

УДК 614.849

**КОНСТРУКТИВНАЯ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ
ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ****Аксенов С.Г.**

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

Ибрагимова Р.Р.

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

Аннотация. Данная статья представляет собой комплексный обзор проблемы пожарной опасности, связанной с эксплуатацией промышленных трубопроводов, оснащенных тепловой изоляцией. Проводится анализ ключевых факторов, формирующих указанный риск: свойства современных теплоизоляционных материалов, конструктивные особенности изоляционных конструкций, условия эксплуатации и нормативно-методические подходы к оценке. Рассмотрены существующие методы испытаний, их ограничения и новые принципы нормирования, основанные на оценке поведения всей конструкции в условиях реального пожара, а не исключительно на горючести материалов. Особое внимание уделено комплексным решениям, позволяющим совместить требования энергоэффективности и пожарной безопасности.

Ключевые слова: пожарная опасность, промышленные трубопроводы, тепловая изоляция, горючесть материалов, огневые испытания, нормативное регулирование, распространение пламени.

**STRUCTURAL FIRE SAFETY OF THERMALLY INSULATED INDUSTRIAL
PIPELINES****Aksyonov S.G.**

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

Ufa, Russian Federation

Ibragimova R.R.

Student,

Ufa University of Science and Technology,

Ufa, Russian Federation

Annotation. This article provides a comprehensive review of the fire hazard problem associated with the operation of industrial pipelines equipped with thermal insulation. An analysis is made of the key risk-forming factors: properties of modern thermal insulation materials, design features of insulation structures, operating conditions, and regulatory and methodological approaches to assessment. Existing test methods, their limitations, and new regulatory principles based on assessing the behavior of the entire structure under real fire conditions, rather than solely on material combustibility, are considered. Particular attention is paid to integrated solutions that allow combining energy efficiency requirements and fire safety.

Keywords: fire hazard, industrial pipelines, thermal insulation, material combustibility, fire tests, regulatory framework, flame spread.

Промышленные трубопроводы, транспортирующие различные технологические среды, представляют собой неотъемлемую часть инфраструктуры предприятий энергетики, химической, нефтегазовой и многих других отраслей. Одним из обязательных элементов подобных систем является тепловая изоляция, основная задача которой заключается в минимизации тепловых потерь, поддержании заданного технологического температурного режима и защите персонала от ожогов. Однако сама конструкция утепленного трубопровода при определенных условиях способна стать источником повышенной пожарной опасности или фактором, способствующим развитию и распространению пожара. Пожарная опасность теплоизолированных трубопроводов носит комплексный характер и определяется не только свойствами применяемых материалов, но и взаимодействием всех элементов конструкции в условиях экстремального

теплового воздействия. Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена широким внедрением высокоэффективных, но зачастую горючих полимерных утеплителей, старением существующих сетей, а также одновременным ужесточением требований как к энергосбережению, так и к промышленной безопасности. Настоящий обзор посвящен систематизации знаний о природе пожарной опасности промышленных трубопроводов с тепловой изоляцией, анализу факторов риска и современных подходов к ее оценке и минимизации.

Пожарная опасность конструкции начинается со свойств материалов, используемых в ее составе. Традиционно для тепловой изоляции трубопроводов применялись в основном негорючие материалы на минеральной основе, такие как минеральная вата. Современные тенденции энергосбережения стимулируют использование высокоэффективных полимерных материалов, к которым относятся пенополиуретан, вспененный полиэтилен и фенольные пены. Данные материалы обладают низкой теплопроводностью и отличными эксплуатационными характеристиками, но их существенным недостатком является горючесть. Согласно действующему законодательству и национальным стандартам, строительные материалы, включая теплоизоляционные, классифицируются по группам горючести: от негорючих до сильногорючих. Ключевыми нормируемыми показателями пожарной опасности, помимо самой горючести, являются воспламеняемость, способность к распространению пламени по поверхности, дымообразующая способность и токсичность продуктов горения. Для полимерных утеплителей характерны группы горючести от слабо- до сильногорючих, что накладывает законодательные ограничения на их применение, особенно при надземной и канальной прокладке трубопроводов вблизи зданий, на эстакадах или в галереях. Однако практика показывает, что нормирование исключительно по показателю групповой горючести материала зачастую не отражает реального поведения сложной инженерной конструкции в условиях пожара. Один и тот же материал может демонстрировать разное поведение в зависимости от толщины слоя, плотности, наличия и типа защитного покрытия, а также пространственной ориентации конструкции. Более того, даже изначально негорючая изоляция в процессе длительной эксплуатации может пропитываться горючими технологическими жидкостями при негерметичности фланцевых соединений, превращаясь в горючую среду и потенциальный источник пожара. Таким образом, оценка пожарной

опасности только по сертификатам на материалы представляется недостаточной [1].

