

УДК 624.012.45

МАЛАХОВА А.Н.

ВОЗМОЖНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ ПРИЧИНЫ ПОЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИН В СТЕНАХ ПОДЗЕМНОГО РЕЗЕРВУАРА

Не всегда удается установить однозначные причины появления повреждений в строительных конструкциях объектов, находящихся в стадии эксплуатации. Следствием этого является сложность формулирования конкретных рекомендаций по устранению повреждений, выводов о возможности дальнейшей эксплуатации здания. Часто причины появления повреждений не очевидны, они являются следствием одновременного воздействия нескольких, порой неявных, факторов. Для выявления возможных причин появления трещин было выполнено математическое моделирование работы несущих конструкций подземного железобетонного резервуара под нагрузкой с использованием ПК ЛИРА, проведено исследование напряженно-деформированного состояния стен монолитного железобетонного резервуара. Рассмотрены и объяснены возможные причины возникновения трещин и фильтрации воды в стенах резервуара как следствие совокупности действия нескольких факторов: характер нагрузки на стены подземного резервуара; нарушение технологии возведения монолитных железобетонных конструкций подземного резервуара; коррозия бетона и арматуры стен резервуара вследствие напорной фильтрации через них грунтовых (талых) вод.

Ключевые слова: трещины в железобетонных конструкциях, железобетонный резервуар, напряженно-деформированное состояние, математическое моделирование, коррозия бетона и арматуры.

Практика проведения обследований технического состояния зданий и сооружений показывает, что не всегда удается установить однозначные причины появления повреждений в строительных конструкциях объектов, находящихся в стадии эксплуатации [1]. Это происходит, в том числе, из-за невозможности полной количественной оценки повреждений в виду ограниченного доступа к строительным конструкциям эксплуатируемых объектов, частично или полного отсутствия проектной и исполнительной документации на выполненные работы. При этом причины появления повреждений могут быть не столь очевидны и часто являются следствием одновременного действия нескольких факторов [2,3].

В качестве примера подобной ситуации можно рассмотреть результаты обследования технического состояния конструктивных элементов канализационной насосной станции (КНС), расположенной в городе Ивантеевка Московской области. Она была построена в 1970 году по типовому проекту 902-1-13, разработанному Ленинградским отделением института «Гипрокоммунводоканал» в 1967 году.

Канализационная насосная станция имеет надземную и подземную части. Надземная часть станции представляет собой двухэтажное кирпичное квадратное в плане здание с размерами в координатных осях 12х12 м, в котором располагаются технические службы и бытовые помещения станции.

На рисунке 1 представлен общий вид надземной части КНС. При выполнении обследования технического состояния надземной части станции сложностей с доступом к обследуемым конструктивным элементом здания и выявлением причин их повреждений не возникло.

Подземная часть станции представляет собой заглубленный в землю цилиндрический монолитный железобетонный резервуар (колодец). На рисунке 2 показаны конструктивные элементы подземного резервуара: стены (в том числе внутренняя стена), днище, покрытие. Стыки стен монолитного железобетонного резервуара с покрытием и днищем выполнены жесткими.

Внутренний диаметр цилиндрического резервуара равен 13 м, высота стены составляет около 8 м. Толщина стены железобетонного цилиндрического колодца – 700 мм, толщина внутренней несущей стены – 250 мм. Ось симметрии внутренней стены колодца смещена на 625 мм относительно координатной оси 2, проходящей через центр тяжести колодца.



Рисунок 1 – Общий вид надземной части канализационной насосной станции

Железобетонная плита днища имеет толщину 550 мм. Верхняя поверхность плиты днища располагается на отметке - 8,000. Верхняя поверхность монолитной балочной плиты покрытия резервуара – на отметке -0,030.

В подземной части КНС располагаются производственные помещения станции, в состав которых входят приемный резервуар с грабельным помещением и машинный зал. На рисунке 2 показано, что для разделения пространства подземного резервуара на отдельные помещения служат внутренняя несущая стена, возведенная на всю высоту колодца, и промежуточное перекрытие в одной из его частей, отделенной от другой внутренней стеной.

Промежуточное перекрытие резервуара является монолитным балочным перекрытием, верхняя поверхность плиты которого располагается на отметке -5,150. Технологическая нагрузка на промежуточное перекрытие, а также собственный вес перекрытия передаются на наружную и внутреннюю стены резервуара, а также в виде сосредоточенной нагрузки (P) на днище резервуара через промежуточные опоры-колонны.

