

В заключение следует отметить, что указанная проблема актуальна не только для обследованных в данном случае объектов. В настоящее время в эксплуатации находятся примерно 20-25% зданий жилого назначения времен постройки 50-60х годов, где присутствуют рассмотренные выше дефекты, неустранение которых в течении непродолжительного времени может привести к образованию дефектов критических, разрушению и авариям конструкций.

В связи с этим службы эксплуатации ЖЭСов, ДУ и пр. должны обращать особое внимание на техническое состояние подобных конструкций и в случаях необходимости принимать меры по их ремонту и восстановлению до наступления критической ситуации.

УДК 69.059.2

### **Аварии зданий и сооружений. Причины и последствия**

Снежко А.Ю., Протасевич А.А.

Научный руководитель – Шилов А.Е.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Строительство гражданских и промышленных зданий и сооружений продолжает осуществляться на территории стран СНГ в значительных объемах.

Технический уровень возводимых цехов, жилых и гражданских зданий, а также инженерных сооружений определяется качеством проектных решений, качеством выполнения строительно-монтажных работ и изготовления конструкций, материалов и оборудования, а так же не нарушением норм эксплуатаций.

Информация о случаях повреждений и обрушений зданий, сооружений, их частей и конструктивных элементов на основе изучения и анализа причин возникновения дефектов и их последствий необходима для выявления "узких" и наиболее опасных моментов в ходе строительства и эксплуатации.

#### **Аварии зданий из каменных конструкций**

В ходе анализа было установлено, что основной причиной обрушения каменных конструкций были грубейшие нарушения правил выполнения узлов опирания несущих конструкций на кирпичные

стены. Этот дефект в процессе эксплуатации усугубляется разупрочнением кладки (особенно из силикатного кирпича) вследствие увлажнения ее из-за протечек в водонесущих коммуникациях, с последующим неоднократным замораживанием и оттаиванием. Наиболее часто встречающимся нарушением при производстве работ, вызывающим местную перегрузку кирпичной кладки, является опирание балок и прогонов перекрытий на стены без соответствующих подкладок (распределительных пластин). В ряде случаев опирание конструкций выполняется через неармированную (бетонную) подушку, которая не может воспринимать изгибающие моменты из-за неравномерной передачи нагрузки от конструкции на укладку, что может привести к потере устойчивости конструкций. Ослабление кирпичной кладки вследствие замачивания и попеременного замораживания является также одной из причин обрушения зданий.

Повреждения зданий из каменных конструкций, приводящие к приостановке их введения или эксплуатации, нередко являются следствием неравномерных осадок или пучения грунтов оснований фундаментов. Кирпичная кладка весьма чувствительна к неравномерным осадкам зданий.

Одной из проблем на современном этапе стала необходимость обеспечения сохранности и предотвращения повреждений объектов незавершенного строительства. Однако, как показывает опыт, на приостановленных строительством объектах не выполняются положения об их консервации и охране. Из-за невыполнения консервации и отсутствия охраны на здании с незавершенным строительством происходила неконтролируемая разборка кладки простенков и других конструкций. Вследствие ослабления сечений простенков, а также снижения прочности кладки под воздействием атмосферных факторов произошла потеря несущей способности кладки с обрушением наружной стены и плит покрытий и перекрытий.

Характер описанных аварий указывает на то, что во всех случаях они являлись следствием дефектов при выполнении строительно-монтажных работ, проявление которых на эксплуатируемых зданиях усугубилось нарушением правил технической эксплуатации, своевременно не выявленными службами производственного контроля технического надзора заказчика, авторского надзора проект-

ных организаций и соответствующими службами эксплуатирующих организаций.

### **Аварии зданий и сооружений с конструктивными элементами из сборного железобетона**

Одной из причин обрушений и недопустимых деформаций конструкций являлось нарушение правил производства работ, вследствие которого не обеспечивалась устойчивость зданий и отдельных конструктивных элементов или прочность узловых сопряжений.

Наиболее частыми причинами аварий являются:

- некачественное закрепление панелей на сварочных прихватках;
- невыполнение проектного опирания конструкций и незакрепление их в проектном положении до освобождения строповок;
- низкое качество сварки;
- нарушение технологической последовательности монтажа.

