

УДК 621.642.39.03-025.71-034.14-047.74

## ПРОТИВОРЕЧИЯ В СОВРЕМЕННОЙ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЕ ПРИ РЕМОНТЕ РЕЗЕРВУАРОВ

<sup>1</sup>Тарасенко А.А., <sup>2</sup>Сильницкий П.Ф., <sup>3</sup>Тарасенко Д.А.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»,  
Тюмень, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com;

<sup>2</sup>Открытое акционерное общество «Сибнефтепровод», Тюмень, e-mail: spf72@ya.ru;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»,  
Тюмень, e-mail: zuleen@mail.ru

В статье рассмотрена практика технико-экономического обоснования проектов ремонта и реконструкции вертикальных стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Выполнен сравнительный анализ требований существующих нормативных документов, показана динамика их развития после вступления в действие Федерального закона «О техническом регулировании» № 184-ФЗ. Определены недостатки существующей нормативной базы, обуславливающие необоснованные затраты на проведение ремонта и реконструкции вертикальных стальных резервуаров. Обстоятельность указанных недостатков подтверждена сравнительными расчетами на примере реально эксплуатируемых объектов. Приведен расчет на устойчивость реально эксплуатируемого резервуара, проведено сравнение сводных значений исследуемых величин нагрузок и напряжений. Сформулированы и обоснованы предложения по устранению несовершенств нормативных документов в области проектирования, ремонта и реконструкции вертикальных стальных резервуаров.

**Ключевые слова:** резервуар, нормативный документ, ремонт, реконструкция

## CONTRADICTIONS OF CURRENT LAW-TECHNICAL BASE IN REPAIRING STEEL STORAGE TANKS

<sup>1</sup>Tarasenko A.A., <sup>2</sup>Silnitsky P.F., <sup>3</sup>Tarasenko D.A.

<sup>1</sup>Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com;

<sup>2</sup>Sibnefteprovod, Tyumen, e-mail: spf72@ya.ru;

<sup>3</sup>Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: zuleen@mail.ru

The article present the practice of the feasibility in repair's and reconstruction's projects of the vertical steel storage tanks for oil and oil products. Completed a comparative analysis of the requirements existing regulatory documents, shows the trend of their development after the entry into force of the Federal Law «About Technical Regulation» № 184-FZ. Identified disadvantages of the current regulatory framework, which causing unreasonable costs for the repair and reconstruction of tanks. Reasonableness of these disadvantages confirmed comparative calculations on real operating facilities. The buckling calculation of the steel storage tank actually exploited shown in the article, compared the summaries for the test values of loads and stresses. Formulated and substantiated proposals to address the imperfections of regulations in the field of design, repair and reconstruction of tanks.

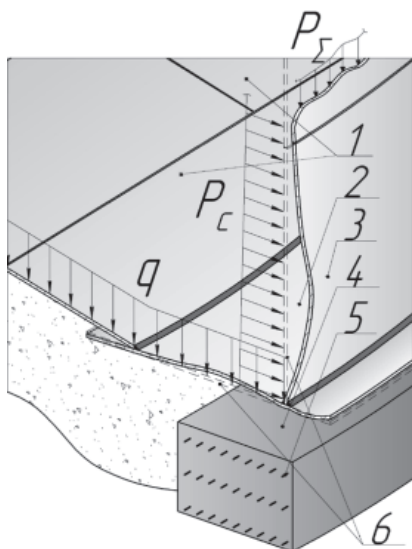
**Keywords:** storage tank, law-technical document, repair, reconstruction

В практике технико-экономического обоснования (ТЭО) целесообразности ремонта и реконструкции длительно эксплуатируемых резервуаров специалисты все чаще сталкиваются с проблемами несовершенства нормативно-технической документации (НТД). Учитывая сложившуюся в отрасли ситуацию, когда доля таких резервуаров достигает 90%, проблема приобретает масштабный характер. На протяжении многих лет существующая система планово-предупредительных ремонтов РВС позволяла сохранять их работоспособность и техническое состояние металлоконструкций, несмотря на значительные материальные затраты. Во многих случаях состояние длительно эксплуатируемых резервуаров мало отлично от новых РВС, однако недавно вступившие в силу актуализированные нормативные документы говорят о необходимости вывода таких объектов из эксплуатации и обуславливают их снос. В такой ситуации возникает вопрос о правомерности требова-

ний НТД, поскольку речь идет не только о затратах на строительство новых резервуаров, но и обоснованности капиталовложений в ремонт и реконструкцию эксплуатируемых объектов, размер которых в масштабах страны сравним с бюджетом любого крупного города. Проблема исходит из различий в требованиях НТД на этапах проектирования резервуара и капитального ремонта после длительной эксплуатации. Так, многие резервуары в нашей стране изначально проектировались под действовавшие тогда сочетания нагрузок, которые в настоящее время претерпели значительные изменения из-за внесения поправок в нормативные документы. Для наглядности динамики развития нормативной базы России приведем общий случай сочетания эксплуатационных нагрузок на корпус РВС (рисунок).

