

УДК 624.046

ЖИВУЧЕСТЬ МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ СО СВЯЗЕВЫМ КАРКАСОМ

Ю.В. Краснощёков, С.О. Мельникова, А.А. Екимов
ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье приведены результаты исследования живучести здания со связевым каркасом как свойства конструктивной системы, снижающего опасность прогрессирующего (лавинообразного) разрушения при аварийных воздействиях. Рассмотрена модель живучести для реализации в рамках метода расчета по предельным состояниям. Сделан вывод о возможности применения связевых каркасов для зданий класса КС-2 в аварийной ситуации, связанной с отказом отдельных колонн, при условии усиления перекрытий. Приведен пример расчета здания на живучесть с усилением перекрытий канатными затяжками.

Ключевые слова: надежность, живучесть, аварийная ситуация, особые воздействия, связевой каркас, гибкая нить.

Введение

В последнее время проблема живучести широко обсуждается на конференциях и в печати с целью разработки правил проектирования зданий и сооружений при возникновении аварийных ситуаций [1]. Тем не менее, до сих пор термин «живучесть» применительно к строительным объектам не стандартизован. По определению проф. В.Д. Райзера, живучесть – это свойство конструкций сохранять при аварийных воздействиях способность к выполнению основных функций, не допуская лавинообразного (каскадного) развития возмущений и отказов. Сюда можно лишь добавить, что это системное свойство [2]. Исходя из этого определения, для обеспечения живучести здания или сооружения необходимо исключить прогрессирующее разрушение.

Причинами прогрессирующего (лавинообразного) разрушения объектов строительства являются локальные разрушения конструктивных элементов при воздействии аварийных и чрезвычайных ситуаций, к которым относятся взрывные, ударные и сейсмические динамические воздействия, а также нагрузки, являющиеся последствиями пожара, карстовых провалов, несанкционированных перепланировок и т.п.

Расчет на прогрессирующее разрушение производится для зданий и сооружений класса КС-3 и КС-2 с массовым нахождением людей. Рекомендуемый перечень зданий и сооружений с массовым нахождением людей приведен в приложении Б стандарта [3]. К ним отнесены, в частности, здания (жилые, офисные, административные, общественные

и др.) высотой 5 этажей и более. Для таких зданий часто применяют типовые конструктивные системы связевого каркаса из сборных железобетонных элементов [4].

Возможность использования конструктивных систем связевого каркаса для зданий и сооружений класса КС-2 с массовым нахождением людей требует специального исследования на живучесть. В данной статье решается задача обеспечения живучести таких зданий при отказе колонн.

Расчетные модели живучести

Здание или сооружение следует проектировать таким образом, чтобы в случае разрушения любого отдельного элемента весь объект или его наиболее ответственная часть сохраняла работоспособность в течение периода времени, достаточного для принятия срочных мер (например, эвакуации людей при пожаре). Безотказность этих элементов должна обеспечивать строительный объект от полного разрушения при аварийных воздействиях, даже если его дальнейшее использование по назначению окажется невозможным без капитального ремонта [5].

Различают две модели живучести: детерминированную и вероятностную.

Детерминированная (полувероятностная) модель, реализованная в методе предельных состояний, предполагает анализ напряженно-деформированного состояния конструктивной системы с оценкой прочности и устойчивости при разрушении одного или нескольких несущих элементов (моделирование возможной ситуации разрушения) [6,7]. В работе [6] приведены результаты моделирования пространственного покрытия спортивного сооружения. Анализ напряженно-

деформированного состояния покрытия с удаленными элементами выполняли при действии нормативных значений постоянных и длительных составляющих временных нагрузок с учетом динамического эффекта. Подобную модель предлагал для третьей группы предельных состояний (по живучести) В.Д. Райзер [8].

Критериями вероятностных моделей являются показатели надежности (безотказности). Таким показателем может быть, например, индекс надежности метода двух моментов, который определяется по формуле

$$\beta = (\bar{R} - \bar{F}) / \sqrt{s_R^2 + s_F^2}, \quad (1)$$

где $\bar{R}$ и $\bar{F}$ - математические ожидания несущей способности и нагрузки; s_R^2 и s_F^2 - дисперсии несущей способности и нагрузки.

