

А.В. ШАЙХИСЛАМОВ
А.В. БАЛОБАНОВ
И.А. ПОРЫВАЕВ

СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТА РАСЧЕТА ПРЯМОУГОЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ СО СТАЛЬНЫМ РЕЗЕРВУАРОМ ИДЕНТИЧНОГО ОБЪЕМА

COMPARISON OF OPTIONS FOR CALCULATING OF LOW PRESSURE POLYETHYLENE RECTANGULAR TANKS WITH STEEL TANKS OF IDENTICAL SIZE

Приведены результаты расчета прямоугольного резервуара из полиэтилена низкого давления со стальными усилениями, рассчитанного в программном комплексе SCAD Office на основе ранее выполненных ручного и тестового расчетов. Приведено обоснование проделанного исследования для конкретных целей использования рассматриваемых сооружений. Для подтверждения технических преимуществ рассчитанного сооружения вычислен экономический эффект при применении прямоугольных резервуаров из полиэтилена низкого давления со стальными усилениями вместо стальных резервуаров идентичных размеров и объема.

Ключевые слова: резервуар из полиэтилена низкого давления, стальные усиления, прямоугольный резервуар, программный комплекс

В настоящее время становится все более актуальным применение резервуаров из термопластов для различных технологических процессов вместо стальных или железобетонных резервуаров. Использование резервуаров из термопластических материалов для систем очистки сточных вод обуславливается тем, что они имеют ряд преимуществ, по отношению к металлическим резервуарам, связанных с агрессивной средой использования рассматриваемых сооружений [1]. Коррозия стальных резервуаров оказывает большое влияние на надежность работы данных сооружений и период эксплуатации [2-4]. Конструктивное решение прямоугольных резервуаров заключается в том, что обечайка резервуара выполняется из термопластичного материала, которая подвергается воздействию среды жидкости, при этом обечайка помещается в стальной каркас, который воспринимает всю нагрузку от гидростатического давления жидкости, находящейся в резервуаре, и при этом не контактирует с агрессивной средой.

В настоящее время существуют программные комплексы (TANK DESIGNER и др.) по расчету резервуаров из полиэтилена низкого давления (далее – ПНД), ориентированных на расчет конструкций

The results of the calculation of a rectangular tank from low-pressure polyethylene with steel reinforcements calculated in the software package SCAD Office based on previously performed manual and test calculations are presented. The topicality of this research for the specific purposes of considered structures use is substantiated. To confirm the technical advantages of the proposed structures calculations of economic benefit when using rectangular tanks of high-density polyethylene instead of steel tanks with steel reinforcements of identical size and volume are made.

Keywords: low-pressure polyethylene tank, steel reinforcement, rectangular tank, software system

резервуаров, чаша которых выполнена не из металла, а усиление ее осуществляется металлическими конструкциями.

В рамках исследования возможности применения программного комплекса SCAD Office [5] для расчета данного вида сооружений был произведен ручной и тестовый расчет прямоугольного резервуара из ПНД со стальным усилением [6,7]. Статический расчет компьютерных моделей прямоугольного резервуара из ПНД со стальными усилениями в SCAD позволяет наглядно отразить характер напряженно-деформированного состояния сооружения и выполнить наиболее рациональное усиление металлическими элементами [8].

Результаты тестового расчета показали, что использование программного комплекса SCAD Office возможно при задании правильных жесткостных характеристик материала чаши.

Целью исследования является обоснование возможности расчета и анализ напряженно-деформированного состояния прямоугольных резервуаров из ПНД со стальными усилениями в программном комплексе SCAD Office, а также технико-экономическое сравнение и выявление преимуществ при использовании рассматриваемых сооружений взамен сталь-

ных резервуаров со стальными усилениями идентичных размеров и объема.

Для сравнительного анализа и выяснения не только технического преимущества применения прямоугольных резервуаров из термопластов данного объема, но и экономической выгоды был проведен расчет прямоугольного резервуара из полиэтилена низкого давления со стальными усилениями объемом 100 м³ для реального объекта, на котором эксплуатируются стальные резервуары идентичного объема.

При расчете использованы исходные данные по жесткостным характеристикам в соответствии с тестовым расчетом, габаритные размеры резервуаров взяты такие же, как стальные резервуары на реальном объекте – 12,5х3,5х2,5 м.

