

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМ И МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА ГАЗА

Курасов О.А.

Научный руководитель - профессор П.В. Бурков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Большое количество эксплуатируемых опасных производственных объектов (ОПО) промышленной инфраструктуры трубопроводного транспорта газа (в частности газопроводы и резервуары для хранения смеси природных газов) приближаются к своему первоначальному проектному сроку службы или уже превысили его. Месторождения природного газа по-прежнему производят значительное количество сырья, которое может быть извлечено, если срок эксплуатации этих месторождения будет продлен. Таким образом, объекты этой инфраструктуры рассматриваются с точки зрения их использования сверх запланированного срока службы. Однако, если сосредоточиться на соображениях безопасности, состояние систем, конструкций и элементов может быть неприемлемым для их длительной эксплуатации. Наряду с повышением эксплуатационных характеристик газораспределительных сетей, существенно возросли и требования к их безопасности. Целью данного исследования является обсуждение руководящих принципов оценки и продления ресурса безопасной эксплуатации ОПО для обеспечения технической и эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта газа, а также определение и описание механизмов, из-за которых происходит снижение физической и функциональной долговечности ОПО, с учетом человеческого, природного и техногенного факторов на всех стадиях жизненного цикла. Закономерности механизмов старения обеспечат основу для продления ресурса безопасной эксплуатации ОПО применительно к объектам газовой промышленности.

Необходимость учитывать аспекты безопасности обусловлена масштабными угрозами пожара, взрыва и загрязнения окружающей среды в условиях объективной невозможности полного устранения разрушения объектов транспорта и хранения углеводородов.

Эксплуатационная эффективность таких объектов должна быть сосредоточена на диагностике технических систем, используя крупнейшие базы данных оценки рисков на промышленных предприятиях. Оценка аварийности в процессе эксплуатации ОПО, в том числе для случаев воздействия специфических нагрузок, в настоящее время является одной из актуальных задач обеспечения безопасной эксплуатации объектов газовой промышленности, необходимых для прогнозирования ресурса по результатам наблюдений за их состоянием в процессе эксплуатации.

Перспективные газотранспортные системы (ГТС) отличает использование прогрессивных и в то же время сложных конструкторских и технологических решений. Использование в конструкциях новых высокопрочных материалов обеспечивает возможность их работы в условиях высоких уровней статических, циклических и динамических нагрузок, широких диапазонов температур и воздействий агрессивных сред.

Процессы старения и деградации, происходящие в конструкционных материалах и элементах газопроводов (коррозия, эрозия, распространение трещин и т.д.), приводят к развитию различных геометрических дефектов, влияющих на общие характеристики работоспособности эксплуатируемых и перспективных объектов систем трубопроводного транспорта углеводородов. В связи с этим возникает необходимость получения информации о размерах таких дефектов и их состояниях на каждом из временных этапов. Смоделированные в научных лабораториях данные, отражающие закономерности развития и «поведение» процессов деформирования и разрушения металлов, являются основой для безопасного определения остаточного ресурса и времени на техническое освидетельствование или ликвидацию аварийных последствий чрезвычайных ситуаций.

Основной задачей технической диагностики и мониторинга состояния объектов ГТС, испытывающих постоянные природно-климатические и эксплуатационные нагрузки, является своевременная оценка технического состояния объектов газификации при их функционировании в пределах заданных проектных режимов работы и параметров. Результаты контроля и испытаний служат основой для оценки остаточного ресурса трубопровода и резервуара, а также выбора наиболее эффективного типа технического обслуживания и ремонта. В соответствии с принципом упреждающего технического обслуживания ОПО, категория «условных предельных состояний», – переходов от исходных штатных к предельным состояниям, – может охватывать условия, реализация которых не обязательно требует использования по прямому назначению или вывода из эксплуатации элементов ГТС. Эти состояния служат «уровнями», которые запускают ряд мероприятий, направленных либо на техническое перевооружение эксплуатируемых объектов ГТС, либо на поддержание их технического состояния и целостности.

Комплексные подходы по нормированию и управлению функционированием объектов ГТС направлены на оптимизацию этих «уровней» путем изучения вероятностей достижения предельных состояний несущих элементов рассматриваемых объектов [2]. Оценка вероятности возникновения отказов и аварийных ситуаций является ключом к обеспечению безопасности, прочности и ресурса объектов ГТС. Определение оставшегося времени достижения объектом определенного критического или предельного состояния позволяет оптимизировать временные и стоимостные затраты на обслуживание и ремонт ГТС, не создавая необоснованных рисков нарушения их целостности, и принимать обоснованные управленческие решения о выборе критериев критического или предельного состояния (отказ, авария или катастрофа) для проектных, запроектных и гипотетических ситуаций.

Большинство аварийных ситуаций, связанных с разрушением несущих конструкций, являются результатом человеческих ошибок при проектировании, строительстве и эксплуатации производственных объектов нефтегазового комплекса. Эти ошибки формируют внутренний (объектный) риск аварии, уровень которого влияет не только на срок службы (ресурс) объекта, но и на масштаб повреждений в случае аварии. Проектирование и строительство ОПО на

безопасном расстоянии от объектов, где присутствуют люди, являются наилучшими мерами защиты населения от катастрофических последствий.

