

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЖИВУЧЕСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ ПРИ АВАРИЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

CURRENT PROBLEMS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURAL SYSTEMS SUR- VIVABILITY AT EMERGENCY IMPACTS

В. И. КОЛЧУНОВ, д-р техн. наук, проф.

Н. В. ФЕДОРОВА, д-р техн. наук, проф.

Рассматриваются проблемы обеспечения живучести и защиты железобетонных конструктивных систем от прогрессирующего обрушения при аварийных воздействиях. Представлены подходы к решению задач живучести железобетонных конструкций и этапы расчета конструктивных систем из железобетона в предельных состояниях. Дан анализ экспериментальных исследований фрагментов железобетонных конструкций при внезапном выключении из работы (удалении) одного из несущих конструктивных элементов.

The article deals with a problem of reinforced concrete survivability and defense them against progressive collapse after emergency impacts. Techniques to solve the reinforced concrete structures survivability problem and stages of reinforced structures computation at states beyond the limit are presented. The analysis of experimental studies for reinforced concrete structural elements at instantaneous removal one of bearing structural elements is given.

Ключевые слова:

живучесть, железобетон, конструкции, аварийные воздействия, защита от прогрессирующего обрушения

Key words:

survivability, reinforced concrete, structures, emergency impacts, defense against progressive collapse

О проблеме живучести. Интерес к этой проблеме в мире возник уже не одно десятилетие назад, но в нашей стране особенно он обозначился в последние годы в связи с принятием федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», №384-ФЗ. К настоящему времени в стране и за рубежом уже выполнен ряд исследований по этой проблеме и накоплены некоторые экспериментальные результаты, позволяющие говорить о возможности нормирования отдельных параметров живучести сооружений и привлечения внимания проектировщиков к этой проблеме, тем более что решение отдельных задач этой проблемы по обеспечению защиты конструктивных систем зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения при аварийных повреждениях

и локальных разрушениях уже четко обозначено в нормативных документах последнего поколения [1,2].

О терминологии. В свое время в ГОСТ 27.002-89 [3], пожалуй, впервые в отечественных нормах, термин «живучесть», предложенный в свое время В.В. Болотиным, был включен в нормативный документ, и живучесть определялась как свойство объекта, состоящее в его способности противостоять развитию критических отказов из дефектов и повреждений при установленной системе технического обслуживания и ремонта, или свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность при воздействиях, не предусмотренных условиями эксплуатации, или свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность при наличии дефектов или повреждений определенного вида, а также при отказе некоторых компонентов. И хотя согласно указанному документу это определение обобщается на «любые технические объекты – изделия, сооружения...», специфика конструктивной безопасности и живучести строительного объекта такова, что термин «живучесть» применительно к строительным конструктивным системам зданий и сооружений требует отдельного рассмотрения. Такие предложения уже неоднократно высказывались в научных публикациях, например, [4-10]. По-видимому, в ближайшее время предстоит однозначно определиться с этим термином, с тем чтобы более активно привлекать к рассматриваемой проблеме специалистов отрасли.

О расчетных моделях. В настоящее время в отечественных и зарубежных исследованиях и нормативных документах имеется ряд предложений по расчету живучести сооружений, а точнее сказать, предложений к решению задач первого этапа проблемы живучести — защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения [4-6, 12-17].

Алгоритмы расчета, предлагаемые в этих работах, по существу сводятся к следующим основным этапам.

На первом этапе выполняется расчет по так называемой первичной расчетной схеме в эксплуатационной стадии, с учетом режимности нагружения конструкции, предшествующей локальному разрушению. При этом расчет сложной конструктивной системы из нелинейно деформируемых материалов типа железобетона может вестись в несколько уровней: всей прототипической конструктивной системы (рис.1, а); характерного фрагмента, в котором расположен выполняемый элемент (рис.1, б) и расчет отдельного элемента по нормальному или наклонному сечению (рис.1, в).

Полученное расчетом на первом этапе напряженно-деформированное состояние является исходным для второго этапа, на котором выполняется расчет ($n-m$) раз статически неопределимой конструктивной системы с выключенным из работы элементом, например, угловой или промежуточной колонны, см.рис.1, б. (Здесь m — степень уменьшения статической неопределимости системы после выключения конструктивного элемента). Нагрузкой на этом этапе является эксплуатационная нагрузка, приложенная к несущим элементам конструктивной системы, и приложенные с обратным знаком усилия в выключаемом элементе, полученные на первом этапе расчета.

