

С.Г. ЕМЕЛЬЯНОВ, советник РААСН, д-р техн. наук (esg@mail.ru),
 Н.В. ФЕДОРОВА, советник РААСН, д-р техн. наук, (klynavit@yandex.ru),
 В.И. КОЛЧУНОВ, академик РААСН, д-р техн. наук (asiorel@mail.ru)

Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ) (305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94)

Особенности проектирования узлов конструкций жилых и общественных зданий из панельно-рамных элементов для защиты от прогрессирующего обрушения

Приведена методология расчетного анализа живучести конструктивных систем зданий из железобетонных панельно-рамных элементов промышленного изготовления. Показано, что при расчете и проектировании несущих элементов и узлов каркаса здания по вторичной расчетной схеме после выключения одного из несущих элементов должен учитываться коэффициент динамических догрузений. Приведены примеры конструктивных решений узлов и стыков панельно-рамных элементов и плит перекрытия для снижения вероятности прогрессирующего разрушения здания при аварийных воздействиях.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, защита, живучесть конструктивных систем зданий, железобетонные панельно-рамные элементы, железобетонные элементы промышленного изготовления, каркас здания, расчет конструкций по предельным состояниям.

Для цитирования: Емельянов С.Г., Федорова Н.В., Колчунов В.И. Особенности проектирования узлов конструкций жилых и общественных зданий из панельно-рамных элементов для защиты от прогрессирующего обрушения // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 23–26.

S.G. EMELIANOV, Councillor of RAASN, Doctor of Sciences (Engineering) (esg@mail.ru), N.V. FEDOROVA, Councillor of RAASN, Doctor of Sciences (Engineering) (klynavit@yandex.ru), V.I. KOLCHUNOV, Academician of RAASN, Doctor of Sciences (Engineering) (asiorel@mail.ru)
 Southwest State University (94, 50-let Oktyabrya Street, 305040, Kursk, Russian Federation)

Design Peculiarities of Nodes of Residential and Public Buildings' Structures Made of Panel-Frame Elements for Protection against Progressive Collapse

The methodology of computational analysis of endurance of structural systems of buildings constructed of industrially manufactured reinforced concrete panel-frame elements is presented. It is shown that, when calculating and designing bearing elements and nodes of the building frame according to the secondary calculation scheme after breakdown one of the bearing elements, the coefficient of dynamic additional loading should be taken into account. Examples of structural solutions of nodes and joints of panel-frame elements and floor slabs for reducing the probability of progressive collapse of the building under emergency impacts are presented.

Keywords: progressive collapse, protection, durability of structural systems of buildings, reinforced concrete panel-frame elements, industrially manufactured reinforced concrete elements, building frame, calculation of structures according to limit states.

For citation: Emelianov S.G., Fedorova N.V., Kolchunov V.I. Design peculiarities of nodes of residential and public buildings' structures made of panel-frame elements for protection against progressive collapse. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 23–26. (In Russian).

В последние годы во многих странах существенно изменились требования к проектированию несущих конструкций зданий и сооружений. В России с принятием Федерального закона ФЗ 384 «Безопасность зданий и сооружений». Технический регламент» и актуализированной редакции ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» наряду с традиционным расчетом конструкций по предельным состояниям требуется расчет конструктивной системы на аварийное воздействие, вызванное внезапным выключением одного из несущих элементов [1–4] и др. Методология такого расчета до настоящего времени по ряду причин носит дискуссионный характер, но, несмотря на это, в некоторых странах активно создаются методы и нормативная база для проектирования конструкций зданий, предусматривающие их защиту от прогрессирующего обрушения, и в первую очередь для зданий и сооружений повышенного уровня ответственности [5–7].

