

# МЕТОДИКА ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЕКТА РЕЗЕРВУАРА ДЛЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

**Н. А. Мороз;**

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

**А. С. Поляков, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ. Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Проанализированы действующая нормативная база и опыт практической работы экспертов по оценке техногенной безопасности проектов резервуаров. Разработана оригинальная методика расчета. Используются современный математический аппарат и физический метод аналогии.

*Ключевые слова:* резервуары, техногенная безопасность проекта, нефтепродукты

Экспертные методы широко применяются в работе специалистов различных сфер деятельности [1] и, в частности, при экспертизе проектов резервуаров для нефти и нефтепродуктов на соответствие их нормам безопасности [2–4].

Известный опыт работы экспертных организаций свидетельствует, что подготовкой заключения экспертизы проекта резервуара занимается, как правило, один человек, и только на заключительной стадии (к рассмотрению результатов экспертизы) к участию привлекаются должностные лица (руководство экспертной организации, инспекторы и руководители региональных или федеральных органов надзора в области промышленной и пожарной безопасности). Следовательно, для проведения экспертизы проектов резервуаров для нефти и нефтепродуктов необходимы не любые экспертные методы, а методы, рассчитанные на эксперта-одиночку.

Трудность задачи, возлагаемой на эксперта-одиночку, состоит в количественной оценке результатов сравнения проектных решений с нормами, поскольку процедура выполнения ее в действующих документах детально не прописана [2,3]. Таким образом, качество будущего резервуара в части техногенной (пожарной и промышленной) безопасности напрямую зависит от качества проекта, оцениваемого экспертом-одиночкой.

Анализ показал, что применительно к резервуару типа РВС, правила [4] содержат требования трех уровней ответственности: обязательные (ОТ), рекомендуемые (РТ) и допускаемые отклонения (ДО). Каждый из этих уровней, в свою очередь, распространяется на пять разных, неоднородных по содержанию и значимости видов требований, относящихся к материалам, конструкции резервуаров, монтажу металлоконструкций и оборудованию для безопасной эксплуатации резервуаров. Каждый отдельный вид требований является соответствующим показателем качества проекта резервуара. Распределение этих требований характеризуется данными табл. 1.

Использование данных табл. 1 для комплексной количественной оценки техногенной безопасности резервуаров является трудной научной задачей ввиду ранее отмеченной неоднородности требований и их большого количества. Для решения таких задач, с целью уменьшения количества показателей оценки, обычно применяют способы аддитивной и мультипликативной свертки единичных показателей качества в комплексные (рейтинговые) показатели с соблюдением ряда правил [5], в том числе:

– в аддитивной свертке комплексный показатель качества образуется из суммы частных показателей с учетом веса слагаемых, при этом сумма последних должна быть равна единице;

– в мультипликативной свертке обобщенный комплексный показатель качества образуется из произведения частных показателей, возведенных в некоторые степени;

– слагаемые аддитивной свертки и сомножители мультипликативной свертки должны иметь одинаковую размерность.

Соблюдение перечисленных правил при наличии 174 разнородных и разной размерности требований (табл.1) практически невозможно. Необходимы упрощения для решения поставленной задачи, которые нами проведены на основе использования метода аналогий и исходя из следующих соображений (допущений):

– все элементы конструкции резервуара, с гидравлической точки зрения по отношению к хранимому в нем продукту, соединены параллельно, то есть подвергаются воздействию одновременно и в одинаковой степени;

– с позиций теории надежности технических устройств, относительно друг друга соединены последовательно, то есть выход любого из них приводит к потере техногенной безопасности всего резервуара.

Таблица 1. Состав требований к конструкции резервуаров типа РВС

Элементы конструкции резервуаров и их оборудования	Всего требований к РВС	Виды требований		
		ОТ	РТ	ДО
Общие положения	3	2	1	0
Материалы	9	8	1	0
Конструкция резервуаров	109	89	12	8
Монтаж металлоконструкций	34	13	0	21
Оборудование для безопасной эксплуатации резервуаров	19	16	2	1
Всего требований	N=174	N <sub>от</sub> =128	N <sub>рт</sub> =16	N <sub>до</sub> =30
Всего требований, в долях	1,00	0,73	0,09	0,18

Такой подход позволяет считать все элементы конструкции резервуара равнозначными в пределах предъявляемой группы требований (ОТ, РТ, ДО) и свести всю процедуру оценки техногенной безопасности к простому счету количества соблюдаемых или не соблюдаемых требований в пределах каждой группы.

