УДК 614.849

***ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРА ПРОЛИВА НА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРУБОПРОВОДЫ: МЕТОД ДЛЯ
ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АВАРИЙ И ПОВЫШЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ***

Аксенов С.Г.

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

Утарбаев З.Х.

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

Аннотация

В статье представлена о важности разработки метода оценки влияния пожара пролива горючих жидкостей на технологические трубопроводы, являющегося важным аспектом обеспечения промышленной безопасности на опасных производственных объектах. Рассмотрены основные факторы теплового воздействия пожара, включая плотность теплового потока, температурное распределение в стенке трубопровода и изменение механических свойств металла при нагреве. Предложен возможный алгоритм комплексной оценки, включающий анализ сценариев пожара, термическое и механическое моделирование состояния трубопровода, прогнозирование аварийных последствий и разработку мер по повышению устойчивости систем. Метод может быть использован при проектировании, эксплуатации и модернизации технологических объектов нефтегазовой, химической и энергетической отраслей с целью предотвращения вторичных аварийных ситуаций и минимизации рисков для персонала, оборудования и окружающей среды.

Ключевые слова: пожар пролива, технологические трубопроводы, тепловое воздействие, термический анализ.

***ASSESSMENT OF THE IMPACT OF A SPILL FIRE ON TECHNOLOGICAL
PIPELINES: A METHOD FOR ACCIDENT PREVENTION AND
IMPROVEMENT OF INDUSTRIAL SAFETY***

Дневник науки | www.dnevnika.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

Aksyonov S.G.

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

Utarbaev Z.Kh.

*Student,
Ufa University of Science and Technology,
Russian Federation, Ufa*

Abstract

The article presents the importance of developing a method for assessing the impact of fire and the spillage of flammable liquids on technological pipelines, which is an important aspect of ensuring industrial safety at hazardous production facilities. The main factors of the thermal effect of a fire are considered, including the density of the heat flow, the temperature distribution in the pipeline wall and the change in the mechanical properties of the metal during heating. A possible algorithm for a comprehensive assessment is proposed, including the analysis of fire scenarios, thermal and mechanical modeling of the pipeline condition, forecasting of emergency consequences and the development of measures to improve the stability of systems. The method can be used in the design, operation and modernization of technological facilities in the oil and gas, chemical and energy industries in order to prevent secondary emergencies and minimize risks to personnel, equipment and the environment.

Keywords: strait fire, technological pipelines, thermal impact, thermal analysis.

Пожары, связанные с проливом горючих жидкостей — одна из наиболее опасных аварийных ситуаций на объектах нефтегазовой, химической и энергетической отраслей. Пролив легко воспламеняющихся веществ может произойти вследствие разгерметизации оборудования, ошибок персонала или внешних воздействий. При этом особую угрозу представляет воздействие

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

открытого пламени и высокотемпературного теплового потока на технологические трубопроводы, которые могут находиться в непосредственной близости от очага возгорания. В таких условиях происходит интенсивный нагрев металлических конструкций, снижение их прочностных характеристик, что может привести к деформации, разрушению трубопровода и дальнейшему распространению аварии.

Поэтому разработка метода оценки влияния пожара пролива на состояние технологических трубопроводов является актуальной задачей обеспечения промышленной безопасности и предотвращения вторичных последствий чрезвычайных ситуаций. Такая оценка должна учитывать физико-механические свойства материалов, геометрию трубопроводов, параметры теплообмена между пламенем и поверхностью трубы, а также динамику развития температурного поля во времени [1].

Первым этапом разработки подобного метода является анализ условий возникновения и развития пожара пролива. Проливы горючих жидкостей (бензин, дизельное топливо, нефть и её производные) при попадании на поверхность образуют тонкий слой, который быстро испаряется и формирует взрывоопасную парогазовую смесь. Однако если источник зажигания присутствует, начинается процесс горения, сопровождающийся выделением большого количества тепла. Температура пламени при горении углеводородов может достигать 1000–1300 °С, что создаёт значительную тепловую нагрузку на окружающие конструкции, включая технологические трубопроводы.

Для моделирования теплового воздействия необходимо определить плотность теплового потока, поступающего на поверхность трубопровода. Эта величина зависит от площади пролива, скорости горения, расстояния до трубопровода, направления и силы ветра, а также наличия защитных экранов или других препятствий. На практике используются эмпирические и полуэмпирические формулы для расчёта радиационного теплового потока от пламени. Например, широко применяется модель Густафссона, позволяющая оценить уровень теплового излучения в зависимости от расстояния до источника и его мощности [3,4].

Следующим важным аспектом является термический анализ трубопровода. При воздействии высокой температуры металл начинает нагреваться, что вызывает изменение его структуры и механических свойств. Стальные трубы, используемые в большинстве технологических систем,

имеют предел текучести, который значительно снижается при температурах выше 400–500 °С. Уже при 600 °С прочность стали может упасть более чем на 50%, что делает конструкцию уязвимой к внутреннему давлению транспортируемой среды или даже собственному весу [2].