В основу этих методов положена идея допустимости локального разрушения части здания, но при этом ограничиваются размеры зоны разрушения. Далее производится расчет здания по так называемой первичной расчетной схеме, затем назначаются возможные выключаемые элементы, и на этой основе строится так называемая вторичная расчетная схема. Производится расчет здания по вторичной расчетной схеме и определяются усилия в измененной конструктивной системе. Результатом рас-

чета по вторичной расчетной схеме является определение новых измененных (по отношению к проектным) силовых потоков в конструктивной системе здания после ее структурной перестройки, вызванной удалением из первичной расчетной схемы несущего вертикального или горизонтального элемента. Обеспечение прочности оставшихся неразрушенных конструкций конструктивной системы здания в запредельном состоянии, на уровне их геометрической неизменяемости достигается расчетом и соответствующим конструированием этих конструкций и узлов их соединения. При этом важнейшей задачей расчетного анализа является задача определения динамических догрузений в элементах конструктивной системы. При внезапной структурной перестройке конструктивной системы и соответственно расчетной схемы из первичного статического состояния во вторичное динамическое состояние все конструктивные элементы и узлы их соединения получают динамические догрузки [8, 9].

Коэффициент динамических догрузений θ в сечении элемента конструктивной системы после ее внезапной структурной перестройки определяется как отношение обобщенного усилия, действующего в этом сечении во вторичной расчетной схеме (после выключения из системы одного из элементов) к усилию в этом же сечении в исходной (первичной), расчетной схеме (рис. 1). Количественные значения этих догрузений зависят от материала конструкций, характера деформиро-

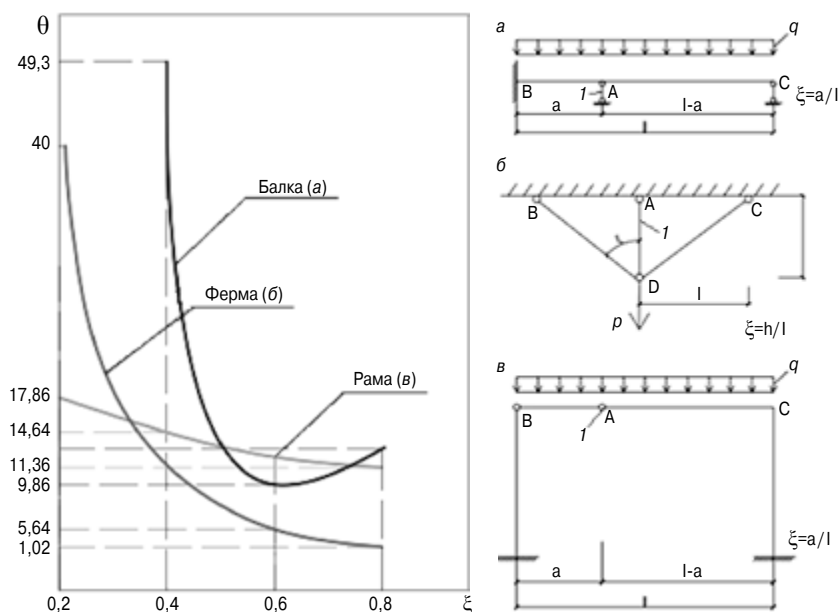


Рис. 1. График зависимости « θ – ξ » в сечении А для стержневых систем: а – балка; б – ферма; в – рама; 1 – выключаемый элемент; q и P – соответственно распределенная и сосредоточенная нагрузки

