

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

ЗАЙЦЕВ В. А., БУЛАВКА Ю. А., КОЖЕМЯТОВ К. Ю.

Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Республика Беларусь

**Аннотация.** Исследование в области анализа состояния промышленной безопасности при проектировании и эксплуатации технологических трубопроводов нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств в настоящее время является остроактуальным в связи с тем, что большая часть аварийных ситуаций происходит именно на технологических трубопроводах. В данной статье рассмотрены причины аварий на НПЗ и направления повышения уровня промышленной безопасности.

**Ключевые слова.** Коррозия; система проектирования; технологические трубопроводы; аварийность.

## ANALYSIS OF THE STATE OF INDUSTRIAL SAFETY IN THE OPERATION AND DESIGN OF TECHNOLOGICAL PIPELINES

ZAITSEV V., BULAUKA Y., KOZHEMYATOV K.

Polotsk State University, Novopolotsk, Republic of Belarus

**Annotation.** Research in the field of analysis of the state of industrial safety in the design and operation of technological pipelines of oil refining and petrochemical industries is currently urgent due to the fact that most of the emergencies occur precisely on technological pipelines. This article discusses the causes of accidents at refineries and directions of increasing the level of industrial safety.

**Keywords.** Corrosion; design system; technological pipelines; accident rate.

Высокая опасность при эксплуатации и проектировании НПЗ обусловлена существенным риском возникновения аварийных ситуаций, которые сопровождаются выбросами нефти и нефтепродуктов в окружающую среду. Вместе с тем, наиболее крупные аварии происходят в результате прорывов (разгерметизации) трубопроводов.

Несмотря на существенные меры в области обеспечения пожарной и промышленной безопасности, по-прежнему регистрируется высокая аварийность по объектам нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей, которая в большей степени связана с длительной эксплуатацией и низким качеством технологического оборудования, подверженного коррозионному и механическому износу, а также наличием в сырье значительного количества сернистых соединений [1, 2].

Распределение аварийных ситуаций на объектах нефтепереработки по видам технологического оборудования, выполненное на примере НПЗ различных стран приведено в таблице 1 [2, 3, 4].

Таблица 1 – Распределение аварийных ситуаций на объектах нефтепереработки

Виды оборудования	Количество аварий и инцидентов, % от общего числа		
	Белорусский НПЗ	Японский НПЗ	Российский НПЗ
Технологические трубопроводы, соединения, арматура	15	12	32
Насосно-компрессорное оборудование	28	19	18
Емкости, аппаратура	13	15	15
Технологические печи	7	11	12
Ректификационные и вакуумные колонны	3	11	12
Резервуарные парки	3	4	4
Прочие	31	28	7

Из таблицы 1 видно, высокая вероятность возникновения аварий и инцидентов не только связанных с эксплуатацией насосно-компрессорного оборудования, которые преобладают в общей структуре машин и оборудования и на типовом НПЗ составляют около 35% всего оборудования, но и на технологических трубопроводах, соединениях и арматуре. При этом на российских НПЗ, как свидетельствуют данные [3], более 32% аварий и инцидентов регистрируется именно при эксплуатации технологических трубопроводов, соединений и арматуры.

Причинами аварии на технологических трубопроводах, как правило, является нарушение его герметичности с последующей утечкой содержимого нефтепродукта в окружающую среду. Нарушение герметичности трубопровода проявляется в виде свищей, трещин, разрывов трубопровода, повреждений арматуры и т.п.

К причинам разгерметизации технологических трубопроводов относят: остаточные напряжения в материале трубопроводов в совокупности с напряжениями, возникающими при монтаже (сварке) и ремонте; температурные деформации; гидравлические удары; вибрация; превышение температуры и (или) давления; образование трещин сварных швов и околошовных зон; коррозию металла; неправильный подбор или установку прокладок; недостаточную затяжку крепежа фланцевых соединений и т.п.

Физический износ, механические повреждения или температурная деформация трубопроводов могут привести как к частичному, так и к полному разрушению трубопроводов и возникновению аварийной ситуации любого масштаба.

Механические повреждения чаще всего возникают при монтажных работах, которые могут привести к частичному разрушению трубопровода с разливом нефтепродукта и последующим взрывом и (или) пожаром.

Способствовать возникновению аварии на технологических трубопроводах могут не только технические неполадки, из-за которых происходит отступление технологических параметров от регламентных значений, но и человеческий фактор (неквалифицированные, нескоординированные, несогласованные и ошибочные действия персонала; низкий уровень трудовой дисциплины; нарушение технологического регламента или проекта по проведению работ; отступление от требований проекта при ремонтных работах; некачественный монтаж и проведение ремонтных работ; недостаточный контроль за ведением работ повышенной опасности, в том числе проведение огневых работ на неподготовленном месте) и внешние воздействия техногенного или природного характера.

