



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS**

N1, ТОМ 13 (2007) 45-49

УДК 624.014

(07)-0131-1

МЕТАЛЕВІ РЕЗЕРВУАРИ – ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ

В.В. Стоянов

*Одеська державна академія будівництва і архітектури,
вул. Дідріхсона, 4, 65029, м. Одеса, Україна.*

E-mail: vocast@farlep.net

Отримана 8 січня 2007; прийнята 15 січня 2007

Анотація. У роботі розглядаються актуальні для всіх типів металевих резервуарів проблеми зниження ймовірності розвитку тріщин у проблемних місцях і вказуються перспективні напрямки в проектуванні резервуарів ємністю 100 тис. кубів і більше. На базі аналізу відомих рішень по розвитку тріщин при циклічному навантаженні розроблені конкретні прийоми уповільнення росту тріщин з використанням високоміцних і високомодульних матеріалів з вуглепластика. Для виключення додаткових місць концентраторів напружень рекомендується встановлювати (замість масивних кільцевих ребер жорсткості з металу) тонкі окружні пояси з вуглепластика або інших високоміцних полімерів. Для покриття резервуарів рекомендується комбінована конструкція з керованою носійною здатністю, що дозволяє зменшити матеріалоемність даху більш ніж удвічі в порівнянні з використовуваними нині понтонами. Комбінована конструкція покриття складається із системи двопоясних лінзоподібних систем із пневмокаркасними носійними елементами, розташованими між нитками й розпірками.

Ключові слова: металеві резервуари, тріщини, вуглепластик, двопоясні лінзоподібні системи, керована носійна здатність.

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ РЕЗЕРВУАРЫ – НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ

В.В. Стоянов

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
ул. Дидрихсона, 4, 65029, г. Одеса, Украина.*

E-mail: vocast@farlep.net

Получена 8 января 2007; принята 15 января 2007

Аннотация. В работе рассматриваются актуальные для всех типов металлических резервуаров проблемы снижения вероятности развития трещин в проблемных местах и указываются перспективные направления в проектировании резервуаров емкостью 100 тыс. кубов и более. На базе анализа известных решений по развитию трещин при циклическом нагружении разработаны конкретные приемы замедления роста трещин с использованием высокопрочных и высокомодульных материалов из углепластика. Для исключения дополнительных мест концентраторов напряжений рекомендуется устанавливать (вместо массивных кольцевых ребер жесткости из металла) тонкие окружные пояса из углепластика или других высокопрочных полимеров. Для покрытия резервуаров рекомендуется комбинированная конструкция с управляемой несущей способностью, позволяющая уменьшить материалоемкость крыши более чем вдвое по сравнению с используемыми ныне понтонами. Комбинированная конструкция покрытия состоит из системы двухпоясных линзообразных систем с пневмокаркасными несущими элементами, расположенными между нитями и распорками.

Ключевые слова: металлические резервуары, трещины, углепластик, двухпоясные линзообразные системы, управляемая несущая способностью.

METALLIC RESERVOIRS – SOME PROBLEMS OF DESIGN AND REDESIGN

V.V. Stoyanov

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,

Didrikhsona str. 4, 65029, Odessa, Ukraine.

E-mail: vovast@farlep.net

Received 8 January 2007; accepted 15 January 2007

Abstract. There are considered the actual for all types of metallic reservoirs problems of decreasing a probability of cracking, and are determined long-term directions of designing reservoirs of 100 thousand and more cubes in volume. The known solutions on cracking under a cyclic loading having been analyzed, there were developed some techniques of cracking slowing-down by using high-strength and high-modulus materials of carbon-filled plastic. To exclude additional places of stress concentrates, thin surrounding belts of carbon-filled plastics or other high-strength polymers (instead of massive metallic ring stiffening ribs) are recommended for installation. For reservoir coating, there is recommended a combined structure with a controllable carrying capacity that allows to decrease a specific consumption of materials for roofs more than twofold in comparison with the pontoons that are in use now. The combined structure of coating consists of a system of two-belt lens-shape systems with pneumatic-framework carrying elements placed between filaments and distance bars.

Keywords: metallic reservoirs, cracks, carbon-filled plastic, two-belt lens-shape systems, a controllable carrying capacity.

Анализ тематики современных исследований строительных металлических конструкций показывает, что проблеме сохранения их несущей способности в процессе эксплуатации в последние годы уделяется большое внимание как на Украине, так и за рубежом [1], [2].

Системный анализ отказов некоторых типов несущих металлических конструкций указывает на специфику их по каждой группе, что предопределяет выбор методов сохранения их несущей способности на расчетный срок эксплуатации. Здесь имеются в виду новые конструктивные решения, предусматривающие комплексное использование совместно с металлом других современных высокомолекулярных материалов, позволяющих полнее раскрыть ресурс металлических конструкций и одновременно обеспечить надежность их эксплуатации.