Вероятность человеческой ошибки также должна быть включена в оценку рисков и учитываться на различных этапах функционирования ОПО в течение всего их жизненного цикла. Кроме того, оценка риска, связанного с частотой человеческих ошибок, должна включать сценарии, в которых происходит изменение в распределении вероятностей несущей способности и внешних нагрузок, а также в предельных состояниях конструкций из-за большого числа вероятностей возникновения внештатных ситуаций.

Анализ риска аварий представляет собой инструмент для количественной оценки ущерба и планирования мероприятий по защите подвергшихся воздействию работников и людей в прилегающих районах. Определение уязвимой зоны потенциального ущерба посредством сравнительной характеристики известных уровней воздействия позволит оценить отдельные показатели защищенности, риска и безопасности по параметрам прочности и ресурса, которые зависят от эволюции сценариев развития неблагоприятных ситуаций. Стоит отметить, что для управления рисками в чрезвычайных ситуациях и для решения проблем промышленной безопасности необходимо рассматривать только случайные события с высокой вероятностью их возникновения, но первоочередным, однако, является количественное определение приемлемых показателей безопасности, риска и защищенности [1].

Риски $R(\tau)$, сформированные на определенной стадии жизненного цикла τ , оцениваются в соответствии с вероятностью $P(\tau)$ отказов, аварийных или катастрофических ситуаций и ущербам $U(\tau)$ как

$$R(\tau) = P(\tau) \cdot U(\tau). \quad (1)$$

Функция риска лучше всего подходит для оценки безопасности оборудования, поскольку она содержит оценки потенциальных потерь. Ущерб $U(\tau)$ ОПО, как правило, рассчитывается исходя из спектра выполняемых работ, поэтому следует использовать универсальный метод сравнительной оценки риска на каждом из этапов жизненного цикла оборудования.

Обеспечение требуемого уровня технической и эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта газа может быть достигнуто путем анализа чрезвычайных ситуаций. При работе технических систем аварийная ситуация является проявлением технологических опасностей. В целом, случаи несчастных ситуаций и происшествий должны быть исследованы на предмет травм и бедствий различных масштабов, произошедших в течение определенного периода во время эксплуатации объектов промышленной инфраструктуры. Наиболее эффективный способ снижения уровня риска для каждого объекта – использование промышленных стратегий управления безопасностью, где рассматриваются численные критерии «приемлемости риска», зависящие от эффективности технологического процесса. Анализ аварий является эмпирической основой для принятия техногенных мер безопасности при количественной оценке рисков.

Приемлемые риски $[R(\tau)]$, основанные на изучении критических отказов, инцидентов и катастроф, распределяются в соответствии с наиболее серьезными, жизненно важными параметрами $P_k(\tau)$, $U_k(\tau)$, $R_k(\tau)$, с запасом риска n_R ($n_R \geq 1$)

$$[R(\tau)] = \frac{R_k(\tau)}{n_R} = \frac{P_k(\tau) \cdot U_k(\tau)}{n_R}. \quad (2)$$

Определение количественного значения приемлемого риска касается, главным образом, установления приоритетов в деятельности, позволяющей наиболее эффективно повышать безопасность, а не принципов, формирующих представление о целях безопасности, которые в конечном итоге должны быть достигнуты.

Обеспечение безопасности с помощью функции риска должно удовлетворять следующему условию:

$$S(\tau) > 0 \text{ при } R(\tau) \leq [R(\tau)]. \quad (3)$$

Сложность в реализации условия (3) заключается в необходимости вероятностных моделей прогнозируемых нагрузок, напряжений и прочности отдельных компонентов системы. Кроме того, необходимо установить приемлемую норму риска $[R(\tau)]$, что может быть очень проблематичным в настоящее время из-за отсутствия достаточной статистики потерь.

Современные оценки рисков и продления сроков безопасной эксплуатации ОПО отражают новый подход в управлении их работоспособности. Это может быть достигнуто путем научно обоснованного использования подходов линейной и нелинейной механики деформаций и разрушений, анализа рисков, обоснования безопасной эксплуатации ОПО и предотвращения аварий на них [3]. Базовый комплекс стандартов прочности, ресурса и безопасности объектов хранения и транспорта природного газа должен включать последовательное выполнение этих соотношений с учетом структурных, технологических и эксплуатационных параметров.

Литература

1. Makhutov N. A., Abrosimov N. V., Gadenin M. M. Provision of safety-the priority in the sphere of fundamental and applied research // *Ekonomicheskie i Sotsialnye Peremeny*. – 2013. – № 27. – С. 39.
2. Махутов Н. А., Гаденин М. М. Фундаментальные закономерности техногенной безопасности в обосновании перспективных газотранспортных систем // *Вести газовой науки*. – 2018. – № 2 (34).
3. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Печеркин А.С., Красных Б.А. Расчетно-экспериментальные подходы к анализу и обеспечению ресурса и срока безопасной эксплуатации промышленных объектов// *Безопасность труда в промышленности*. — 2020. — № 1. — С. 7-15. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-1-7-15