

Лариса Алексеевна ПЕДЧЕНКО окончила в 2002 г. Полтавский государственный педагогический университет им. В.Г. Короленко, Украина. Аспирант кафедры добычи нефти и газа и геотехники Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Автор 15 научных работ в области газогидратных технологий.

Larisa A. PEDCHENKO graduated from the V.G. Korolenko Poltava State Pedagogical University, Ukraine in 2002. She is PhD student of the Department of Oil and Gas and Geo-technics of the Yuri Kondratyuk Poltava National Technical University. He is author of 15 publications in the field of gas hydrate technology.

E-mail: pedchenkomm@mail.ru

Михаил Михайлович ПЕДЧЕНКО родился в 1967 г., окончил в 2000 г. Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепропетровск, Украина. Аспирант кафедры добычи нефти и газа и геотехники Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Автор 18 научных работ в области газогидратных технологий.

Mikhail M. PEDCHENKO was born in 1967; he graduated from the Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine in 2000. He is PhD student the Department of Oil and Gas and Geo-technics of the Yuri Kondratyuk Poltava National Technical University. He is author of 18 publications in the field of gas hydrate technology.

E-mail: pedchenkomm@mail.ru

УДК 621.642.07

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ РЕЗЕРВУАРОСТРОЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ*

© Л.М. СПИРИДЕНКО, А.И. БОНДАРЧУК

(УО «Полоцкий государственный университет»,

211440, Республика Беларусь, г. Новополоцк, ул. Блохина, д. 29)

Статья посвящена разработке технического кодекса установившейся практики «Стальные вертикальные цилиндрические резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов. Правила проектирования и устройства». Рассмотрены вопросы по регламентированию требований изготовления резервуаров методами рулонирования и полистовой сборки в зависимости от объема резервуара, методика расчета двустенного резервуара, расчета стенки резервуара методом «средней точки». Метод является приоритетным, так как при проектировании резервуаров с полученными толщинами стенки, мы не только обеспечиваем надежность резервуара, но и имеем существенную экономию металла.

Ключевые слова: разработка, резервуар, защитная стенка.

*Статья рекомендована к печати проректором по научной работе УО «ПГУ» Д.О. Глуховым.

Одним из важнейших направлений государственной политики является модернизация основных производственных фондов энергосистемы Республики Беларусь, в том числе, модернизация и увеличение суммарной емкости парков хранения нефти и нефтепродуктов. В настоящее время на предприятиях Республики Беларусь большинство резервуаров имеют значительный срок эксплуатации. Построенные в 60–70-е годы прошлого столетия резервуары в ближайшие годы потребуют замены. По данным концерна «Белнефтехим» в период до 2012 года требуется строительство (замена) более 180 резервуаров. При этом общий вес металлоконструкций этих резервуаров более 25 тысяч тонн.

В настоящее время проектирование и поставка резервуаров в Республику Беларусь осуществляется Россией, Польшей или Украиной. Так как проектные организации Республики Беларусь не могут развивать деятельность по проектированию резервуаров из-за отсутствия в нашей стране технических нормативных правовых актов, отражающих правила проектирования и устройства резервуаров, что является одним из основных сдерживающих факторов.

В 2008 году специалистам кафедры трубопроводного транспорта УО «Полоцкий государственный университет» и ОАО «Нефтезаводмонтаж» (г. Новополоцк) был совместно разработан технический кодекс установившейся практики (далее ТКП) «Стальные вертикальные цилиндрические резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов. Правила проектирования и устройства».

Главной причиной разработки ТКП стала необходимость создания единого нормативного документа на проектирование и изготовление резервуаров с установлением общих требований для группы однородной продукции, в котором нашли отражение второстепенные причины, такие как:

- повышение требований к качеству их изготовления,
- внедрение новых, передовых методов изготовления, сварки и антикоррозионной защиты.

Задачей ТКП является разработка комплекса основных требований по проектированию и изготовлению резервуаров, которые обеспечат высокое качество строительства резервуаров и безопасность их эксплуатации. Технический кодекс установившейся практики устанавливает требования к резервуарам номинальным объемом от 100 до 120 000 м³ для хранения нефти и нефтепродуктов под избыточным давлением, близким к атмосферному.

В ТКП сформулированы требования по конструктивным решениям элементов резервуара, по выбору материала, по расчету конструкций; по изготовлению конструкций, по сварке и контролю качества, по защите от коррозии, по оборудованию для безопасной эксплуатации.