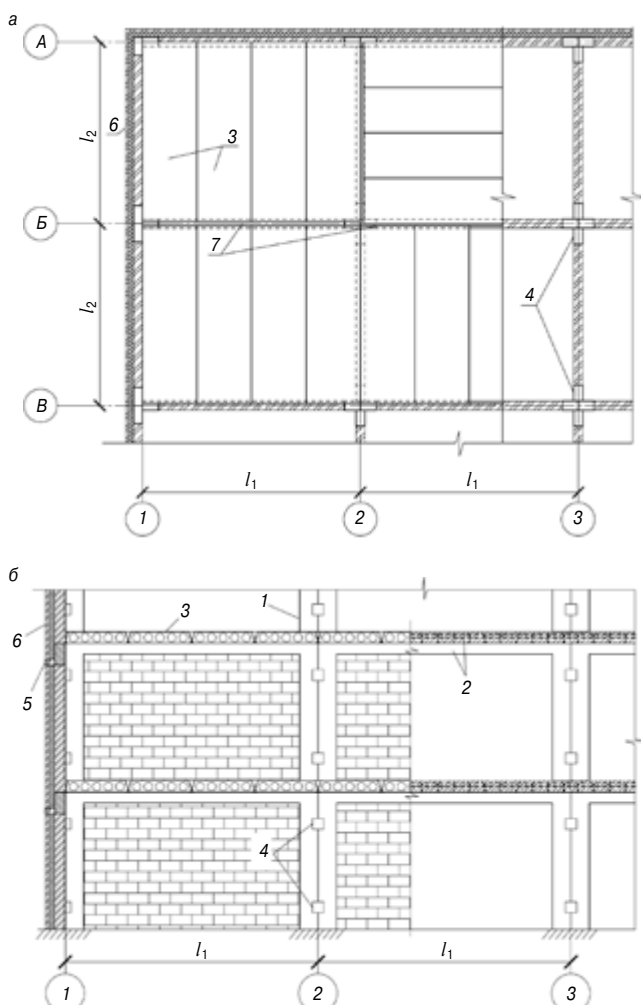


Рис. 2. Схема горизонтальных (а) и вертикальных (б) связей в многоэтажном каркасно-панельном здании: 1 – стойка панели рамы; 2 – сборно-монолитный ригель; 3 – панель перекрытия; 4 – вертикальные связи; 5 – обвязочный ригель; 6 – наружная стена; 7 – горизонтальные связи в плоскости перекрытия

вания сечений конструкций, топологических особенностей конструктивной системы, местоположения выключаемого элемента и рассматриваемого расчетного сечения в оставшихся неразрушенными элементах конструкции.

Анализируя полученные графики изменения коэффициента динамических догрузок θ для трех характерных типов конструкций в зависимости от параметра топологии конструктивной системы ξ , можно видеть влияние этого параметра. Причем для разных типов рассматриваемых конструктивных систем это значительное влияние существенно отличается: максимально оно проявляется в балке и ферме и существенно меньше в раме. Исходя из этих усилий должно производиться конструирование несущих конструкций здания и узлов их сопряжения для снижения вероятности прогрессирующего разрушения.

Описанная и применяемая в настоящее время схема расчетного анализа для защиты здания от прогрессирующего разрушения имеет как минимум два принципиальных недостатка.

Первый состоит в том, что назначение выключаемых элементов для различных типов зданий производится исходя из опыта проектировщика и, естественно, носит в известной степени субъективный характер. Второе – назначение выключаемых элементов, как правило, связывают с конкретным типом здания (каркасное, панельное, сборное, кирпичное и др.) и технологиями его исполнения (монолитное, сборное, сборно-монолитное). По этому принципу были разработаны все имеющиеся в стране и за рубежом нормативные и рекомендательные документы [5–7, 10–13].

Несмотря на названные недостатки, а также крайне ограниченное экспериментальное обоснование предлагаемых решений, некоторые общие принципы конструирования зданий для их защиты от прогрессирующего разрушения могут быть названы.

Общую устойчивость пространственной системы здания можно повысить постановкой связевых элементов по соответствующим направлениям силовых потоков, которые образуются в процессе выключения вертикальных или горизонтальных элементов системы.