В качестве аналога резервуара принят парк транспортных средств. При этом виды транспортных средств являются аналогами отдельных элементов конструкции резервуара (основания, днища, корпуса, крыши и оборудования безопасной эксплуатации). Этот прием позволяет решить поставленную задачу, поскольку для оценки технического состояния транспортных парков давно применяют широко известный количественный показатель – коэффициент технической готовности (КТГ). По аналогии с КТГ, для резервуара введен коэффициент техногенной безопасности КТБ =  $\frac{N_+}{N_{общ}}$ , где в числителе проставляется сумма

баллов соответствия (полного и частичного соблюдения требований), в знаменателе – максимально возможная сумма баллов конструкции резервуара, полностью (по всем позициям) отвечающего требованиям документа [4]. Для удобства выполнения расчетов применена следующая зависимость, содержащая одновременно признаки аддитивной и мультипликативной свертки:

$$КТБ = \gamma_j \cdot \sum_{i=1}^{i=n} (N_{отi} - x) + \gamma_k \cdot \sum_{i=1}^{i=n} (N_{рткi} - y) + \gamma_m \cdot \sum_{i=1}^{i=n} (N_{доi} - z) / (\gamma_j \cdot \sum_{i=1}^{i=n} N_{отi} + \gamma_k \cdot \sum_{i=1}^{i=n} N_{рткi} + \gamma_m \cdot \sum_{i=1}^{i=n} N_{доi}),$$

где  $\gamma_j, \gamma_k, \gamma_m$  – веса значимости соответственно обязательных и рекомендуемых требований, допускаемых отклонений к техническому состоянию резервуара;  $N_{отi}, N_{рткi}, N_{доi}$  –

соответственно количество обязательных и рекомендуемых требований, допускаемых отклонений от требований в  $i$ - том документе;  $x$ ,  $y$ ,  $z$  – количество невыполненных соответственно обязательных и рекомендуемых требований, допускаемых отклонений к техническому состоянию резервуара.

В нашем случае коэффициенты веса, придаваемые каждой группе показателей (ОТ, РТ, ДО), должен назначать сам эксперт-одиночка, решая задачу из области нечетких множеств [1]. Для этого рекомендуется использовать девятибальную шкалу Саати с присвоением показателя веса сравнения от 1 до 9 (с возможным применением и промежуточных значений: 2,4,6,8). Исходной информацией для построения функций принадлежности являются экспертные парные сравнения. Для каждой пары элементов универсального множества эксперт оценивает преимущество одного элемента над другим по отношению к свойству нечеткого множества.

Учитывая приведенные рекомендации и четкое разделение требований на три группы (ОТ, РТ, ДО), нами для каждой из них приняты следующие численные значения коэффициентов веса:  $\gamma_1 = 1,00$ ;  $\gamma_2 = 0,75$ ;  $\gamma_3 = 0,50$ . При назначении коэффициентов веса исходили из физической сущности требований. Коэффициент веса  $\gamma_1 = 1,00$  означает безусловное выполнение требований, коэффициент веса для допускаемых отклонений  $\gamma_1 = 0,50$  (или 50% вероятность выполнения), поскольку их влияние – равновероятно. Для рекомендуемых требований принят коэффициент  $\gamma_2 = 0,75$  из тех соображений, что его величина не может быть более значимости обязательного требования (в лучшем случае – равна ему) и менее значимости допускаемого отклонения.

Справедливость этого решения подтверждается результатами численного имитационного моделирования величины коэффициента техногенной безопасности (табл.2). В этой таблице: величины  $P_i(t)$ ,  $P_k(t)$ ,  $P_m(t)$  – точечные статистические оценки вероятности соблюдения соответствующих видов требований к техническому состоянию резервуара;  $\sum P_i(t)$  – суммарное значение статистических оценок; 1(M), 2(P1), 3(P2) – условное обозначение ряда коэффициентов веса требований. Из данных таблицы видно, что результат оценки не зависит от численных значений коэффициентов веса. Объяснение этому факту кроется в том, что доля обязательных требований к резервуару (73%) существенно превалирует над остальными требованиями.

