

# **АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ**

**Е.М. Богданова;**

**А.Н. Иванов, кандидат технических наук, доцент;**

**Н.А. Мороз, кандидат технических наук.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены методы оценки и анализа информации о состоянии резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, а также проблемы обеспечения их техногенной безопасности. Показано, что одним из путей решения этих проблем является введение коэффициента техногенной безопасности.

*Ключевые слова:* резервуар, резервуарный парк, эксперт, стандарты безопасности, техногенная безопасность

## **ANALYTICAL REVIEW OF METHODS FOR THE ASSESSMENT AND ANALYSIS OF INFORMATION ABOUT THE CONDITION OF TANKS FOR STORAGE OF OIL AND OIL PRODUCTS**

**E.M. Bogdanova; A.N. Ivanov; N.A. Moroz.**

**Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**

Methods of an assessment and the analysis of information on a condition of tanks for storage of oil and oil products, and also problems of ensuring their technogenic safety are considered. It is shown that one of solutions of these problems is introduction of the coefficient of technogenic safety.

*Keywords:* tank, reservoir park, expert, standards of safety, technogenic safety

Основным звеном системы транспортировки и хранения нефти и нефтепродуктов в России и за рубежом являются резервуарные парки. В нашей стране на сегодняшний день насчитывается более 40 000 резервуаров, имеющих разнообразные характеристики, типы, конструкции, вместимость и сроки эксплуатации (рис. 1).



**Рис. 1. Резервуар вместимостью 100 000 м<sup>3</sup> Каспийского трубопроводного консорциума «КТК-Р», г. Новороссийск**

Данные сооружения относятся к категории опасных производственных объектов. Соответственно оценка техногенной (пожарной и промышленной) безопасности резервуаров на этапе их проектирования, строительства и эксплуатации является одной из актуальных задач.

Тем более что на данном этапе развития нефтегазового комплекса нашей страны характерно не только старение существующего резервуарного парка, но и его постепенное обновление, что вызвано дальнейшим развитием топливно-энергетического комплекса, внедрением новых технологий и материалов, обеспечивающих возможность проектирования и возведения крупных резервуаров вместимостью до 120 000 м<sup>3</sup> [1].

Одна из самых крупных в России компаний по транспортировке нефти ОАО «АК «Транснефть» на сегодняшний день имеет более 22 млн кубометров резервуарных емкостей. Согласно долгосрочной программе ее развития до 2020 г. планируется строительство еще 125 резервуарных парков общим объемом 1 920 тыс. кубических метров. В то же время в компании имеется достаточно большое количество резервуаров, срок службы которых составляет больше 20 лет.

Поэтому, в целях обеспечения промышленной и пожарной безопасности резервуарных парков, необходим постоянный контроль их технического состояния, сбор и анализ информации для прогнозирования возможных чрезвычайных ситуаций. АО «Транснефть-Диаскан», являясь одним из структурных подразделений компании ОАО «АК «Транснефть», ежегодно диагностирует приблизительно 400 резервуаров. Все это снижает риск появления чрезвычайных ситуаций, вызванных техническим состоянием резервуаров.

Но, наряду с успехами в строительстве и эксплуатации резервуаров, обозначился и ряд проблем, в частности, в связи с внедрением индивидуального проектирования и отменой применяемых в 70–80 гг. прошлого века типовых (обязательных) проектов резервуаров. Это привело к тому, что качество новых объектов стало во многом зависеть от квалификации проектировщиков и объективности проводимых экспертиз промышленной и пожарной безопасности проектов резервуаров. Таким образом, проблема безопасности резервуаров на этапе проектирования зависит, в том числе и от опыта экспертов. Это связано с тем, что проектирование, включая проведение экспертизы проекта, является достаточно сложным процессом и требует высокой квалификации специалистов.

Анализ стандартов по безопасности показывает, что их требования могут быть обязательными, рекомендуемыми и допускающими отклонения. Формой выражения требований являются текстовые описания количественного или качественного характера.

Качественные требования описываются словесно, например, «...при наличии на резервуаре пожарной системы орошения конструкция колец жесткости должна обеспечивать орошение стенки ниже уровня кольца» (ПБ 03-605-03, п. 3.6.8). К ним также обычно относят требования к материалам (указания марок сталей, болтов, электродов и т.д.), к монтажу и испытаниям («...Центральный щит крыши, закрепленный на монтажной стойке, должен находиться в горизонтальной плоскости»).