В.Д. Райзер предлагает для оценки живучести использовать индекс живучести в виде

$$I = \frac{\beta_{INT}}{\beta_{INT} - \beta_D}, \quad (2)$$

где β_{INT} , β_D - индексы надежности неповрежденной и поврежденной конструкции.

Применение вероятностных моделей требует нормирования индексов надежности и живучести (установления предельных значений для различных ситуаций). Приведенные значения индексов, на наш взгляд, удачно характеризуют отличие понятий надежности и живучести.

В общем случае расчет на живучесть сводится к расчету устойчивости здания и сооружения против прогрессирующего разрушения с учетом пластических деформаций при предельных нагрузках. В работе [9] предлагается выполнять расчет на живучесть в 2 этапа. На первом этапе производится расчет в эксплуатационной стадии, предшествующей локальному разрушению. Расчет с выключенными элементами выполняется на втором этапе с учетом физической и геометрической нелинейности на действие нагрузки от усилия, определенного на первом этапе с увеличением на коэффициент, учитывающий динамический эффект локального разрушения. По мнению авторов, такой расчет является компьютерным моделированием процесса приспособления конструкции к новой расчетной ситуации.

При исследовании живучести каркасных зданий с рамной схемой обеспечения пространственной жесткости обычно рассматривается случай отказа одной из колонн нижнего этажа. В результате больших перемещений конструкция может адаптироваться к новой ситуации с возможным изменением расчетной схемы. При этом расчетная схема перекрытия над удаленной колонной в связи с большими перемещениями рассматривается в виде мембраны.

В работе [10] показано, что в каркасных зданиях с безбалочными железобетонными перекрытиями при превышении определенных размеров сетки колонн определяющим является расчет против прогрессирующего разрушения с учетом пластических деформаций при предельных нагрузках. При этом принимаются во внимание только особые сочетания нагрузок, включающие постоянные и длительные временные нагрузки с коэффициентами сочетания, и надежности равными единице, а также наиболее опасные схемы локального разрушения. Величины перемещений (прогибов) и ширина раскрытия трещин в конструкциях не регламентируются, а устойчивость должна быть обеспечена при минимальной жесткости конструктивных элементов и узловых соединений, соответствующих максимально допустимым деформациям бетона и арматуры. Критерии несущей способности в этом случае те же, что и в обычных расчетах по предельным состояниям.

В настоящее время расчетом по методу предельных состояний обеспечивают надежность зданий и сооружений. В последней редакции стандарта [3] кроме первой и второй групп предельных состояний предусмотрены предельные состояния, возникающие при особых воздействиях и ситуациях, превышение которых приводит к разрушению сооружений с катастрофическими последствиями.

Особые воздействия подразделяют на нормируемые (например, сейсмические) и аварийные, возникающие, например, при отказе работы несущего элемента конструктивной системы. Особые воздействия включаются в особые сочетания нагрузок, в которых допускается не учитывать кратковременные нагрузки.

Считается, что особые нагрузки и воздействия создают аварийные ситуации. Поэтому при расчете на особые воздействия должна быть рассмотрена аварийная

расчетная ситуация, соответствующая исключительным условиям работы сооружения, которые могут привести к существенным социальным, экологическим и экономическим потерям.

Расчетные значения особых нагрузок устанавливают в нормативных документах и заданиях на проектирование с учетом возможных потерь в случае разрушения сооружений.

Рассмотрен пример использования детерминированной модели для исследования живучести здания со связевым каркасом.

Принята двухпролетная пятиэтажная пространственная рама связевого каркаса с ригелями перекрытий в одном направлении и связевыми плитами в другом (рис. 1). Узлы соединения ригелей и плит с колоннами в связевых каркасах приняты шарнирными. Сетка колонн 6×6 м, высота этажей 3 м. Сечения ригелей приняты $6 \times 0,15$ м (для учета собственного веса конструкций перекрытия) и колонн $0,4 \times 0,4$ м. Кроме собственного веса на ригели приложена равномерно распределенная вертикальная нагрузка. Полное расчетное значение этой нагрузки составляет 40 кН/м, нормативное длительное значение 25 кН/м, что примерно соответствует уровню нагружения перекрытий жилых и административных зданий.