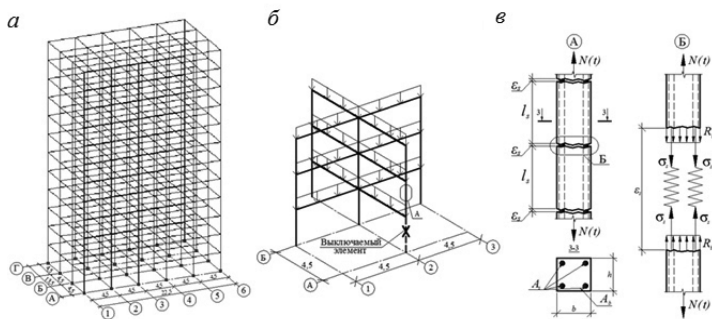


Рис. 1. Расчетные схемы первого (а), второго (б) и третьего (в) уровней при расчете железобетонного каркаса 12-этажного здания

Уместно заметить, что в некоторых работах, например, в [18,19], в качестве нагрузки на этом этапе рассматриваются усилия в удаленных элементах, увеличенные на коэффициент, учитывающий динамику процесса. При таком подходе непонятно, как определяются количественные значения этого коэффициента, а главное, теряется физический смысл рассматриваемой задачи, в основе которой лежит известная задача С.П.Тимошенко о падении груза на балку с нулевой высоты.

На третьем этапе расчета, по полученному по вторичной расчетной схеме напряженно-деформированному состоянию ($n-m$) раз статически неопределимой конструктивной системы, определяются динамические догружения и динамические усилия в наиболее напряженных сечениях несущих элементах системы. Здесь под термином «динамическое догружение» понимается параметр, равный отношению усилия в рассматриваемом сечении, полученного из расчета по вторичной расчетной схеме, к усилию в том же сечении, полученному из расчета по первичной расчетной схеме. Затем выполняется критериальная проверка несущей способности элементов конструктивной системы для рассматриваемого особого предельного состояния по нормальным сечениям, с учетом дополнительных динамических догружений в арматуре, вызванных трещинообразованием в бетоне (см.рис. 1, в). Аналогично проверяются расчетные наклонные сечения и узлы соединения конструктивных элементов. При этом в качестве условий прочности при оценке устойчивости к прогрессирующему обрушению могут быть использованы прочностные критерии по сжатому бетону (рис. 2, а), растянутой арматуре (рис. 2, б), а при больших прогибах — как для висячей системы (рис. 2, в). Для некоторых типов конструктивных систем целесообразно использовать деформационные критерии, определяющие их геометрическую неизменяемость в запредельных состояниях.

Экспериментальные исследования. Особая роль в решении задач живучести и защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения отводится экспериментальным исследованиям деформирования и разрушения железобетонных конструкций при структурных перестройках, вызванных внезапным выключением одного из конструктивных элементов. Как в России, так и за рубежом такие исследования немногочисленны и выполнены, в основном, для простейших балочных и рамных конструктивных систем [4,7,11-13,20]. Тем не менее, этими исследованиями установлен ряд важных особенностей и закономерностей деформирования трещинообразования и разрушения фрагментов конструктивных систем в запредельных состояниях. В частности, в этих исследованиях экспериментально установлено, что внезапное выключение одного из несущих элементов из кон-

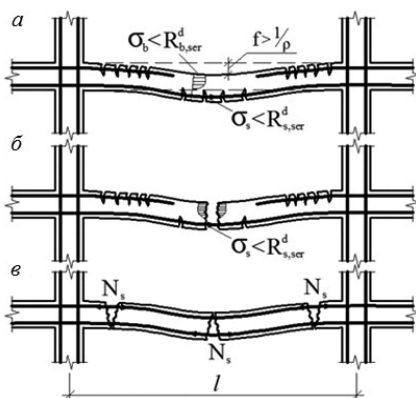


Рис. 2. К критериальной проверке железобетонных элементов конструктивной системы при «пластическом» (а) и «хрупком» (б) разрушении и для случая расчета как висячей нити (в)

структивной системы вызывает не только перераспределение силовых потоков, но и динамические догружения её элементов. Образование трещин в железобетонных конструкциях существенно усиливает эффект динамических догружений. В зависимости от топологии конструктивной системы, места расположения выключаемого элемента и других факторов разрушение конструкции может носить локальный или прогрессирующий характер.

Заключение. Решение проблемы живучести и защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения и переход к нормированию параметров живучести во многом будет зависеть от постановки и решения целого ряда новых задач. В их числе можно отметить задачу обоснования местоположения выключаемых элементов, задачу обоснования размеров допустимых зон локальных разрушений для различных.

типов конструктивных систем зданий и сооружений, задачу по изучению режимного стататико-динамического деформирования железобетона при динамическом догружении конструкций с учетом накопления коррозионных и других средовых повреждений и связанную с ней задачу выключения элементов не только от истощения несущей способности, но и от потери устойчивости. Большой круг вопросов рассматриваемой проблемы определяется разработкой конструктивных мероприятий по повышению живучести конструктивных систем зданий и сооружений и их защите от прогрессирующего обрушения, а также исследований по назначению и обоснованию нормируемых параметров живучести для регламентирующих документов нового поколения.