Толщина стенки обечайки резервуара была подобрана исходя из металлоемкости усиления и требований нормативных документов. Минимально допустимая толщина стенки обечайки определена по следующим формулам [9, 10]:

$$S = \sqrt{\frac{\rho_m \times b^2}{2 \times \sigma_{zul}}}, \text{ мм}, \quad (1)$$

$$f = \frac{\rho_m \times b^4}{32 \times E_c \times S^3}, \text{ м}. \quad (2)$$

где ρ_m – гидростатическое давление на элемент плоской стенки шириной b_n ;

σ_{zul} – допускаемое напряжение на изгиб для материала, который находится в зависимости от предела текучести при расчетной температуре работы резервуара, от запаса прочности, вида сварки, коэффициентов, зависящих от воздействия среды [2];

E_c – модуль упругости, который рассчитывается по графику зависимости от температуры, при которой работает материал стенки резервуара, и от допускаемого напряжения на изгиб σ_{zul} [10].

В связи с тем, что в Российской Федерации не существует нормативных документов по прямоугольным резервуарам из термопластов со стальным усилением, резервуар в программе SCAD рассчитывается на прогиб стенки обечайки, который, согласно немецкому стандарту [10], должен быть не более половины толщины стенки обечайки:

$$f < 0,5 \cdot S. \quad (3)$$

Для выбора наиболее экономически выгодной толщины стенки обечайки и усиления стальными конструкциями были проведены сравнительные расчеты резервуара с разными толщинами стенки и вариантами усиления. Согласно этому при каждой толщине стенки обечайки изменяется объем усиливающих металлоконструкций. Эта зависимость отражена на графике (рис. 1). Толщина стенки к расчету принята 8 мм, экономически наиболее выгодная и конструктивно обоснованная по результатам ручного расчета, по которому минимальная толщина для рассматриваемого в расчете резервуара составляет 8 мм.

Экономическая выгода при применении прямоугольного резервуара из ПНД со стальными усилениями с толщиной стенки обечайки 8 мм и массе металлоконструкций усиления резервуара 7,038 т заключается в том, что стоимость листового ПНД (табл. 1) очень высока и оказывает более значительное влияние на всю стоимость данного сооружения. Разница в массе чаши при толщине стенки 8 и 14 мм при данной стоимости листового ПНД больше, чем экономическая разница при массе металлоконструкций 7,038 и 5,485 т (см. рис. 1) и стоимости металлоконструкций (см. табл. 1).

По результатам расчета – расчетная модель прямоугольного резервуара из ПНД со стальными усилениями приведена на рис. 2 – выполнены усиления из профилей металлопроката: горизонтальные и вертикальные усиления: квадратные трубы по ГОСТ



Рис. 1. График зависимости массы металлоконструкций усиления резервуара от толщины стенки чаши (разработано автором)

8639-82 100x3 и 160x5, 180x5 соответственно. Тяжи по верхней кромке резервуара – квадратные трубы по ГОСТ 8639-82 50x3. На рис. 3 показана схема деформации усиления от гидростатической нагрузки. Далее приведем технико-экономические данные по рассчитанному резервуару из ПНД со стальными усилениями (резервуар 1) и стального резервуара со

стальными усилениями (резервуар 2), рассчитанными в программном комплексе SCAD, который применен на реальном объекте. Резервуары 1 и 2 – с одинаковыми размерами и объемом.

Рассчитаем экономический эффект от применения резервуара из ПНД со стальными усилениями вместо стального резервуара со стальными усилениями

Таблица 1

Технико-экономические показатели резервуаров из ПНД и стали со стальными усилениями

Показатель	Резервуар 1	Резервуар 2
Площадь чаши без дна, м ²	105	105
Площадь металлических усиления, м ²	206,2	42
Длина горизонтальных, вертикальных ребер; поперечных тяжей, м	139,8; 219,6; 26,4	60;42;10
Масса чаши без дна, т	0,815	6,591
Масса горизонтальных, вертикальных; поперечных тяжей, кг	6784	534; 676,2; 123
Масса всего резервуара, т	7,599	7,924
Стоимость листового ПНД [11]: - руб./т - всего	128000,00 104320,00	- -
Стоимость листового черного металла [12], - руб./т - всего		30500,00 201025,50
Стоимость прокатного черного металла ¹ [12]: - руб./т - всего	36000,00 244224,00	29000,00/47000 50834,40
Стоимость антикоррозионного покрытия (наружное) ² , руб./м ²	14670,5	8769,80
Стоимость антикоррозионного покрытия (внутреннее) ³ , руб./м ²	-	43316,40
Общая стоимость, руб.	363214,5	303946,10

¹ Для резервуара 1 – квадратные трубы; для резервуара 2 – уголок, швеллер/двутавр.

² Наружное антикоррозионное покрытие включает в себя очистку, обезжиривание, покрытие грунтовкой, покрытие лакокрасочной эмалью. В таблице учтены затраты на производство работ и материал. Рассчитано по территориальному сборнику сметных цен (далее – ТССЦ) с применением переводного коэффициента.

³ Внутреннее антикоррозионное покрытие включает в себя очистку, обезжиривание, покрытие грунтовкой, покрытие специальным лаком. В таблице учтены затраты на производство работ и материал. Рассчитано по ТССЦ с применением переводного коэффициента.

