

УДК 69.07

## С.В. ЗУБАНОВ

старший преподаватель кафедры городского строительства и хозяйства Самарский государственный архитектурно-строительный университет

## В.С. ШИРОКОВ

аспирант кафедры металлических и деревянных конструкций младший научный сотрудник ОНИЛ «Реконструкция» Самарский государственный архитектурно-строительный университет

# ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ОПОР ШАРОВЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

THE SURVEY TECHNICAL CONDITION OF THE SUPPORT STRUCTURES OF SPHERICAL TANKS

*Дано описание объекта исследования – конструкций опор шаровых резервуаров. Приведены основные повреждения, выявленные в ходе обследования данных конструкций. Установлены основные причины, вызвавшие повреждения строительных конструкций. Рассмотрен вопрос снижения несущей способности конструкций опор по результатам замеров прочности бетона стоек. Приведены рекомендации по ремонту и усилению конструкций опор шаровых резервуаров для дальнейшей безопасной эксплуатации.*

**Ключевые слова:** надежность, безопасная эксплуатация, строительные конструкции, железобетонные конструкции, повреждения, усиление, шаровые резервуары.

Химическая и нефтехимическая промышленность относится к числу базовых отраслей экономики Самарской области. По объему годового производства она занимает второе место в отраслевой структуре промышленности области. Предприятиями комплекса производится 20 % от выпуска всего российского синтетического аммиака и синтетических каучуков, 10 % – метанола, 5 % – синтетических смол и пластических масс, а также химических средств защиты растений.

Правильная эксплуатация объектов предприятий химической и нефтехимической промышленности оказывает непосредственное влияние на экологическую безопасность региона. Нормальная эксплуатация, в свою очередь, непосредственно связана с надежностью строительных конструкций отдельных сооружений предприятий.

Надежность строительного объекта заключается в способности выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации и складывается из надежности основных конструктивных

*There is given a description of the object of research – the support structures of spherical tanks. There are given main defects having been detected during the survey this structures. There are detected main reasons having caused defects of the building structures. There is considered the question of decrease of load bearing capacity of the support structures by results of strength of pillar concrete measurements. There are given recommendations for repair and strengthening of the support structures of spherical tanks for further safety operation.*

**Keywords:** reliability, safety operation, building structures, reinforced concrete structures, defects, strengthening, spherical tanks.

элементов и узлов их сопряжения, составляющих сооружение в целом.

Объектом анализа являются конструкции опор шаровых резервуаров (12 штук), размещенных на открытом складе. Конструкции построены в 1975 г. и являются эксплуатируемыми на данный момент.

Конструкция рассматриваемой опоры шарового резервуара является типовой (рис. 1) и состоит из кольцевого фундамента, восьми железобетонных стоек, железобетонной плиты и восьми металлических стоек, находящихся в кирпичной огнезащите. Высота резервуара – 10 м. Диаметр плиты – 11 м.

Фундаменты под резервуары – монолитные железобетонные кольцевой формы. Наружный диаметр фундамента – 11 м, внутренний – 9 м, высота – 600 мм. Глубина заложения подошвы фундамента – 3,0 м. Бетон – марки М150, рабочая арматура диаметром 20 мм класса А-I.

Стойки резервуаров – монолитные железобетонные. Размеры поперечного сечения стоек состав-

