

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА В УКРАИНЕ СВАРНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ (ОБЗОР)

Ю. П. БАРВИНКО, А. Ю. БАРВИНКО, А. Н. ЯШНИК, Д. В. ТОКАРСКИЙ

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail office@paton.kiev.ua

Приведен критический анализ целесообразности дальнейшего строительства вертикальных сварных резервуаров для хранения нефти объемом 20...50 тыс. м³ с применением рулонных заготовок. Показано, что применение метода рулонирования при монтаже резервуаров большой вместимости в 1970–1985 гг. было в значительной степени продиктовано внешнеэкономическими обстоятельствами. Созданные в эти годы производственные мощности по изготовлению рулонных заготовок продолжали диктовать необходимость в строительстве рулонированных резервуаров и в период экономической стабильности в стране. Рассмотрены недостатки рулонных резервуаров и предлагаемые способы их устранения. После распада СССР в странах СНГ началось строительство резервуаров для хранения нефти из отдельных листов. На примере резервуаров с защитной стенкой показана возможность повышения их надежности путем применения новых сталей повышенной и высокой прочности. Даны предложения относительно конструктивного улучшения отдельных элементов резервуаров большой вместимости и рекомендуемые для них марки новых сталей. Библиогр. 26, табл. 1, рис. 5.

Ключевые слова: цилиндрические резервуары, рулонные заготовки, вертикальные монтажные стыки, малоцикловое нагружение, восстановление работоспособности стенки, качественные стали, полистовой монтаж стенок

В последние годы в периодических изданиях по сварным стальным конструкциям идет довольно активная дискуссия о целесообразности применения метода рулонирования при сооружении стальных цилиндрических резервуаров большой вместимости ($V = 20...50$ тыс. м³) и поиску оптимальных решений по улучшению их геометрической формы [1]. Большая часть рулонированных резервуаров в СССР была построена в 1970–1985 гг. Строительство резервуаров тесно связано с приходом в 1960-х гг. на Европейскую территорию Советского Союза большой сибирской нефти. Это были годы военного и экономического противостояния двух мировых систем. Годы, когда время было одним из важнейших факторов развития экономики страны. Государству необходимо было в кратчайшие сроки построить магистральные нефтепроводы с резервуарными парками большой вместимости для подачи сибирской нефти на строящиеся объекты большой нефтехимии и на мировой рынок для пополнения бюджета страны. В этих условиях вопросы качества строительства и гарантированный срок службы резервуаров часто были на втором плане.

До открытия сибирской нефти, при добыче нефти около 50 млн т в год, в стране не было запроса на резервуары объемом более 10 тыс. м³. В этих условиях качество рулонированных резервуаров при $V \leq 5$ тыс. м³ полностью удовлетворяло потребителей. В то же время для удовлетворения высокого спроса на нефть, в странах Европы и в Японии массово строились, на высоком техническом уров-

не, резервуары вместимостью 50...100 тыс. м³. Нефть доставлялась танкерами с водоизмещением от 50 до 150 тыс. м³, что и диктовало большой объем резервуаров.

К 1970 г. в системе Минмонтажспецстроя были созданы технические мощности, позволявшие в год только на одном стане изготавливать рулонные заготовки для более 20 резервуаров РВС (резервуар вертикальный стальной) 50 тыс. м³ [2]. В условиях возникшей острой необходимости создания резервуарных парков большой вместимости отсутствовало время на изучение и освоение зарубежного опыта. И с позиций сегодняшнего дня надо признать, что применение метода рулонирования в той обстановке позволило реально, пусть и с довольно низким качеством и сроком службы не более 20 лет, выполнить важную государственную задачу.

В то же время сооружение резервуаров вместимостью 20...50 тыс. м³, при довольно низком их качестве, упорно продолжалось и после снятия остроты вопроса [3]. И этому есть свое объяснение — установившаяся полная монополия Минмонтажспецстроя на весь цикл создания резервуаров. Данное ведомство разрабатывало нормы на монтаж рулонированных резервуаров, резервуары изготавливались на заводах министерства и монтировались своими организациями. Уже на этапе проектирования стальных конструкций резервуаров было требование о необходимости предусматривать возможность применения при их изготовлении и монтаже метода рулонирования [4].