Внутренние связи в конструктивной системе каркаса многоэтажного здания устанавливаются в пределах перекрытия каждого этажа в двух направлениях (рис. 2). Они должны быть прямыми и проходить непрерывно через все перекрытия от одного до другого края. При этом их необходимо соответствующим образом закрепить в связевых элементах, располагаемых по периметру здания. Для каркаса здания из панельно-рамных элементов [2] система горизонтальных связей устанавливается в пределах монолитных участков сборно-монолитных ригелей рам (рис. 2, а). Вертикальные связи, объединяющие стойки панелей рам, устанавливаются по высоте здания от нижнего до верхнего уровня перекрытий (рис. 2, б). Конструктивно их выполняют с помощью закладных деталей в стойках панелей рам и соединяют между собой стальными накладками.

Для обеспечения расчетной прочности вертикальных несущих элементов (стоек панелей рам) на растяжение они должны иметь расчетную прочность на растяжение и соответственно армирование, равное наибольшему усилию, возникающему в этом элементе от расчетной комбинации вертикальных нагрузок и передающемуся на этот элемент с обратным знаком после аварийного вы-

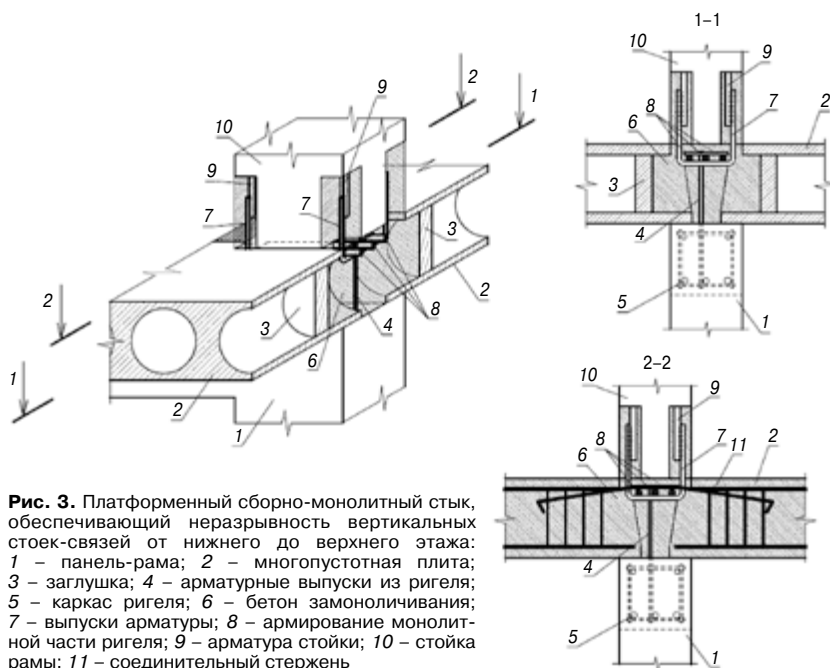


Рис. 3. Платформенный сборно-монолитный стык, обеспечивающий неразрывность вертикальных стоек-связей от нижнего до верхнего этажа: 1 – панель-рама; 2 – многоячеечная плита; 3 – заглушка; 4 – арматурные выпуски из ригеля; 5 – каркас ригеля; 6 – бетон замоноличивания; 7 – выпуски арматуры; 8 – армирование монолитной части ригеля; 9 – арматура стойки; 10 – стойка рамы; 11 – соединительный стержень

ключения из работы нижележащего элемента. Соответственно платформенный сборно-монолитный стык, обеспечивающий неразрывность вертикальных стоек-связей от нижнего до верхнего этажа, рекомендуется выполнять по схеме, представленной на рис. 3, приоритет которой защищен патентом РФ № 2589779 С1 [14].

