

2. Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384 – ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»;
3. Рекомендации по оценке надёжности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. – М.: ЦНИИПРОМЗДАНИЙ, 2001.
4. СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений». М: ГОССТРОЙ России, 2004. Дата актуализации: 01.02.2017
5. Физдель И.А. Дефекты в конструкциях, сооружениях и методы их устранения. – М.: Стройиздат, 1987.- С. 336.
6. СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*
7. СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции». Актуализированная редакция СНиП II-22-81*
8. СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции». Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87
9. СП 12-135-2003, Свод правил по проектированию и строительству «Безопасность труда в строительстве».
10. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
11. РД 153-34.1-21.326-2001 Методические указания по обследованию строительных конструкций производственных зданий и сооружений тепловых электростанций. Часть 1. Железобетонные и бетонные конструкции // Гост. Хелп, 2019.

УЧЕТ РИСКОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. (ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», г. Москва, Россия),
Парфенов С.Г., Полтавская О.П. (ФГБОУ ВО «БГИТУ», г. Брянск, Россия)

Понятие о риске. Общий риск – это комбинированный эффект, обусловленный различными силовыми, природно-климатическими и другими воздействиями, а также характером реакции объекта на данные воздействия. Примерами таких воздействий могут быть: коррозия и усталость и старение материалов, размораживание каменной кладки и бетона, механические повреждения, ползучесть грунта, изменение уровня и коррозионное воздействие грунтовых вод и др. Анализируя данные об авариях, можно заключить, что они прямо или косвенно связаны как с нарушением требований норм и правил при эксплуатации, так и с запроектными воздействиями. Такие аварии наносят значительный экономический ущерб и нередко сопровождаются гибелью людей. Одной из главных задач при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений является обеспечение надёжности, гарантирующей их безаварийность (безопасность). Инициаторами аварийных ситуаций становятся отказы конструкций. Отказом принято считать такое состояние элемента, при котором он перестает частично или полностью выполнять своё назначение.

В соответствии с фундаментальными положениями работ [1-4] основная цель действующей системы обеспечения безопасности объекта – минимизация издержек от возможности проявления аварийности или иных негативных происшествий, которая математически может быть записана в виде:

$$\begin{cases} M_{\tau}[Y+Z] \Rightarrow \min \\ RE_{\tau} = f(M[Y+Z]) \geq RE_{\tau}^{adm} \end{cases}$$

где $M_{\tau}[Y+Z]$ – математическое ожидание суммы ущербов Y от техногенных происшествий на объекте и затрат на обеспечение безопасности Z за период времени τ ; $RE_{\tau}, RE_{\tau}^{adm}$ – достигнутая и приемлемая рентабельность производства за этот же период времени.

Мерой надёжности сооружения служит его вероятность разрушения или риск аварии (частота вероятного разрушения в год) [5]. Риск ниже фонового уровня, равного $5 \cdot 10^{-6}$ считается приемлемым; от $5 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^{-5}$ – уровень риска, свыше $5 \cdot 10^{-5}$ – уровень риска является недопустимым.

Разрушение вследствие постепенных отказов. Разрушения от постепенных отказов происходят обычно при длительной эксплуатации и связаны с физическим износом конструкций. В настоящее время риск вследствие постепенных отказов контролируется коэффициентами надёжности: по материалам, нагрузкам, условию работы и назначению (уровню ответственности сооружения), которые могут быть приведены к полному коэффициенту надёжности путем вычисления произведения всех составляющих коэффициентов.

Разрушение сооружения вследствие внезапных отказов. Рассмотрим основные ошибки, приведшие к разрушениям при внезапных отказах при проектировании, строительстве и эксплуатации [5-7].

Выявлены следующие причины аварий:

- недоработка норм проектирования, нарушения строительных норм и правил при выполнении проектирования – 10%,
- неудачное проектное решение – 36%,
- применения материалов и конструкций низкого качества или не соответствующих проекту – 2%,
- низкое качество строительно-монтажных работ – 39%,
- завышения проектных нагрузок, отсутствия контроля за состоянием сооружения, эксплуатации сооружения с не устраненными дефектами – 12%,
- стечение неблагоприятных факторов – 2%.

Предотвращение аварий сооружений от внезапных отказов может быть осуществлено путем их прогнозирования. Определение вероятности аварии производится на основании анализа условий, влияющих на надёжность сооружений, используя экспертные оценки, что не исключает применения расчетных данных или данных натурных обследований.

Риски разрушения конструкций вследствие плохого сцепления арматуры с бетоном и вследствие прогрессирующего обрушения. Опыт обследования зданий, введенных в эксплуатацию, показывает, что нарушение сцепле-

ния бетона и арматуры в большей степени для изгибаемых элементов является одним из самых распространенных эксплуатационных повреждений. Главной причиной является коррозия арматуры. Причины возникновения прогрессирующего (лавинообразного) обрушения могут быть различными: локальные аварии, вызвавшие снижение прочности материалов (пожар, взрыв, столкновения транспорта со зданием), разрушение отдельных конструкций по причине дефектов при строительстве и действия коррозии, размыв грунтовых вод основания и др. Недопущение прогрессирующего обрушения здания следует обеспечивать рядом мероприятий, описанных в нормативной литературе. При этом большое внимание уделяется превентивным мероприятиям, приводящим к существенному удорожанию как строительства, так и эксплуатации сооружений. Возникает потребность в оптимизации конструктивных решений, связанных с учетом риска.

Учет рисков в оптимальном проектировании. Обзор литературы в данном направлении [8-12] показал, что существует два основных метода учета риска при проектировании несущих конструкций зданий:

1. В первую очередь конструкция оптимизируется, после чего для итогового решения происходит учет рисков.
2. Учёт риска непосредственно в процессе итерационной вычислительной схемы оптимизации.