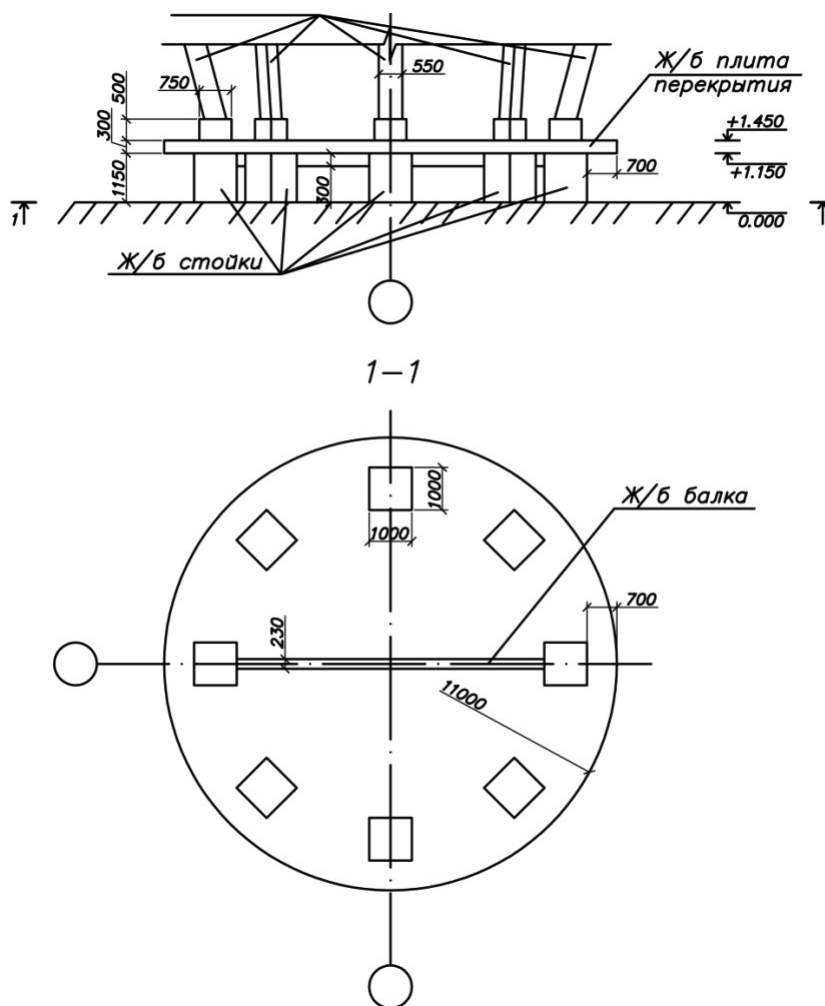


Рис. 1. Конструкция опор шаровых резервуаров

ляют 1000x1000 мм. Высота надземной части – 1,15 м, подземной части – 2,4 м. Бетон марки – М300, рабочая арматура состоит из восьми стержней диаметром 20 мм класса А-I.

По железобетонным стойкам устроено монолитное железобетонное перекрытие с переменной толщиной 260 и 300 мм. Диаметр плиты – 11 м. Бетон – марки М300, рабочая арматура – диаметром 20 мм класса А-I. В перекрытии предусмотрена монолитная железобетонная балка с переменными размерами поперечного сечения 600x230 и 600x280 мм.

Выше монолитного перекрытия установлены металлические стойки из труб диаметром 273 мм, заключенные в кирпичную огнезащиту. Непосредственно на стойки опирается металлический шаровой резервуар.

В ходе обследования строительных конструкций опор шаровых резервуаров были выявлены следующие основные виды повреждений:

- 1) разрушение защитного слоя бетона, оголение и коррозия арматуры на нижней поверхности плит перекрытия всех опор (рис. 2);
- 2) вертикальные и наклонные трещины в бетоне стоек всех опор шириной раскрытия от 2 до 5 мм (рис. 3);
- 3) коррозия бетона нижней части стоек одной из опор глубиной до 100 мм (рис. 4);
- 4) трещины в кирпичной огнезащите металлических конструкций и нарушение штукатурного слоя на шести опорах.

Очевидно, что первые два вида повреждений связаны с коррозией арматуры железобетонных конструкций. Данный вопрос довольно подробно освещен в литературе. Так, согласно [1], длительная служба железобетонных конструкций в условиях агрессивных воздействий природных и техногенных сред обеспечивается степенью коррозионной устойчивости как бетона, так и стальной арматуры. Бетон

может быть более или менее стоек в зависимости от особенностей воздействующей на него среды, стойкости его составляющих (вяжущего, заполнителей) и степени проницаемости структуры.