Количественные требования, задаваемые в численном выражении, тоже не всегда могут быть экспертом оценены однозначно. Например, «...Для деталей толщиной 4–5 мм катет углового сварного шва должен быть равен 4 мм. Для деталей большей толщины катет углового шва определяется расчетом или конструктивно, но должен быть не менее 5 мм» (ПБ 03-605-03, п. 3.1.5.5).

Перевод качественных требований в числовое выражение связан с большими трудностями и практически не возможен ввиду недостатка современных знаний. В этих условиях необходима интеллектуальная поддержка лицу (эксперту), принимающему решение о соответствии резервуара нормам техногенной безопасности, которая должна быть выражена в форме официальной методики оценки техногенной безопасности резервуаров для нефти и нефтепродуктов.

Детальный анализ правовых основ оценки техногенной безопасности резервуаров дан в работе А.А. Олейника [2], который констатировал, что «...отсутствует нормативно-технический документ, специально предназначенный для оценки уровня техногенной безопасности резервуаров.

Распространение на резервуары отдельных положений рассмотренных документов не всегда корректно. Поэтому требуется разработка юридически самостоятельного документа по оценке техногенной безопасности резервуаров, учитывающего специфику их жизненного цикла...».

С тех пор (1998 г.) положение в этом вопросе практически не изменилось.

Таким образом, в настоящее время одной из актуальных задач является разработка и создание современной и эффективной методики, позволяющей объективно оценить техногенную безопасность резервуаров и резервуарных парков на любом этапе их жизненного цикла.

Следует сразу отметить, что в основу отечественных нормативных документов оценки техногенной безопасности положен зарубежный опыт. Таким образом, естественно отпадает традиционно возникающий вопрос о состоянии зарубежного опыта в этом вопросе.

В частности, в предисловии к ГОСТ Р 51901–2002 [3] прямо указано, что «...Настоящий стандарт гармонизирован с международным стандартом МЭК 60300-3-9:1995 «Dependability Management – Part 3: Application guide – section 9: Risk analysis of technological systems» – «Управление надежностью. Часть 3. Руководство по применению. Раздел 9. Анализ риска технологических систем».

В ГОСТ Р 51901–2002 [3] отражен современный практический опыт, накопленный в области выбора и применения методов анализа риска. Он носит общий характер, применим для многих отраслей и типов технических систем, допускает существование стандартов по методологии оценки и анализа риска иного уровня (для конкретных областей применения), если требования их не хуже его требований. Даны описания известных зарубежных методов HAZOP (Исследование опасности и связанных с ней проблем), FMEA (Анализ видов и последствий отказов), FTA (Анализ «дерева неисправностей»), ETA (Анализ «дерева событий»), PNA (Предварительный анализ опасности) и HRA (Оценка влияния на надежность человеческого фактора) с рекомендациями по их применению.

Метод HAZOP является формой анализа видов и последствий отказов (FMEA), представляет собой процедуру идентификации возможных опасностей по всему объекту в целом. Она особенно полезна при идентификации непредвиденных опасностей, заложенных в объекте вследствие недостатка информации при разработке, или опасностей, проявляющихся в существующих объектах из-за отклонений в процессе их функционирования. Наиболее распространенная форма исследования HAZOP осуществляется на стадии рабочего проекта и носит название исследования HAZOP II.

Метод FMEA – преимущественно качественный, но его можно представить и в количественной форме, основанный на вопросе «что случится, если ...?», каким образом каждый основной компонент (или часть) системы достигает аварийного состояния и как это влияет на аварийное состояние системы.

Метод FTA – совокупность качественных или количественных приемов, при помощи которых выявляются (методом дедукции), выстраиваются в логическую цепь и представляются в графической форме условия и факторы, которые способствуют нежелательному событию (называемому вершиной событий). Неисправностями или авариями, идентифицируемыми в «дереве», являются события, связанные с повреждениями механической конструкции компонента, ошибками персонала и т.д., которые влекут за собой нежелательное событие.