При разработке ТКП принимались во внимание требования аналогичных нормативных документов Российской Федерации, Украины, Казахстана, Польши, европейский стандарт, нормы США.

Некоторые основные положения ТКП по проектированию и устройству резервуаров приведены ниже.

1. Одной из основных проблем резервуаростроения является сложность обеспечения геометрической точности корпусов резервуаров, что оказывает существенное влияние на их надежность и долговечность. Технология изготовления резервуаров методом рулонирования хоть и является более индустриальной, однако имеет существенные недостатки. Сворачивание, разворачивание рулонов и формообразование краев полотнищ стенки приводит к охрупчиванию и снижению ударной вязкости металла, создает дополнительные напряжения и деформации, которые впоследствии, в совокупности с другими факторами, отрицательно влияют на прочность и долговечность конструкции. При этом метод рулонирования используется только для резервуаров небольшого объема. Поэтому в ТКП регламентированы требования к изготовлению резервуаров методами рулонирования и листовой сборки в зависимости от объема резервуара, а также требования к геометрической точности листовых конструкций на стадии их изготовления.

Листовой метод монтажа резервуаров предусматривает поставку элементов конструкций с завода-изготовителя в виде габаритных отправочных марок – сборочных единиц и деталей. Сборка резервуара осуществляется непосредственно на монтажной площадке с использованием преимущественно полуавтоматической и автоматической сварки. Основными преимуществами листового метода являются:

- возможность сооружения резервуаров любых объемов и с любыми толщинами стенки с обеспечением требуемого качества сборки и сварки;
- исключение эффекта наклепа и снижения ударной вязкости, который присутствует при наворачивании полотнищ в рулоны и хранении их в свернутом положении;
- возможность обеспечения в процессе монтажа резервуаров более точной геометрической формы, что благоприятно сказывается на их эксплуатации.

Развитие технологии сварочного производства, совершенствование методов автоматической и механизированной сварки резервуаров в условиях монтажной площадки позволили сооружать резервуары любых объемов листовым методом с обеспечением требуемой геометрической формы, высоким качеством их сборки и сварки, что существенно повышает надежность конструкций и увеличивает срок эксплуатации резервуаров.

2. В резервуаростроении возрастает доля резервуаров с защитной стенкой (установленных в стальном стакане). Это связано с повышением требований надежности и экологической безопасности отдельных резервуаров и терминалов. Методика расчета двустенного резервуара должна производиться с учетом влияния неосесимметричной гидродинамической нагрузки от разливаемого продукта, так как проведенные расчеты показали, что конструкция двустенного резервуара без усиления основной и защитной стенок не обеспечивает локализацию аварии [1]. Напротив, происходит разрушение защитной стенки и разлив продукта в окружающую среду. При этом процесс развивается по следующему сценарию. Образуется вертикальный разрыв на всю высоту стенки основного объема. Продукт выливается из основного объема, достигает

защитной стенки и оказывает на нее ударное воздействие. Как показали расчеты, в абсолютном большинстве случаев защитная стенка с толщинами поясов, назначенными по результатам статического расчета, не выдерживают локального гидродинамического нагружения. Ситуация усугубляется тем, что разорванная стенка основного объема, раскрываясь, ударяет по внутренней поверхности защитной стенки. Поскольку защитная стенка – тонкостенная оболочечная конструкция, то воздействие сосредоточенной ударной нагрузки неминуемо приводит к ее разрушению.

Очевидно, что неосесимметричный характер полученной нагрузки, а также ее высокая интенсивность требуют применения специальных конструктивных мероприятий по усилению защитной стенки.

Наиболее рациональной является такая схема усиления внутренней оболочки, которая позволяет замедлить процесс раскрытия поврежденной стенки с тем, чтобы пропустить в межстенное пространство как можно больше жидкости до того, как внутренняя и внешняя оболочки войдут в контакт. Наличие достаточного количества жидкости как внутри рабочего объема, так и между стенками резервуара приводит к частичному выравниванию давлений на внутреннюю оболочку и замедляет ее движение в радиальном направлении. Этот эффект может быть достигнут путем применения в качестве бандажей стальных тросов, способных воспринимать значительные нагрузки при деформациях, достигающих 2–3,5 %. Кроме того, для повышения жесткости защитной стенки следует применить систему горизонтальных кольцевых ребер, установленных с ее внутренней стороны. Система тросов не только замедляет процесс движения разорванной стенки, но и сохраняет в процессе аварии ее форму – близкую к цилиндрической (рис. 1).

