

3. Мурашко Н.Н., Соболев Ю.В., Ращепкина С.А., и др. Исследование работы тонкостенных металлических силосов. Материалы конференции "Проблемы проектирования легких стальных конструкций", БИСИ, Брест, 1989, с. 51-66.

4. Игудисман О.С. Рекомендации по применению в проектировании новых методов расчета тонкостенных металлических силосов, деформирующихся совместно с сыпучим материалом. ЦНИИТЭИ Минхлебопродуктов СССР. М., 1988, 53с.

5. Власов В.З. Общая теория оболочек и ее приложение в технике. Гостехиздат, М-Л., 1949, 784с.

6. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции /Госстрой СССР. - М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1988. -96с.

7. СНиП 2.10.05.-85. Предприятия, здания и сооружения по хранению и перевозке зерна /Госстрой СССР.-М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1985. -53с.

## **УСИЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ МАЗУТА**

**В. И. Драган, А. В. Мухин, И. В. Зинкевич, В. Н. Малиновский**

В период эксплуатации здания и сооружения промышленных предприятий подвергаются многочисленным природным или технологическим воздействиям, в результате чего, изнашиваются и приходят в негодность или требуют ремонта. В последнее время из-за финансовых трудностей предпочтение отдаётся последнему. Хотя конструктивные решения зданий и их отдельных элементов идентичны, однако, пути восстановления несущей способности их различны и часто требуют индивидуальных решений. Особенно это касается при выполнении ремонтных работ инженерных сооружений.

В течении 18-ти лет на Брестском молочном комбинате эксплуатировался металлический резервуар для хранения нефти емкостью 400 м<sup>3</sup>. Диаметр резервуара 8,5 м, высота - 7,5 м. Изготовлен резервуар из листовой стали марки ВСтЗпсб методом рулонирования. Толщина листов стали стенки и днища по проекту составляла 4 мм. Соединение стенки и днища выполнено на сварке в тавр двумя угловыми швами с внутренней и внешней стороны. Стенка резервуара утеплена стекловатой и закрыта экраном из алюминиевого листа толщиной 0,5 мм.

За период эксплуатации вследствие коррозионного поражения в стенке резервуара в непосредственной близости от днища образовались два отверстия через которые началась течка мазута. По мнению авторов основными причинами ускоренной коррозии стенки являются:

- застой воды в зоне сопряжения стенки и днища из-за отмоксти, устроенной выше днища резервуара;

- негерметичность кровли резервуара;
- отсутствие эффективной антикоррозийной защиты;
- высокий уровень местных напряжений в зоне сопряжения стенки и днища.

Обследования, заключающиеся в визуальной и инструментальной проверке, выявили степень и характер поражения сооружения. Наибольшему поражению коррозией подвергалась стенка резервуара на высоту 150-200 мм от днища с затуханием коррозии на высоте 0,4-0,5 м и практически отсутствием поражения на большей высоте. Днище резервуара поражено коррозией в меньшей степени благодаря наличию более надежной обмазочной изоляции. Толщина днища по его краю на момент обследования составляла 3,0-3,9 мм.

Численный анализ напряженно-деформированного состояния резервуара на ЭВМ по программе "ЗЕНИТ", и узла соединения стенки с днищем методом конечных элементов по программе "ЛОТОС" (рис.1) подтвердил необходимость и определил характер усиления стенки и достаточность несущей способности днища. Полученные результаты расчета явились основой для разработки принятого для ремонта варианта усиления.

Стенка резервуара была усилена по всему контуру у днища двумя обечайками толщиной 4 мм (рис.2). Первая приваривалась к стенке резервуара на высоте 0,48 м от днища кольцевым швом. Вторая обечайка была установлена внахлест на первую и приваривалась к ней и к выступу днища. Предложенный вариант усиления способствует разгрузке существующих элементов резервуара - стенки и днища и вовлечение в работу элементов усиления при простоте выполнения ремонта.