На рисунке 2 обозначен контур надземной части канализационной насосной станции. Наружные стены двухэтажного кирпичного здания опираются на балки монолитного железобетонного покрытия подземного резервуара, которые в свою очередь, передают нагрузку от здания на стены подземного монолитного цилиндрического резервуара в основном в виде сосредоточенных нагрузок $P_1 = 564,4$ кН, $P_2 = 753,0$ кН, $P_3 = 376,0$ кН. Нагрузка от внутренней несущей стены надземного кирпичного здания передается на внутреннюю стену подземного железобетонного резервуара в виде погонной нагрузки $q_{ст} = 190,7$ кН/м.

При проведении обследования технического состояния подземного монолитного железобетонного цилиндрического резервуара были выявлены повреждения наружной стены помещения машинного зала, выглядящие в виде кольцевых трещин и расположенные на высоте приблизительно 2,5 м от пола. Через эти трещины весной во время таяния снега внутрь машинного зала просачивается вода. Вскрытие штукатурного слоя позволило оценить ширину раскрытия кольцевых трещин в стене монолитного колодца. При проведении обследования в летний период года она составила около 2 мм. Следы протечек показаны на рисунке 3.

В [4] отмечается, что многие из подобных резервуаров, эксплуатируемых в настоящее время, были построены десятки лет назад. Для большинства таких резервуаров имеет место частичное или даже полное отсутствие проектной и исполнительной документации на строительство.

Срок эксплуатации обследуемого резервуара составляет 48 лет, типовая проектная документация с вариантами конструктивных решений КНС имеется, но отсутствует исполнительная документация, в том числе информация о примененных при возведении обследуемой КНС конкретных конструктивных решениях.

Так, в типовом проекте КНС рассматривались два варианта выполнения наружной гидроизоляции стены подземного монолитного цилиндрического колодца. В первом вариан-

те для гидроизоляции наружной поверхности предусматривается торкретирование в два слоя толщиной 25 мм с последующей покраской битумной мастикой (2 раза). Во втором варианте обмазочная гидроизоляция заменяется оклеечной с устройством защитной стенки толщиной в 1/2 кирпича и высотой на 0,5 м выше уровня грунтовых вод. То есть отсутствуют сведения о фактическом конструктивном решении защиты от увлажнения наружной поверхности цилиндрического подземного колодца.