Начиная с 1965 г. все резервуары вместимостью не более 20 тыс. м³ строились из рулонных заготовок. Действия министерства-монополиста естественны и понятны. На его предприятиях созданы большие узкоспециализированные производственные мощности, предназначенные только для изготовления рулонных заготовок. Никто не выступает с отказом от изготовления резервуаров с применением рулонных заготовок. Просто опыт убедительно показал [3, 5], что их целесообразно применять для резервуаров с толщиной стенки не более 8 мм. Практически это емкости вместимостью не более 3 тыс. м³. Относительно ухода от заводской автоматической сварки отметим, что в последние годы для стенки и днища резервуаров большой вместимости применяются листы размерами до 2,5×8,0 м при толщине 8...30 мм. Листы свариваются автоматической и механизированной сваркой, что позволяет получать в условиях монтажа сварные стыковые соединения стенки высокого качества с приемлемой скоростью сварки.

Сотрудники ИЭС на протяжении 1992–2011 гг. выполнили на нефтепарках Украины оценку технического состояния более 200 рулонированных резервуаров объемом вместимостью 3...50 тыс. м³. Обследование показало, что после 15...20 лет эксплуатации они полностью исчерпали свой ресурс работоспособности и требуют сложного капитального ремонта [6]. Только состояние отдельных емкостей вместимостью не более 5 тыс. м³ было оценено как удовлетворительное. Основная причина — наличие большой угловой деформации f в вертикальных монтажных сварных соединениях стенки ($f = 30...50$ мм на базе 500 мм) и наличие горизонтальных гофр и вмятин на средней и верхней части поверхности стенки (рис. 1). Попытки монтажников на протяжении более 60 лет найти приемлемый способ придать концевым участкам, при толщине стенки 10...18 мм, проектную кривизну, не имели успеха.

Причина образования на стенке гофр при разворачивании рулона рассмотрена авторами в публикации [7]. На конкретном резервуаре показано, что при принятой в нормах [8] разнице отметок любых точек наружного контура днища



Рис. 1. Образование гофр и вмятин на стенке после разворачивания рулонов. РВС 5 тыс. м³

от горизонтали на 30...40 мм, образование гофр на средних и верхних областях стенки неизбежно. Сваренное из отдельных листов полотнище представляет собой прямоугольник с размерами порядка 18×30 м, где 18 м — высота стенки. Придать нижней кромке полотнища, при разворачивании рулона, профиль наружного контура днища, при разнице отметок кольцевого фундамента до 40 мм, без появления изломов на более тонких верхних поясах стенки, невозможно, что и наблюдается на практике.

Для повышения работоспособности вертикальных монтажных стыков стенки рулонированных резервуаров важно было установить научно обоснованные в них допуски на угловые деформации. Принятые допуски должны были гарантировать, что сварные соединения отработают расчетный срок службы в условиях, исключающих появление в них малоциклового усталости. В 1987 г. в ИЭС был разработан специальный составной образец для малоциклового испытания сварных соединений угловой деформацией (рис. 2). Испытания образцов из сталей 16Г2АФ, 09Г2С и ВСтЗсп [9] с различной величиной угловой деформации позволили получить зависимость $N_{кр}$ от величины угловой деформации в расширенном диапазоне значений f . $N_{кр}$ — число циклов нагружения образца до появления в сварном соединении визуально наблюдаемой трещины длиной 3...4 мм. Однако разработанные ИЭС допуски на угловые деформации включили в новые нормы на монтаж резервуаров [10] как рекомендуемые. Такая запись позволяла разработчикам проектов принимать те значения f , которые без особых трудностей достигали монтажники. Впоследствии в нормах [8, 11] рекомендуемые значения для вертикальных монтажных стыков стенки исключили. В нормах появилась новая запись, что величина f принимается по требованиям проекта «Конструкции металлические» (КМ) стандарта [12], что позволяет строительство рулонированных резервуаров со сроком службы не более 15...20 лет. В стандарте принят один допуск величины угловой деформации $f = 1/2$ дюйма на шаблоне длиной 1 м.