Проверка прочности стальных конструкций и элементов усиления с помощью ЭВМ при двух вариантах загрузки резервуара: при герметичном основном корпусе резервуара и нарушении герметичности показали достаточные запасы несущей способности в стенке и днище. Максимальные напряжения в стенке усиленного резервуара составили 106,5 МПа, в днище - 133,6 МПа, в элементах усиления - 95,3 МПа. Наибольшие напряжения действуют в сварных швах, прикрепляющих обечайку к стенке резервуара и составляют 194,5 МПа. В швах, прикрепляющих вторую обечайку к днищу напряжения достигают 153,1 МПа.

Для обеспечения технологической прочности и снижения сварочных напряжений была разработана технологическая карта, в которой были указаны этапы и последовательность сварки, тип соединения и сварочные материалы, параметры сварки и пооперационный контроль. Основными требованиями при производстве ремонтных работ являлось соблюдение при сварке правил проходки: при сборке обечаек - от середины листа к краям, при приварке их к стенке и днищу - варить на проход обратно

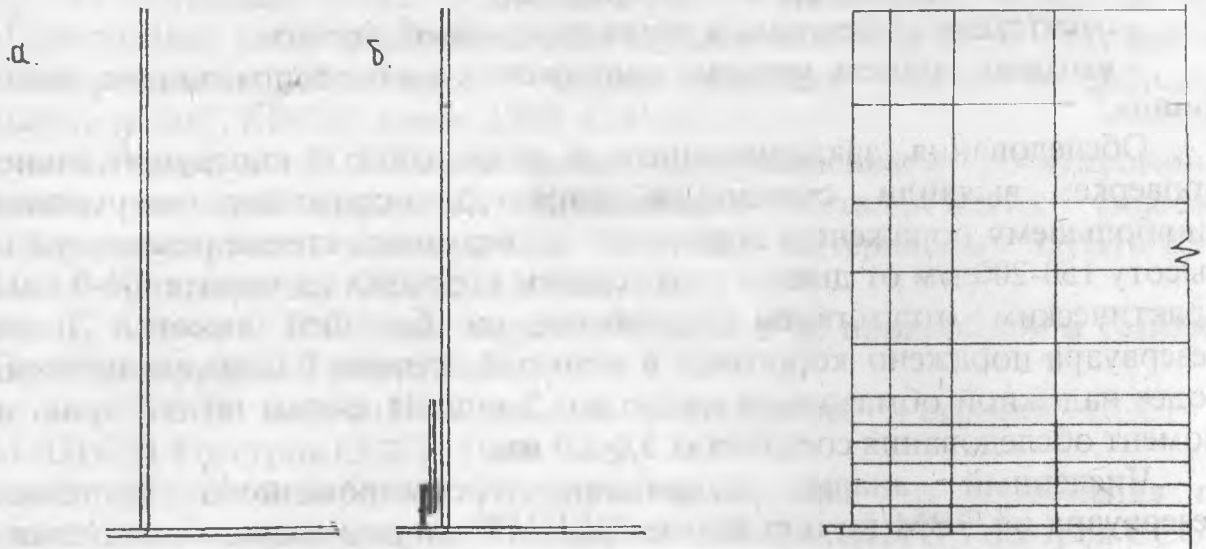


Рис.1. Расчетная схема узла сопряжения стенки с дном методом КЭ:

- а) без усиления,
- б) с усилением.