Рассмотрим более подробно вторую постановку задачи, применительно к железобетонным конструкциям. Величину риска можно будем представлять как в абсолютном, так и в относительном выражении. Несущую железобетонную конструкцию рассматриваем на трёх этапах жизненного цикла здания: проектирование с последующим изготовлением (I), монтаж (II), эксплуатация (III).

Задача оптимизации при абсолютном значении рисков формулируется следующим образом:

$$(C_I + C_{II} + C_{III} + R_I + R_{II} + R_{III}) \Rightarrow \min$$

где C и R – суммарные капиталовложения в конструкцию в условных единицах на рассматриваемых этапах жизненного цикла и абсолютная величина риска соответственно.

Задача оптимизации при относительном значении рисков представляется так:

$$\Omega_{I-III} \Rightarrow [\Omega], \quad \Omega_{I-III} = \sum_{i=I}^{III} \frac{R_i}{C_i},$$

где $[\Omega]$ – предельная величина относительного риска, которую рекомендуется назначать в интервале 0,1-0,3.

Размер C затрат на конструкцию на этапе (I) определяется проектными решениями, на этапе (II) затратами на работу монтажников и амортизацию монтажной оснастки и оборудования, а на этапе (III) затратами на эксплуатацию. Затраты на эксплуатацию могут быть упрощенно определены так:

$$C_{III} = \sum_k \frac{C_k}{(1+e)^k}$$

где T – период эксплуатации, лет; k – номер года начала затрат на обслуживание; e – норма дисконта; C_k – ежегодные затраты на эксплуатацию конструкции в период ее эксплуатации.

Предлагаемые схемы учёта рисков будут реализованы в методах оптимизации железобетонных конструкций, основанные на современных реализациях генетических алгоритмов, методов роя частиц и различных комбинированных многоуровневых схем поиска рациональных конструктивных решений.

Библиографический список

1. Тамразян А.Г., Дудина И.В. Влияние изменчивости контролируемых параметров на надежность преднапряженных балок на стадии изготовления. Жилищное строительство. 2001. № 1. С. 16-17.
2. Тамразян А.Г., Звонов Ю.Н. К оценке надежности железобетонных плоских безбалочных плит перекрытий на продавливание при действии сосредоточенной силы в условиях высоких температур. Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 24-28.
3. Тамразян А.Г. Огнеударостойкость несущих железобетонных конструкций высотных зданий. Жилищное строительство. 2005. № 1. С. 7.
4. Ключева Н.В., Тамразян А.Г. Основополагающие свойства конструктивных систем, понижающих риск отказа элементов здания. Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 5-2 (44). С. 126-131. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
5. СТО – 008 – 02495342 – 2009. Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. Проектирование и расчет. Москва, 2009 г.
6. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния
7. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Оптимальное проектирование несущих конструкций зданий с учетом относительного риска аварий. Вестник МГСУ, 2019, выпуск 7, стр. 819-830.
8. Алексейцев А.В., Курченко Н.С. Обзор методов и результатов экспериментальных исследований стальных и сталебетонных конструкций при особых воздействиях // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Т. 14. № 3. С. 205-215.
9. Serpik I., Alekseytsev A. Optimization of steel frame building systems in terms of parameters and reliability requirements // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 21, Construction - The Formation of Living Environment. 2018. С. 052003.

10. Алексейцев А.В., Безбородов Е.Л. Эволюционный поиск параметров систем "протезирования" деревянных балочных конструкций // Строительство и реконструкция. 2018. № 2 (76). С. 3-11.

11. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. К оптимальному проектированию нормально эксплуатируемых железобетонных балок на основе применения гибридного метода случайного поиска // "Лолейтовские чтения-150". Современные методы расчета железобетонных и каменных конструкций по предельным состояниям. Сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения профессора, автора методики расчета железобетонных конструкций по стадии разрушения, основоположника советской научной школы теории железобетона, основателя и первого заведующего кафедрой железобетонных конструкций Московского инженерно-строительного института (МИСИ) А.Ф. Лолейта. Под редакцией А.Г. Тамразяна. 2018. С. 417-423.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБОВ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ АРМАТУРЫ НА ОСНОВЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Трёкин Д.Н. (АО «ЦНИИПромзданий», г.Москва, Россия)

В статье приводится методика определения прогибов железобетонных изгибаемых элементов с предварительным напряжением арматуры на основе нелинейной деформационной модели с использованием двух линейной диаграммы состояния бетона. Полученные зависимости сопоставляются с результатами вычислений по известным методикам определения прогибов по СНиП 2.03.01-84 и СП 63.13330.2018 и с имеющимися экспериментальными данными. Полученная сходимость результатов расчета по трем методикам подтвердили правомерность предлагаемого подхода к определению максимальных прогибов железобетонных элементов на стадии эксплуатационных нагрузок*

Предельно допустимые прогибы установлены на основе следующих требований:

- а) технологических – обеспечение нормативной эксплуатации технологического оборудования;
- б) конструктивных – обеспечение целостности элементов и их сопряжений с другими элементами в пространственной системе здания и стабильности проектного положения;
- в) физиологических – исключение недопустимых уровней колебаний, вредящих здоровью и вызывающих ощущение дискомфорта;
- г) эстетико-психологических - обеспечение благоприятных впечатлений от внешнего вида конструкции, предотвращение ощущения опасности и дискомфорта.

Часто эти требования действуют комплексно. Таким примером ограничения прогибов может служить назначение предельных прогибов для подкрано-