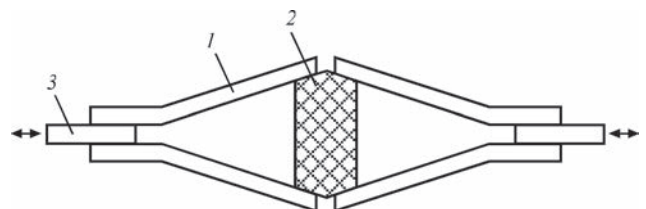


Рис. 2. Схема составного образца для малоциклового испытания сварных соединений с угловой деформацией: 1 — испытываемые элементы; 2 — демпфер; 3 — элемент для закрепления в пульсаторе



Рис. 3. РВС 10 тыс. м³: усталостные трещины по зоне сплавления шва (а); угловые деформации в вертикальном стыковом монтажном сварном соединении стенки (б)

При наличии на большинстве рулонированных резервуаров вместимостью 10...50 тыс. м³ в вертикальных монтажных соединениях стенки усталостных трещин (рис. 3, а), возникла острая необходимость в их ремонте. Все понимали, что это брак рулонной технологии строительства и угловую деформацию (рис. 3, б) ремонтом сварного шва не устраняют. На начальном этапе эксплуатации резервуаров с угловыми деформациями предложения по ремонту сводились к локальной разгрузке сварного соединения от кольцевых усилий путем установки в зоне шва жестких горизонтальных ребер [13]. Такое решение приводило к дополнительной концентрации напряжений в сварном соединении и после одного-двух лет эксплуатации у концевых участков сварных швов ребер начали появляться усталостные трещины. В ряде случаев было выполнено несколько ремонтов сварных соединений путем их частичной (по поясам) вырезки и вваривания специальных вставок [14]. В процессе выполнения работ на прилегающих участках стенки образовывались недопусти-



Рис. 4. Улучшение геометрической формы стенки рулонированного резервуара РВССП 20 тыс. м³ локальными вытяжками

мые отклонения геометрической формы. С целью их устранения на стенке устанавливали систему горизонтальных и вертикальных ребер с тяжами, что существенно снижало работоспособность стенки (рис. 4).

Полученные результаты показали, что для исключения или уменьшения локальной деформации стенки после вваривания вставок необходимо знать напряженное состояние вставок и прилегающих областей стенки. Оценка напряженного состояния участка стенки резервуара, при замене на нем монтажного стыка отдельными вставками, была выполнена в ИЭС [15]. Расчет выполнен для резервуара вместимостью 50 тыс. м³, проект ЦНИИПСК (Москва), металл стенки — сталь 16Г2АФ, с учетом конкретной технологии вваривания вставок. Оценка риска потери устойчивости гибкой пластинки выполнена с применением приближенного энергетического метода, в соответствии с которым риск потери устойчивости будет большой, если $E = U + W < 0$, где E — полная энергия упругой системы; U — потенциальная энергия изгиба для данной области; W — работа мембранных сварочных напряжений.

Полученные эпюры остаточных напряжений приведены в работе [15]. Результаты расчета позволили оценивать вероятность потери устойчивости стенки в области ремонта. На основе полученных результатов в ИЭС была разработана специальная технология замены вертикального стыка в одну линию вставками по поясам с разбежкой вертикальных швов. Технология многократно опробована на прак-



Рис. 5 Монтаж стенки резервуара РВСПК 50 тыс. м³ с применением листов 2,5×8,0 м

тике: это РВСПК 50 тыс. м³ с заменой всех монтажных стыков на НПЗ г. Мозырь, ЛПДС «Лисичанск»; РВССК 20 тыс. м³ на НПС г. Кременчуг, НПС «Снигиревка», «Августовка» и многие другие. Все резервуары после ремонта сданы в эксплуатацию с проектным уровнем налива и сроком службы не менее 20 лет.