В настоящей работе остановимся на актуальной для всех типов металлических резервуаров проблеме возможности снижения вероятности развития трещин в проблемных местах и рассмотрим некоторые перспективные направления в проектировании резервуаров емкостью 100 тыс. кубометров и более.

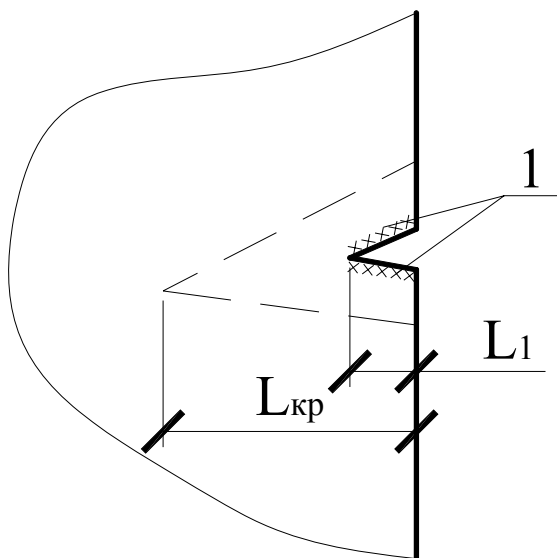
Расширение объема применения таких резервуаров в мире объясняется многими причинами технического и стратегического плана.

На узкие места в конструировании резервуаров с двойной стенкой указывает проф. Поповский Б.В. [3]. Он отмечает: «Исследования показали, что для возможности удержания динамического напора жидкости при разрыве внутренней стенки, она должна быть усилена высокопрочными тросами, а наружная стенка подкреплена кольцами жесткости, а таких конструктивных решений пока нет». Действительно, проблема есть, ее надо решать, но об этом позже. Б.В. Поповский совершенно справедливо обращает внимание на тот факт, что устройство внешней стенки не гарантирует защиты от наиболее опасного вида аварий – хрупкого разрушения и раскрытие трещин на внутренней стенке по всей высоте. Собственно, возможность хрупкого разрушения характерна практически для всех типов металлических резервуаров. Остановимся на этой теме подробнее.

В работе [4] утверждается, что для резервуаров «при циклическом напряжении, превышающем предел текучести, разрушение может произойти при числе циклов всего в несколько

тысяч нагружений», в то время как нормативные требования устанавливают величину 2×10^6 циклов. Такое разрушение обычно называют малоциклового усталостью. В [5], [6] обращается внимание на то, что проблемными являются все вертикальные соединения 4-х нижних поясов резервуаров, а главными концентраторами напряжений служат сварные стыки, которые при динамическом воздействии могут испытывать хрупкое разрушение. И, наконец, нельзя не отметить анализ работы резервуаров в [1], где обоснованно подтверждается, что практически расчетный срок эксплуатации резервуаров составляет 10^4 - 10^5 число циклов нагружения. При этом проявляются трещины от усталости в местах большой концентрации напряжений – стык стенки с днищем, вертикальный стык рулонированных листов стенки и др.

Из короткого обзора следует, что усталостное разрушение металла наблюдается преимущественно в местах концентрации напряжений, т.е. там, где наиболее вероятно развитие трещин и является их продуктом. При этом следует отметить, что поверхностные трещины в сварных стыках неизбежно ведут к хрупкому разрушению. Остановимся несколько подробнее на механизме развития в металле трещин



1 – зона релаксирующего материала (область уменьшения напряжений на берегах трещины и освобождающейся упругой энергии).

Рис.1. К механизму развития поверхностной трещины при циклическом нагружении металла

зарождающихся на поверхности материала. Так, если длина трещины L_1 не превышает критической длины $L_{кр}$ (Рис.1), то даже большие локальные напряжения вблизи острия трещины неспособны привести ее к росту (нужна энергетическая подпитка роста трещины). При циклических нагрузках, когда циклические напряжения превышают предел текучести, внутри кристаллической структуры металла наблюдается определенная перестройка, которая значительно снижает пороговую величину работы разрушения. В результате самые незначительные поверхностные трещины могут стать причиной разрушения при напряжениях значительно меньших по величине по сравнению с требуемой вибрационной прочностью σ_{bs} .