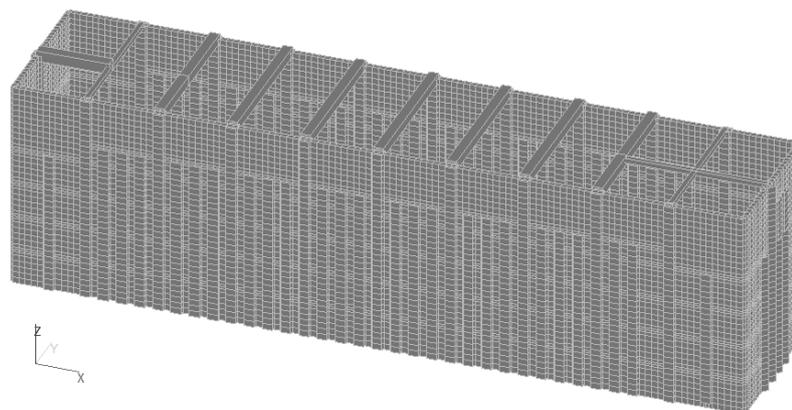


Рис. 2. Расчетная схема с расположением усиления

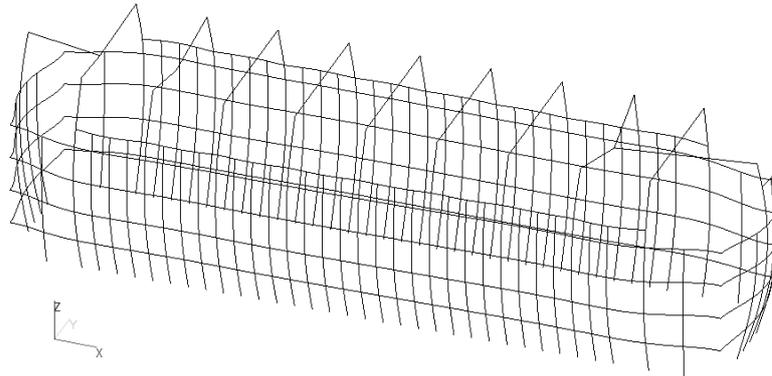


Рис. 3. Деформированные усиления резервуара из ПНД

ниями с учетом износа до первого капитального ремонта. Капитальным ремонтом предусматривается обработка внутренней поверхности стального резервуара антикоррозионным покрытием. По данным производителя [13], срок службы покрытия составляет 10 лет. По данным производителя прямоугольных резервуаров из ПНД со стальным усилением, срок службы чаши составляет не менее 25 лет. На основе вышеизложенного авторы предлагают следующую формулу для подсчета экономического эффекта от применения:

$$\mathcal{E}_n = (C_{T_2} + C_{T_{кр}}^6) - C_{T_1}, \quad (4)$$

где C_{T_2} – стоимость резервуара 2, принимаемая по табл. 1, руб.;

C_{T_1} – стоимость резервуара 1, принимаемая по табл. 1, руб.;

$C_{T_{кр}}^6$ – будущая стоимость капитального ремонта резервуара 2, рассчитываемая по формуле

$$C_{T_{кр}}^n = (1 + R)^n \cdot C_{T_{кр}}^h, \quad (5)$$

здесь n – год эксплуатации;

R – ставка дисконта, учитывающая инфляцию (по данным Федеральной службы государственной статистики), $R=7\%$;

$C_{T_{кр}}^h$ – стоимость капитального ремонта резервуара 2, принимаемая по табл. 1, руб.

Экономический эффект от применения составит:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_n &= (303946,1 + (1+0,07)^{10} \cdot 43316,4) - 363214,5 = \\ &= 25941,52 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Выводы. Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что технико-экономически целесообразно применение прямоугольных резервуаров из полиэтилена низкого давления со стальными усилениями для целей использования в системах очистки сточных вод. Выполненное технико-экономическое сравнение показывает актуальность данного решения, на основе этого можно рассчитывать резервуары других размеров, зная, что целесообразность их

применения доказана на примере приведенного расчета.

Для осуществления расчета экономического эффекта от предлагаемого применения предложена расчетная формула для данного конкретного случая. Она учитывает будущую стоимость капитального ремонта стального резервуара со стальными усилениями с учетом ставки дисконта, при этом основываясь на текущую стоимость капитального ремонта.

