для хранения нефтепродуктов.



2-График. Динамика изменения остаточного пожарного риска на этапах совершенствования системы предупреждения пожаров.

Последующая передача информации на этап формирования предупреждения позволяет своевременно инициировать защитное воздействие. Реализация автоматических или оперативных мер направлена на ограничение развития опасного процесса и снижение вероятности возникновения пожара или взрыва. Завершающий этап предусматривает анализ полученного результата и корректировку защитных мероприятий, что обеспечивает непрерывность процесса управления пожарным риском.



Данная последовательность позволяет сформировать замкнутый цикл управления пожарным риском, в котором результаты контроля и анализа используются для последующей корректировки предупредительных и защитных мероприятий. В отличие от традиционного подхода, ориентированного преимущественно на реагирование после возникновения пожара, предлагаемая модель предусматривает выявление предпосылок опасного развития процесса и принятие предупредительных мер до перехода опасного состояния в пожар или взрыв.

Особое значение в предлагаемой системе имеет цифровой мониторинг технического состояния резервуаров. Использование современных средств автоматического контроля, обработки и передачи данных создаёт возможность своевременно выявлять изменения контролируемых параметров и формировать предупредительные сигналы. В рамках настоящего исследования цифровизация контроля технического состояния резервуаров рассматривается как одно из направлений совершенствования системы предупреждения пожаров и повышения уровня промышленной безопасности.

Предлагаемый риск-ориентированный подход объединяет контроль технологических параметров, выявление опасных отклонений, оценку пожарного риска, формирование предупреждения, реализацию защитного воздействия и последующий анализ результата. Это обеспечивает переход от реагирования на последствия к превентивному управлению пожарным риском в резервуарах для хранения нефтепродуктов [5].

Таким образом, совершенствование системы предупреждения пожаров в резервуарах для хранения нефтепродуктов должно осуществляться комплексно. Отдельное техническое средство не обеспечивает полноценного управления пожарным риском без его интеграции с системой мониторинга, оценкой риска, организационными процедурами и комплексом противопожарной защиты.

Заключение. На основе проведённого анализа обоснована необходимость совершенствования системы предупреждения пожаров в резервуарах для хранения нефтепродуктов на основе риск-ориентированного подхода. Предлагаемая система предусматривает взаимосвязанное выполнение контроля технологических параметров, выявления опасных отклонений, оценки пожарного риска, формирования предупреждения, реализации защитного воздействия и анализа полученных результатов. Практическая значимость предлагаемого подхода заключается в возможности повысить своевременность выявления пожароопасных состояний, обоснованность профилактических мероприятий и эффективность управления безопасностью резервуарных парков. Перспективным направлением дальнейших исследований является



разработка количественной модели оценки пожарного риска резервуаров, определение критических значений контролируемых параметров и разработка алгоритма автоматизированного раннего предупреждения пожароопасных состояний.

Литература

1. Волков О. М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. — М.: Недра, 1984. — 151 с.
2. Назаров В. П., Корольченко Д. А., Швырков С. А. и др. Особенности оценки уровня пожаровзрывоопасности резервуаров перед проведением огневых работ.
3. Трифонов К. И., Ларионов А. С. Оценка вероятности возникновения пожара в резервуаре с мазутом на второй промплощадке ОАО «Завод им. Дегтярева» // Пожарная безопасность. — 2011. — № 1. — С. 42–44.
4. Руководство по безопасности. Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. — Ростехнадзор, 2022.
5. Белов Д. А., Иванов В. А., Земенкова М. Ю. Цифровизация при контроле технического состояния резервуаров для нефтепродуктов в системе обеспечения промышленной безопасности // Тюменский научный журнал. — 2025. — № 4. — С. 32–37.