### **Аварии зданий и сооружений из монолитного железобетона**

Дефекты, вызванные нарушением технологии производства работ, особенно при возведении зданий в зимних условиях, могут явиться причинами создания аварийных ситуаций и обрушения конструкций в процессе производства работ. Недостаточное уплотнение бетонной смеси, нарушение режима набора прочности бетона в ряде случаев являются основными причинами аварий.

Производственный анализ причин аварий зданий и сооружений указывает на то, что строительные дефекты при невыгодном сочетании факторов становятся причинами аварий зданий и сооружений. При этом чем выше доля зданий и сооружений с критическими дефектами, тем выше потенциальная опасность создания аварийной ситуации. Сопоставительный анализ позволяет утверждать, что соотношение аварий на объектах производственного и жилищно-гражданского назначения имеет прямую зависимость с показателями дефектности возводимых объектов.

Ниже приведены лишь некоторые примеры значительного разрушения и аварий, вызванных ошибками, допущенными на разных этапах строительного процесса. Даны рекомендации по предотвращению аварий.

Ежегодно в стране систематизируются аварии зданий и сооружений разного назначения. Вызываются они ошибками, допущенными при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуата-

ции. Анализ причин аварий за несколько лет показал, что часто отмечаются одни и те же ошибки. Рассмотрим представленные материалы по авариям.

### **1 – Обрушение церковной школы 2008 год**

В процессе возведения трехэтажного здания колледжа La Promesse, расположенного в пригороде столицы островного государства Порт-о-Пренс, произошло обрушение второго этажа. К сожалению, во время строительства верхних этажей в уже «эксплуатируемой» части здания находились люди. В результате обрушения погибло 94 человека и более 150 – госпитализированы. В процессе обследования причин обрушения был выявлен ряд нарушений проектных решений, а так же грубые ошибки в конструкции здания и в выборе места для его строительства. По некоторым результатам обследования звучала информация, что в растворе стен отсутствовал, или находился в недостаточном соотношении цемент, что и привело к такой скорой потере прочности.

### **2 – Обрушение части Кричевской школы**

29 августа 2014 года произошло обрушение части здания школы в городе Кричев Могилевской области. К осмотру были привлечены специалисты Министерства по чрезвычайным ситуациям и эксперты управления Государственного комитета судебных экспертиз по Могилевской области. В процессе подготовки здания к новому учебному году производилась замена окон. По некоторым результатам в ходе их замены были расширены оконные проемы. К счастью, эти работы производились до начала учебного года и в здании школы утром в момент обрушения плит перекрытий и стен никого не находилось. Вероятнее всего, не выдержали простенки, которые в силу своего возраста потеряли былую несущую способность, а наличие трещин в стенах, идущих в частности от оконных проемов – факт установленный, который лишь усугубил ситуацию. Здание было 1979 года постройки, и, после четырех месяцев расследований, было решено построить новую школу, недалеко от места происшествия.

### **3 – Обрушение части Беляевской школы**

Похожее обрушение части здания школы произошло в Беляевской средней школе Оренбургской области в 2008 году. Было установлено, что трещины по стене пошли от вставки новых окон. Детей начали эвакуировать, но вывести всех не успели. Рухнула фа-

садная стена и лестничные марши. Печальным является факт, что замена оконных проемов производилась именно в учебное время. До того, как была начата замена оконных проемов, была заменена крыша школы, что, по некоторым мнениям, привело к увеличению нагрузки на несущие конструкции здания, а замена окон лишь ускорила разрушение. В частности, из-под завалов удалось извлечь живыми 4 человека, одним из которых был работник, производивший замену окон. В ходе обследований было установлено, что имели место нарушения во время строительства здания и несоблюдение правил его эксплуатации, приведшие к потере прочности конструкций. "Оказалось, что несущая стена была, фактически, не соединена с другими стенами. Обрушение могло произойти в любое время. Замена оконных рам именно в этом месте спровоцировало обрушение" – губернатор района.