Обратим внимание на следующую деталь – при деформировании тела берега поверхностной трещины раскрываются, т.е. материал, непосредственно примыкающий к ее поверхности, релаксирует с одновременным освобождением упругой энергии. В итоге циклическое нагружение, раскачивая устье трещины и увеличивая объем релаксирующего материала, подпитывает упругой энергией рост трещины до критической длины $L_{кр}$. Возникает вопрос, как замедлить или исключить этот процесс подпитки энергией трещины? **Решение, предложенное нами в [7] для поверхностных трещин, основывается на учете специфики динамики роста трещины, когда по устью трещины вводятся связи, препятствующие раздвижению ее берегов и, следовательно, замедляется рост трещины.** Практически это выглядит в виде накладки, к которой предъявляются жесткие условия. Во-первых, толщина ее не должна заметно нарушать геометрии стенки резервуара. Например, в случае использования равнотолщинной со стенкой накладки концентрация напряжений по месту установки может возрасти как минимум в 15-20 раз. Во-вторых, материал накладки при ограничении ее по толщине, для обеспечения работы связи на растяжение, должен обладать величиной предела прочности на порядок выше, чем металл стенки резервуара. При этом модуль упругости материала накладки (для обеспечения изгибной жесткости) должен быть не менее, чем у стали.

$$\begin{aligned} \delta_{II} &\leq 1/20 \delta_{ст} \\ E_{II} &\geq E_M \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{пр.н}} \leq 10 \delta_{\text{пр.м}}$$

где:

$\delta_{\text{н}}$ – толщина накладки;

$\delta_{\text{ст}}$ – толщина стенки;

$E_{\text{н}}, E_{\text{м}}$ – модули упругости материала накладки и металла;

$\sigma_{\text{пр.н}}, \sigma_{\text{пр.м}}$ – величина предела прочности материала накладки и металла.

Материалом, удовлетворяющим требованиям, обозначенным выше, может быть выбран углепластик, который обладает уникальными физико-механическими характеристиками – временный предел прочности на растяжение ($R_{\text{вр}}$) – 3.5×10^3 Мпа, модуль упругости $2.3-3.0 \times 10^5$ Мпа [8]. Вибрационная прочность углепластика установлена на базе 10^7 циклов нагружения. Углепластик сохраняет упругие деформации при $\varepsilon_y = 1.0\%$ и более, в то время как у стали, используемой для резервуаров, предел ползучести начинается с $\varepsilon_c = 0.15-0.3\%$.

Технологически процесс устройства накладки заключается в креплении в обозначенном месте углеродного холста типа Sika Wrap R-230C или другого выбора, толщиной 1.2 мм [8].

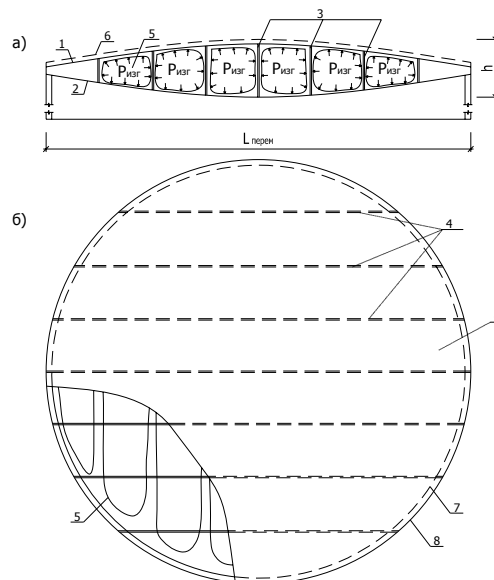
Первоочередным, необходимым представляется постановка углепластика по всем сварным швам, которые перед этим должны пройти регламентные работы. Это должно в определенной мере исключить возможность хрупкого разрушения по сварным швам в резервуарах любых типов и объемов при действии проектной нагрузки.

Теперь о резервуарах с двойной стенкой и проблемах их усиления, о которых шла речь выше. Повидимому, устройство кольцевых ребер жесткости, как это предлагается в [4], неприемлемо, так как в местах постановки таких ребер неизбежна высокая концентрация напряжений. Лучшим решением явится расположение по внутренней поверхности стенки резервуара системы окружных поясов из углепластиковых лент, которые одновременно с повышением надежности металлической стенки резервуара по направлению окружных напряжений обеспечат в местах их постановки замедление роста поверхностных трещин. Расстановку таких поясов следует начинать с проблемной высоты на отметке на 300 мм выше уровня дна резервуара и далее располагать их с определенным шагом вверх по стенке, уменьшая

ширину пояса в соответствии с изменением уровня окружных напряжений. При расчете стенки на устойчивость окружные пояса из углепластика с развитым поперечным сечением устанавливаются по расчету по наружной поверхности стенки резервуара, при этом не исключается возможность крепления их в отдельных местах к внешней стенке, если необходимо уменьшить их гибкость.