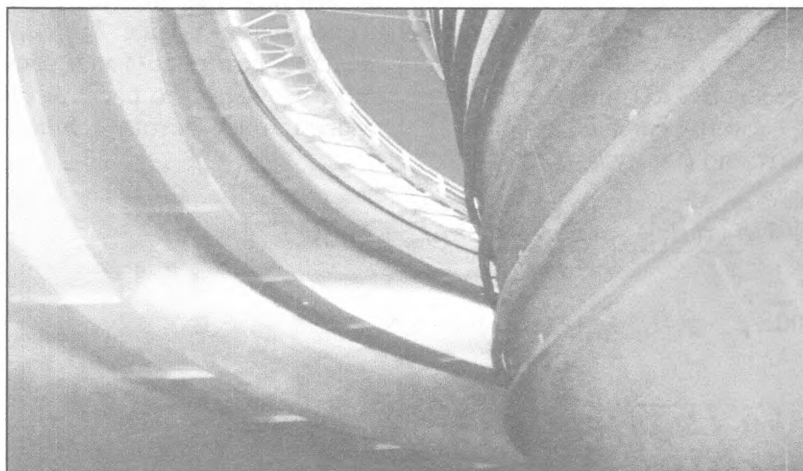


Рис. 1. Межстенное пространство резервуара с защитной стенкой.
Внешний резервуар усилен ребрами жесткости. Внутренний резервуар усилен канатами

В процессе обработки результатов была выявлена закономерность распределения поля давления, действующего на защитную стенку. Эта зависимость может быть представлена следующей формулой:

$$p(z, \varphi) = p_{\max} \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_0} - \frac{z}{H_0} \right), \quad (1)$$

где z, φ – вертикальная и угловая координаты расчетной точки; p_{\max} – максимальное значение давления жидкости на защитную стенку; $\varphi_0 = 77 - 0,4D_e$ и $H_0 = H_e - 1$ – угловая и высотная границы приложения нагрузки.

При этом принимается, что $D_{\max} = (2,5 - 0,0235D_e)\rho g H_0$.

Достоинством полученной закономерности является возможность проектирования резервуаров с защитной стенкой без применения дорогостоящих вычислительных комплексов. Вместе с тем, полученная формула позволяет выполнять корректное проектирование усиления защитной стенки и фундамента, не требующее при этом высокой квалификации исполнителей расчета (рис. 2).

3. Ключевым этапом проектирования вертикальных стальных цилиндрических резервуаров является назначение толщин стенки исходя из условия прочности и устойчивости. Сравнение отечественных и зарубежных нормативных документов по резервуаростроению показывает, что методика прочностного расчета этих сооружений основана на устаревших представлениях работы стенки под нагрузкой [2].

Мировые стандарты по резервуаростроению учитывают при проектировании стенки эффект, связанный со ступенчатым характером изменения ее толщины. Поскольку при действии гидростатической нагрузки толщина любого пояса стенки должна быть больше толщины соседнего верхнего участка, то максимальные деформации в пределах каждого пояса возникают не на уровне его нижней кромки, а несколько выше – на расстоянии x_0 (рис. 3).

Существует несколько методик определения расстояния x_0 и расчета толщины стенки. В ТКП применен новый метод уточненного расчета стенки резервуара – «метод средней точки» [2]. Согласно этому методу толщина стенки определяется по формулам:

$$t_{ud} = [0,001 \cdot \rho \cdot g(H_i - x_L) + 1,2p] \frac{r}{R} + \Delta t_{cu} + \Delta t_{mu}, \quad (2)$$

$$t_{ug} = [0,001 \cdot \rho_g \cdot g(H_{ig} - x_L) + 1,25p] \frac{r}{R} + \Delta t_{mu}, \quad (3)$$

где $x_L = \sqrt{r(t_L + \Delta t_{CL} + \Delta t_{ML})}$; $R = \frac{R_{ym} \gamma_c \gamma_t}{\gamma_m \gamma_n}$.

Формула (2) для расчета режима эксплуатации, формула (3) – для режима испытаний. Выбирают толщину стенки максимальную из двух полученных. Однако при расчете первого пояса принимаем $x_0 = 0$.

