

Меркулов С. И., член-корреспондент РААСН, д-р техн. наук, проф.
Курский государственный университет

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ КОНСТРУКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ КОРРОЗИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

mersi.dom@yandex.ru

Сформулированы основные направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений. Предложен иерархический подход к оценке конструктивной безопасности объектов при коррозионных повреждениях от материалов конструкций до конструктивной системы. Определены особенности коррозионной повреждаемости бетона железобетонных конструкций, проанализированы механизмы силовых и коррозионных воздействий.

Ключевые слова: конструктивная безопасность зданий, напряженное состояние, коррозионные повреждения, конструктивная система

Одной из основных задач при обеспечении безопасности эксплуатируемых зданий и сооружений является оценка конструктивной безопасности строительных конструкций и конструктивных систем, подверженных повреждениям. Длительный срок эксплуатации зданий и сооружений при одновременном проявлении силовых и средовых воздействий приводит к появлению и развитию различных повреждений строительных конструкций, узлов сопряжений конструкций. В настоящее время выполнены экспериментальные и теоретические исследования, направленные на изучения влияния силовых и средовых повреждений на прочностные и деформативные параметры отдельных конструкций и конструктивных систем [1-3].

Конструктивная безопасность конструкций и конструктивных систем определяется соответствием параметров эксплуатируемых конструкций проектным значениям. Такой подход к оценке конструктивной безопасности основан на методе предельных состояний, что согласуется с нормативными положениями проектирования строительных конструкций.

Конструктивная система здания или сооружения представляет сложную структуру от материалов конструкций до конструктивной системы, имеющую иерархический характер, и включающую следующие уровни: материалы; элементы конструкций; конструкции; узлы и сопряжения конструкций; конструктивные системы.

Основным фактором, влияющим на конструктивную безопасность эксплуатируемых зданий и сооружений, являются коррозионные повреждения. Оценка конструктивной безопасности зданий и сооружений необходимо выполнять с учетом коррозионных повреждений материалов конструкций на фоне наличия напряженного состояния [4, 5]. Протекание коррозионных процессов в бетоне зависит от знака действующих напряжений. Так, при сжатии в бетонных образцах эффективный коэффициент диффузии углекислого газа понижается на порядок, а при растяжении увеличивается на один-два порядка. Также противокоррозионная стой-

кость бетона зависит от уровня сжимающих напряжений. При сжимающих напряжениях, не превышающих нижней границы микротрещинообразования бетона, пористость бетона заметно снижается, происходит уплотнение структуры бетона, что снижает скорость проникновения в материал химически агрессивных реактивов по сравнению с ненагруженным бетоном. При более высоких сжимающих напряжениях в структуре бетона начинается процесс образования, накопления и развития микрповреждений, структура бетона разрыхляется, скорость проникновения агрессивных сред в структуру бетона возрастает. Таким образом, в этом случае процессы коррозионного и силового влияния носят взаимно усиливающий характер.

В железобетонных конструкциях коэффициенты температурного расширения для стали и бетона практически равны по величине. Но при коррозионных процессах химической и физико-химической природы происходит расширение бетона, а стальная арматура не обнаруживает собственных деформаций. Но при температурных воздействиях на такие конструкции арматура испытывает собственные деформации, противоположные деформациям бетона [5]. В этой ситуации железобетонные конструкции получают специфические повреждения, а методика определения собственных напряжений в железобетоне, основанная на равенстве усилий и неразрывности деформаций бетона и арматуры, нуждается в уточнении.