Основным фактором применения данного сооружения в системах очистки сточных вод является агрессивность среды, в которой ПНД имеет безусловное преимущество перед металлическими конструкциями. В целом за период получен экономический эффект в размере 25941,52 руб., что является подтверждением экономической целесообразности применения резервуаров из ПНД со стальными усилениями. Таким образом, техническая целесообразность подтверждена расчетом экономического эффекта, поэтому, учитывая принцип аддитивности эффектов, можно утверждать о действительной практической необходимости и актуальности применения данного вида сооружения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 28.13330.2012. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция.
2. Галимов Р.К. Динамика напряженно-деформированного состояния резервуара при коррозии его оболочки // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2006. Т. 42. № 2. С. 190–203.
3. Кравцов В.В. Коррозия и защита внутренней поверхности стальных резервуаров: учебное пособие / Уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа, 2011.
4. Макаренко О.А. Прогнозирование ресурса стальных резервуаров с учетом припуска по толщине стенки на коррозию и лакокрасочного покрытия // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2009. № 5. С. 113–117.
5. Режим доступа <http://scadsoft.com/> (дата обращения: 08.12.2016).

6. Шайхисламов А.В., Балобанов А.В., Порываев И.А. Способ ручного расчета прямоугольных резервуаров из термопластов с усиливающими ребрами // Вестник научных конференций. 2016. № 3–7 (7). С. 222–224.

7. Шайхисламов А.В., Балобанов А.В., Порываев И.А. Вариант расчета прямоугольного резервуара из полиэтилена низкого давления // Инновационное развитие. 2016. № 4 (4). С. 16–17.

8. Семенов А.А., Маляренко А.А., Порываев И.А., Семенов С.А. Исследование моделей фланцевых соединений растянутых поясов металлических ферм в среде SCAD // Строительство и реконструкция. 2015. № 6 (62). С. 57–65.

9. DVS 2205-1.Design calculations for containers and apparatus made from thermoplastics; Characteristic Values. Germany, Dusseldorf: Technical Committee, 1987. 35 с.

10. DVS 2205-5.Calculations of thermoplastic tanks and apparatus – Rectangular tank.–Germany, Dusseldorf: Technical Committee, 1987. 7 p.

11. <http://www.polexgroup.ru/> (дата обращения: 08.12.2016).

12. <http://mtp-ufa.ru/> (дата обращения: 08.12.2016).

13. <http://ферротан.ws/> (дата обращения: 20.06.2016).

Об авторах:

ШАЙХИСЛАМОВ Андрей Вячеславович

магистрант направления "Теория проектирования зданий и сооружений"

Уфимский государственный нефтяной технический университет

450080, Россия, г. Уфа, ул. Менделеева, 195

E-mail: subarik09@rambler.ru

SHAYKHISLAMOV Andrey V.

Master's Degree Student of the direction of the Theory of Buildings and Structures Design

Ufa State Petroleum Technological University

450080, Russia, Ufa, Mendeleev str., 195

E-mail: subarik09@rambler.ru

БАЛОБАНОВ Александр Вениаминович

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций

Уфимский государственный нефтяной технический университет

450080, Россия, г. Уфа, ул. Менделеева, 195

E-mail: subarik09@rambler.ru

BALOBANOV Alexander V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Building Structures Chair

Ufa State Petroleum Technological University

450080, Russia, Ufa, Mendeleev str., 195

E-mail: subarik09@rambler.ru

ПОРЫВАЕВ Илья Аркадиевич

старший преподаватель кафедры строительных конструкций

Уфимский государственный нефтяной технический университет

450080, Россия, г. Уфа, ул. Менделеева, 195

E-mail: subarik09@rambler.ru

PORYVAEV Ilya A.

Senior Lecturer of the Building Structures Chair

Ufa State Petroleum Technological University

450080, Russia, Ufa, Mendeleev str., 195

E-mail: subarik09@rambler.ru

Для цитирования: Шайхисламов А.В., Балобанов А.В., Порываев И.А. Сравнение варианта расчета прямоугольного резервуара из полиэтилена низкого давления со стальным резервуаром идентичного объема // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7, № 1 (26). С. 36–40. DOI: 1017673/Vestnik.2017.01.6.

For citation: Shaykhislamov A.V., Balobanov A.V., Poryvaev I.A. Comparison of options for calculating of low pressure polyethylene rectangular tanks with steel tanks of identical size // Urban Construction and Architecture. 2017. V. 7, № 1. Pp. 36–40. DOI: 1017673/Vestnik.2017.01.6.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

ПРИ ПОДАЧЕ СТАТЕЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ ПРОСЬБА СОБЛЮДАТЬ ВСЕ ТРЕБОВАНИЯ,
ПРИВЕДЕННЫЕ НА САЙТЕ ЖУРНАЛА «ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА» (journal.samgasu.ru)
В РАЗДЕЛЕ «АВТОРАМ»

С ПОЛНЫМИ ТЕКСТАМИ СТАТЕЙ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»,
МОЖНО ОЗНАКОМИТЬСЯ НА ОФИЦИАЛЬНОМ САЙТЕ journal.samgasu.ru