

УДК 614.849

АДАПТАЦИЯ СИСТЕМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ К ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ МАЗУТА: СТРАТЕГИИ И ТЕХНОЛОГИИ

Аксенов С.Г.

*д-р э.н., профессор,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,
РФ, г. Уфа*

Николаев В.А.

*студент,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,
РФ, г. Уфа*

Аннотация

В статье рассматривается проблема повышения эффективности систем пожаротушения для резервуаров, предназначенных для хранения мазутов и других высоковязких нефтепродуктов. Обосновывается необходимость учёта специфических физико-химических свойств мазута — высокой вязкости, склонности к образованию термических волн, риска паровых взрывов и повторного воспламенения, — которые делают традиционные методы тушения недостаточными. Анализируются современные подходы, включая применение термостойких и биоразлагаемых пенообразователей, подповерхностную подачу огнетушащих веществ, интеграцию с автоматизированными системами раннего обнаружения, а также многоуровневые модульные схемы защиты.

Ключевые слова: мазут, резервуары хранения нефтепродуктов, пожарная безопасность.

ADAPTATION OF FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS TO THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF FUEL OIL: STRATEGIES AND TECHNOLOGIES

Aksyonov S.G.

*Doctor of Economics, Professor,
Ufa University of Science and Technology,*

Ufa, Russian Federation

Nikolaev V.A.

Student,

Ufa University of Science and Technology,

Ufa, Russian Federation

Annotation

The article discusses the problem of increasing the efficiency of fire extinguishing systems for tanks intended for storing fuel oil and other highly viscous petroleum products. The necessity of taking into account the specific physico-chemical properties of fuel oil — high viscosity, tendency to form thermal waves, risk of steam explosions and re—ignition, which make traditional extinguishing methods insufficient, is substantiated. Modern approaches are analyzed, including the use of heat-resistant and biodegradable foaming agents, subsurface supply of fire extinguishing agents, integration with automated early detection systems, as well as multi-level modular protection schemes.

Keywords: fuel oil, oil products storage tanks, fire safety.

Резервуары, предназначенные для хранения мазутов и других высоковязких нефтепродуктов, представляют собой объекты повышенной пожарной опасности в силу ряда физико-химических и эксплуатационных особенностей. Мазуты, несмотря на относительно высокую температуру вспышки, при нагреве до критических значений способны поддерживать устойчивое горение с интенсивным выделением тепла и формировать сложные термические режимы, затрудняющие локализацию и ликвидацию пожара. Традиционные системы пожаротушения, разработанные для резервуаров с лёгкими нефтепродуктами, зачастую оказываются недостаточно эффективными при работе с мазутами из-за их специфических свойств — высокой вязкости, склонности к образованию термических волн и способности к повторному воспламенению даже после внешнего затухания пламени. В этих условиях актуальным становится совершенствование существующих и разработка новых подходов к проектированию и

эксплуатации систем пожаротушения, ориентированных именно на специфику мазутных резервуаров.

Одной из ключевых особенностей горения мазута является неоднородность температурного поля по глубине слоя. При длительном воздействии пламени на поверхности происходит прогрев нижележащих слоёв, что может привести к формированию так называемых «термических волн» — зон повышенной температуры, движущихся вглубь объёма. При контакте такой волны с водой, попавшей в резервуар (например, из систем охлаждения или дождевых осадков), возможен резкий паровой взрыв с выбросом горячей массы за пределы резервуара. Это явление, известное как «кипящая жидкость с взрывным испарением» (BLEVE-подобный эффект), значительно увеличивает зону поражения и усложняет действия пожарных подразделений. Поэтому системы пожаротушения должны не только подавлять пламя, но и предотвращать условия, способствующие возникновению подобных термодинамических неустойчивостей [1].

Современные подходы к повышению эффективности пожаротушения мазутных резервуаров основаны на комплексном воздействии на три основных компонента процесса горения: топливо, окислитель и цепные реакции. В отличие от лёгких фракций, где основной упор делается на подавление паровоздушной смеси, при тушении мазута критически важным становится управление температурным режимом самой горючей среды. Это достигается за счёт применения охлаждающих пенных составов с высокой термостойкостью, способных удерживаться на поверхности вязкой жидкости и обеспечивать длительную изоляцию от кислорода. Особое внимание уделяется стабильности пены при высоких температурах и её способности к самовосстановлению после механических повреждений [2].

Технология подачи огнетушащего вещества также требует адаптации под условия горения мазута. Классические методы поверхностного нанесения пены могут быть неэффективны из-за высокой плотности и вязкости горячей среды, что затрудняет распространение пенного слоя. В этой связи всё большее распространение получают методы подповерхностной подачи пены через специальные насадки, расположенные ниже уровня жидкости. Такой подход позволяет создавать пенный ковёр непосредственно внутри объёма, что способствует более равномерному распределению и лучшей адгезии к поверхности мазута. Однако применение

подповерхностной подачи требует тщательного учёта реологических свойств мазута и плотности пены, чтобы избежать её разрушения при прохождении через вязкую среду.

Важным направлением повышения эффективности является также использование многофункциональных пенообразователей, сочетающих в себе свойства охлаждения, изоляции и ингибирования цепных реакций горения. Современные синтетические и фторсодержащие пены демонстрируют высокую устойчивость к термическому разрушению и способны эффективно тушить даже высокотемпературные очаги. При этом особое внимание уделяется экологической безопасности составов, поскольку применение токсичных компонентов может привести к загрязнению окружающей среды при аварийных разливах. В последние годы наблюдается устойчивая тенденция к переходу на биоразлагаемые пенообразователи на белковой или полисахаридной основе, не уступающие по эффективности синтетическим аналогам [4].