Анализируя приложенные на схеме рисунка нагрузки, наибольший интерес вызывают величины  $P_C$  и  $P_{\Sigma}$ , отражающие соответственно гидростатическую нагрузку

и суммарную вертикальную составляющую нагрузки от веса металлоконструкций, расположенных выше расчетной точки. В последней составляющей, кроме веса конструкций, учитывается воздействие ветровой и снеговой нагрузок, нормативные значения которых претерпели значительные изменения.



Общий случай сочетания эксплуатационных нагрузок на корпус РВС (на примере узла сопряжения стенки и днища)

Существующая нормативно-техническая база не предусматривает разделения требований при проектировании и обосновании ремонта РВС, в результате чего изменившиеся нормы применяются и к эксплуатируемым объектам, несмотря на то, что эти резервуары проектировались по другим нормам и по определению не могут соответствовать современным требованиям НТД, а значит, вопреки положительному опыту их эксплуатации, подлежат сносу.

Классический нормативный расчет РВС как при проектировании, так и при ремонте состоит из двух основных частей: расчет на прочность и расчет на устойчивость. Вопросам прочности длительно эксплуатируемых резервуаров в последнее время уделяется существенное внимание, при этом устойчивость резервуаров практически не изучается, хотя оба эти расчета равнозначны с точки зрения безаварийности эксплуатации объекта. Известно, что расчет на устойчивость резервуара в значительной степени зависит от снеговой нагрузки на РВС. Для наиболее распространенных в России резервуаров РВС-20000 доля снеговой нагрузки в  $P_{\Sigma}$  пре-

вышает 85% в зависимости от региона (рисунок). Совершенно очевидно, что при такой доле снеговой нагрузки изменение ее нормативных показателей играет существенную роль в расчете на устойчивость.

В качестве примера приведем СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Не секрет, что основой для этого документа стал одноименный СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия. В современной редакции в документ внесено значительное количество изменений, затронувших характерные для резервуаров нагрузки и воздействия. Большой резонанс среди экспертов вызвало Приложение Ж, в котором приводятся изменившиеся карты районирования территории России по климатическим характеристикам. В частности, изменились показатели ветрового давления, одновременно с этим ужесточились нормативные показатели снеговых нагрузок.

Рассмотрим применение новых нормативов на примере расчета устойчивости эксплуатируемого резервуара.

Местонахождение резервуара – г. Нижневартовск, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра.

Тип резервуара – РВС

Объем резервуара – 20000 м<sup>3</sup>

Класс опасности – 1

Номер типового проекта – 704-1-60

Нормативная ветровая и снеговая нагрузка на площадке резервуарного парка – 0,3/2,24 кПа (по паспорту резервуара).

Интенсивность сейсмического воздействия в баллах – 5.

Максимально допустимое по проекту давление (вакуум) в газовом пространстве резервуара, кПа – 0,25

Высота стенки резервуара – 11945 мм

Диаметр резервуара – 45600 мм

Режим работы, циклов в год – 16

Сталь – 09Г2С-6.

В настоящее время расчет стенки резервуара на устойчивость выполняется согласно методике, представленной в п. 9.2.3 [4], устойчивость стенки обеспечивается при выполнении следующего условия (1):

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} \leq 1, \quad (1)$$

где  $\sigma_{cr1} = C_0 \cdot \frac{E}{\delta}$ ;  $\sigma_{cr2} = 0,55 \cdot \frac{r}{H_r} \cdot \frac{E}{\sqrt{\delta^3}}$ .

Меридиональные напряжения в стенке  $\sigma_1$  для резервуаров со стационарной крышей определяются по формуле (2)

$$\sigma_1 = \frac{1,05 G_m + 0,95(1,05 G_0 + 1,3 G_t)}{2 \pi r (t - \Delta t_c - \Delta t_m)} + \frac{0,9 \cdot f_s S + 0,95 \cdot 1,2 p_v \cdot r}{2 (t - \Delta t_c - \Delta t_m)}, \quad (2)$$

где  $G_m$  – вес металлоконструкций выше расчетной точки;  $G_0$  – вес стационарного оборудования выше расчетной точки;  $G_t$  – вес теплоизоляции выше расчетной точки;  $f_s$  – коэффициент, учитывающий форму крыши;  $S$  – нормативная снеговая нагрузка на поверхности земли;  $p_v$  – нормативное значение вакуума.

Кольцевые напряжения при этом в расчете устойчивости определяются по формуле (3):

$$\sigma_2 = (1,2 p_v + 0,5 k p_w) \cdot \delta, \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте стенки;  $p_w$  – нормативное значение ветрового давления.

