

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ.

*Стоянов В.В. (Одесская государственная академия
строительства и архитектуры)*

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 высокомодульных 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 – хрупкое разрушение 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 малоцикловой 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 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 $L_{кр}$.

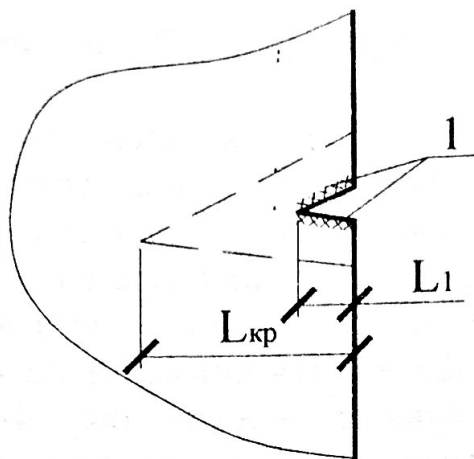


Рис.1. К механизму развития поверхностной трещины при циклическом нагружении металла

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

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 наклейки, к которой предъявляются жесткие условия. Во-первых, толщина ее не должна заметно нарушать геометрии стенки резервуара. Например, в случае, использования равнотолщинной со стенкой наклейки концентрация напряжений по месту установки может возрасти как минимум в 15-20 раз. Во-вторых, материал наклейки 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 наклейки (для обеспечения изгибной жесткости) должен быть не менее, чем у стали.

$$\delta_n \leq 1/20 \delta_{ст}; \quad E_n \geq E_m; \quad \sigma_{пр.н} \geq 10 \sigma_{пр.м} \quad (1)$$

где: δ_n – толщина наклейки; $\delta_{ст}$ – толщина стенки;

E_n, E_m – модули упругости материала наклейки и металла;

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

Материалом удовлетворяющим требованиям обозначенным выше может быть выбран углепластик, который обладает уникальными физико-механическими характеристиками – временный предел прочности на растяжение ($R_{вр}$) – 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, представляется, необходимым 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 вначале статьи. По-видимому, 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 днища 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 частям) и обеспечивать вместе с тем, восприятие всех регламентных нагрузок и видов загрузений.

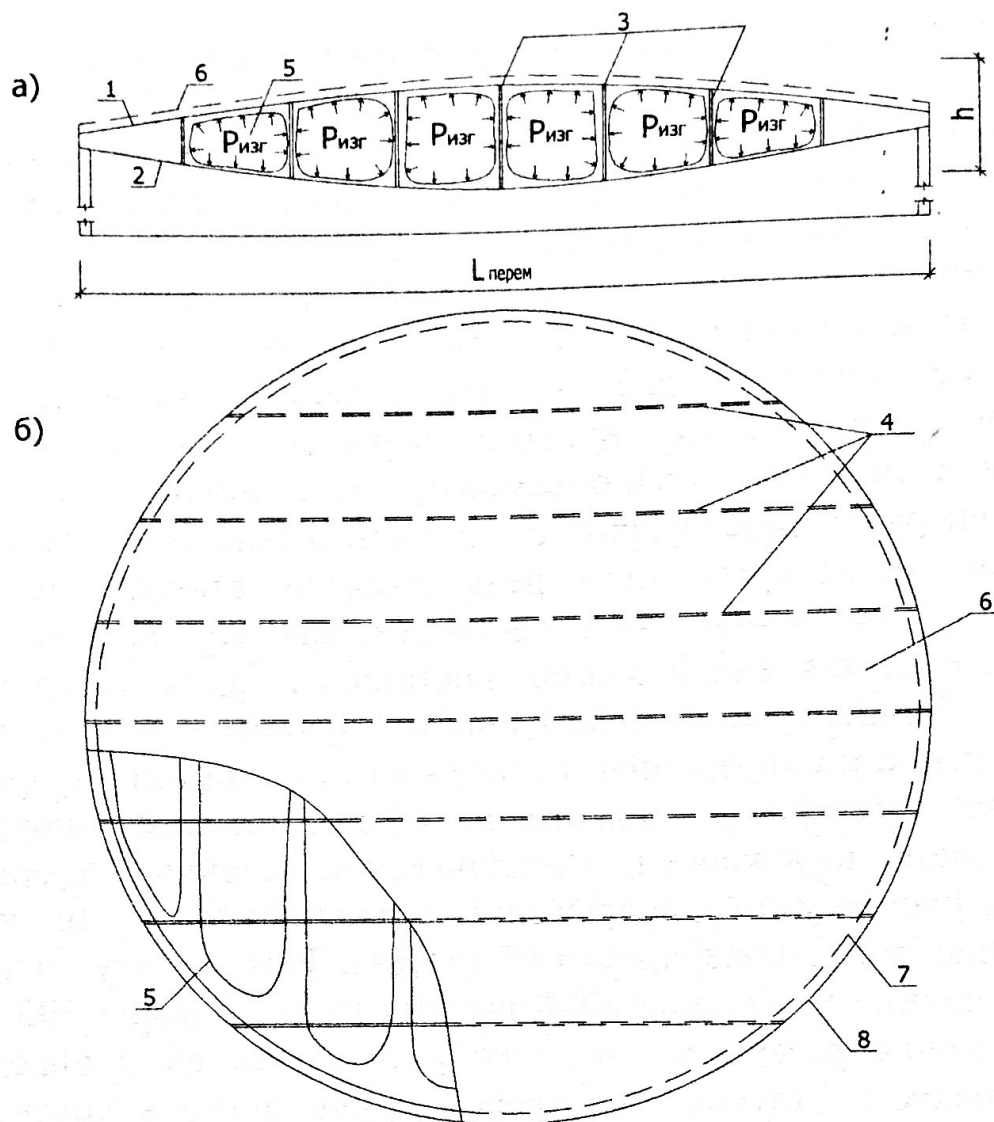


Рис. 2. Комбинированное покрытие резервуара

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

В качестве, возможного конструктивного решения предлагается использовать комбинированное покрытие из системы двухпоясных 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 экспериментальные работы в лаборатории кафедры МД и ПК ОГАСА подготавливаются и результаты исследования позволят сделать вывод о возможностях предложенного подхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перельмутер А.В., Гордеев В.Н., Горохов Е.В. и др. „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 Украинское НТК, под ред. А.В. Шимановского, К. «Сталь», 2004, 437 с.
3. Поповский Б.В. «Эволюция резервуаров» в Строительном вестнике №3 (210)/2005 – РНФО Москва.
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». Москва, 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» О. ВРС, 2001, с.164-167.