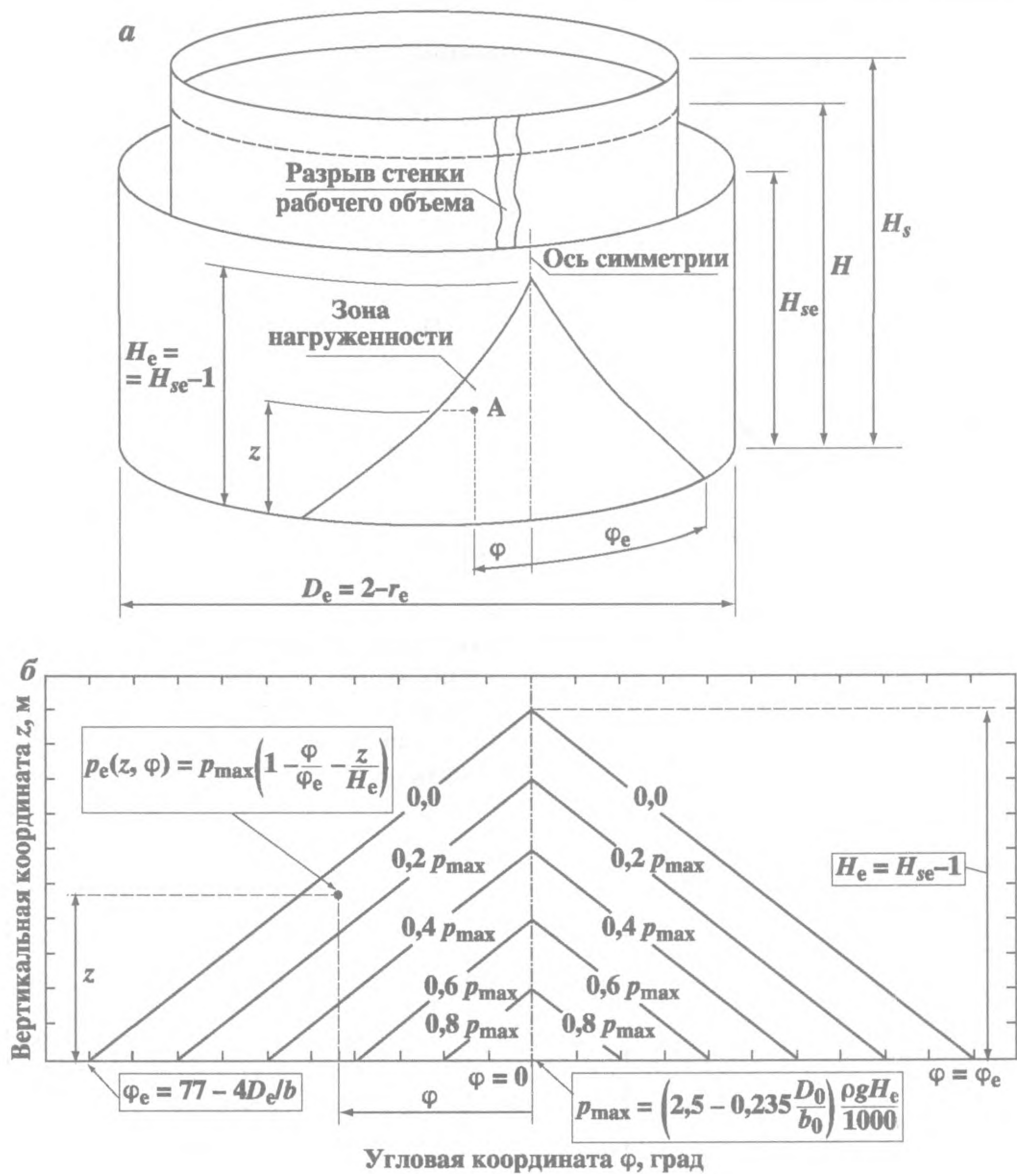


Рис. 2. Схема приложения нагрузки для расчета защитной стенки:
 а – общий вид; б – развёртка

В таблице представлены значения толщин нижних пяти поясов стенки резервуара, полученные «методом средней точки» и по «котельной» формуле (в скобках).