#### **4 – Обрушение Басманского рынка**

Обрушение здания Басманного рынка произошло 23 февраля 2006 в 5:45 в Москве. Примерно в 14:30 под обломками начался пожар, ликвидированный к 16:20. Трагедия стала одной из крупнейших техногенных катастроф в России. Погибло 68 человек (45 граждан Азербайджана, 7 жителей Грузии и 16 представителей Узбекистана и Таджикистана), ранения получили 39 человек. Комиссия установила, что крыша здания рынка обрушилась из-за обрыва одного из тросов-вантов, на которых она держалась. А сам обрыв стал следствием нескольких причин, среди которых была коррозия ванта и внеплановая перестройка здания — в нём был возведен внутренний круговой балкон, который затем перегрузили товаром

#### **5 – Обрушение терминала аэропорта в Париже**

23 мая 2004 года произошло обрушение крыши терминала 2E аэропорта Руасси - Шарль де Голль в Париже. Руководство Air France подгоняло и строителей, и дирекцию аэропорта. Все знали, что терминал еще далеко не готов к сдаче в эксплуатацию, но все старательно закрывали на это глаза. Когда же комиссия по безопасности приехала принимать сооружение, чуть ли не на головы ее членов упал один из осветительных приборов. Тогда решили отложить открытие терминала. Но всего на неделю. 25 июня 2003 года 2E все равно открылся для пассажиров, жизнь которых оказалась под угрозой".

То, что при строительстве терминала были допущены конструктивные просчеты, было известно заранее. Еще на этапе строительства пятьдесят колец, поддерживающих свод с западной стороны, дали трещины. Строители их вовремя заметили и приняли меры предосторожности - в частности, залили трещины жидким стеклом. Была даже несколько изменена технология строительства. Однако рухнул участок, на котором никаких видимых изъянов ранее обнаружено не было. Обеспечить жесткость конструкции длиной 650 метров и шириной 33 метра было достаточно сложно, однако решено было накрыть бетонное жерло металлическими арками, придающими всей конструкции жесткость. В них сделали квадратные окна общей площадью 36 тысяч квадратных метров. Свет должен был проходить сквозь стекло и создавать эффект не то аквариума, не то фантастического космического корабля.

Конструкция терминала проектировалась французским архитектором Поль Андре. Сооружение должно было оставаться достаточно просторным для большого числа туристов и, как следствие, была выбрана конструкция усеченного вдоль продольной оси цилиндра, который поддерживался изнутри балками, опирающимися на колонны. Эксперты сообщили, что терминал постепенно разрушался изнутри из-за неправильного расположения и слабости арматуры, непрочности несущей балки и недостаточного запаса избыточной прочности. Произошло разрушение горизонтальной железобетонной балки, что привело к пробитию покрытия колоннами. По результатам экспертизы причиной стали ошибки в проектировании и недостаточное качество бетона, использовавшегося при строительстве. Все эти факторы усугубляла холодная погода.

В строительстве терминала, завершившемся только в июне прошлого года, участвовало более четырехсот субподрядных компаний. Инженеры уверены, что ошибки как раз более вероятны, когда за различные части строительства здания отвечают разные строительные компании. В данном случае GTM Construction строила бетонный каркас, Nerve — колонны.

## **6 – Обрушение Трансвааль-парка**

14 февраля 2004 года произошло обрушение купола спортивно-развлекательного комплекса «Трансвааль-парк» в Москве (введен в эксплуатацию в июне 2002 г.), жертвами трагедии стали 28 человек. Площадь обрушения составила почти пять тысяч квадратных

метров. Купол здания упал на всю водную часть комплекса, кроме бассейна для взрослых. Под обрушившейся крышей оказались детская площадка с детским бассейном и большой бассейн с горками, центрифугой и прочими самыми привлекательными аттракционами, с прилегающими площадями.

На основании собранных в ходе следствия данных было объективно установлено, что причиной частичного обрушения "Трансвааль-парка" явился комплекс проектных ошибок, обусловленных грубыми просчетами при разработке проекта, в результате которых построенное сооружение не отвечало нормативным требованиям по безопасности и надежности.

Под воздействием вибраций в тонкостенных элементах аквапарка возникали поперечные волны, которые приводили к появлению изгибных деформаций. Если возмущающие колебания не совпадают по частоте с собственными колебаниями системы, разрушение вряд ли может произойти. Опасность вызывают колебания с частотами, близкими к собственной частоте системы. В таких случаях конструкция может войти в резонанс и разрушиться. Действительно, в начальный период эксплуатации, судя по параметрам конструкции здания аквапарка, резонансные частоты его элементов, в частности купола, находились в диапазоне 5 кГц. Посторонние источники воздействовали на здание с частотами 20-200 Гц.

