

О РАСЧЕТАХ И ОПТИМИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НЕСУЩИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ЖИВУЧЕСТИ

Парфенов С.Г. (ФГБОУ ВО «БГИТУ», г. Брянск, Россия), Лиходиевская Е.А.,
Алексейцев А.В. (ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», г. Москва, Россия)

Рассмотрено современное состояние отдельных аспектов оценки живучести повреждаемых конструктивных систем в строительстве. Предложен упрощенный подход к оценке живучести железобетонных конструкций на основе ограничения возможных перемещений, что будет использовано в генетических алгоритмах оптимизации конструктивных решений. Ограничения перемещений основаны на требованиях отсутствия прогрессирующего разрушения и условиях безопасной эвакуации из здания людей и оборудования при аварийном воздействии.

Актуальность исследований по механической безопасности строительных конструкций связана с возрастающим числом техногенных катастроф и аварий на территории России и в других странах. Так как разрыв между уровнем защиты, который обеспечивается нормативными требованиями, и уровнем безопасности, все увеличивается, некоторые страны (такие как Англия, США и часть европейских стран) внесли дополнения в свои нормативные базы. Обеспечения механической безопасности обыкновенного строительства можно в значительной степени достигнуть при удовлетворении требований к живучести конструктивной системы. В России эта проблема регламентируется рамками закона ФЗ-384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», предусматривающего выполнение расчета при выключении одного из несущих элементов конструктивной системы в зависимости от уровня ответственности здания.

Понятие живучести сооружений включает в себя способность конструктивной системы перераспределять силовые потоки между остальными элементами в случае повреждения или ослабления одного из элементов [1]. Профессор Г.А. Гениев в начале 1990-х гг. положил начало формулированию и решению ряда задач теории живучести сооружений. Далее основа для развития исследований по живучести строительных конструкций при запроектных воздействиях была заложена в работах известных ученых В.М. Бондаренко, В.И. Колчунова [2], А.Г. Тамразяна, Н.В. Федоровой и других исследованиях. Например, в работе [3] приводится алгоритмизация процесса расчета живучести железобетонных конструктивных систем при внезапных исключениях из работы одного из несущих элементов, с учетом потери устойчивости других элементов, воспринимающих перераспределение силового потока. Для расчетов железобетонных конструкций с учетом их живучести в работе [4] предлагаются модели силового сопротивления железобетона. Первая расчетная модель силового сопротивления, позволяет определить основные параметры НДС с учетом физически нелинейной работы бетона и арматуры, дополнительного воздействия деформаций в нормальных трещинах, которое может быть вызвано нарушением сплош-

ности железобетона. Другие модели учитывают особенности НДС на участках с наклонными трещинами и сопротивление узловых соединений железобетонных конструкций, которые снижают жесткость узла.

В настоящее время для оптимизации несущих строительных конструкций все чаще используют генетические алгоритмы. Более распространены алгоритмы для оптимизации стальных конструкций, в то время как для железобетонной этой области исследований только начинает развиваться. Особенно важным при этом является учет живучести повреждаемых систем. На основе алгоритмов, связанных с оценкой НДС поврежденных конструкций, обладающих живучестью можно строить математический аппарат, позволяющий идентифицировать параметры запроектного воздействия, если они неизвестны [5].

В работе [6] предлагается для оценки живучести использовать параметр, характеризующий предельное состояние системы перед ее переходом в механизм. Однако для оптимального проектирования железобетонных систем с поисковыми алгоритмами, предусматривающими многократную оценку НДС вариантов конструкций, такой подход может оказаться проблематичным, так как вычислительная емкость процесса существенно возрастает даже при рассмотрении простых балочных систем. Нами предлагается для учета живучести железобетонных конструкций в процессе поиска решения использовать упрощенный критерий, связанный с введением ограничений на большие перемещения, что косвенно свидетельствует о геометрической неизменяемости этих систем. Данный подход предлагался применительно к оптимизации стальных стержневых конструкций в работах [7-11], однако для железобетонных конструкций формулировка приближенной оценки живучести формулируется в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} f \leq \left[f_{\max}^{dam} \right]; \quad \varepsilon_b(f) < \varepsilon_{b,ult}; \quad \varepsilon_s(f) < \varepsilon_{s,ult} \\ 0,2H \leq \left[f_{\max}^{dam} \right] \leq 0,5H \\ H \leq 2 \left[f_g \right] \end{array} \right. .$$

Здесь f – фактический прогиб поврежденной системы, для которой условия живучести обеспечено; $\varepsilon_b, \varepsilon_s, \varepsilon_{b,ult}, \varepsilon_{s,ult}$ – деформации бетона и арматуры при достижении прогиба f , а также предельно допустимые деформации бетона и арматуры, предшествующие состоянию разрушения соответственно; $\left[f_{\max}^{dam} \right]$ –

допускаемое значение f ; H – параметр геометрии, в частности, для здания это может быть высота этажа; $\left[f_g \right]$ – значение прогиба, достаточное для обеспечения условий безопасной эвакуации людей и оборудования.

Предложенная схема учета живучести железобетонных конструкций при оптимизации объектов с помощью генетических алгоритмов позволит существенно снизить трудоемкость вычислительного процесса.

Литература

1. Травуш В.И., Колчунов В.И., Ключева Н.В. Некоторые направления развития теории живучести конструктивных систем зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2015. №3. С.4-11.
2. Бондаренко В.М., Колчунов В.И., Андросов Н.Б. Некоторые предложения к развитию теории конструктивной безопасности и живучести статически неопределимых конструктивных систем // Строительная механика и расчет сооружений. 2012. №6. С.7-12.
3. Колчунов В.И., Моргунов М.В., Кожаринова Л.В., Прасолов Н.О. К вопросу алгоритмизации задачи расчета живучести железобетонных конструкций при потере устойчивости // Промышленное и гражданское строительство. 2012. №12. С.52-54
4. Колчунов В.И., Бондаренко В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: АСВ, 2004. 472 с.
5. Алексейцев А.В., Парфенов С.Г. Идентификационный анализ запроектных нагрузок на стальные рамы // В сборнике: Наука и инновации в строительстве (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства) : сборник докладов международной научно-практической конференции: в 2 т.. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2017. С. 12-18.
6. Колчунов, В.И. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях [Текст] / В.И. Колчунов, Н.В. Ключева, Н.Б. Андросова и др. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 208 с.
7. Серпик И.Н. Алексейцев А.В. Оптимизация металлических конструкций путем эволюционного моделирования. М.: АСВ, 2012. – 240 с.
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. Серпик И.Н., Алексейцев А.В. Оптимизация рамных конструкций с учетом возможности запроектных воздействий // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – №9 – С. 23-29.
10. Тамразян, А.Г., Алексейцев А.В. Оптимальное проектирование несущих конструкций зданий с учетом относительного риска аварий // Вестник МГСУ №7. 2019. С. 819-830.
11. Алексейцев А.В., Курченко Н.С. Поиск рациональных параметров стержневых металлоконструкций на основе адаптивной эволюционной модели // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. № 3. С. 7-14.