Для снижения вероятности прогрессирующего разрушения конструктивной системы здания в результате внезапного выключения вертикальной опоры разрушение конструкции должно быть ограничено некоторой допустимой зоной, определяемой в зависимости от расположения удаляемого вертикального элемента по наружному контуру здания или внутри здания. Если выключаемая вертикальная опора расположена в пределах одного этажа внутри каркаса здания в неконтролируемой зоне первого этажа или зоне подземной парковки (например, колонна Б–2 на рис. 2, а), то локальное разрушение должно быть ограничено пролетами здания, непосредственно связанными с внезапно удаляемым вертикальным элементом (на рис. 2, а пролеты 1–2; 2–3; Н–Б; Б–В). Если вертикальная опора расположена на внешнем контуре здания (например, колонна Б–1 на рис. 2, а), то локальное разрушение должно быть ограничено пролетами здания, непосредственно связанными с удаляемой опорой (пролеты А–Б; Б–В; Б–2 на рис. 2, а). Названные критерии расчета подтверждены экспериментальными исследованиями фрагментов каркаса здания [8–9]. Аналогичные критерии приняты и нормами США при расчете зданий на прогрессирующее разрушение [5].

Для снижения вероятности прогрессирующего разрушения в результате внезапного выключения одного из горизонтальных сборно-монолитных ригелей также должны быть введены критерии зон соответствующим образом обоснованного локального разрушения каркаса здания в зависимости от расположения выключаемого элемента или сечения. Например, если выключается опорное сечение ригеля по оси Б, расположенное над стойкой Б–2 (рис. 2, а), то локальное разрушение следует ограничить двумя соседними примыкающими к этой опоре пролетами ригеля по оси Б и соответственно плитами, опирающимися на этот ригель. При выключении пролетного сечения ригеля локальное разрушение следует ограничить самим ригелем и опирающимися на него плитами смежных пролетов этих плит.

Выполнение этих критериев обеспечивается проведением расчетного анализа здания на сочетание проектных нагрузок и на запроектное воздействие в виде внезапного выключения опорного или проектного сечения ригеля. Обеспечение требуемой прочности несущих конструкций за пределами допустимой зоны локального разрушения производится усилением конструкций, расположенных за пределами этих зон. Например, в рассматриваемой конструктивной системе усиление ригелей, примыкающих к выключаемым во второй расчетной схеме пролетом, может быть выполнено постановкой дополнительной верхней и нижней арматуры, обеспечивающей необходимую прочность при изменении знака изгибающего момента с учетом динамических догрузений в сечениях рассчитываемой конструкции ригеля.

Увеличение несущей способности плит перекрытия в пролетах, примыкающих к зоне допустимого локального разрушения, выполняется постановкой

дополнительного армирования приопорных каркасов и соединительных стержней в приопорных зонах плит. Один из вариантов такого решения для рассматриваемой панельно-рамной конструктивной системы показан на рис. 3.

Приведенная методология расчетного анализа живучести конструктивных систем и особенности конструирования узлов конструкций применительно к каркасно-панельным зданиям из железобетонных панельно-рамных элементов показывает, что традиционные требования к проектированию таких зданий должны быть дополнены новыми элементами, обеспечивающими их защиту от прогрессирующего разрушения.


Список литературы


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. Колчунов В.И., Емельянов С.Г. Вопросы расчетного анализа и защиты крупнопанельных зданий от прогрессирующего обрушения // *Жилищное строительство*. 2016. № 10. С. 17–21.
3. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Чесноков Д.А. Защита многоэтажных зданий от прогрессирующего обрушения // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 6. С. 12–15.
4. Шапиро Г.И., Гасанов А.А., Юрьев Р.В. Расчет зданий и сооружений в МНИИТЭП // *Промышленное и гражданское строительство*. 2007. № 6. С. 31–33.
5. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, 1801 Alexander Bell Drive Reston, Virginia 20191, 2010, 658 p.
6. Еврокод 1. Воздействия на конструкции, ч. 1–7. Общие воздействия. Особые воздействия. Белорусская редакция. Минск, 2010. 67 с.
7. Code of practice for the use of masonry, the Standards Policy and Strategy Committee, 2005. 80 p.
8. Гениев Г.А. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях. М.: АСВ, 2004. 216 с.
9. Колчунов В.И., Андросова Н.Б., Ключева Н.В., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях. М.: АСВ, 2014. 208 с.