После более чем 30-летнего неудачного опыта строительства из рулонных заготовок резервуаров вместимостью 20...50 тыс. м³, довольно спорно воспринимаются предложения некоторых авторов [16, 17] о возможности применения метода рулонирования и в дальнейшем, при использовании их изобретений. Однако предложения по повышению работоспособности стенки исходят из существенных локальных нарушений ее жесткости, геометрической формы, изменению ламинарного течения силового потока кольцевых напряжений. В конечном итоге это приведет к появлению на стенке новых зон концентрации напряжений, очагов разрушения и развития усталостных трещин.

С 1991 г. перестал действовать диктат строительства резервуаров по типовым проектам. Основным действующим лицом стал Заказчик, а главными требованиями к резервуарам стали качество монтажа, расчетный срок службы не менее 40...50 лет и повышенная экологическая безопасность. С 2001 г. в странах СНГ резервуары большой вместимости повсеместно начали строиться с применением листового способа и расчетным сроком службы не менее 40 лет (рис. 5). В России резервуары строили «под ключ» иностранные фирмы [18]. В Республике Беларусь на нефтепроводе «Дружба» две емкости $V = 75$ тыс. м³ были построены польской фирмой, а шесть емкостей $V = 50$ тыс. м³ белорусскими монтажными организациями [19]. Проект КМ резервуара и авторский надзор выполняли специалисты ИЭС. Строительство совпало с началом широкого применения резервуаров

с защитной стенкой и двойным днищем. Замена традиционного обвалования защитной стенкой позволила существенно увеличить вместимость нефтепарка на тех же площадях, а двойное днище должно было гарантировать непопадание нефти в окружающую среду. Наличие в стандартах [8, 11] дополнительных требований к резервуарам с защитной стенкой по предотвращению лавинных разрушений стенки основного резервуара вызвало необходимость научного подтверждения того, что применяемые для стенки новые стали гарантируют выполнение требования стандарта. С этой целью в ИЭС были проведены экспериментальные исследования на сопротивляемость к развитию вязкой усталостной трещины сварных стыковых соединений сталей класса прочности С390: 06ГБ и 09Г2СЮч-У [20, 21] (имеющие $KCV_{-40} \geq 170$ Дж/см²). На натурных образцах, в условиях циклического нагружения исследован процесс зарождения и развития усталостной трещины от начального надреза по линии сплавления. Было показано, что на конечной критической стадии своего развития образовавшаяся сквозная трещина имеет небольшой участок стабильного (предсказуемого) состояния. Протяженность этого участка по числу циклов $N_z = 300$ и периодичности нагружений резервуаров равной одному нагружению в течение трех суток, позволяет гарантированно обнаружить трещину по нефтяному пятну в процессе визуального осмотра стенки в соответствии с требованием действующего регламента по эксплуатации резервуаров [14]. Обнаружение усталостных трещин в сварных стыковых вертикальных соединениях стенки, на докритическом этапе их развития, практически предотвращает протяженные разрушения и полное раскрытие стенки. Это позволяет четко обозначить функциональное назначение основной (внутренней) и защитной стенки резервуара. Основная стенка: обеспечение статической прочности и недопущение протяженных вязких разрушений, защитная стенка: обеспечение статической прочности резервуара при его заполнении нефтью, изливающейся из основного резервуара.

Исследовался также вопрос влияния условий жесткого контура на вязкие свойства (KCV_{-40}) кольцевых сварных соединений патрубков и люков-лазов при врезке их в первый пояс стенки. Это, в основном, касается листового проката нижних поясов стенки, поставляемого в состоянии после закалки с отпуском: сталь 06ГБ 390 и 06ГБ 355 [22] и нормализованной стали 09Г2СЮч-У [26]. Стали 06ГБ390 и 06ГБ355 привлекательны низким содержанием углерода и высокими нормативными значениями $KCV_{-40} \geq 120$ Дж/см² (по факту 300 Дж/см² и более в толщинах до 50 мм). Были