Ключевым фактором, определяющим развитие пожара на трубопроводе, является способность конструкции к распространению пламени за пределы первичного очага зажигания. Именно данный показатель в полной мере характеризует процесс развития пожара на протяженных линейных объектах. На распространение пламени влияет комплекс параметров. Во-первых, данные свойства пары «теплоизоляционный материал – защитное покрытие». Защитное покрытие, выполняемое обычно из оцинкованной стали, алюминия или стеклопластика, играет решающую роль не только в механической и гидрозащитной функции, но и в пожарном поведении конструкции. Оно может как сдерживать развитие горения, так и способствовать ему в зависимости от своей собственной горючести и температурной стойкости. Во-вторых, критическое значение имеет пространственное расположение трубопровода. Скорость распространения пламени по вертикальным поверхностям всегда выше, чем по горизонтальным, что делает вертикальные участки и стояки наиболее уязвимыми. В-третьих, важны мощность и время воздействия внешнего источника зажигания, а также плотность лучистого теплового потока. Проведенные исследования позволили выявить основные параметры, моделирующие жесткие условия пожара, к которым относится плотность теплового потока около 47 киловатт на квадратный метр при времени воздействия 15-20 минут. Натурные огневые испытания, в ходе которых трубопроводы с различными типами изоляции подвергались воздействию пламени, показали, что корректно спроектированные конструкции, включающие даже горючий утеплитель в комбинации с негорючим защитным кожухом, могут не распространять пламя в заданных условиях ни в горизонтальном, ни в вертикальном положении. Аналогичный результат демонстрируют системы с утеплителями умеренной горючести и металлическим покрытием. Данный факт свидетельствует о том, что пожаробезопасность является свойством не материала, а всей конструкции в целом, достигаемым за счет инженерного подбора и сочетания слоев [2,3].

Существующая нормативная база, основанная на устаревших принципах, зачастую становится препятствием для внедрения современных энергоэффективных решений. Действующие нормы строго ограничивают применение теплоизоляционных материалов с высокой и нормальной

горючестью для надземной прокладки на многих объектах. Такой односторонний подход, фокусирующийся лишь на характеристике исходного материала, не учитывает реального поведения конструкций и тормозит технологическое развитие. В ответ на указанную проблему научным и экспертным сообществом предлагается принципиально новый подход к нормированию. Его суть заключается в переходе от оценки горючести материала к сертификации пожарной опасности готовой теплоизоляционной конструкции на основании результатов стандартизированных огневых испытаний. Данный метод позволяет дифференцированно подходить к оценке и давать научно обоснованные рекомендации по применению тех или иных систем на конкретных объектах. Подобные испытания уже проводятся в рамках добровольной сертификации, и их результаты показывают, что многие комбинации материалов, ранее не допускавшиеся формально, на практике являются пожаробезопасными. Предложенный подход открывает возможности для расширения области применения высокоэффективных полимерных утеплителей для надземных и канальных прокладок без ущерба для уровня безопасности, что соответствует государственным задачам по повышению энергоэффективности и надежности трубопроводных систем.

Важнейшим инструментом объективной оценки являются методы испытаний. Классические лабораторные методы направлены на определение группы горючести материала в стандартных условиях на малогабаритных плоских образцах. Однако для теплоизоляционных материалов, особенно выпускаемых в форме трубок или цилиндров, данные методы имеют серьезные ограничения. Плотность материалов и их форма не всегда корректно учитываются стандартной методикой, что может приводить к неоднозначным или неточным результатам. Для получения данных, адекватно отражающих поведение конструкции в реальном пожаре, необходимы крупномасштабные натурные или полунатурные испытания. Разработанные методики предполагают испытание полноразмерного фрагмента трубопровода в вертикальном положении, что представляет собой наиболее жесткий сценарий. На образец воздействуют стандартизированным тепловым потоком, после чего фиксируют параметры распространения пламени, такие как длина или площадь повреждения. На основе полученных данных конструкции классифицируют как распространяющие или не распространяющие пламя. Подобный подход позволяет моделировать условия, максимально приближенные к реальным, и учитывать все значимые

факторы: свойства материалов, геометрию, расположение и мощность внешнего воздействия [4].