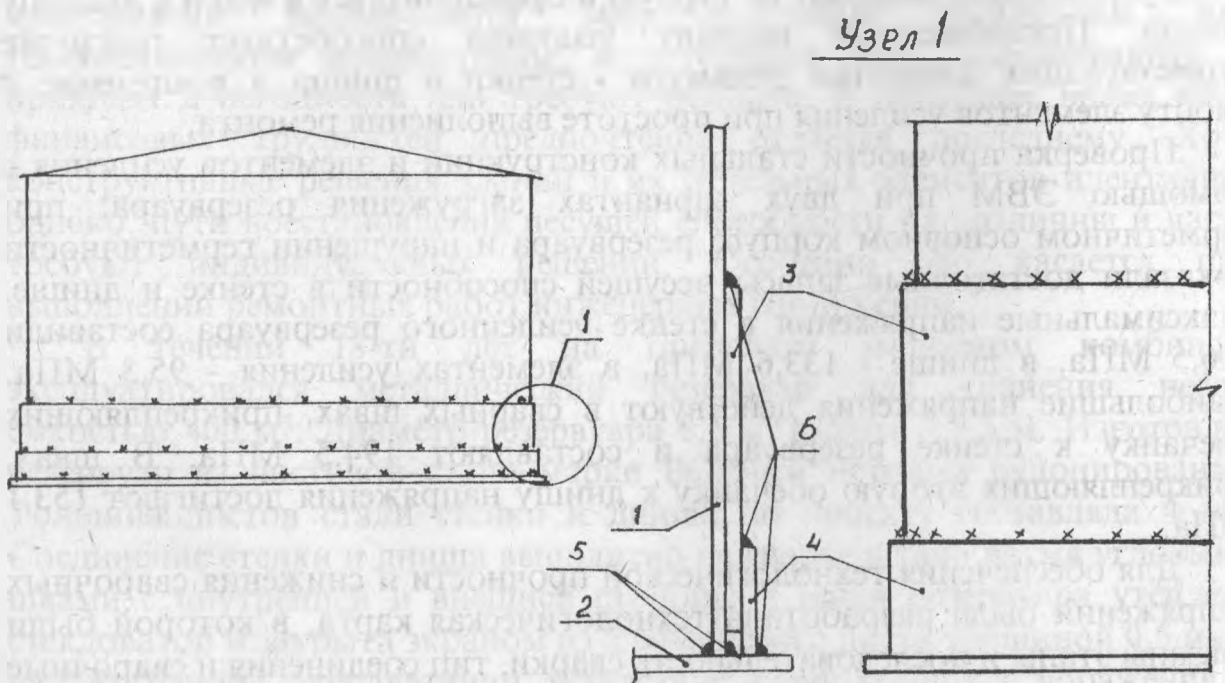


Рис.2. Усиление стенки резервуара.

- 1-стенка; 2-дно; 3-первое кольцо обечайки;
- 4-второе кольцо обечайки; 5-существующие сварные швы;
- 6-сварные швы усиления.

ступенчатым способом с применением выпрямителей и обратной полярности тока.

Рекомендованы мероприятия по нормальным условиям эксплуатации резервуара, заключающиеся в нанесении после выполнения работ по усилению антикоррозионной защиты металлоконструкций, восстановлении гидроизоляции, устройстве отстойки, исключающей застой дождевых и талых вод.

Приемочные испытания, а также эксплуатация резервуара в течение семи месяцев показали работоспособность и надежность принятого варианта усиления сооружения.

## **ТОНКОСТЕННЫЙ КОНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ РАСЧЕТА НА ЭВМ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**А. Р. Туснин**

В значительном числе пространственных систем неучет кручения приводит к большим погрешностям в определении усилий и деформаций. Широко распространенные вычислительные комплексы "Лира", "Гамма", "Зенит" и другие учитывают только чистое кручение стержневых элементов, что имеет место лишь в железобетонных и некоторых массивных металлических конструкциях. При расчете тонкостенных стержневых систем, в которых на кручение большое влияние оказывает секториальная жесткость, требуется либо применение стержневой аппроксимации с заменой тонкостенного элемента тремя стержнями объединенными жесткими поперечниками [1], либо оболочечных конечных элементов, что значительно усложняет расчетные схемы. Поэтому разработка конечного элемента для расчета тонкостенных стержневых конструкций представляет определенный практический интерес.

Прикладная теория расчета тонкостенных элементов с открытым профилем известна достаточно давно [2] и имеет хорошее экспериментальное подтверждение. На основе этой теории разработан метод перемещений для тонкостенных конструкций [3], примененный при решении ряда простых задач. Основные положения метода перемещений можно эффективно использовать для численного расчета сложных пространственных стержневых систем.

Тонкостенный конечный элемент (ТКЭ) обладает 14 степенями свободы (рис.1). В каждом узле в общем случае возникают три линейных, три угловых перемещения и депланация. Знаки линейных и угловых перемещений общепринятые, депланация считается положительной, если при взгляде вдоль плеча депланации ближайшая к наблюдателю полка поворачивается по часовой стрелке. С каждым стержнем связана местная