К настоящему времени был выполнен ряд экспертных работ, в которых анализировалась конструктивная прочность здания аквапарка «Трансвааль». Ни в одной из этих работ не было однозначно указано на истинную причину обрушения данного сооружения. В качестве основного инструмента для определения напряженно-деформированного состояния и динамических характеристик конструкции при различных видах воздействия в этих работах используется численный метод конечных элементов, реализованный в различных программных системах: ЛИРА, SCAD, ANSYS, СТАДИО. При определении НДС конструкции покрытия с системой опорных колонн использовались конечноэлементные (КЭ) модели, сформированные из балочных и оболочечных элементов. Для моделирования железобетонной оболочки покрытия задавались приведенные жесткостные характеристики армированного бетона. Размерность КЭ моделей составляла от нескольких десятков до ста тысяч элементов.

Реальное покрытие было выполнено в виде железобетонной оболочки переменной толщины с неоднородным армированием и системой перекрестных армированных ребер. При моделировании такой сложной конструкции указанная выше степень дискретизации не позволяет учесть локальные особенности НДС конструкции, обусловленные нелинейным поведением бетона и реализованной в конструкции системой армирования. В результате была получена расчетная модель, размерность которой составила порядка 2 миллионов элементов, что превзошло детализацию конструкции в 20 раз по сравнению с представленными ранее моделями в расчетах экспертных организаций.

Выполнены расчеты на последовательные нагружения конструкции:

- постоянной нагрузкой, включающей вес конструктивных элементов + вес кровли – нагрузка «вес»
- постоянной нагрузкой + равномерно распределенной снеговой нагрузкой – нагрузка «вес + снег»

Первоначально был рассмотрен вопрос о корректности решения задачи нагружения большепролетной пологой оболочки в линейно-упругой постановке. Для этого выполнены расчеты на нагружения постоянной нагрузкой (нагрузка «вес») для моделей:

- без учета геометрической и физической нелинейностей;
- с учетом геометрической нелинейности;
- с учетом геометрической и физической нелинейностей.

Тип расчета	Максимальное перемещение $U$ , мм	Напряжения в бетоне $\sigma_{\max} / \sigma_{\min}$ , МПа	Напряжения в арматуре $\sigma_{\max} / \sigma_{\min}$ , МПа
Без учета геометрической и физической нелинейностей	60	15,1 / -12,2	86,0 / -54,7
С учетом геометрической нелинейности	65	15,4 / -12,8	89,2 / -55,2
С учетом геометрической и физической нелинейностей	144	2,4 / -21,9	302,5 / -101,2

Согласно СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры», при продолжительном действии нагрузки значение начального модуля деформации бетона определяется по формуле  $E'_6 = E_6 / (1 + \varphi_{b,cr})$ , где  $\varphi_{b,cr} = 2,1$  – коэффициент ползучести. Согласно формуле, начальный модуль упругости следует уменьшить в 3 раза. Было решено не задавать в расчете столь значительное уменьшение начального модуля упругости (дать конструкции «шанс на выживание»).

Выполнен расчет для модуля упругости бетона, уменьшенного в 1,5 раза  $E'_6 = E_6/1,5 = 23000$  МПа. По результатам расчета для нагрузки «вес + снег» установлено: максимальные растягивающие напряжения в арматуре превысили предел текучести при уровне снеговой нагрузки  $30 \text{ кг/м}^2$ .

Максимальные прогибы при указанной нагрузке достигают 300 мм.

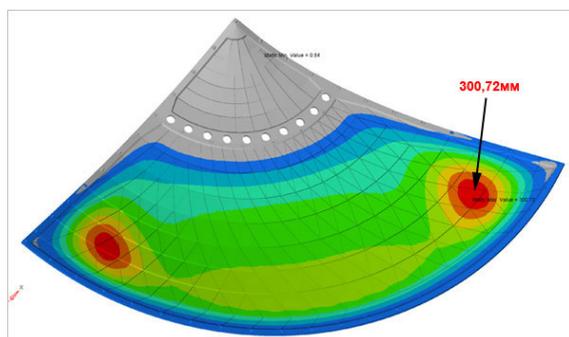


Рис. 1. Суммарные перемещения в оболочке

Напряжения в бетоне превышают пределы текучести (нормативные сопротивления) на сжатие и растяжение. Главные напряжения в бетоне достигают величины  $27,5$  МПа (нормативное значение  $25,5$  МПа). Зона пластических деформаций в бетоне охватывает значительную площадь оболочки.