Рис. 2. Разрушение защитного слоя бетона, оголение и коррозия арматуры на нижней поверхности плит перекрытия



Рис. 3. Вертикальные и наклонные трещины в бетоне стоек

Арматура номинально считается защищенной слоем бетона, однако в силу его проницаемости она

может быть доступна действию окружающей среды. Кроме того, бетон, по существу являющийся окружающей средой для арматуры, в ряде конкретных сочетаний вяжущих, добавок и технологии сам может не только не защищать, но и способствовать развитию коррозии стальной арматуры.

В данном рассматриваемом случае видно, что бетон не может обеспечить полную защиту арматуры от коррозии. Это связано, в первую очередь, с видом содержимого резервуаров, которое может попадать на бетон. Изобутан, являясь газом, вследствие утечек может легко проникать в поры бетона и достигать стальной арматуры, для которой он является агрессивной средой, вызывающей интенсивную коррозию. Также малое расстояние от земли до плиты перекрытия опор резервуаров препятствует проветриванию нижних конструкций опор, т.е. агрессивная среда воздействует довольно продолжительное время.

Несмотря на то, что причины первых двух видов повреждений одни и те же, их характер разный. Разрушение защитного слоя бетона, оголение и коррозия арматуры на нижней поверхности плит перекрытия характеризуется отслоением целых пластов защитного слоя бетона, а вертикальные и наклонные трещины в бетоне стоек наблюдаются в основном вдоль их продольной арматуры. Это связано с конструктивными особенностями элементов, на которых выявлены данные повреждения. Плиты перекрытия имеют густое армирование, поэтому на поверхности арматуры образуется значительное количество продуктов коррозии, которые отторгают бетон по всей площади плиты. Также из-за небольшой толщины защитного слоя бетона трещины начинают образовываться практически сразу после начала коррозии арматуры. Стойки же имеют слабое армирование и большую толщину защитного слоя бетона, поэтому для появления в них трещин требуется большое количество продуктов коррозии, которые возникают при длительной коррозии арматуры. При этом сечение арматуры значительно уменьшается.

Коррозионное повреждение бетона нижней части стоек одной из опор, очевидно, связано с утечками сильноагрессивной по отношению к бетону технологической жидкости. Этот фактор относится к правильной эксплуатации объекта и соблюдению плановых ремонтных мероприятий.

В данном случае видно, что агрессивная среда долго воздействовала на бетон конструкций, что привело к значительному уменьшению сечения в



Рис. 4. Химическое и эрозионное повреждение бетона

нижней части стоек. Такое повреждение является очень опасным и может привести к полному выходу из строя и обрушению всей конструкции опоры шарового резервуара. Именно поэтому было принято решение отрыть шурф под наиболее поврежденной стойкой для оценки состояния сопряжения стойки с фундаментом. Осмотр конструкции в шурфе показал, что необходимо усиление стоек, имеющих коррозионное повреждение бетона.

Трещины, образовавшиеся в кирпичной огнезащите, также связаны с коррозией металлических конструкций. Согласно [2], при использовании железобетонной или кирпичной рубашки в качестве замачивания их атмосферными осадками и технологическими проливами возникают сильные коррозионные повреждения защищаемых металлоконструкций. Попадая на металл, агрессивные стоки долго не высыхают, вызывая интенсивную коррозию конструкции. Затрудненное испарение агрессивных растворов создает в образовавшихся неплотностях огнезащитной оболочки «парниковый эффект», который еще более ускоряет течение коррозии в замоченных местах, снижая несущую способность конструкций.

Также в ходе обследования была определена прочность бетона железобетонных стоек и плиты опор. Прочность материала конструкций определялась склерометрическим методом с использованием прибора «ОНИКС-2.5» и ультразвуковым прибором «УК 1401».