10. СТО 008-02495342—2009. Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. М.: АО «ЦНИИПромзданий», 2009. 23 с.
11. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. МНИИТЭП, 2002. 16 с.
12. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. МНИИТЭП, 2005. 76 с.
13. Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий. НИЦ Стадио., 1999. 35 с.
14. Патент РФ № 289779. Платформенный сборно-монолитный стык / Колчунов В.И., Ключева Н.В., Филатова С.А., Мартыненко Д.В. Оpubл. 10.07.2016. Бюл. № 19.

References


1. Travush V.I., Kolchunov V.I., Klyueva N.V. Some areas of survivability theory of structural systems of buildings and structures. *Promyshlennoe i gradanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 3, pp. 4—11. (In Russian).
2. Kolchunov V.I., Emel'yanov S.G. Questions billing analysis and protection of large buildings against progressive collapse. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 10, pp. 17—21. (In Russian).
3. Kodysh E.N., Trekin N.N., Chesnokov D.A. Protection of high-rise buildings from the progressive collapse. *Promyshlennoe i gradanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 6, pp. 12—15. (In Russian).
4. Shapiro G.I., Gasanov A.A., Yur'ev R.V. The calculation of buildings and structures in MNIITEP. *Promyshlennoe i gradanskoe stroitel'stvo*. 2007. No. 6, pp. 31—33. (In Russian).
5. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, 1801 Alexander Bell Drive Reston, Virginia 20191, 2010, 658 p.
6. Evrokod 1. Vozdeistviya na konstruksii, chast' 1—7. Obshchie vozdeistviya. Osobyie vozdeistviya, Belorusskaya redaktsiya. Minsk. 2010, 67 p.
7. Code of practice for the use of masonry, the Standards Policy and Strategy Committee, 2005. 80 p.
8. Geniev G.A. Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnykh konstruksii pri zaproektnykh vozdeistviyakh [The strength and deformability of reinforced concrete structures under beyond design impacts]: Nauchnoe izdanie. Moscow: ASV, 2004. 216 p.
9. Kolchunov V.I., Androsova N.B., Klyueva N.V., Bukhtiyarova A.S. Zhivuchest' zdaniy i sooruzheniy pri zaproektnykh vozdeistviyakh [Vitality buildings at beyond design impacts] Moscow: ASV, 2014. 208 p.
10. СТО 008-02495342—2009. Predotvrashchenie progressiruyushchego obrusheniya zhelezobetonnykh monolitnykh konstruksii zdaniy [Prevention of progressive collapse of reinforced concrete monolithic constructions of buildings] Moscow: TsNIIPromzdaniy, 2009. 23 p. (In Russian).
11. Rekomendatsii po zashchite zhilykh karkasnykh zdaniy pri chrezvychaynykh situatsiyakh, [Advice on protection of residential frame buildings in emergencies] MNIITEP, 2002. 16 p. (In Russian).
12. Rekomendatsii po zashchite monolitnykh zhilykh zdaniy ot progressiruyushchego obrusheniya, [Advice on protection monolithic apartment buildings from the progressive collapse] MNIITEP, 2005. 76 p. (In Russian).
13. Rekomendatsii po predotvrashcheniyu progressiruyushchikh obrusheniy krupnpanel'nykh zdaniy, [Recommendations to prevent progressive collapse of large buildings] Nits Stadio., 1999. 35 p. (In Russian).
14. Patent RF 289779. Platformennyy sborno-monolitnyy styk [The platform prefabricated monolithic joint]. Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Filatova S.A., Martynenko D.V. Published 10.07.2016. Bulletin No. 19. (In Russian).









Мы работаем для



**ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
ЦЕМЕНТА И СУХИХ СМЕСЕЙ**



**ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
БЕТОНА**



**ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СБОРНОГО
ЖЕЛЕЗОБЕТОНА**