ожидания, что высокие вязкие свойства листового проката в значительной степени компенсируют повышенные сварочные деформации металла кольцевого шва, возникающие при сварке в жестком контуре. Патрубки вваривались с предварительным подогревом кромок, электроды ОК Autrod 12.51. Однако, после вваривания патрубков диаметром 400 мм в пояс стенки толщиной 26 мм, в кольцевых швах появились холодные трещины. Для их исключения была применена довольно сложная технология сварки, включавшая в себя предварительный подогрев кромок, проковку начальных проходов и послесварочный подогрев сварного соединения. Нужно отметить, что листовой прокат сталей, поставляемых в состоянии после закалки с отпуском, по техническим условиям имеет $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,85$ для толщин 25 мм и более, и $\leq 0,90$ для толщин меньше 25 мм. В соответствии с требованием стандартов [8,12], отношение σ_T/σ_B не должно превышать 0,75. В предлагаемых в данных стандартах сталях требуемое отношение, на сегодня, выполняется только для нормализованных листовых сталей.

Для более полной оценки влияния жесткого контура на значения ударной вязкости металла шва и зоны сплавления сталей 09Г2СЮч-У и 06ГБ, были выполнены дополнительные исследования. С имитацией сварного соединения стенки с патрубком и условий жесткого контура, были сварены электродами LB-52U диаметр 3,2 мм пластины из данных сталей толщиной 26 мм. Одна пластина проходила термообработку: отпуск при температуре 620 °С с выдержкой один час. С каждой пластины изготавливались образцы для испытания на KCV_{40} по линии сплавления и металлу шва. Подробно результаты испытаний рассмотрены в работе [21]. В таблице приведены конечные результаты испытаний. Результаты испытаний показывают, что выполнение высокого отпуска узлов врезок, в соответствии с нормами для толщины стенки более 25 мм, для данных сталей понижает до 10 % величину ударной вязкости KCV_{40} . Это дает основание предполагать, что при получении большего числа статистических данных можно будет ставить вопрос о применении для рассматриваемых сталей термообработки при толщине стенки 30 мм и более, как принято для сосудов давления [23].

Полученные результаты дают определенное научное обоснование наметившейся в последние годы тенденции по применению для резервуаров большой вместимости нормализованного листового проката сталей класса прочности С350...420 при фактических значениях $KCV_{40} \geq 150$ Дж/см², содержании угле-

рода 0,14...0,18 % и серы менее 0,01 %. Наличие повышенного углерода несколько усложняет и удорожает технологию сварки данных сталей. Сварные соединения стенки этих сталей выполняются с применением сварочной проволоки типа ОК Autrod 13/28 ESAB, с содержанием никеля 2,4 %. В этом отношении более привлекателен листовой нормализованный прокат разработанных в ИЭС сталей 09Г2СЮч-У и 09ХГ2СЮч-У класса С 355...420 с пониженным содержанием углерода (0,10...0,13 %), повышенным содержанием марганца (1,9...2,2 %) и микролегированием церием (0,001...0,050 %) [24].

С применением листовой нормализованной стали 09Г2СЮч-У390 в соответствии с проектом и при авторском надзоре специалистов ИЭС, в Республике Беларусь построено два резервуара РВСПК 50 тыс. м³ с защитной стенкой (рис. 5). В основном резервуаре из данной стали выполнены первый ($l = 26$ мм) и второй ($l = 22$ мм) пояса стенки, а в защитном — первый ($l = 21$ мм). В соответствии с заводскими сертификатами для листа $l = 26$ мм значение ударной вязкости было равно $KCV_{40} = 173...204$ Дж/см². Применение предварительного подогрева кромок и механизированной сварки в защитном газе (Ar + 20 % CO₂) с проволокой сплошного сечения ЕМК 6 ER 70 S-6 исключило появление холодных трещин в сварных соединениях стенки и швах после вваривания патрубков и люков. После дополнительных исследований сварных соединений с учетом наличия жесткого контура было принято решение об отказе от высокого отпуска узлов врезки патрубков и люков. Узел придонного люка прошел термообработку, как и предусмотрено [12].