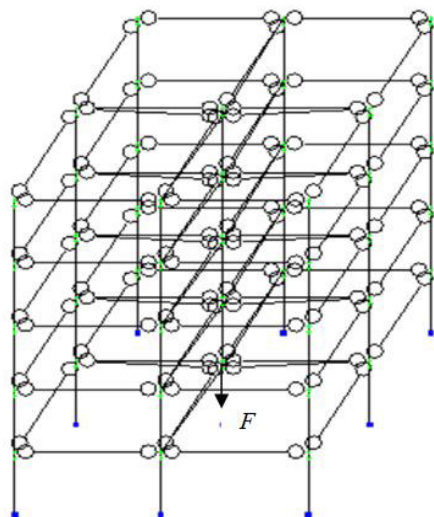


Рис. 1. Расчетная схема связевого каркаса при отказе нижней средней колонны

Расчет выполнялся с учетом аварийного выхода из строя средней нижней колонны. Динамический эффект, вызванный внезапным удалением из расчетной схемы колонны, не учитывался.

При удалении колонны связевого каркаса система становится геометрически изменяемой, поэтому сделан вывод, что отказ колонн без изменения конструктивных решений, прежде всего конструкции соединения ригелей с колоннами, не допустим. Чтобы ригели с двукратным увеличением пролета были работоспособными, необходимо переходить от шарнирных узлов к жестким, а это значит связевая схема каркаса невозможна.

Возможно усиление каркаса без изменения элементов перекрытий с использованием идеи подвески колонн на жесткие или гибкие ростверки. В качестве жестких ростверков могут быть пространственные фермы, располагаемые через определенное число ярусов (этажей). Элементами гибких ростверков являются канаты (ванты), пронизывающие все колонны. Преимущество гибких ростверков заключается не только в меньшем расходе высокопрочных материалов, но и в значительном ослаблении динамического эффекта в результате отказа колонн.

При усилении каркаса затяжками из арматурных стержней (канатов), их располагают по осям здания в уровне перекрытий и закрепляют в крайних колоннах. При отказе одной из колонн расположенные выше её остальные колонны оказываются как бы подвешенными на затяжках. Одновременно с отказом колонны затяжки усиления включаются в работу по схеме гибкой нити (струны) длиной $2l$, нагруженной сосредоточенной силой F в середине пролета, равной сжимающему усилию в удаляемой колонне (рис. 2).

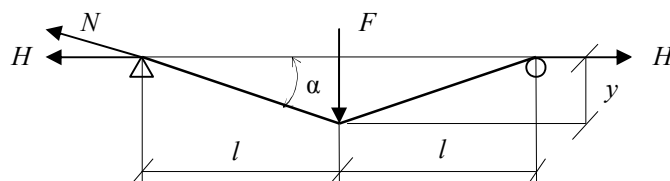


Рис. 2. Расчетная схема гибкой нити

Горизонтальное распорное усилие H , действующее на колонны в узлах закрепления арматуры усиления (затяжки) с осевой жесткостью EA , определяется по известной формуле

$$H = \sqrt[3]{\frac{F^2 EA}{8}}. \quad (3)$$

Принимая в первом приближении равенство усилия распора и несущей способности затяжки $N = R_{sn}A$, получим из (3) требуемую площадь сечения затяжки

$$A_{тр} \approx \frac{F}{R_{sn}} \sqrt{\frac{E}{8R_{sn}}}, \quad (4)$$

где R_{sn} – нормативное сопротивление стали затяжки.

Прогиб нити в точке приложения силы

$$y = \frac{Fl}{2H}. \quad (5)$$

Требуемая площадь сечения затяжки уточняется при $N = (H^2 + F^2/4)^{1/2}$.