При обработке результатов замеров прочности бетона использован переходной коэффициент 0,8 для перевода значения прочности бетона на сжатие в класс бетона. Для значений кубиковой прочности, определяемой прибором «ОНИКС-2.5», введен поправочный коэффициент 0,8, установленный на опытных образцах. Значения кубиковой прочности на основании замеров «УК 1401» определялись по усредненной тарировочной кривой для бетонов на карбонатном заполнителе. По результатам испытаний установлен условный класс бетона железобетонных стоек и плит В20, для стоек резервуара, конструкции которого получили сильное химическое и эрозионное повреждение, класс бетона – В12.5.

Данные по определению прочности свидетельствуют о том, что воздействие жидкостей на бетон стоек вследствие протечек вызвало не только механические повреждения, выраженные в уменьшении

сечения, но и повлияло на механические свойства бетона. В результате суммарного воздействия это привело к снижению несущей способности стоек под одним из резервуаров на 52%. Для остальных стоек резервуаров, где не обнаружено следов протечек, снижение несущей способности составило 12 %.

Обобщая виды повреждений отдельных конструктивных элементов и причины их появления, можно сделать следующие выводы по надежности рассматриваемых опор шаровых резервуаров.

В большей своей массе конструкции опор шаровых резервуаров находятся в работоспособном состоянии. Снижение несущей способности стоек составляет 12 %, механические свойства бетона конструкций ухудшились незначительно, и фактическая несущая способность стоек является достаточной при действии расчетных нагрузок. Несущие конструкции резервуара, где обнаружены протечки технологических жидкостей, находятся в ограниченно-работоспособном состоянии. Снижение несущей способности стоек составляет 52 %, механические свойства бетона конструкций значительно ухудшились. Фактическая несущая способность стоек является достаточной при действии расчетных нагрузок, но дальнейшая эксплуатация без проведения мер по восстановлению конструкций может привести к ухудшению их состояния и полному выходу из строя.

Трещины в кирпичной огнезащите свидетельствуют о коррозии металлических стоек. Судя по их размеру, можно предположить, что имеет место начальная коррозия. Конструктивные особенности такой огнезащиты не позволяют более точно определить степень коррозионного повреждения, а также создают благоприятные условия для протекания коррозионных процессов. В связи с этим следует применять иные, более современные методы защиты металлических конструкций от огня.

По результатам обследования, для обеспечения безопасной эксплуатации шаровых резервуаров были даны следующие рекомендации, что позволит продлить срок службы несущих конструкций,

имеющих на данный момент значительный возраст – 37 лет:

Усилить железобетонной обоймой монолитные железобетонные стойки резервуара, которые получили химическое и эрозионное повреждения. Очистить от слабого бетона, зачистить арматуру, нанести антикоррозионное покрытие и устроить обойму. При отрывке грунта основания вокруг стоек пригласить экспертов СГАСУ для определения глубины проникновения технологических жидкостей в грунт.

Отремонтировать поврежденные участки железобетонных стоек. Трещины в стойках расшить и зачеканить паклей, смоченной в цементно-песчаном растворе М200, поверхность оштукатурить. После выполнения работ проводить осмотры поврежденных стоек не реже одного раза в шесть месяцев.

Отремонтировать поврежденные участки монолитных железобетонных плит и балок. Очистить конструкции от слабого бетона, зачистить арматуру, нанести антикоррозионное покрытие и забетонировать до проектных размеров.

Отремонтировать поврежденные участки кирпичной огнезащиты металлических стоек. При вскрытии кирпичной огнезащиты пригласить экспертов СГАСУ для оценки технического состояния металлических стоек. Разрушенные участки кирпичной кладки очистить от слабого материала, восстановить кладку и заштукатурить. Трещины расшить и зачеканить паклей, смоченной в цементно-песчаном растворе М200.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев, С.И. Долговечность железобетона в агрессивных средах [Текст] / С.И. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шисль. – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.
2. Гончаров, А.М. Повреждение металлических конструкций производственных сооружений [Текст]: дис. ... маг. техники и технологии / А.М. Гончаров. – Самара, 2011.

© Зубанов С.В., Широков В.С., 2012