Авторский надзор за монтажом четырех резервуаров вместимостью 50 тыс. м³ с защитной стенкой [19] выявил ряд существенных недостатков относительно конструкции и работоспособности двухслойной центральной части днища. Двухслойное днище применено по требованию заказчика. Предусмотренный проектом, для недопущения попадания в отсек влаги, монтаж и свар-

Влияние условий жесткого контура на значение ударной вязкости сварных стыковых соединений сталей 06ГБ и 09Г2СЮч-У толщиной 26 мм

Условия сварки	Наличие термообработки	KCV_{40} Дж/см ²	
		09Г2СЮч-У	06ГБ
В свободном состоянии	Отсутствует	<u>317,1...416,9</u> 351,7×3	<u>338,5...342,2</u> 350,7×3
	Высокий отпуск	<u>303,4...329,3</u> 316,1×3	<u>341,1...339,3</u> 340,2×3
Жесткий контур	Отсутствует	<u>338,3...337,5</u> 338,3×3	<u>340,1...339,2</u> 340,6×3
	Высокий отпуск	<u>338,7...273,4</u> 308,1×3	<u>343,3...248,2</u> 311,3×3

Примечание. Место надреза – линия сплавления.

ка одного герметичного отсека днища за одну смену, часто было нереальной задачей. При наличии десяти отсеков на днище в районе строительства практически было невозможно попасть в десять сухих дней. Поэтому торцы отсеков оставались открытыми до полного испарения влаги при солнечном нагреве верхнего днища. Пришлось отказаться и от контроля герметичности отсеков вакуумом. На наличие течи в верхнем днище при заполненном резервуаре вакуум не реагирует. Зимой в межслойном пространстве влага конденсируется, что приводит к резкому падению вакуума. Поэтому для контроля герметичности в сигнальные трубки были установлены датчики с реагированием на наличие паров углеводородов.

Анализ монтажа двойного днища показал, что его конструкция очень металлоемкая и трудоемкая в исполнении. Суммарная проектная толщина днища резервуаров составляла $8 + 11 = 19$ мм (резервуары РВСПК 75 и 50 тыс. м³ [19]) при толщине наружного, контурного, днища (окраек) 20 мм. Имеется явное пренебрежение принципом максимальной концентрации металла в одном элементе. При затекании герметичного отсека затруднено удаление из него нефти и ее паров. Более чем 20-летний опыт эксплуатации резервуаров вместимостью 20 тыс. м³ с толщиной окраек 9 мм [25] убедительно показал, что данной толщины, при наличии антикоррозионного покрытия, вполне достаточно для сохранения его непроницаемости на протяжении 40 лет. Это подтверждается и нормами ОАО «АК» Транснефть» [26], в которых принята толщина окрайки и центральной части днища резервуаров большой вместимости равной 9 мм.

По согласованию с заказчиком, в двух аналогичных резервуарах третьей очереди строительства днища приняты однослойными, толщиной 12 мм [19]. Применение однослойной утолщенной центральной части днища существенно уменьшило металлоемкость и объем монтажных работ, повысило ее надежность. С учетом полученного опыта устройства резервуаров в Республике Беларусь, ИЭС выполнил проекты резервуара РВСПК 50 тыс. м³ для строительства на ЛПДС «Броды», резервуара РВСПК 20 тыс. м³ на НПС «Августовка» (заказчик ПАТ «Укртранснефть»), на капитальный ремонт резервуара РВСПК 50 тыс. м³ (ПАТ «Укртатнафта» г. Кременчуг). На всех отмеченных объектах предусмотрено применение опробированных новых сталей и конструктивных решений.