Метод ETA – совокупность приемов количественных или качественных, которые используются для идентификации возможных исходов инициирующего события и их вероятностей. Метод широко используется для снижения аварийности и позволяет выявлять последовательности событий, которые, в свою очередь, приводят к появлению определенных последствий инициирующего события. Предполагается, что каждое событие в последовательности представляет собой либо исправность, либо неисправность. Следует отметить, что вероятности на «дереве событий» являются условными вероятностями.

Метод PNA – индуктивный метод анализа, задачей которого является идентификация опасностей, опасных ситуаций и событий, которые могут причинить вред данной деятельности, объекту или системе. Чаще всего его принято проводить на ранней стадии разработки проекта, когда мало информации по деталям конструкции и рабочим процедурам, и зачастую он может быть предшественником последующих исследований. Кроме того, он полезен, когда анализируются существующие системы или устанавливаются приоритеты опасностей, где обстоятельства препятствуют использованию более обширной совокупности технических приемов.

Метод HRA дает оценку влияния человеческого фактора (операторов и обслуживающего персонала) на работу системы и может быть использован для оценки воздействия ошибок персонала на безопасность и производительность.

ГОСТ Р 51901–2002 не определяет тип метода анализа риска, который необходим для конкретной ситуации, но выдвигает к нему требования в части научной обоснованности, соответствия сложности и природе исследуемой системы; получения результатов в форме, обеспечивающей понимание природы риска и способов его контроля (возможности прослеживания, повторяемости и контроля результатов). В случае сомнений в уместности и пригодности метода необходимо провести сравнение его результатов с результатами альтернативных методов. При этом результаты вычислений должны быть сопоставимыми.

Кроме перечисленных выше, применяются также методы анализа «по списку» аварийных ситуаций и относительного ранжирования опасностей.

Метод анализа «по списку» аварийных ситуаций сводится к проверке наличия принятых в проекте решений по предотвращению характерных для данного производства аварий, представленных в виде списка (или требований правил, других нормативных документов). Этот метод применяется в нашей стране наиболее часто. Он основан на накопленном опыте эксплуатации подобных производств и сооружений. Однако имеет низкую эффективность, если создается новая технология, не имеющая аналогов.

Метод относительного ранжирования опасностей заключается в делении изучаемого объекта на независимые участки и установлении их относительной иерархии по степени опасности работ. В процессе анализа выявляются источники опасности (перечень опасных веществ и их количество), особенности технологии, компоновки оборудования, позволяющие выяснить способы реализации опасности, а также масштабы возможных последствий аварий. Недостатком метода является относительный характер и субъективизм оценки опасностей отдельных участков. Кроме того, он также опирается на прошлый опыт и не исключает пропуск специфических видов опасностей.

Наряду с рассмотренными методами, на предприятиях нефтегазовой отрасли промышленности применяются ведомственные методы оценки техногенной безопасности.

Подробные методические указания по проведению анализа риска при проектировании и эксплуатации опасных производственных объектов газотранспортных предприятий содержатся в нормативном документе ОАО «Газпром», введенном в действие в 2003 г. [4]. Он использует ранее рассмотренные процедуры РНА, HAZOP, FMEA, WHAT IF и другие подобные методы, применительно к конкретным объектам и техническим устройствам своей отрасли промышленности (насосы, компрессоры и т.д.), но в этом перечне отсутствуют интересующие нас резервуары.

Руководство ОАО «НК «Роснефть» своим приказом от 28 января 2004 г. № 9 ввело в действие документ «Правила технической эксплуатации резервуаров», в котором установлены сроки и подробно описан порядок контроля их технического состояния.

Естественно, что это касается объектов, уже находящихся в эксплуатации. Так как безопасность любого объекта закладывается на стадии проектирования, то в работе Н.А. Мороз [5] предлагается ввести интегрированный показатель оценки безопасности резервуаров и взять его за основу экспертной оценки проектов. Таким показателем может быть коэффициент техногенной безопасности (КТБ), полученный на основе системного анализа предметной области с использованием методов аналогии, анализа размерностей, надежности технических устройств и процессов:

$$КТБ = \frac{\gamma_j \sum_{i=1}^n (N_{OT_i} - x) + \gamma_k \sum_{i=1}^n (N_{PT_i} - y) + \gamma_m \sum_{i=1}^n (N_{DO_i} - z)}{\gamma_j \sum_{i=1}^n N_{OT_i} + \gamma_k \sum_{i=1}^n N_{PT_i} + \gamma_m \sum_{i=1}^n N_{DO_i}}, \quad (1)$$