Интеграция систем пожаротушения с автоматизированными средствами обнаружения и диагностики позволяет значительно сократить время реакции на возгорание. Для резервуаров с мазутом особенно важна ранняя диагностика — на стадии самонагрева или появления локальных очагов. Использование тепловизионных камер, газоанализаторов и акустических датчиков позволяет фиксировать аномалии задолго до возникновения открытого пламени. Автоматическая активация системы пожаротушения в такой момент может предотвратить переход в режим устойчивого горения и снизить объём необходимых ресурсов для локализации инцидента.

Охлаждение стенок резервуара остаётся неотъемлемой частью комплексной защиты. При пожаре на соседних резервуарах или при интенсивном излучении от горячей поверхности стенки могут нагреваться до критических температур, что угрожает их потере устойчивости и последующему разрушению. Системы охлаждения, как правило, реализуются в виде стационарных водяных спринклеров или мониторов, орошающих боковую поверхность. Однако при тушении мазута важно избегать попадания больших объёмов воды непосредственно в резервуар, что требует чёткого зонирования систем охлаждения и пожаротушения [5].

Эффективность всей системы во многом определяется её надёжностью и готовностью к немедленному применению. Резервуарные парки часто расположены в удалённых или труднодоступных районах, где время прибытия подразделений пожарной охраны может быть значительным. Поэтому автономность и отказоустойчивость стационарных систем пожаротушения приобретают первостепенное значение. Регулярное техническое обслуживание, испытания на работоспособность и использование дублирующих линий подачи огнетушащих веществ позволяют минимизировать риски отказа в критический момент [2].

Современные проектные решения всё чаще предполагают использование модульных систем, сочетающих в себе несколько типов воздействия — пенные, водяные, инертные газы и даже аэрозольные составы. Такой многоуровневый подход обеспечивает гибкость реагирования на различные сценарии развития пожара и повышает общую устойчивость объекта защиты. При этом выбор конкретной конфигурации должен основываться на детальном анализе физико-химических характеристик хранимого мазута, климатических условий и архитектурных особенностей резервуарного парка [3].

Не менее важным аспектом является подготовка персонала и отработка аварийных сценариев. Даже самая совершенная автоматическая система требует грамотного сопровождения и вмешательства при нештатных ситуациях. Регулярные учения, тренинги и использование симуляторов позволяют персоналу быстро и точно реагировать на сигналы тревоги, а также корректно взаимодействовать с прибывающими подразделениями внешней пожарной охраны. Культура безопасности должна включать в себя не только знание технологий, но и понимание физических процессов, протекающих при горении мазута.

Развитие стандартов и нормативной базы также играет ключевую роль в повышении эффективности систем пожаротушения. Традиционные нормы, разработанные десятилетия назад, не всегда учитывают современные реалии хранения и особенности новых марок мазутов. В этой связи необходима постоянная актуализация требований с привлечением данных экспериментальных исследований и опыта ликвидации реальных аварий. Это позволит обеспечить соответствие проектируемых систем реальным угрозам и избежать избыточных или, напротив, недостаточных мер защиты [5].

В перспективе можно ожидать дальнейшего внедрения «умных» систем пожаротушения, основанных на принципах цифровых двойников и искусственного интеллекта. Такие системы смогут в реальном времени моделировать развитие пожара с учётом текущих параметров мазута, погодных условий и состояния оборудования, а затем автоматически выбирать оптимальную стратегию подачи огнетушащих веществ. Это не только повысит эффективность тушения, но и снизит экономические и экологические издержки, связанные с избыточным расходом ресурсов.

Также растёт интерес к комбинированным составам, в которых пенообразователи модифицируются наночастицами или полимерными добавками для улучшения адгезии, термостойкости и скорости формирования пенного ковра. Хотя такие технологии пока находятся на стадии лабораторных испытаний, их потенциал для применения в условиях хранения высоковязких сред выглядит многообещающе. Важно, однако, обеспечить не только эффективность, но и совместимость таких составов с материалами резервуаров и систем подачи [2].

В заключение следует подчеркнуть, что повышение эффективности систем пожаротушения для резервуаров с мазутами — это не просто техническая задача, а комплексная проблема, требующая синтеза знаний из области термодинамики, химии горения, материаловедения и системного инжиниринга. Только интегрированный подход, сочетающий современные материалы, интеллектуальные системы управления и высокую квалификацию персонала, способен обеспечить надёжную защиту таких критически важных объектов инфраструктуры.

Таким образом, совершенствование систем пожаротушения резервуаров с мазутами должно основываться на глубоком понимании специфики горения высоковязких сред, применении адаптированных технологий подачи огнетушащих веществ и постоянной модернизации как технических, так и организационных компонентов безопасности.

Библиографический список

1. Аксенов С.Г., Муртазин Д.А. Технология пожаротушения тонкораспыленной водой // Журнал прикладных исследований. 2024. № 10. С. 81-86.

2. Аксенов С.Г., Семёнов С.И. Анализ пожарной безопасности на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности: стратегии, вызовы и инновации // Экономика строительства. 2023. № 11. С. 214-217.

3. Власова Г.В., Сальникова Т.В., Пивоварова Н.А. Участие химических реагентов в изменении физико-химических свойств мазута // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2023. №1. С. 29-36.

4. Степанова Т. В, Гончаров В. М., Чернышева Е. А., Амиров Н. Н. Изменение физико-химических свойств нефтяного сырья в зависимости от остаточной концентрации реагентов, применяемых для нефтеотдачи пласта // Химическая технология. 2006. № 4. С. 11-15.

5. Попадин Н. В., Прохоров Е. М., Нурахмедова А. Ф., Тараканов Г. В. Некоторые аспекты нейтрализации сероводорода в остаточных углеводородных топливах // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2014. № 2 (58). С. 31-41.