Вместе с тем КТБ приобретает физическую и вероятностную сущность (указывает величину вероятности, с которой обеспечена техногенная безопасность проекта резервуара). Несмотря на то, что доля (73%) обязательных требований к резервуару существенно превалирует над остальными, доля последних тоже – существенна (27%) и значимость их – велика. Допустим, что в проекте выполнены все обязательные требования, но не выполнено ни одной рекомендации и наличествуют все допускаемые отклонения. В этой ситуации КТБ будет определяться только количеством обязательных требований и может оказаться очень низким (73%). Из этого следует, что доля обязательных требований в составе нормативного документа должна быть не менее 0,95.

Дальнейшая работа эксперта-одиночки строится в соответствии с алгоритмом, представленном на рисунке.

Таким образом, сущность методики оценки техногенной безопасности проекта резервуара (либо другого аналогичного технического устройства) сводится к совокупности следующих действий:

формирование базы знаний (на основе баз данных нормативных документов и расчетной аналитической зависимости коэффициента техногенной безопасности) с четким разделением требований нормативных документов, относящихся к рассматриваемому проекту, на три группы (обязательные, рекомендуемые и допускаемые отклонения от обязательных требований);

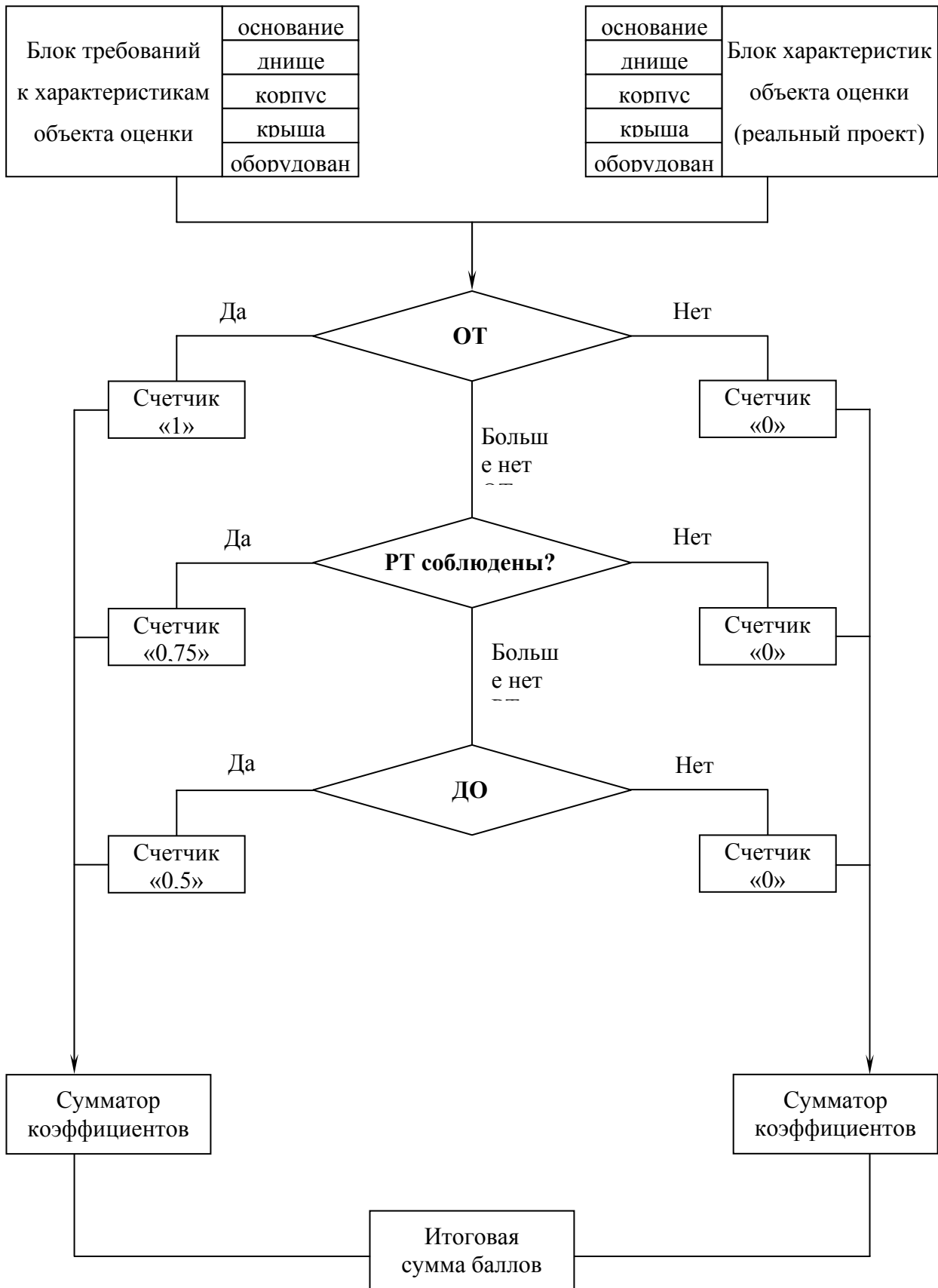
проведение сравнительного анализа выполнения требований нормативных документов в рассматриваемом проекте резервуара (либо другого аналогичного технического устройства) и регистрации результатов этого анализа;