Остановимся на основных принципах конструирования такого важного элемента цилиндрических резервуаров, как крыши. В настоящее время покрытия большеобъемных резервуаров решаются в виде плавающей крыши на понтонах в различных модификациях [4].

На наш взгляд, это довольно тяжеловесное сооружение и далеко не мобильное. Представляется, что к покрытию резервуара должны быть предъявлены совершенно иные конструктивные требования, чем к самому резервуару. Такое покрытие должно быть легким, мобильным (в плане открытия и закрытия резервуара, как целиком, так и по отдельным его



а – двухпоясная линзообразная система (ДПЛС);
 б – схема расположения ДПЛС и пневмокаркасного элемента:
 1 – верхняя нить, 2 – нижняя нить, 3 – распорки (затяжки), 4 – ДПЛС, 5 – пневмокаркасные элементы, 6 – тентовое покрытие, 7 – внутренняя стенка, 8 – наружная стенка.

Рис. 2. Комбинированное покрытие резервуара.

частям) и обеспечивать, вместе с тем, восприятие всех регламентных нагрузок и видов загрузок. В качестве возможного конструктивного решения предлагается использовать комбинированное покрытие из системы двухъярусных линзообразных систем (ДПЛС), которые опираются на необходимые конструкции в составе второй внешней стенки резервуара с пневмокаркасными несущими элементами (ПКНЭ), расположенными между нитями и распорками (Рис.2). Кровлей такой несущей конструкции служит тентовое покрытие. Для резервуара диаметром 80 м с высотой ДПЛС в центре 3000 - 4000 мм внутреннее избыточное давление в пневмокаркасных элементах переменной длины в 0.3-0.4 Мпа может обеспечить работу конструкции при различных вариантах загрузки. Причем пневмокаркасные несущие элементы могут обеспечить несущую способность путем автоматического регулирования внутреннего избыточного давления [9]. Предлагаемое конструктивное решение крыши по материалоемкости на порядок меньше, чем используемые ныне крыши с использованием понтонов, и значительно уменьшает вертикальную нагрузку на элементы, собственно, резервуара.

В заключении отметим, что изложенные выше решения некоторых проблем проектирования и реконструкции резервуаров, особенно в части возможного замедления роста поверхностных трещин, требуют экспериментального подтверждения. Такие эксперимен-

тальные работы в лаборатории кафедры МД и ПК ОГАСА находятся на этапе подготовки, и результаты исследования позволят сделать вывод о возможностях предложенного подхода.

Литература

1. Перельмутер А.В., Гордеев В.Н., Горохов Е.В. Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні. — К.: Сталь, 2002. — 166 с.
2. Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее / Сб. докладов VIII Украинской НТК, / под ред. А.В. Шимановского. — К.: Сталь, 2004. — 437 с.
3. Поповский Б.В. Эволюция резервуаров // Строительный вестник. — 2005. — №3 (210) .
4. Горев В.В. Металлические конструкции. Т-3. — М.: Высшая школа, 2002. — 541 с.
5. Барвиненко Ю.П. Восстановление проектной работоспособности стальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. // В сб. VIII Украинской НТК «Метал. констр». — К.: Сталь. — С. 332-335.
6. Ягунов Б.А. Строительные конструкции. Основание и фундаменты. — М.: Стройиздат, 1991.
7. Стоянов В.В. Проблемы обеспечения несущей способности строительных металлических конструкций в полном объеме срока эксплуатации // В сб. VII Украинской НТК «Металлические конструкции» — К.: Сталь. — С. 286-292.
8. Strengthenig of structures with CFRP strips. Sika CarboDur Convention, okt/nov, 1997.
9. Стоянов В.В. Новые подходы в управлении несущей способности конструкций // В сб. «Соврем. строит. констр. из металла и древесины. — Одесса: ВРС, 2001. — С.164-167.

Стоянов Володимир Васильович є завідувачем кафедри металевих, дерев'яних та пластмасових конструкцій Одеської державної академії будівництва і архітектури, академіком Академії будівництва України. Наукові інтереси: покриття типу гіперболічних оболонок, армовані дерев'яні конструкції, експлуатаційна надійність металевих конструкцій при циклічному навантаженні.

Стоянов Владимир Васильевич является заведующим кафедрой «Металлических, деревянных и пластмассовых конструкций», Одесской государственной академии строительства и архитектуры, академиком Академии строительства Украины. Научные интересы: покрытия типа гиперболических оболочек, армированные деревянные конструкции, эксплуатационная надежность металлических конструкций при циклическом нагружении.

Stoyanov Volodymyr Vasylovych is Head of the Department of metal, wooden and plastic structures at Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Member of Building Academy of Ukraine. His scientific interests comprise the covers like hyperbolic shells, reinforced wood structures, operational reliability of metalworks under a cyclic loading.