где  $N_{OT_i}$ ,  $N_{PT_i}$ ,  $N_{DO_i}$  – соответственно количество обязательных, рекомендуемых требований и допускаемых отклонений, содержащихся в  $i$ -м нормативном документе;  $x$ ,  $y$ ,  $z$  – количество невыполненных требований по результатам экспертизы проекта;  $n$  – количество рассматриваемых нормативных документов;  $\gamma_j$ ,  $\gamma_k$ ,  $\gamma_m$  – веса значимости обязательных, рекомендуемых требований и допускаемых отклонений к техническому состоянию резервуара;  $\gamma_j \sum_{i=1}^n N_{OT_i}$ ,  $\gamma_k \sum_{i=1}^n N_{PT_i}$ ,  $\gamma_m \sum_{i=1}^n N_{DO_i}$  – сумма баллов оценки обязательных, рекомендуемых требований и допускаемых отклонений, содержащихся в нормативных документах.

Зависимость (1) справедлива только при экспертизе проекта, поэтому для оценки техногенной безопасности в ходе эксплуатации резервуаров предложено КТБ рассчитывать по формуле:

$$КТБ(t) = \frac{\gamma_i \sum_{i=1}^n (N_{OT_i} - x - x_{\text{э}}) + \gamma_k \sum_{i=1}^n (N_{PT_i} - y) + \gamma_m \sum_{i=1}^n (N_{DO_i} - z + x_{\text{э}})}{\gamma_i \sum_{i=1}^n N_{OT_i} + \gamma_k \sum_{i=1}^n N_{PT_i} + \gamma_m \sum_{i=1}^n N_{DO_i}}. \quad (2)$$

Символом  $X_{\text{э}}$  в формуле (2) обозначено количество возникших в ходе эксплуатации нарушений обязательных требований (ОТ), которые перешли в разряд допускаемых отклонений (ДО) при сохранении прежнего количества рекомендуемых требований (РТ).

Однако эта формула не учитывает поведение металла резервуара в процессе эксплуатации, поэтому с учетом ранее известной зависимости, отражающей старение стали (через изменение ударной вязкости), уравнение (2) примет окончательный вид:

$$KTB(t) = \frac{\gamma_i \sum_{i=1}^n (N_{OT_i} - x - x_{\text{э}}) + \gamma_k \sum_{i=1}^n (N_{PT_i} - y) + \gamma_m \sum_{i=1}^n (N_{DO_i} - z + x_{\text{э}})}{\gamma_i \sum_{i=1}^n N_{OT_i} + \gamma_k \sum_{i=1}^n N_{PT_i} + \gamma_m \sum_{i=1}^n N_{DO_i}} \cdot \exp(-0,0084t^2).$$

Эта зависимость способна отразить все изменения в техногенном состоянии резервуара за жизненный цикл, из чего следует универсальность и достоинство этого показателя в смысле адаптации ко всем фазам существования резервуара.

Коэффициент техногенной безопасности может служить объективным показателем техногенного состояния резервуара, если будет наперед задано его минимально допустимое значение, которое следует принять на уровне величины не менее 0,95. Оно, учитывая вероятностный характер коэффициента, будет отражать минимальную достоверность нахождения резервуара в техногенном состоянии, отвечающем потребностям практики.

### Литература

1. ГОСТ Р 52910–2008. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 15.10.2014).
2. Олейник А.А. Метод оценки уровня конструктивно-технологической взрывопожаробезопасности резервуаров для нефтепродуктов: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПб ИПБ МВД РФ, 1998.
3. ГОСТ Р 51901–2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем // SnipHelp.ru. URL: <http://www.sniphelp.ru> (дата обращения: 15.10.2014).
4. СТО РД Газпром 39-1.10-084-2003. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром» // Файловый архив – магистраль. URL: <http://www.npo-diar.ru> (дата обращения: 15.10.2014).
5. Мороз Н.А. Методика обработки и анализа информации при экспертной оценке проектов резервуаров для нефти и нефтепродуктов: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2009.