На основании приведенного анализа выполненных работ по оценке технического состояния рулонированных резервуаров вместимостью 5...50 тыс. м³ после их эксплуатации в течение 15..20 лет и предложенный по конструкции резервуаров с защитной стенкой и гарантийным расчетным сроком эксплуата-

ции не менее 40 лет, можно сделать следующие выводы:

резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов с толщиной нижнего пояса стенки 10 мм и более, смонтированные из рулонных заготовок, по геометрической форме стенки и расчетному сроку службы 20 лет, не удовлетворяют требованиям действующих норм;

применение рулонных заготовок при монтаже стенки резервуаров необходимо ограничить в стандарте Украины толщиной нижнего пояса не более 8 мм;

в стандарте Украины ([8], табл. 13) необходимо четко изложить требования к местным угловым деформациям вертикальных сварных швов стенки. Допустимое значение стрелки прогиба f на базе 500 мм для всей стенки должно быть указано не в проекте КМ, а в стандарте;

рекомендуемый в стандарте Украины (ДСТУ Б В.2.6-183:2011, табл. 7) перечень марок сталей необходимо дополнить новыми сталями класса прочности С355...440: 06ГБ355; 06ГБ390 (поставка в состоянии закалки с отпускком); 09Г2СЮч-У390; 09ХГ2СЮч-У440 (поставка в состоянии после нормализации).

1. Применение листовой качественной стали повышенной прочности в резервуарах для хранения нефти / А. Ю. Барвинко и др. // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2016. – № 1. – С. 2–8.
2. Билецкий С. М., Голинько В. М. Индустриальное изготовление негабаритных сварных листовых конструкций. – Киев: Наукова думка, 1983. – 271 с.
3. Купрейшвили С. М. Вертикальные цилиндрические резервуары с плавающими крышами // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2013. – № 2. – С. 2–16.
4. СНиП 2.09.03–85. Сооружение промышленных предприятий. – С. 33.
5. Барвинко Ю. П., Голинько В. М. К шестидесятилетию промышленного применения технологии изготовления цилиндрических резервуаров из рулонных заготовок // Автоматическая сварка. – 2009. – № 2. – С. 33–37.
6. Барвинко Ю. П., Барвинко А. Ю., Каргин А. Ю. Восстановление работоспособности резервуаров для хранения нефти со стенками из рулонных заготовок вместимостью 20 и 50 тыс. м³ // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2006. – № 10. – С. 5–13.
7. Барвинко Ю. П., Барвинко А. Ю. О возможности применения рулонных заготовок в современном резервуаростроении // Там же. – 2013. – № 11. – С. 2–7.
8. ДСТУ Б В.2.6-183. 2011. Резервуари вертикальні циліндричні сталеві для нафти та нафтопродуктів. – С. 77.
9. Повышение сопротивления малоциклового усталости вертикальных сварных стыковых стенок цилиндрических резервуаров с угловыми деформациями / С. М. Билецкий и др. // Автоматическая сварка. – 1992. – № 7-8. – С. 41–46.
10. ВСН 311–89. Монтаж стальных вертикальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти объемом от 100 до 50000 тыс. м³. – С. 33–37.
11. ГОСТ Р 52910–2008. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. – С. 52.
12. API STANDART 650. Сварные стальные резервуары для хранения нефтепродуктов. 11 изд., 2007. – С. 410.
13. Поповский Б. В., Ритчик Г. А. Обеспечение геометрической формы стенок рулонных резервуаров в зонах мон-