Помимо прямого горения изоляции, существуют косвенные механизмы возникновения пожароопасных ситуаций, связанные с деградацией изоляционной конструкции в процессе эксплуатации. Главным из указанных механизмов является коррозия под изоляцией. При нарушении герметичности защитного покрытия, происходящем из-за механических повреждений, коррозии швов или некачественного монтажа, внутрь конструкции может проникать влага. Теплоизоляционный материал намокает, его эффективность резко падает, а на поверхности металлической трубы создаются идеальные условия для развития коррозии. Для трубопроводов, транспортирующих горючие вещества, ускоренная коррозия ведет к снижению прочности стенки и повышает риск разгерметизации и последующего воспламенения выброса. В случае с паропроводами или трубопроводами горячей воды постоянное увлажнение старой минераловатной изоляции также способно привести к ее разрушению и потере функциональности. Особую опасность представляют химически агрессивные компоненты, которые могут выделяться из некоторых изоляционных материалов при контакте с влагой. Например, водорастворимые хлориды при контакте с нержавеющей сталью могут провоцировать стресс-коррозионное растрескивание, приводящее к внезапному хрупкому разрушению. Таким образом, противопожарная защита трубопроводов неотделима от задач обеспечения долговечности и коррозионной стойкости всей конструкции, что требует комплексного подхода на стадиях проектирования, выбора материалов и монтажа.

В качестве перспективных направлений минимизации пожарной опасности можно выделить несколько стратегий. Во-первых, данными направлениями являются разработка и применение новых материалов с улучшенными пожаротехническими характеристиками, например, слабогорючих полимерных утеплителей, модифицированных эффективными антипиренами, или комбинированных материалов. Во-вторых, ключевое значение имеет проектирование конструкций, в которых горючий утеплитель полностью и надежно изолирован от возможного источника зажигания негорючим, герметичным и долговечным защитным покрытием. Современные решения предполагают использование кожухов из оцинкованной или нержавеющей стали с надежными системами замковых

соединений и герметиками. В-третьих, необходим переход на риск-ориентированное регулирование, при котором допустимость применения той или иной конструкции обосновывается результатами ее полномасштабных огневых испытаний, а не формальным соответствием материалов устаревшим спискам. Данный переход требует доработки и внедрения соответствующих национальных стандартов. В-четвертых, для эксплуатируемых сетей критически важен регулярный диагностический контроль состояния тепловой изоляции и защитных покрытий для своевременного выявления увлажнения, повреждений и очагов коррозии. Применение систем мониторинга влажности и температуры внутри изоляции позволяет перейти от планово-предупредительного ремонта к ремонту по фактическому состоянию, предотвращая развитие опасных процессов [5].

Пожарная опасность промышленных трубопроводов с тепловой изоляцией представляет собой многоплановую проблему, лежащую на стыке материаловедения, теплофизики, строительной механики и нормативного регулирования. Основной вывод современных исследований заключается в том, что пожаробезопасность является атрибутом не отдельного материала, а всей изоляционной конструкции в целом. Поведение указанной конструкции в условиях пожара определяется сложным взаимодействием свойств утеплителя и защитного покрытия, геометрических параметров, пространственного расположения и условий внешнего теплового воздействия. Существующая практика нормирования, основанная преимущественно на классификации горючести исходных материалов, устарела и не отражает реальной картины, сдерживая внедрение энергоэффективных технологий. Выходом является развитие и законодательное закрепление методологии, основанной на сертификации пожарной опасности готовых конструкций по результатам стандартизированных натуральных огневых испытаний. Данный подход, сочетаемый с применением современных материалов, качественным проектированием и монтажом, а также эффективной системой эксплуатационного контроля, позволяет достичь оптимального баланса между требованиями энергосбережения и пожарной безопасности, что представляет собой насущную задачу для модернизации промышленной инфраструктуры.

Библиографический список

1. Аксенов С.Г., Вагапова А.М., Синагатуллин Ф.К. Анализ и оценка пожарной опасности объекта хранения нефтепродуктов // Экономика строительства. 2023. № 5. С. 52-55.
2. Аксенов С.Г., Сайнашев М.Э. Анализ и оценка пожарной опасности мясоконсервного комбината // Экономика строительства. 2023. № 11. С. 86-88.
3. Ушков В.А., Сокорева Е.В., Горюнова А.В., Демьяненко С.А. Пожарная опасность фосфорсодержащих жестких заливочных пенополиуретанов // Вестник МГСУ. 2018. №12 (123). С. 1524-1532.
4. Низамов Т.А., Алимухамедов М.Г., Магруппов Ф.А. Разработка композиций жестких пенополиуретанов на основе олигоэтиленадипинатфуранолов // Universum: технические науки. 2019. №9 (66). С. 67-70.
5. Фахрисламов Р. З., Белых А. Ф., Корольченко А. Я., Кузнецов С. Ю. Пожарная опасность теплоизолированных трубопроводов // Пожаровзрывобезопасность. 2010. №12. С. 27-30.