

УДК 69 (075)

Обследование куполов промышленных сооружений

Тур В.И., к.т.н., Карсункин В.В., к.т.н.

Ульяновский государственный технический университет, Россия

Анотація. У доповіді розглядаються результати обстеження технічного стану двох куполів шламбасейнів цементного заводу і їх розрахунків з урахуванням виниклих спотворень геометричної форми, ослаблення перерізів і змін навантажень.

Аннотация. В докладе рассматриваются результаты обследования технического состояния двух куполов шламбасейнов цементного завода и их расчет с учетом возникших искажений геометрической формы, ослабления сечений и изменений нагрузок.

Abstract. The results of technical state's inspection of sludge reservoirs of cement factory's two domes and their calculation (taking in account arising geometric shape's distortion, slackening of sections and changing of load) are examined in the report.

Ключевые слова: стальной купол, обследование, измерение деформаций, расчет с учетом дефектов.

Характеристика объекта исследований. Здание горизонтальных шламбасейнов построено на основании проекта Южгипроцемента (г. Харьков), разработанного в 1957-1958 гг., и состоит из двух шламбасейнов диаметром по 35 м, объединенных крытым переходом. Непосредственно шламбасейны перекрыты металлическими ребристыми куполами диаметром 42 м с высотой подъема 11,7 м. Каждый купол состоит из восьми полуарок (ребер), нижнего опорного кольца, трех промежуточных колец и верхнего опорного кольца диаметром 1700 мм, над которым выполнен свето-аэрационный фонарь. Ребро купола имеет три излома по длине, выполнено одного сечения по всей длине из двутавра № 45. Соединение ребер и колец на сварке и болтах. Проектное решение покрытия состоит из железобетонных плит, пенобетона (объемной массой 400 кг/м³, толщиной 80 мм), цементной стяжки и асбестоцементных волнистых листов.

Опираение купола через нижнее опорное кольцо осуществляется на пилястры несущих стен здания. При строительстве купола допущено ряд отступлений от проекта, в частности железобетонные плиты уложены не полностью, частично они заменены деревянным настилом, а конструкция кровли отличается от проектной.

Купола эксплуатируются более 40 лет во влажной среде и в условиях повышенной коррозионной опасности, существенных ремонтов несущих конструкций покрытия в течение этого периода не производилось.

На момент обстеження кровля і покриття на одному з куполів, позначимо його № 1, були частково демонтовані. Загальний вигляд купола до початку обстеження наведено на рис. 1.



Рис. 1. Купол № 1 до початку обстеження

Цей купол, як показали результати обстежень, виявився більш пошкодженою, ніж другий купол № 2. Тому подальше обговорення матеріалів досліджень буде проходити стосовно більш пошкодженого купола № 1.

Що стосується стану конструкцій купола № 2, то в ньому не зафіксовано серйозних викривлень несучих елементів, характерних для купола № 1. Відмінною особливістю сталевих несучих конструкцій купола № 2 є наявність антикорозійного покриття, нанесеного незадовго до початку обстеження з грубим порушенням технології, виразившись в нанесенні покриття поверх ржавчини. Вибірочний контроль окрасочного покриття показав його слабку адгезію і високу проникність для агресивних серед. Тому точне визначення технічного стану конструкцій купола № 2 в даний момент неможливо внаслідок закриття кородованих ділянок шаром лакофарбового матеріалу. Особливо небезпечною такою ситуацією в вузлових з'єднаннях і верхньому поясі ферм проміжних кілець купола як найбільш уразливих ділянок каркаса купола.

Результати обстежень купола № 1. В відповідності з проектом несучі ребра купола виконані з прокатного профілю – двутавра № 45. Для забезпечення можливості устроювання плоскої кровлі і укладання типових залізобетонних плит ребра купола на ділянках між кільцями виконані прямолинійними з відстанями в вузлах 6 м.

На опорних ділянках ребра купола мають утолщення для підвищення несучої здатності і жорсткості конструкції купола.

При проведенні обстеження зафіксовані искривлення ряду несущих ребер купола. В частині значительные искривлення має ребро, представленне на рис. 2. Подібне искривлення має і протилежне йому ребро. Ці искривлення не зафіксовані в попередніх звітах, і тому можна передбачити недавній характер цих дефектів. Искривлення такого роду характерно для випадків можливої втрати стійкості просторової схеми купола і являються ознакою аварійного стану конструкції.



Рис. 2. Искривленне ребро купола

Обстеження металевих елементів куполів виявило значительную корозію ребер і колек, внаслідок постійної високої вологості повітря в приміщеннях шламбасейнів, практично повної відсутності фарбованого шару і грунтовки на металевих конструкціях, несприятного впливу оточуючої середовища на металеві конструкції внаслідок руйнування кровлі. Зменшення площі сечення ребер і колек по окремим елементам становить 25 – 35 %. Найбільш інтенсивно корозією пошкоджені стінки двутаврів.