При рассмотрении технических причин различают две группы факторов, которые влияют на повреждения технологических трубопроводов: снижение несущей способности трубопровода и увеличение нагрузок на трубопроводы и (или) воздействий на них.

Значительную долю причин аварий, регистрируемых на технологических трубопроводах НПЗ в последние годы составляют скрытые дефекты различного происхождения: металлургические, сварочные, механические, коррозионные. Дефекты

усугубляют ситуацию в том случае, если допущены конструктивные ошибки либо просчеты, а также возможны перегрузки, такие как гидроудары, перенапряжения, нарушена защита от коррозии.

Воспламенение нефтепродуктов при разгерметизации технологических трубопроводов НПЗ обусловлено нагретой до высокой температуры поверхности оборудования; отсутствием защиты от статического электричества и грозových разрядов; открытого огня от незатушенных печей либо газозлектросварочных работ; искр от неисправного оборудования; повышения температуры при трении; самовоспламенения продуктов.

Анализ статистических данных [1-5] показывает, что аварийные ситуации на технологических трубопроводах НПЗ в значительной степени связаны с коррозионно-эрозионным износом, обусловленным наличием агрессивных компонентов, присутствующих в высокосернистой нефти, хлорорганических соединений и вспомогательных реагентов.

Под коррозией металлов понимают процесс разрушения металла или изменение его свойств в результате химического, электрохимического, физико-химического взаимодействия с окружающей средой, что связано с термодинамической неустойчивостью конструкционных материалов к воздействию веществ, которые находятся в контактирующей среде. Процесс коррозии начинается с поверхности металла и распространяется вглубь его. Для технологических трубопроводов НПЗ характерны такие виды коррозии как точечная, щелевая, межкристаллитная, коррозионное растрескивание под напряжением, растрескивание под действием напряжений в сульфидсодержащей среде, водородное охрупчивание, коррозии под действием щелочной воды с содержанием сероводорода.

Технологические трубопроводы НПЗ, как правило, предназначены для транспортировки нефтепродуктов с высокой коррозионной активностью. В связи с этим, сроки службы технологических трубопроводов и оборудования бывают значительно ниже нормативных и составляют от 2 до 15 лет. Значительный риск коррозионного разрушения технологических трубопроводов НПЗ, обуславливает необходимость комплексного подхода на стадии разработки его проекта с учетом свойств перекачиваемого продукта.

Для защиты технологических трубопроводов НПЗ от коррозии рекомендуется:

- применять стальные термообработанные трубы с повышенной коррозионной стойкостью (при возможности с полимерным покрытием и изоляцией);
- использовать трубы с большей толщиной стенки по сравнению с расчетной;
- применять, по возможности, жаропрочные (15Х5М-У), коррозионно-стойкие стали (12Х18Н10Т) и т.п.;
- наносить антикоррозионное покрытие на трубы;
- применять для сварных швов термоусаживающиеся материалы, предназначенные для антикоррозионной защиты сварных соединений;
- предусматривать обогрев трубопровода (во избежание замерзания нефтепродукта с последующим разрывом трубопровода);
- производить сварку и контроль сварных стыков трубопроводов согласно правилам безопасной эксплуатации технологических трубопроводов, ГОСТ 5264-80, ГОСТ 16037-80, ГОСТ 11534-75;
- испытывать трубы пробным гидравлическим давлением и иметь данные в паспорте о величине гидроиспытания (пневмоиспытания);
- рассчитывать срок службы трубопроводов согласно ГОСТ 32388-2013;
- иметь паспорта для каждого трубопровода со всеми внесенными данными.

На этапе проектирования необходимо подбирать наиболее рациональное решение, эффективность которого оценивается как с точки зрения стоимости, так и с точки зрения надежности и безопасности при эксплуатации технологических трубопроводов НПЗ. Потенциальные аварийные ситуации в настоящее время моделируются при помощи современных компьютерных программ, анализируются методами HAZID (идентификации опасностей) и HAZOP (анализа надежности и работоспособности), что позволяет обеспечить

квалифицированное принятие технических и технологических решений на всех стадиях проектирования.

Процесс проектирования технологических трубопроводов НПЗ заключается в разработке проектной документации. Современные технологии компьютерного проектирования строятся на новом подходе к проектированию, когда вместо традиционного набора чертежей проекта, создается единый трехмерный чертеж, так называемая, 3D-модель, которая несет в себе следующую информацию:

- геометрические параметры (размеры, расположение, объем и т.д.);
- физические параметры (масса, материал и т.д.);
- присвоенные (назначенные) параметры (имя, сечение, маркировка, ГОСТ и т.д.).