В результате расчета рамы на аварийную нагрузку получено усилие в нижней средней колонне 2220 кН. При выключении этой колонны и усилении перекрытий на каждом этаже на затяжки одного этажа действует сосредоточенная сила $F = 2220/5 = 444$ кН. Модуль упругости стальных канатов $E = 180000$ МПа, нормативное сопротивление $R_{sn} = 1300$ МПа. В первом приближении $A_{mp} = 14,21$ см². По формуле (3) усилие распора $H = 1847$ кН и $N = 1900$ кН. Уточненное значение $A_{mp} = 14,61$ см². Принимаются 2Ø42 К7 при $A = 16,3$ см² (в каждом направлении по одному канату). Прогиб затяжки $y = 0,72$ м.

При моделировании рамы в ПК Лира 9.6 с применением конечных элементов КЭ 10 и КЭ 310 получены следующие результаты: прогиб затяжки $y = 0,55$ м; усилие в затяжках $N = 1619$ кН; усилие в нижней крайней колонне 1498 кН (2Ø36). При отказе колонн с включением в работу затяжек в ригелях возникают дополнительные сжимающие усилия, соизмеримые по абсолютной величине с растягивающими усилиями в затяжках (1600 кН).

Заключение

Применение конструкций связевого каркаса возможно в аварийных ситуациях с отказами колонн при условии усиления перекрытий затяжками, размещенными по осям колонн здания. Затяжки пронизывают все колонны вдоль осей через специально устроенные отверстия и работают по схеме гибкой нити. Конструктивные элементы железобетонных перекрытий (ригели, плиты) при этом принимаются без изменений.

Библиографический список

1. Райзер, В.Д. К проблеме живучести зданий и сооружений / В.Д. Райзер // Строительная механика и расчет сооружений. – 2012. – №5. – С. 77-78.

2. Краснощеков, Ю.В. Научные основы исследований взаимодействия элементов железобетонных конструкций / Ю.В. Краснощеков. – Омск: СибАДИ, 1997. – 276 с.

3. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2015. – 14 с.

4. Серия 1.020-1/87. Конструкции каркаса межвидового применения для многоэтажных зданий.

5. Перельмутер, А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А.В. Перельмутер. – М.: Издательство АСВ, 2007. – 256 с.

6. Кудишин, Ю.И. К вопросу о живучести строительных конструкций / Ю.И. Кудишин, Д.Ю. Дробот // Строительная механика и расчет сооружений. – 2008. – №2. – С. 36-43.

7. Свентиков, А.А. Оценка прогрессирующего разрушения пространственных висячих стержневых покрытий / А.А. Свентиков // Строительная механика и расчет сооружений. – 2010. – №5. – С. 34-38.

8. Райзер, В.Д. Теория надежности сооружений / В.Д. Райзер. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 384 с.

9. 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.

10. Тихонов, И.Н. Расчет и конструирование железобетонных монолитных перекрытий зданий с учетом защиты от прогрессирующего обрушения / И.Н. Тихонов, М.М. Козелков // Бетон и железобетон. – 2009. – №3. – С. 2-8.

VITALITY HIGH-RISE BUILDING WITH SVJASEVA FRAMES

Yu.V. Krasnoschekov, S.O. Melnikova, A.A. Ekimov

Abstract. The article presents the results of a study of survivability of the building with a link-tion frame as the properties of the structural system, reduces the risk of progression-ating (avalanche) failure during emergency actions. The model of vitality for the implementation within the method of calculation of the ultimate limit state. The conclusion about the possibility of the use of bond frames for class CS-2 buildings in emergency si-tuations related to the failure of individual columns, provided strengthening overlaps. The example of calculation of the building on the vitality with increased overlap cable puffs.

Keywords: reliability, survivability, emergency, special effects, Svjaseva framework, strengthening floors.

References

1. Rajzer V.D. K probleme zhivuchesti zdaniy i sooruzhenij [On the problem of survivability of buildings and structures]. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*, 2012, no 5. – pp. 77-78.