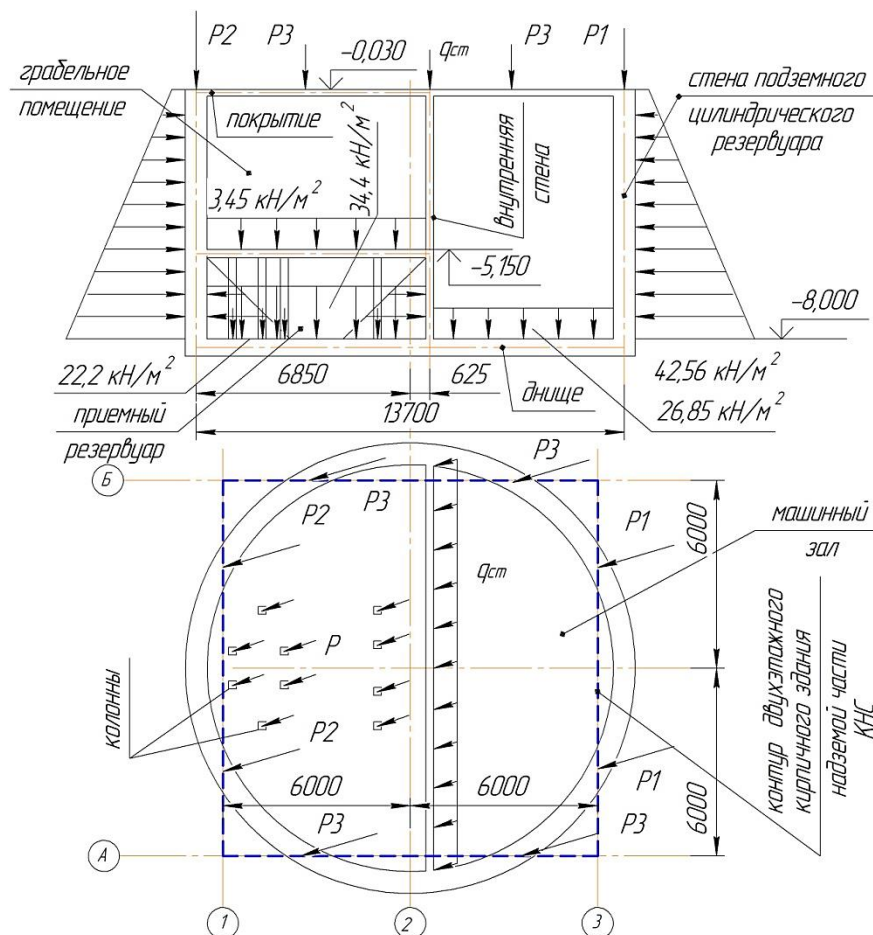


Рисунок 2 – Расчетная схема подземного монолитного цилиндрического резервуара КНС

Следует отметить, что в ходе длительной эксплуатации подземного колодца не было выявлено увлажнение стен машинного зала (за исключением участков стен, на которых были обнаружены кольцевые трещины). По результатам обследования технического состояния КНС на внутренней поверхности стен также не были выявлены следы грибка и плесени, которые могли бы свидетельствовать об увлажнении стен машинного зала.

По типовому проекту стены колодца, покрытие и днище выполнены из гидротехнического бетона марки по прочности на сжатие БГТ-200 и марки по водонепроницаемости В-6, что соответствует современному классу бетона по прочности на сжатие В15 (класс бетона подтвержден неразрушающими методами контроля) и марке по водонепроницаемости W6.

Для армирования основных несущих конструкций подземного колодца применен класс арматуры А-II (А300). В стенах колодца у внутренней и наружной граней стены установлены вертикальная и кольцевая арматура из стержней $\varnothing 18$ А-II (А300) с шагом 250 мм. Процент армирования составляет $\mu\% = (10,18/65 \times 100) \times 100 = 0,157\% > 0,1\%$.

Для проверки несущей способности резервуара был выполнен его проверочный расчет с использованием программного комплекса ЛИРА и с учетом рекомендаций, изложенных

в [5,6]. Поскольку из современных редакций нормативных документов по проектированию железобетонных конструкций [5] класс арматуры А300 исключен, а марка бетона БГТ-200 давно не используется, то прочностные и деформативные характеристики бетона и арматуры при выполнении расчета были приняты по рекомендациям, изложенным в [5,6]. Проверочный расчет показал достаточную несущую способность стен резервуара и не объяснил причину образования кольцевых трещин, расположенных на высоте 2,5 м от пола помещения машинного зала.



Рисунок 3 – Кольцевые трещины со следами протечек в стенах машинного зала подземного резервуара

По результатам анализа имеющейся строительной документации, а также обследования стен резервуара было высказано предположение, что возможной причиной образования трещин могло стать низкое качество горизонтального технологического шва (с пониженными прочностными характеристиками бетона), необходимость в устройстве которого могло возникнуть при бетонировании перекрытия, расположенного между приемным резервуаром и помещением с грабельным оборудованием (смотри рисунок 2). Монолитные железобетонные стены резервуара, вероятно были возведены по периметру резервуара до уровня перекрытия над приемным резервуаром. Возведение стен было продолжено после изготовления перекрытия.

Высота расположения кольцевых трещин в помещении машинного зала (2,5 м от пола) как раз соответствует расположению горизонтального технологического шва бетонирования с учетом толщины монолитного балочного перекрытия.

В [7] показано, что при укладке свежей бетонной смеси на затвердевший бетон в любом случае образуется зона с пониженными прочностными характеристиками. Кроме того, прочность стыка послойного бетонирования уменьшается, если выполнено некачественное виброуплотнение бетонной смеси, либо если для послойного бетонирования использован бетон от разных поставщиков бетонной смеси, или бетон, изготовленный в разное время из разных материалов. Практика показывает, что такие бетоны могут отличаться видом и маркой заполнителей цемента, видом химических добавок, прочностными характеристиками [7].