3D-моделирование – процесс создания визуальной трёхмерной модели объекта с помощью специализированных программ. В настоящее время возможности компьютерных программ позволяют создавать 3D-модели объектов производства с высокой степенью детализации. Лидером в этой области проектирования, применяемые в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, является компания Autodesk. Разработки проектов в 3D позволят сократить сроки их выполнения за счет следующего:

1. Организация совместной работы над проектом из разных точек с различными специализациями и квалификацией проектировщиков. Работа с трехмерными моделями дает возможность одновременно работать инженерам с 3D-моделью и базой данных проекта с доступом отдельных специалистов (или структур) и групп к каким-либо разделам проекта; работать на основе единых каталогов и классов (так называемых «миникаталогов»); своевременно передавать данные между другими инженерами; возможность удалённой работы над проектом, что особенно актуально в период сложной эпидемиологической ситуации.

2. Применение оперативных методов проектирования позволяет быстро выполнять проектирование. Трёхмерная система позволяет обеспечивать автоматизацию различных процессов, начиная от поиска геометрии технологического трубопровода и выбора его элементов из каталога, заканчивая автоматическим созданием чертежа; моментально вносить изменения в проект (путем внесения изменений только в трёхмерную модель и базу данных проекта, после чего программа сгенерирует чертёж в других разделах проекта); большой выбор редактирования (при 3D-моделировании поддерживаются инструменты редактирования, которые сохраняют целостность всей модели и упрощают внесение изменений; например, при изменении расположения оборудования компьютерная программа может самостоятельно изменять геометрию трубопровода со всеми элементами).

Для улучшения качества новых проектов можно использовать встроенные функции обнаружения коллизий (наложение кадров). Предусмотренные в системе 3D-моделирования данный инструмент позволяет обнаружить и устранить пересечения элементов проекта (трубопроводов, строительных конструкций, оборудования и т.п.). С помощью данной функции можно уменьшить количество данных ошибок и тем самым снизить затраты на их последующее устранение в процессе монтажа.

Проектирование с использованием 3D-моделей базируется на основе принципов:

- проектирование посредством моделирования (автоматическая генерация данных);
- использование «умных» объектов (автоматический расчет и вывод данных);
- организация сквозного потока информации (учет всей информации от стадии проектирования до монтажа).

При этом, трёхмерная модель создается благодаря совместной работе над новым проектом проектировщиков с разной направленностью, что снижает долю субъективного аспекта риска. Следует отметить, что на отечественных НПЗ недостаточно широко внедрены системы 3D-моделирования, несмотря на все имеющиеся преимущества. 3D-модель позволяет собрать и обработать всю информацию об объекте в процессе проектирования и строительства, наблюдать за выполнением хода работы с точной детализацией с помощью

сетевого графика. На его основе производится разработка плана мероприятий с учетом эффективного использования ресурсов по заданным критериям.

Использование современных технологий при проектировании технологических трубопроводов НПЗ позволит получить объективную информацию о степени опасности проектируемого объекта, на основе которой, в последующем, возможно ранжирование прилегающих территорий по уровню риска, выявление зоны и территорий, где необходимо ужесточение производственного контроля и разработка эффективных превентивных мер по снижению риска аварийных ситуаций и обеспечения безопасности производственного персонала и населения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kozhemyatov K.Y. The improving of the safety level of the equipment working under excessive pressure /K.Y. Kozhemyatov, Y.A. Bulauka// Topical Issues of Rational Use of Natural Resources 2019-Litvinenko (Ed), 2020 Taylor & Francis Group, London - DOI:10.1201/9781003014638, .-Volume 2 - P.822-831.
2. Kozhemyatov K.Y. Analysis of equipment life cycle at oil refinery/ K.Y. Kozhemyatov, Y A Bulauka, // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 687.- art. No 066038.- DOI:10.1088/1757-899X/687/6/066038.
3. Краснов А.В. Статистика чрезвычайных происшествий на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности за 2007-2016 гг. / Краснов А.В., Садыкова З.Х, Пережогин Д.Ю., Мухин И.А.// Электронный научный журнал нефтегазовое дело. – 2017. –УГНТУ – №6 – С. 179-191.
4. Булавка Ю.А. Апостериорная оценка состояния аварийности на нефтеперерабатывающем предприятии/ Булавка Ю.А., Смиловенко О.О., Коваленко П.В., Сташевич Е.В. // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки.– 2012 . – № 9. С.122-128.
5. Ходжаев Г.К. Оценка риска аварийности нефтепроводных систем в аспекте геодинамических процессов: Монография. – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2016. – с. 132.