Нижнє опорне кільце купола виконано в відповідності з проектом із двутавра № 36. Стінка двутавра в відповідності з рекомендаціями обстеження 1989 г. укріплена сплошної металевий стрічкою з листа (220x6) мм по всій довжині з приваркою сплошним швом з однієї сторони стінки.

Опорная плита толщиной 40 мм каждого ребра опирается на два катка. К опорной плите приварен металлический квадратный направляющий стержень, который перемещается в углублении каждого катка, что позволяет ребру гарантировано перемещаться в радиальном направлении. Размер плиты в радиальном направлении 400 мм.

При проведении обследования контролировалось смещение опорных катков купола в радиальном направлении наружу, которые составили от 30 мм до 110 мм для разных опор. Зафиксированы прогибы, надрывы, искривления отдельных элементов кольца.

Первое кольцо купола выполнено в виде восьми плоских стальных ферм, шарнирно соединенных с несущими ребрами купола. Верхний пояс фермы выполнен из двух швеллеров № 16, нижний пояс из двух равнополочных уголков № 65, решетка – из двух равнополочных уголков № 60.

Второе кольцо купола выполнено в виде восьми плоских стальных ферм, шарнирно соединенных с несущими ребрами купола. Верхний пояс фермы выполнен из двух швеллеров № 20, нижний пояс из двух равнополочных уголков № 65, решетка – из двух равнополочных уголков № 60.

Фермы первого и второго колец нормально ориентированы к поверхности купола. Третье кольцо выполнено по аналогии с нижним опорным контуром из двутавра № 36. Верхнее опорное кольцо выполнено из того же профиля, что и ребра купола – двутавра № 45.

Значительных механических повреждений элементов колец не выявлено, но отмечена большая коррозия поясов колец по сравнению с элементами ребер, что в определенной степени объясняется типом сечений элементов и их ориентацией в пространстве.

Купол покрыт ребристыми железобетонными плитами пролетом 6 м, опертыми на металлические несущие конструкции. Плиты работают по схеме балочных плит с опорами на разной высоте.

В покрытии купола на момент проведения обследования отсутствовали все треугольные плиты, предусмотренные проектом, и большинство плит 4-го яруса. В более ранних отчетах об обследованиях купола треугольные плиты также отсутствовали, есть основания предполагать, что они изначально не были смонтированы при строительстве объекта. Отсутствие этих плит искажает напряженно-деформированное состояние купольного покрытия и создает резкое перераспределение усилий в элементах конструкции, приводя к совсем иной, нежели проектная, работе элементов купола.

При обследовании было проведено выборочное определение прочности бетона плит покрытия неразрушающим методом по 10 контрольным

точкам с использованием прибора ОНИКС-2М по методике завода-изготовителя.

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод о соответствии бетона плит классу В 30 по прочности на сжатие.

Наиболее характерными дефектами железобетонных плит является повреждение продольных несущих ребер, обнажение арматуры, продольные трещины в ребрах, что свидетельствует о сплошной коррозии рабочей арматуры.

В ходе обследования куполов выявлены значительные разрушения кровли, утеплителя, обрушения части плит покрытия, вследствие чего образовались дыры площадью от 1 м² до 3 – 4 м². Ряд проемов заложено досками без восстановления в полном объеме кровли. Общая площадь проемов, образовавшихся вследствие разрушения покрытия, составляет 8 – 9 % от площади кровли. Различной степени повреждениям подвергнуто 85 % плит покрытия.

В связи с тем, что в процессе обследования были выявлены многочисленные отклонения от проекта как на стадии монтажа, так и на стадии эксплуатации купола был проведен геодезический контроль геометрической схемы купола. Результаты геодезического контроля приведены на рис. 3.

Анализ полученных данных дал возможность сделать вывод о значительных отклонениях реальной геометрической схемы купола от проектной.