Сравнивая формулы (1)–(3), представленные в действующих НТД, с аналогичными условиями [6], авторы [5] отмечают существенное увеличение значений меридиональных и кольцевых напряжений, что в конечном итоге, приводит к необходимости увеличения толщины стенки вновь проектируемых резервуаров на 7%. Существующие резервуары также подпадают под

$$S = 0,7 \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g = 0,7 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3,2 = 1,904 \text{ кПа.}$$

Определим нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную поверхность согласно методике [2], действовавшей до 2011 г.:

$$S = 0,7 \cdot \mu \cdot S_g = 0,7 \cdot 1 \cdot 2,4 = 1,68 \text{ кПа.} \quad (5)$$

Учитывая геометрию РВС-20000, разница в расчетной нормативной снеговой

указанные требования и не проходят проверку условия устойчивости.

Рассмотрим предметно, чем вызвано такое увеличение, обращаясь к главе 10 [1], где нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия следует определять по формуле (4)

$$S = 0,7 \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g, \quad (4)$$

где  $c_e$  – коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра или иных факторов, принимаемый в соответствии с 10.5-10.9 [1],  $c_e = 0,85$ ;  $c_t$  – термический коэффициент, принимаемый в соответствии с 10.10 [1],  $c_t = 1$ ;  $\mu$  – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый в соответствии с 10.4 [1],  $\mu = 1$ ;  $S_g$  – вес снегового покрова на 1 м<sup>2</sup> горизонтальной поверхности земли, принимаемый в соответствии с 10.2 [1],  $S_g = 3,2$  кПа.

Принимая выбранные значения величин, получаем нормативное значение снеговой нагрузки по [1]:

нагрузке составляет более 35 тс, что определяет фактическое увеличение меридиональных напряжений более чем на 30% и обуславливает невыполнение условий устойчивости [3,4]. Обобщая вышесказанное, в табл. 1 сведены результаты расчетов и их динамика во времени, обусловленная принятием новых НТД.

Сводные значения исследуемых величин нагрузок и напряжений

№ п/п	Величина	Обозначение	Значение до 2011 г.	Значение после 2011 г.	Изменение, %
1	Вес снегового покрова на 1 м <sup>2</sup> горизонтальной поверхности земли, кПа	$S_g$	2,24	3,2	42,8
2	Нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия, кПа	$S$	1,681	1,904	13,3
3	Меридиональное напряжение на уровне II пояса стенки, МПа	$\sigma_1$	3,58	4,72	31,8
4	Кольцевое напряжение на уровне II пояса стенки, МПа	$\sigma_2$	0,7	0,7	0,0
5	Критическое меридиональное напряжение на уровне II пояса стенки, МПа	$\sigma_{cr1}$	5,74		–
6	Критическое кольцевое напряжение на уровне II пояса стенки, МПа	$\sigma_{cr2}$	1,84		–
7	Общая устойчивость	$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}}$	0,99	–	–
8	Условие устойчивости	–	Выполнено	Не выполнено	

Далее обратимся к п. 10.11 [1]:

«Для районов со средней температурой января минус 5°C и ниже (по карте 5 приложения Ж) пониженное нормативное значение снеговой нагрузки (см. 4.1) определяется умножением ее нормативного значения на

коэффициент 0,7». Обращаясь к формуле 4, можно сделать вывод, что коэффициент 0,7 должен применяться дважды, однако в [2] его применение ограничено п. 5.7, и он изначально отсутствует в формуле (5), что, очевидно, и является корректной редакцией.

Аналогичные «поправки» присутствуют во всем документе [1], например, в примечании к п. 10.10 допущена неточность формулировки: не ясно, почему при повышении теплоизоляционных свойств покрытия кровли резервуара следует принимать понижающий термический коэффициент, определяющий степень таяния снега на кровле сооружений с повышенными тепловыделениями, которыми являются многие резервуары. Очевидно, в данном случае такой коэффициент должен применяться к кровлям сооружений с повышенным тепловыделением, но без теплоизоляционного покрытия крыши, а теплоизоляция кровли РВС, наоборот, будет повышать термический коэффициент  $c_t > 1$ .

Отметим, что случаев потери устойчивости эксплуатируемых резервуаров крайне мало, все они, как правило, объясняются какими-либо внешними «форс-мажорными» воздействиями и не связаны с ненормативными нагрузками. Более того, снос резервуара обосновывается во время технико-экономического обоснования ремонта или реконструкции, которое выполняется с частотой 5–8 лет, одновременно с этим в одном резервуарном парке точно такие резервуары, не соответствующие требованиям современных НТД, будут эксплуатироваться в условиях ненормативных нагрузок до планового ТЭО и ремонта, что само по себе абсурдно.