Анализ расчетной схемы подземного железобетонного резервуара, а также его напряженно-деформированного состояния показал, что стена подземного цилиндрического колодца нагружена вертикальной сжимающей силой, боковым давлением грунта и частично внутренним давлением сточных вод. Она испытывает в вертикальном направлении – внецентренное сжатие, а в кольцевом направлении – сжатие. В условиях жесткого сопряжения стены цилиндрического колодца с днищем и покрытием максимальные значения изгибающего момента с растяжением наружной грани стены фиксируются у опор, а с растяжением внутренней грани стены – на расстоянии от опор, близком к расположению кольцевых трещин в машинном зале канализационной насосной станции [8,9].

При проведении обследования технического состояния КНС было установлено, что весной во время таяния снега вода через появившиеся в стене кольцевые трещины просачивается внутрь машинного зала. Можно говорить о напорной фильтрации во время быстрого таяния снега весной для сооружений, расположенных на рельефе, когда потоки воды устремляются вниз не только по поверхности земли, но и в глубине склона. Фильтрация грунтовых вод приводит к коррозии бетона и арматуры. И хотя просачивание воды через кольцевые

ограничено по продолжительности и локальному проявлению, но при этом коррозионное разрушение материалов имеет прогрессирующий характер.

Следует отметить, что проницаемость бетона связана со структурой его порового пространства. При этом определяющим является фильтрация воды по трещинам. Степень фильтрации также зависит от напряженного состояния бетона. Фильтрация через бетон начинает возрастать при уменьшении сжимающих напряжений и значительно увеличивается при возникновении и увеличении растягивающих напряжений в бетоне. Интенсивность проявления фильтрации также связана с величиной напора фильтрующей через бетон воды [10-12].

Комплексный анализ напряженно-деформированного состояния железобетонного подземного резервуара в совокупности с результатами его визуального и приборного обследования, а также изучения имеющейся строительной документации позволил указать на возможные причины появления кольцевых трещин, расположенных на высоте 2,5 м от пола помещения машинного зала.

Так, причиной появления кольцевых трещин в стене резервуара и просачивания воды в помещение резервуара в весенний период, вероятно, явилось совпадение нескольких факторов: некачественное выполнение технологического шва бетонирования в уровне промежуточного перекрытия резервуара, расположение этого шва в месте наибольших растягивающих напряжений внутренней грани стены; напорный характер фильтрации грунтовых вод в период быстрого весеннего таяния снега.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамразян, А.Г. Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений // Вестник МГСУ. - 2011. - № 2-1. - С. 21-27.
2. Тамразян А.Г. К остаточной несущей способности железобетонных балок с трещинами / А.Г. Тамразян, М.А. Орлова // Жилищное строительство. - 2015. - № 6. - С. 32-34.
3. Тамразян, А.Г. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых элементов с трещинами / А.Г. Тамразян, М.А. Орлова // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия. Под редакцией А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы. - 2016. - С.507-514.
4. Кузовников, Е.В. Опыт реконструкции подземного железобетонного резервуара ЖБР-30000 / Е.В. Кузовников, А.Е. Шарков, С.С. Соколов, А.А. Тарасенко, П.В. Чепур // Фундаментальные исследования. - 2014. - № 12-6. - С. 1172-1176.
5. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. - М., 2012.
6. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. - М., 2003.
7. Писарев, С.В. Оценка технического состояния конструкций зданий при типовых нарушениях технологии строительства / С.В. Писарев, Н.Н. Астахов // Приоритетные научные направления: от теории к практике. - 2014. - № 12. - С. 142-148.
8. Добромыслов, А.Н. Примеры расчета конструкций железобетонных инженерных сооружений: справочное пособие. - М.: Издательство АСВ, 2010. - С.59-90
9. Люблинский, В.А. Безопасность несущих систем многоэтажных зданий при локальном изменении жесткостных характеристик несущих элементов / В.А. Люблинский, А.Г. Тамразян // Бетон и железобетон - взгляд в будущее. Научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону. - 2014. - С. 90-99.
10. Соколов, И.Б. Фильтрация и противодействие воды в бетоне гидротехнических сооружений / И.Б. Соколов, В.А. Логунова. - М., Издательство "Энергия", 1977. - С.76-80.
11. Дидевич, А.В. О водонепроницаемости и некоторых других характеристиках бетона // Технологии бетонов. - 2016. - № 3-4. - С. 56-59.
12. Тамразян, А.Г. Влияние воды на структурно-механические свойства бетонов // Известия Академии промышленной экологии. - 1998. - № 4. - С. 35.

Малахова Анна Николаевна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Железобетонные и каменные конструкции.

E-mail: gbk@mgsu.ru