расчет коэффициента техногенной безопасности и принятие решения о соответствии или несоответствии рассматриваемого проекта требованиям нормативных документов

**Таблица 2. Влияние коэффициентов веса видов требований на результат оценки техногенной безопасности резервуара**

Условное обозначение метода	Коэффициенты веса требований			Количество невыполненных требований			Статистические вероятности			$\sum P_i(t)$
	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	x	y	z	$P_i(t)$	$P_k(t)$	$P_m(t)$	
1(M)	1	0,75	0,50	0	0	0	0,83	0,07	0,10	1,00
2(P1)	7	5	3	0	0	0	0,84	0,08	0,08	1,00
3(P2)	6	4	2	0	0	0	0,86	0,07	0,07	1,00
1(M)	1	0,75	0,50	1	0	0	0,819	0,077	0,097	0,994
2(P1)	7	5	3	1	0	0	0,833	0,075	0,084	0,993
3(P2)	6	4	2	1	0	0	0,854	0,071	0,067	0,993
1(M)	1	0,75	0,50	1	1	0	0,819	0,073	0,097	0,989
2(P1)	7	5	3	1	1	0	0,833	0,07	0,084	0,989
3(P2)	6	4	2	1	1	0	0,854	0,067	0,067	0,989
1(M)	1	0,75	0,50	1	1	1	0,819	0,073	0,094	0,985
2(P1)	7	5	3	1	1	1	0,833	0,07	0,082	0,986
3(P2)	6	4	2	1	1	1	0,854	0,067	0,065	0,987
1(M)	1	0,75	0,50	2	0	0	0,813	0,077	0,097	0,987
2(P1)	7	5	3	2	0	0	0,827	0,075	0,084	0,987
3(P2)	6	4	2	2	0	0	0,848	0,071	0,067	0,987
1(M)	1	0,75	0,50	2	1	1	0,813	0,073	0,094	0,979
2(P1)	7	5	3	2	1	1	0,827	0,07	0,082	0,979
3(P2)	6	4	2	2	1	1	0,848	0,067	0,065	0,979

**Структура блока сравнения характеристик объекта оценки  
и требований к нему**



## Литература

1. Машиностроение. Энциклопедия /Под ред. К. В.Фролова. – Том III-7. – М., 1996.
2. ПБ 03-246-98 (с изменениями на 01.08. 2002 года). Правила проведения экспертизы промышленной безопасности.
3. ПБ 03-517-02. Общие правила промышленной безопасности для организаций, осуществляющих деятельность в области промышленной безопасности опасных производственных объектов.
4. ПБ 03-605-03. Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов.
5. Орлов А. И. Менеджмент: Учебник. – М., 2003.