14. Правила технической эксплуатации резервуаров и инструкции по их ремонту. – М. Недра, 1988. – 269 с.
15. Оценка напряженного состояния стенки рулонированных вертикальных резервуаров при вваривании листов-вставок / В. И. Махненко и др. // Автоматическая сварка. – 2002. – № 5. – С. 3–8.
16. Купрейшвили С. М. Добыча нефти и состояние современного резервуаростроения // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2015. – № 10. – С. 2–11.
17. Дорошенко Ф. Е. Проблемы обеспечения геометрической точности корпусов вертикальных стальных резервуаров // Там же. – 2016. – № 5. – С. 2–7.
18. Купрейшвили С. М. Классический вертикальный цилиндрический резервуар. // Там же. – 2016. – № 7. – С. 2–11.
19. Современное резервуаростроение в Республике Беларусь / О. П. Черников и др. // Там же. – 2014. – № 12. – С. 9–13.
20. Барвинко А. Ю., Барвинко Ю. П. О возможности предотвращения лавинных разрушений стенки цилиндрических резервуаров для хранения нефти путем применения листовой стали с повышенными значениями ударной вязкости // Техн. диагностика и неразруш. контроль. – 2016. – № 2. – С. 44–49.
21. Хладостойкость и сопротивляемость слоистому разрушению сварных соединений стали 06ГБ390 / В. Д. Позняков и др. // Автоматическая сварка. – 2012. – № 3. – С. 45–49.
22. ТУ У 27.1-05416923-085:2006. Прокат листовой свариваемый из качественной стали классов прочности 355–590 для машиностроения. Срок действия 12-31-2016. – С. 11.
23. ОСТ 26 291. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия.
24. ТУ 14–1-5065–2006. Изменение 1. Прокат толстолистовой из низколегированной стали марок 09Г2СЮч; 09Г2СЮч–У; 09ХГ2СЮч; 09ХГ2СЮч–У. – С. 18.
25. Типовой проект ТП 704-1-70. Стальной вертикальный цилиндрический резервуар для нефти и нефтепродуктов емкостью 20000 м³. – М.: ЦНИИПСК, 1972.
26. РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04. Нормы проектирования стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти объемом 1000...50000 куб.м. – М., 2004. – С. 71.

Ю. П. Барвинко, А. Ю. Барвинко,
А. Н. Яшник, Д. В. Токарський

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.
03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11.
E-mail: office@paton.kiev.ua

СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА В УКРАЇНІ ЗВАРНИХ РЕЗЕРВУАРІВ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ НАФТИ (ОГЛЯД)

Наведено критичний аналіз доцільності подальшого будівництва вертикальних зварних резервуарів для зберігання нафти об'ємом 20 ... 50 тис. м³ із застосуванням рулонних заготовок. Показано, що застосування методу рулонування при монтажі резервуарів великої місткості в 1970-1985 рр. було в значній мірі продиктовано зовнішньоекономічними обставинами. Створені в ці роки виробничі потужності з виготовлення рулонних заготовок продовжували диктувати необхідність в будівництві рулонованих резервуарів і в період економічної стабільності в країні. Розглянуто недоліки рулонних резервуарів і запропоновано способи їх усунення. Після розпаду СРСР в країнах СНД почалося будівництво резервуарів для зберігання нафти з окремих листів. На прикладі резервуарів із захисною стінкою показана можливість підвищення їх надійності шляхом застосування нових сталей підвищеної та високої міцності. Надано пропозиції щодо конструктивного поліпшення окремих елементів резервуарів великої місткості і рекомендовано для них марки нових сталей. Бібліогр. 26, табл. 1, рис. 5.

Ключові слова: циліндричні резервуари, рулонні заготовки, вертикальні монтажні стики, малоциклове навантаження, відновлення працездатності стінки, якісні сталі, полистовий монтаж стінки

Поступила в редакцію 18.01.2017

НОВАЯ КНИГА

Сборник трудов Восьмой международной конференции «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах».
Киев: Международная Ассоциация «Сварка», 2016. – 130 с. Мягкий переплет, 200x290 мм.

В сборнике представлены доклады Восьмой международной конференции «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах» (19–23 сентября 2016 г., Одесса, Украина), в которых отражены достижения за последние годы в области математического моделирования физических явлений, протекающих при сварке, наплавке и других родственных процессах. Авторами докладов являются известные ученые и специалисты из разных стран. Для научных и инженерно-технических работников, занятых в области сварки, резки, наплавки, пайки, нанесения защитных покрытий и других родственных процессов.

Заказы на сборник просьба направлять в редакцию журнала «Автоматическая сварка».

Сборники предыдущих семи конференций ММТWRP за 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012 и 2014 гг. находятся в открытом доступе на сайте Издательского Дома «Патон»:

<http://patonpublishinghouse.com/rus/proceedings/mmw>