Для прогнозирования температурного состояния трубопровода необходим расчёт теплопередачи от внешнего источника к материалу трубы. Это включает в себя:

- конвективный и радиационный теплообмен между пламенем и поверхностью;
- теплопроводность материала стенки трубы;
- теплообмен с внутренней стороны — через теплоноситель или окружающую среду внутри трубопровода [2].

Такие расчёты проводятся с использованием численных методов, например, метода конечных элементов (МКЭ), который позволяет моделировать температурное поле в реальном времени и учитывать нестационарные условия нагрева. Современные программные комплексы, такие как ANSYS, COMSOL Multiphysics, Fire Dynamics Simulator (FDS), позволяют создавать детализированные модели пожара и его воздействия на оборудование [3].

Важно также учитывать наличие теплоизоляционного покрытия трубопроводов. Во многих случаях трубопроводы защищены огнезащитными составами или оболочками, которые замедляют процесс нагрева металла. Оценка эффективности такого покрытия требует знания его толщины, коэффициента теплопроводности и способности сохранять целостность под действием открытого пламени. Для точной оценки поведения изоляции при пожаре необходимо проведение натурных испытаний или использование стандартных данных огнестойкости материала.

Ещё одним ключевым моментом является оценка механической устойчивости трубопровода при нагреве. После определения температурного распределения в стенке трубы рассчитываются напряжения и деформации, возникающие под действием термического расширения и внутреннего давления. Если эти параметры превышают допустимые значения, существует риск выпучивания, растрескивания или разрушения трубопровода. Расчёты

выполняются согласно нормативным документам, таким как API RP 2A, EN 1993-1-2 (Еврокод 3), ASME BPVC или отраслевым стандартам [1,4].

Особое внимание уделяется вероятности вторичного выброса содержимого трубопровода при его разрушении. Если трубопровод транспортирует горючее вещество под давлением, то его повреждение может привести к выбросу топлива или газа, что в свою очередь может стать причиной вторичного пожара, взрыва или увеличения масштаба аварии. Поэтому в рамках метода оценки необходимо моделировать возможные сценарии аварий и прогнозировать развитие событий после повреждения трубопровода.

Для практического применения метода оценки разрабатывается алгоритм, включающий следующие этапы:

1. Анализ сценариев пожара пролива : определение возможных мест пролива, объёмов горючего вещества, площади очага.
2. Расчёт теплового воздействия : моделирование уровня теплового излучения на трубопровод.
3. Термический анализ трубопровода : расчёт изменения температуры стенки во времени.
4. Механическая оценка состояния : определение напряжений, деформаций и риска разрушения.
5. Прогнозирование аварийных последствий : оценка вероятности разгерметизации и вторичных эффектов.
6. Рекомендации по повышению устойчивости : выбор мероприятий по защите трубопроводов (изоляция, удаление источников возгорания, автоматическое тушение и т.п.).

На основе этого алгоритма возможно создание программного инструментария, позволяющего оперативно оценивать риски и принимать решения по предотвращению аварий. Такие системы могут быть внедрены в системы управления безопасностью промышленных предприятий, а также использоваться при проектировании новых объектов.

Кроме того, разработанный метод должен предусматривать возможность адаптации под конкретные условия эксплуатации: тип трубопровода,

транспортируемый продукт, климатические факторы, степень защищённости оборудования. Это особенно важно при работе на территориях с повышенной пожарной нагрузкой, таких как морские платформы, нефтебазы, химические заводы и АЗС.

Таким образом разработка метода оценки влияния пожара пролива на технологические трубопроводы играет ключевую роль в обеспечении комплексной промышленной безопасности. Она позволяет заранее выявлять уязвимые участки, разрабатывать меры по предотвращению аварий и минимизации их последствий. Интеграция современных вычислительных технологий, аналитических моделей и нормативной базы открывает новые возможности для повышения устойчивости промышленных объектов к внешним термическим воздействиям и обеспечивает более высокий уровень защиты персонала, оборудования и окружающей среды.

Библиографический список

1. Аксенов С.Г., Гайзетдинова А.М. Анализ и оценка обеспечения пожарной безопасности на предприятиях пищевой промышленности на примере предприятий по изготовлению сиропа // Экономика строительства. - 2023, № 6. - С. 30-33.
2. Еремина Т. Ю. Обзор программного обеспечения расчета огнестойкости строительных конструкций для различных моделей пожаров // Пожаровзрывобезопасность/ Fire and Explosion Safety. 2020 Т. 29. № 3. С.44-53.
3. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. / В. М. Ройтман // Ассоциация «Пожарная безопасность и наука». - 2001. - 382 с.
4. Фадеев В. Е. Исследование предела огнестойкости экранных стен / В. Е. Фадеев // Пожарная безопасность. - 2019. - № 2. - С. 49-53.

Оригинальность 75%