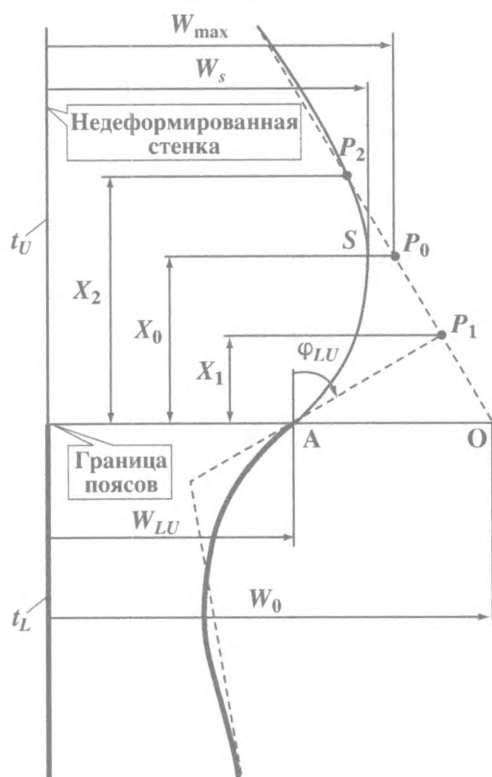


Рис. 3. Деформация стенки на границе поясов

Как видно из представленных данных, разница в толщине стенки, рассчитанной двумя методами, становится более ощутимой с ростом номера пояса и объема резервуара. «Метод средней точки» является приоритетным, так как при проектировании резервуаров с полученными толщинами стенки, мы не только обеспечиваем надежность резервуара, но и имеем существенную экономию металла.

Таким образом, разработанный нормативный документ позволит проектным организациям и промышленным предприятиям Республики Беларусь развивать деятельность по проектированию и выпуску резервуаров, повысить надежность, долговечность и экологическую безопасность этих сооружений.

Толщины поясов стенки резервуаров

Шифр резервуара	Объем, тыс. м ³	Номер пояса				
		1	2	3	4	5
P-1	1	3,65 (3,65)	2,76 (2,79)	2,36 (2,40)	1,97 (2,00)	1,57 (1,60)
P-2	2	5,31 (5,31)	3,99 (4,07)	3,42 (3,49)	2,84 (2,91)	2,27 (2,32)
P-3	5	6,38 (6,38)	4,76 (4,89)	4,08 (4,19)	3,39 (3,49)	2,70 (2,79)
P-4	10	10,03 (10,03)	7,38 (7,68)	6,32 (6,58)	5,25 (5,49)	4,17 (4,39)
P-5	10	11,84 (11,84)	9,20 (9,45)	8,31 (8,53)	7,41 (7,62)	6,51 (6,71)
P-6	20	16,58 (16,58)	12,10 (12,59)	10,25 (10,67)	8,36 (8,75)	6,48 (6,83)
P-7	30	18,95 (18,95)	14,05 (14,39)	11,64 (12,19)	9,49 (10,00)	7,35 (7,80)
P-8	50	24,72 (25,22)	20,26 (19,15)	15,21 (16,23)	12,43 (13,31)	9,59 (10,39)
P-9	100	36,22 (38,65)	29,67 (27,85)	19,53 (21,88)	14,02 (15,91)	8,34 (9,95)

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет защитной стенки вертикального цилиндрического стального резервуара в условиях аварии/Э.Я. Еленицкий, О.В. Дидковский, О.В. Худяков//Новые решения конструкций,

технологии сооружения и ремонта стальных резервуаров: материалы Междунар. науч. конф., Самара–Нижний Новгород, 12–17 авг. 2007 г. – С. 164–169.

2. *Уточненный* расчет прочности стенки вертикальных цилиндрических стальных резервуаров/Э.Я. Еленицкий, О.В. Дидковский, О.В. Худяков//Новые решения конструкций, технологии сооружения и ремонта стальных резервуаров: материалы Междунар. науч. конф., Самара–Нижний Новгород, 12–17 августа 2007 г. – С. 153–159.

Людмила Михайловна СПИРИДЕНОК окончила Новополюцкий политехнический институт. В 1993 г. защитила кандидатскую диссертацию в ГосНИТИ (г. Москва). Доцент кафедры «Трубопроводный транспорт, водоснабжение и гидравлика» ПГУ. Автор более 30 печатных работ.

Lyudmila M. SPIRIDENOK graduated from the Novopolotsk Polytechnic Institute. In 1993 she defended her thesis in GOSNITI (Moscow). She is Associate Professor of the Department of Pipeline Transport, Water Supply and Hydraulics of the PSU. She is author of more than 30 publications.

E- mail: spiridenok@list.ru

Анастасия Игоревна БОНДАРЧУК, аспирант кафедры «Трубопроводный транспорт, водоснабжение и гидравлика» ПГУ. Занимается научно-исследовательской деятельностью в области надежности резервуаров.

Anastasia I. BONDARCHUK her is graduate student at the Department of Pipeline Transport, Water Supply and Hydraulics of the PSU. She is engaged in research activities in the field of containers security.

E- mail: anastasia_ba-va@mail.ru