2. Krasnoshchekov Ju.V. Nauchnye osnovy issledovaniy vzaimodejstviya jelementov zhelezobetonnyh konstrukcij [Scientific bases of

researches of interaction of elements of reinforced concrete designs]. Omsk: SibADI, 1997. 276 p.

3. GOST 27751-2014. Nadezhnost' stroitel'nykh konstrukcij i osnovanij. Osnovnye polozenija [State standart 27751-2014. Reliability of constructions and foundations. The main provisions]. Moscow, Standartinform, 2015. 14 p.

4. Serija 1.020-1/87. Konstrukcii karkasa mezhvidovogo primenenija dlja mnogoetazhnykh zdanij [Series 1.020-1 / 87. Construction of interspecific application framework for multi-storey buildings].

5. Perel'muter A.V. Izbrannye problemy nadezhnosti i bezopasnosti stroitel'nykh konstrukcij [Selected problems of reliability and safety of building structures]. Moscow, Izdatel'stvo ASV, 2007. 256 p.

6. Kudishin Ju.I., Drobot D.Ju. K voprosu o zhivuchesti stroitel'nykh konstrukcij [On the issue of survivability of building structures]. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*, 2008, no 2. pp. 36-43.

7. Sventikov A.A. Ocenka progressirujushhego razrushenija prostranstvennykh visjachih sterzhnevnykh pokrytij [Evaluation of progressive failure of spatial hanging rod in coatings]. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*, 2010, no 5. pp. 34-38.

8. Rajzer V.D. Teorija nadezhnosti sooruzhenij [Reliability theory structures]. Moscow, Izdatel'stvo ASV, 2010. 384 p.

9. Nazarov Ju.P. K probleme obespechenija zhivuchesti stroitel'nykh konstrukcij pri avarijnykh vozdeystvijah [Simbirkin V.N. On the problem of ensuring the survivability of constructions for emergency actions]. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*, 2009, no 4. pp. 5-9.

10. Tihonov I.N., Kozelkov M.M. Raschet i konstruirovanie zhelezobetonnykh monolitnykh perekrytij zdanij s uchetom zashhity ot progressirujushhego

obrushenija [Calculation and design of reinforced concrete monolithic slabs of buildings, taking into account the protection of the progressive collapse]. *Beton i zhelezobeton*, 2009, no 3. pp. 2-8.

Краснощекоев Юрий Васильевич (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции», ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: uv1942@mail.ru).

Мельникова Светлана Олеговна (Россия, г. Омск) – магистрант, ФГБОУ ВПО «СибАДИ». (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: svetamelnikova93@yandex.ru).

Екимов Александр Александрович (Россия, г. Омск) – магистрант, ФГБОУ ВПО «СибАДИ». (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: ekimovalex90@gmail.com).

Krasnoshchekov Yury Vasilyevich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, the associate professor, professor of Building constructions department of The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: uv1942@mail.ru).

Melnikova Svetlana Olegovna (Russian Federation, Omsk) – undergraduate, of The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: svetamelnikova93@yandex.ru).

Ekimov Alexander Aleksandrovich (Russian Federation, Omsk) – undergraduate, of The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: ekimovalex90@gmail.com).

УДК 624.072.21.012.4.046

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОТЕРИ МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ В ОПОРНОЙ ЗОНЕ СБОРНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРОФИЛИРОВАННЫХ НЕСУЩИХ ОБОЛОЧЕК

Л.В. Красотина

ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. Обоснована инженерная методика расчета критических напряжений потери местной устойчивости в опорной зоне незамкнутых сборных профилированных несущих цилиндрических геометрически ортотропных оболочек на основе математического моделирования контактной краевой задачи конструкционного типа. Выявлены принципиальные отличия существующих расчетных методик от предложенной в работе. Сделаны выводы о возможности использования разработанной методики для любых типов рассматриваемого типа оболочек. Приводятся результаты комплекса экспериментальных работ по натурному моделированию процесса потери местной устойчивости элементами профилей.

Ключевые слова: метод конечных элементов, сборная профилированная несущая цилиндрическая оболочка, гофрированный отсек; критические напряжения потери местной устойчивости; плоские и криволинейные участки профиля.