Коррозионные повреждения элементов и конструкций приводят к снижению их ресурса силового сопротивления. Прежде всего, коррозия снижает поперечное сечение элементов, но кроме такого прямолинейного последствия повреждения, вызванные агрессивными воздействиями, проявляются более сложными схемами. Коррозионные изменения прочностных и деформативных параметров бетона сжатой зоны, коррозия стержней растянутой арматуры с нарушением сцепления стержней с бетоном приводят к нарушению нормативного условия ограничения высоты сжатой зоны, что делает возможным хрупкое разрушение изгибаемых

железобетонных конструкций с коррозионными повреждениями при проектной нагрузке. Коррозионные повреждения приводят к образованию и развитию трещин, к снижению жесткости конструкций, к развитию значительных деформаций. При разработке теории силового сопротивления строительных конструкций с коррозионными повреждениями принята предпосылка об условно равномерном характере воздействия агрессивной среды по пролету и по высоте сечения конструкции. При такой постановке силовое сопротивление конструкции с коррозионным повреждением определяется в сечении с наибольшими внутренними усилиями. Однако из опыта обследования строительных конструкций зданий и сооружений, эксплуатируемых в агрессивных средах, следует, что зоны конструкций с наибольшими коррозионными повреждениями не совпадают с участками действия наибольших внутренних усилий. Отмеченные обстоятельства требуют развития теории силового сопротивления конструкций с определением опасных сечений с точки зрения коррозионных повреждений, направленности и уровня действующих усилий.

Конструктивная безопасность зданий и сооружений в значительной степени обеспечивается целостностью узлов сопряжений и связей конструктивной статически неизменяемой системы. При проектировании зданий и сооружений предпочтительно должны закладываться конструктивные решения, повышающие степень статической неопределимости системы здания. Другим условием обеспечения конструктивной безопасности зданий и сооружений является проектирование узлов соединения конструкций не подверженных хрупкому разрушению [6]. Коррозионные повреждения узлов сопряжения конструкций в составе конструктивной системы приводят к изменениям граничных условий конструкций, к перераспределению усилий между элементами конструктивной системы. В первом случае, например, для каркасного железобетонного здания при коррозионном повреждении жестких узлов сопряжения ригеля с колоннами расчетная схема ригеля меняется с жестко защемленной по концам на схему шарнирно опертой балки, что приводит к снижению силового сопротивления ригеля вдвое. Во втором случае в результате перераспределения внутренних усилий между конструкциями возможны случаи возникновения в отдельных конструкциях усилий, превышающих проектные, и как следствие развитие в этих конструкциях деформаций недопустимой величины.

Относительно конструктивных систем зданий и сооружений конструктивная безопасность определяется способностью сохранять системой необходимую степень статической неопределимости, обеспечивающую восприятие проектных

нагрузок при силовых и коррозионных повреждениях отдельных конструкций, узлов сопряжений и связей.

Предлагаемый иерархический подход в оценке конструктивной безопасности строительных материалов, элементов конструкций, конструкций, узлов и сопряжений конструкций, конструктивной системы требует системного подхода к созданию для рассматриваемых процессов физической, расчетной и математической моделей [7]. Остается актуальной задача разработки физической модели коррозионного повреждения железобетона с учетом режимов нагружения, изменчивости напряженного состояния, необходимость преобразования физических моделей на основе принятия мотивированных гипотез и предпосылок разработка расчетных моделей. Отсюда имеется необходимость в разработке методики и в проведении в экспериментальных исследованиях строительных конструкций и конструктивных систем для изучения закономерностей совместного силового и коррозионного воздействия, а также механизмов трансформирования конструктивных систем вследствие их структурных изменений (изменение граничных условий, изменение жесткости узлов и других).

Теория конструктивной безопасности зданий и сооружений должна с единых позиций описывать напряженно-деформированное состояние и оценивать резервы по первой и второй группам предельных состояний на всех этапах жизненного цикла здания и сооружения на принципах учета силовых, средовых и временных факторов, технологических воздействий, конструктивной трансформации и других факторов. Теория конструктивной безопасности является основой для разработки эффективных методов реновации, реконструкции зданий и сооружений, усиления строительных конструкций, для разработки теории живучести зданий и сооружений.