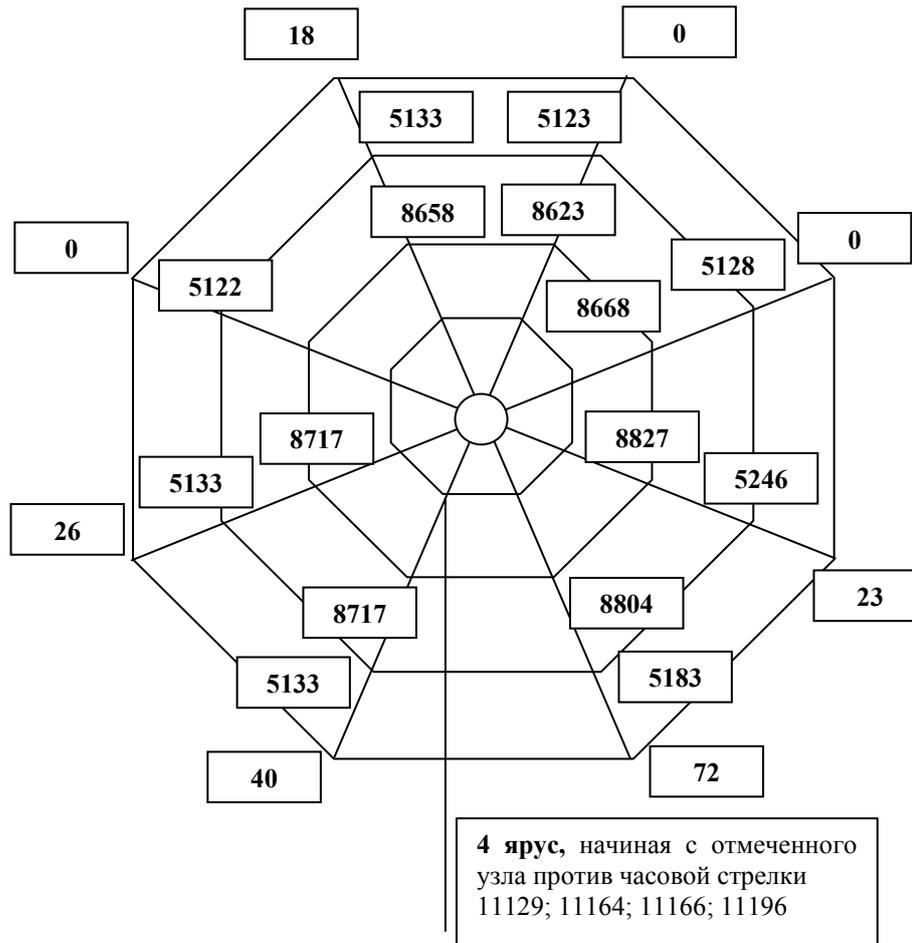
Максимальное отклонение от горизонтальности узлов составило 172 мм на втором промежуточном кольце, причем форма колец не является плоской – кольца имеют ломаное очертание, что самым существенным образом влияет на их пространственную работу.

В соответствии с проектом кровля купола должна выполняться из слоя пенобетона толщиной 80 мм плотностью 400 кг/м³ поверх которого устраивается цементный слой на церезите с железнением.

При обследовании такая конструкция кровли не зафиксирована, отсутствуют также следы ее существования в прошлом.

На момент обследования кровля купола представляла собой конструкцию, характерную для сельскохозяйственных производственных зданий с утеплителем из минеральной ваты, уложеном в пространстве между деревянными прогонами и гидроизоляционным слоем из волнистых асбестоцементных листов.

На основании проведенных исследований состояние несущих и ограждающих конструкций признано предаварийным и требующим проведения незамедлительных ремонтно-восстановительных мероприятий.



Отметки даны в мм
Рис. 3. Вертикальные отметки узлов купола

Расчет конструкций купола. Необходимость расчета конструкций купола возникла в связи с выявленным в процессе обследования серьезным расхождением между проектным характером работы конструкций купола и его реальным напряженно-деформированным состоянием.

За основу расчета был принят купол № 1, как содержащий наибольшее количество выявленных при обследовании дефектов.

В качестве расчетных задач были приняты следующие состояния купола:

- проектная задача, исходные данные для которой приняты в соответствии с проектом купола, разработанным Южгипроцементом;

- задача современного состояния купола с учетом измененной геометрической схемы купола, ослаблений расчетных сечений в результате коррозионного воздействия, отклонений от проекта при монтаже и эксплуатации, выразившихся в отсутствии ряда конструкций покрытия и усиления конструкции нижнего опорного кольца купола, произведенного в соответствии с рекомендациями обследования 1989 г.;
- перспективная задача работы купола с учетом предполагаемой замены покрытия облегченным вариантом с использованием многослойных ограждающих конструкций.

Решение этих задач позволило комплексно оценить напряженно-деформированное состояние конструкций купола во временной перспективе от проекта до стадии дальнейшей эксплуатации после реконструкции и разработать практические рекомендации по усилению конструкций купола.

Основные выводы по результатам расчета состояли в следующем:

- в настоящее время купол характеризуется резким и опасным изменением напряженно-деформированного состояния в элементах, существенно отличающегося от проектного;
- напряженно-деформированное состояние проектного и перспективного купола с облегченным покрытием сравнимы. Облегченная кровля позволяет компенсировать большинство дефектов, полученных куполом на этапах строительства и эксплуатации.

По результатам натурного обследования и расчета купола разработаны рекомендации по усилению конструкции элементов и изменению состава кровли.

Надійшла до редколегії 22.06.2009 р.