Напряжения находятся в допуске, что опровергает утверждения экспертов о потере несущей способности колонн и боковых связей. ООО «Хекса» по заказу ЗАО «КУРОРТПРОЕКТ» в 2007 году проведено исследование, по которому видно, что даже при исключении одной колонны из работы, в конструкции больших (катастрофических) изменений не происходит.

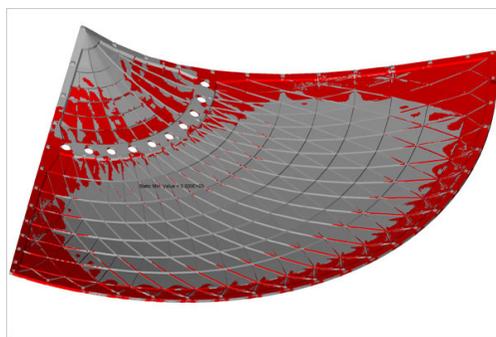


Рис. 2. Пластические деформации в бетоне оболочки

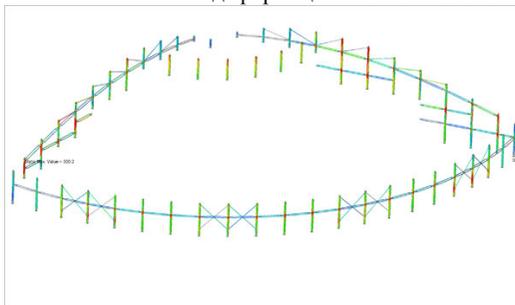


Рис. 3. Эквивалентные напряжения в колоннах со связями,  $\max = 300$  МПа (нормативное значение 370 МПа)

## ЛИТЕРАТУРА

1. В Кричеве в гимназии обрушились актовый зал и столовая. СК возбудил уголовное дело // Белорусский портал TUT.BY [Электронный ресурс]. URL: <http://news.tut.by/accidents/413288.html> (Дата обращения: 07.03.2016).
2. Джамбулатов Р. Г. Анализ причин обрушения покрытий общественных зданий // Молодой ученый. — 2015. — №10. — С. 197-200.
3. Журнал «ИТОГИ» №22 (416) / Обвальное обрушение. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.itogi.ru/archive/2004/22/72064.html>. (Дата обращения: 07.03.2016).

4. Леденев Виктор Васильевич, Однолько Валерий Григорьевич Анализ причин аварий зданий и сооружений и пути повышения их надежности // Вестник ТГТУ. 2012. №2. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-prichin-avariy-zdaniy-i-sooruzheniy-i-puti-povysheniya-ih-nadezhnosti> (дата обращения: 13.05.2016).
5. На Гаити обрушилось здание церковной школы // INNOC | Новости России/ [Электронный ресурс]. URL: <http://innoc.net/archive/130016.html> (Дата обращения: 09.03.2016).
6. Обрушение школы в Оренбургской области // РИА новости [Электронный ресурс]. URL: [http://ria.ru/trend/fall\\_school\\_01102008](http://ria.ru/trend/fall_school_01102008). (Дата обращения: 02.04.2016).
7. Почему рухнул "Трансвааль-парк"? // Наука и жизнь [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nkj.ru/archive/articles/7220>. (Дата обращения: 02.04.2016).
8. Расчетные исследования причин обрушения конструкции покрытия аквапарка «Трансвааль». Экспертиза проекта уникального сооружения // Расчеты на прочность строительных конструкций [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hexa.ru/presentations.php?languageId=1&sitePartId=2&categoryId=5&presentationId=44>. (Дата обращения: 03.04.2016).
9. Российская газета №4765 / Шестая жертва. [Электронный ресурс]. URL: <http://rg.ru/gazeta/rg/2008/10/03.html> (Дата обращения: 22.03.2016).
10. Терминал аэропорта «Шарль де Голль» начал разрушаться сразу после строительства // Lenta.ru. [Электронный ресурс]. URL: <https://lenta.ru/world/2005/02/16/degaulle>. (Дата обращения: 22.03.2016).