Стоит отметить, что в настоящее время существует решение по установке колец жесткости на стенке резервуара, повышающих цилиндрическую жесткость корпуса и общую устойчивость сооружения. Данное решение имеет ряд недостатков и, на наш взгляд, является не применимым, так как ветровые кольца, монтируемые с внешней стороны стенки, обуславливают наличие дополнительной снеговой и ветровой нагрузки на корпус РВС, а приваренные к стенке подкладные монтажные пластины приводят к коррозионным повреждениям металлоконструкций. Кроме того, изменяется геометрическая форма резервуара, которая и без того не может быть идеально цилиндрической, что приводит к возникновению дополнительных напряжений в стенке за счет эффекта банджа при сливо-наливных операциях. Нами также рассмотрена возможность разгрузки кровли резервуара при помощи центральной стойки, однако такое решение требует обоснования совместности работы фундамента стойки (если он имеется) и корпуса резервуара, что в реальных условиях эксплуатации фактически невыполнимо.

Указанные недостатки [1] уже сейчас обуславливают случаи необоснованного на наш взгляд, сноса резервуаров, все попытки доказать неправомерность нормативных расчетов пресекаются при государственной экспертизе проектов, которая безоговорочно ссылается на [1]. Проектные организации вынуждены

страховать свою ответственность по высоким тарифным ставкам, так как страховые компании досконально анализируют возможные риски и привлекают к этому зарубежные экспертные организации. Заказчик же, понимая необоснованность сноса объекта, принимает сторону проектной организации и часто вынуждает «играть» на указанных выше несовершенствах НТД, ведь только так появляется возможность обоснования капитальных затрат. По мнению авторов, назрела необходимость в редактировании имеющейся отечественной нормативно-технической базы по рассматриваемому вопросу, а также гармонизация ее с зарубежными стандартами.

#### Список литературы

1. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Минрегион России. – М.: ГУП «ЦПП», 2011. – 85 с.
2. СНиП 2.01.07-85\* Нагрузки и воздействия. – М.: ГУП «ЦПП», 2005. – 58 с.
3. РД-23.020.00-КТН-296-07 Руководство по оценке технического состояния резервуаров. ч.1,2. – М.: ОАО «АК «Транснефть», 2007.
4. СТО-СА-03-002-2009 Правила проектирования стальных резервуаров. – М.: Ростехэкспертиза. ООО «НПК Изотермик», ООО «Глобалтэнксинжиниринг», 2009. – 212 с.
5. Резервуаростроение в нефтяной, химической и газовой промышленности. Современные технологии и инновационные решения. – Болгария, г. Поморие, 2012.
6. СНиП II-23-81 «Стальные конструкции». – М.: ГУП «ЦПП», 2006. – 90 с.
7. Тарасенко А.А., Сильницкий П.Ф., Тарасенко М.А. Анализ результатов дефектоскопии коррозионных повреждений резервуаров. – Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 2010. – № 5. – С. 78–82.
8. Тарасенко А.А., Сильницкий П.Ф., Тарасенко М.А. Определение степени концентрации напряжений в стенке резервуара при наличии дефектов металлоконструкций. – Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 2011. – № 1. – С. 55–58.

#### References

1. SP 20.13330.2011 Load and Impact. Minregion of Russian Federation. Moscow, CPP, 2011. 85 p.
2. SNiP 2.01.07-85\* Load and Impact. Moscow, CPP, 2005. 58 p.
3. RD-23.020.00-КТН-296-07 Guidance on the assessment of technical condition of tanks. Part 1, 2. AK «Transneft», 2007.
4. STO-SA-03-002-2009 Rules of steel storage tanks design. Rostechexpertiza, OOO NPK Izothermic, OOO Globaltanksengineering, 2009. 212 p.
5. Steel storage tank's construction in the oil, chemical and gas industry. Modern technology and innovative solutions. Bulgaria, Pomorie, 2012.
6. SNiP II-23-81 «Steel constructions». Moscow, CPP, 2006. 90 p.
7. Tarasenko A.A., Sil'nickij P.F., Tarasenko M.A. Analiz rezul'tatov defektoskopii korrozionnyh povrezhdenij rezervuarov. [Analysis of the corrosion damage inspection results of oil steel tanks – Academic news «Oil and gas»]. Tyumen, 2010. no. 5, pp. 78.
8. Tarasenko A.A., Sil'nickij P.F., Tarasenko M.A. Opredelenie stepeni koncentracii naprjazhenij v stenke rezervuara pri nalichii defektov metallokonstrukcij. [Determination of the degree of stress concentration in the oil steel storage tank wall with defects in metal – Academic news «Oil and gas»]. Tyumen, 2011. no. 1, pp. 55.

#### Рецензенты:

Обухов А.Г., д.ф-м.н., профессор кафедры «Высшая математика», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Мерданов Ш.М., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Транспортные и технологические системы», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.