Выполненные на сегодняшний день исследования, в основном, направлены на оценку конструктивной безопасности эксплуатируемых зданий и сооружений и на усиление отдельных конструкций, если в этом возникает необходимость. Причем напряженно-деформированное состояние конструкции учитывается на конкретном этапе эксплуатации объекта. Необходимо отметить, что коррозионные повреждения элементов и узлов сопряжений в конструктивных системах носят длительно развивающийся характер, сопровождающийся перераспределением усилий и изменением статической схемы. При коррозионных повреждениях в конструктивных системах практически отсутствуют случаи внезапного выключения элементов системы [8]. В конструктивных системах параллельно с коррозионными повреждениями, как уже отме-

чалось, протекает процесс перераспределения внутренних усилий между элементами усилий, происходит адаптация система к изменившимся условиям эксплуатации с саморегулирование жесткостей и внутренних усилий в элементах системы. В современной строительной науке не изучены механизмы саморегулирования конструктивных систем под воздействием изменяющихся параметров эксплуатации, при возникновении коррозионных повреждений, а также при изменении граничных условий в процессе эксплуатации и реконструкции. В тоже время создание теории и на ее основе практических методов, позволяющих управлять конструктивной безопасностью конструктивных систем зданий и сооружений с учетом генезиса конструктивных систем, квазистационарность эксплуатации, реконструкцию и реновацию объектов, позволит обеспечить надежное и в тоже время оптимальное проектирование зданий и сооружений как на стадии проектирования объектов, так и на стадии проектирования реконструкции и реновации.

Дальнейшее развитие теории конструктивной безопасности зданий и сооружений следует рассматривать по следующим направлениям:

- исследование механизмов повреждения железобетона от силовых и коррозионных воздействий с учетом знака и уровня напряжений;
- выполнение экспериментально-теоретических исследований несущей способности, деформативности и трещиностойкости отдельных конструкций и конструктивных систем в условиях проявления коррозионных повреждений бетона и арматуры, повреждений узлов сопряжения конструкций, изменения системы при ее усилении;
- разработка положений теории управления конструктивной безопасностью зданий и сооружений, отражающую генезис конструктивных систем, квазистационарность эксплуатации, реконструкцию и реновацию объектов;
- определение критерия конструктивной безопасности систем с учетом композиционного и силового управления конструкциями и конструктивными системам зданий и сооружений;
- разработка модели адаптационной эволюции адекватной квазистационарности конструкций и конструктивных систем.

Реализация сформулированных направлений исследования и развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений позволит получить решения, открывающие возможность управления конструктивной безопасностью объектов, отражающую генезис конструктивных систем, квазистационарность эксплуатации, реконструкцию и реновацию объектов, на основании критерии конструктивной безопасности систем с учетом композиционного и силового управления конструкциями и конструктивными системам зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Концепции и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №2. С. 28-31.
2. Меркулов С.И. Конструктивная безопасность эксплуатируемых железобетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2009. №4. С. 53-54.
3. Бондаренко В.М., Меркулов С.И. Методологические основы теории конструктивной безопасности реконструированного железобетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2008. №3. С. 77-80.
4. Бондаренко В.М. Коррозионные повреждения как причина лавинного разрушения железобетонных конструкций// Строительная механика и расчет сооружений. 2009. №5. С. 13-17.
5. Подвальный А.М. Физико-химическая механика – основа научных представлений о коррозии бетона и железобетона// Бетон и железобетон. 2000. №5. С. 23-27.
6. Назаров Ю.П., Городецкий А.С., Симбиркин В.Н. К проблеме обеспечения живучести строительных конструкций при аварийных воздействиях// Строительная механика и расчет сооружений. 2009. №4. С. 5-9.
7. Бондаренко В.М., Федоров В.С. Модели в теориях деформации и разрушения строительных материалов // Academia. Архитектура и строительство. 2013. №2. С. 103-106.
8. Меркулов С.И. Повреждения железобетонных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений// Курск. гос. ун-т.- Курск, 2012. С.147-151.