Библиографический список

1. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия.
2. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований.
3. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
4. *Гениев Г.А.* Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях. / Г.А. Гениев, В.И. Колчунов, Н.В. Ключева, А.И. Никулин, К.П. Пятикрестовский. – М.: АСВ, 2004.
5. *Шатино Г.И.* Проблема защиты жилых зданий от прогрессирующего обрушения. // Бетон и железобетон: матер. II Всерос. конф. Том 2. – М.: НИИЖБ.— 2005. – С. 258-261.
6. *Кодыш Э.Н.* Защита многоэтажных зданий от прогрессирующего обрушения / Э.Н. Кодыш, Н.Н. Трекин, Д.А. Чесноков // Промышленное и гражданское строительство. — 2016. – № 6. – С. 8-13.
7. *Колчунов В.И.* Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях / В.И.Колчунов, Н.В.Ключева, Н.Б.Андросова, А.С. Бухтиярова. – М.: АСВ, 2014.
8. *Травуш В.И.* Расчет параметра живучести рамно-стержневых конструктивных систем./ В.И.Травуш, Н.В.Федорова.// Научный журнал строительства и архитектуры. —2017. — №1 (45). —С. 21-29.
9. *Тамразян А. Г.* Ресурс живучести – основной критерий решений высотных зданий. // Жилищное строительство. — 2010. – № 1. – С. 15.
10. *Бондаренко В.М.* Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов // Промышленное и гражданское строительство. — 2013. – №2. – С. 28-31.
11. *Bao Y.* Macromodel-based simulation of progressive collapse: reinforced concrete frame structures / Yihai Bao, Sashi K Kunnath, Sherif El-Tawil, Hai S Lew // Journal of Structural Engineering. — 2008. – Vol. 134. — № 7. – P. 1079-1091.
12. *Lew H. S.* An Experimental and Computational Study of Reinforced Concrete Assemblies under a Column Removal Scenario / H.S. Lew, Bao Yihai, Sadek Fahim, Joseph A. Main, Santiago Pujol, Mete A. Sozen. // Boulder: Natl. Inst. Stand. Technol. Tech. Note 1720, 2011.
13. *Mosalam K. M.* Modeling Progressive Collapse in Reinforced Concrete Framed Structures. / Khalid M. Mosalam, Mohamed Talaat, Sangjoon Park // The 14 World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 2008.
14. *Травуш В.И.* Некоторые направления развития теории живучести конструктивных систем зда-

ний и сооружений. / В.И.Травуш, В.И.Колчунов, Н.В.Клюева.// Промышленное и гражданское строительство. —2015. — №3. — С.4-9.

15. UFS4-023-3 Designofbuildingstorestistprogressivecollapse [Комплексные требования по строительству зданий и сооружений, устойчивых к прогрессирующему обрушению]. USA.

16. EN 1991-1-7-2009 Еврокод 1. Воздействие на конструкции. Ч. 1-7. Особые воздействия. — Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2010.

17. ДСТУ-НБ В.1.2-16:2013 Определение класса последствий (ответственности) и категории сложности объектов строительства.— Киев: Минрегион Украины, 2013.

18. Алмазов В.О. Динамика прогрессирующего разрушения монолитных многоэтажных каркасов. / В.О. Алмазов, Као Зуй Кхой. — М.: АСВ, 2013.

19. Назаров Ю.П. К проблеме обеспечения живучести строительных конструкций при аварийных воздействиях. / Ю.П. Назаров, А.С. Городецкий, В.Н. Симбиркин. // Строительная механика и расчет сооружений, 2009. — № 4. — С. 5-9.

20. Алькади С.А. Экспериментальные исследования живучести фрагмента каркаса здания с железобетонными составными элементами, работающими на изгиб с кручением / С.А. Алькади, А.И. Демьянов, Е.В. Осовских //Строительная механика и расчет инженерных конструкций. —2017. — №5.—С.72-80.

Авторы:

Виталий Иванович КОЛЧУНОВ, академик РААСН, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой уникальных зданий и сооружений Юго-Западного государственного университета, Курск

Vitaliy KOLCHUNOV, academician of RAACS, Doctor of Science in Tech., Full Prof., Head of the unique buildings and structures department of the South-West State University, Kursk

e-mail: asiorel@mail.ru

тел.: +7 (910) 315-48-50

Наталья Витальевна ФЕДОРОВА, советник РААСН, д-р техн. наук, проф. кафедры железобетонных и каменных конструкций, Московского государственного строительного университета, Москва

Nataliya FEDOROVA, advisor of RAACS, Doctor of Science in Tech., Full Prof., Prof. of the reinforced concrete and masonry structures department of the Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

e-mail: fenavit@mail.ru

тел.: +7 (960) 697-12-30