УДК 624.046 DOI: 10.33979/2073-7416-2021-96-4-45-55

П.А. КОРЕНЬКОВ[1], С. С. ФЕДОРОВ[2]
[1] ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Россия,
[2] ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

ЖИВУЧЕСТЬ СБОРНО-МОНОЛИТНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ ПРИ ОСОБЫХ АВАРИЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Аннотация. *В работе получены и проанализированы результаты численного анализа живучести новой индустриальной конструктивной системы жилых и общественных зданий, отвечающая современным требованиям защиты от прогрессирующего обрушения, улучшенными объемно-планировочными, архитектурными и теплозащитными решениями. Наличие значительного количества предприятий с технологическими линиями по производству конструкций для крупнопанельного домостроения и их доля на рынке, в сочетании с рядом недостатков применяемых технических и объёмно-планировочных решений свидетельствует о необходимости модернизации этих предприятий, для выпуска ими продукции, отвечающей современным требованиям. Целью настоящего исследования являлось качественное и количественное изучение параметров напряженно-деформированного состояния предложенной авторами индустриальной конструктивной системы гражданских зданий с повышенной стойкостью к прогрессирующему обрушению, производство которой не требовало бы дорогостоящей модернизации предприятий стройиндустрии. На основе уровневых расчетных схем предложен алгоритм расчета такой системы на особое аварийное воздействие. Численными исследованиями установлено соответствие разработанной конструктивной системы требованиям особого предельного состояния при проектных нагрузках и аварийных воздействиях, вызванных выключением из работы вертикального несущего элемента.*

Ключевые слова: *живучесть, сборно-монолитный каркас, особое предельное состояние, физическая нелинейность*

P.A. KORENKOV[1], S.S. FEDOROV[2]
[1]V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia,
[2]Moscow State University of Civil Enginieerig, Moscow, Russia

RESISTANCE OF THE PRECAST - CAST-IN-SITU REINFORCED CONCRETE FRAMES OF CIVIL BUILDINGS UNDER SPECIAL EMERGENCY IMPACT

Abstract. *The paper obtained and analyzed the results of a numerical analysis of the survivability of a new industrial structural system of residential and public buildings that meets modern requirements for protection against progressive collapse, improved space-planning, architectural and thermal protection solutions. The presence of a significant number of enterprises with technological lines for the production of structures for large-panel housing construction and their market share, combined with a number of disadvantages of the applied technical and space-planning solutions, indicates the need to modernize these enterprises in order to produce products that meet modern requirements. The purpose of this study was to qualitatively and quantitatively study the parameters of the stress-strain state of the industrial structural system of civil buildings proposed by the authors with increased resistance to progressive collapse, the production of which would not require expensive modernization of the construction industry enterprises. On the basis of multi-level design schemes, an algorithm for calculating such a system for a special emergency effect is proposed. Numerical studies have established the compliance of the developed structural system with the requirements of a special*

limiting state under design loads and emergency effects caused by the sudden removal of a vertical load-bearing element.

Keywords: *survivability, precast-monolithic frame, special limiting state, material nonlinearity.*

Введение

Разработка новых типов конструктивных систем жилых и общественных зданий, отвечающих современным вызовам, остается одной из актуальных проблем современного строительства [1,2]. С позиций сокращения сроков возведения объектов и снижения их материалоёмкости эффективными и наиболее массовыми считаются технологические системы гражданских зданий из железобетонных элементов крупнопанельного домостроения [3-5]. В то же время, такие системы для массового строительства содержат ряд существенных недостатков конструктивного характера: они имеют "жесткие" объемно - планировочные схемы с ограниченными размерами помещений; однообразную пластику фасадов, низкий уровень защиты от особых, в том числе аварийных воздействий (вследствие использования в них только односторонних конструктивных связей). С другой стороны, в стране имеется значительное количество (более 250) домостроительных предприятий с технологическими линиями по производству конструкций для массового крупнопанельного домостроения, которые в общем объеме жилищного строительства во многих регионах страны составляют 50-65% и более [6]. В этой связи целью представленной работы явилось исследование создание (совершенствование) новой индустриальной конструктивной системы жилых и общественных зданий массового строительства с повышенной защитой от прогрессирующего обрушения, улучшенными объемно-планировочными схемами и высокими возможностями решений теплозащиты и архитектурной выразительности фасадных систем зданий. В задачи исследований включалось: разработка предложений по новой индустриальной конструктивной системе жилых и общественных зданий, разработка алгоритма и проведение расчетного анализа напряженно деформированного состояния таких конструктивных систем при особых аварийных воздействиях и проведение численных исследований для оценки перераспределения силовых потоков в этих системах. И проведение численных исследований напряженно деформированного состояния.

Конструкция сборно-монолитной конструктивной системы многоэтажного здания

Предлагаемая конструктивная система включает в себя (рисунок 1) несущие продольные и поперечные стеновые панели-рамы 1, связанные между собой по высоте соединительными элементами 2 не менее чем в двух местах по высоте, самонесущие внутренние 3 и наружные стены 4, опирающиеся на несущие L - образного сечения ригели 5 с шириной полки равной толщине стены и имеющей терморазъемы в виде отверстий с утеплителем устраиваемые по длине полки.

Несущие стеновые панели здания выполнены в виде панелей-рам, верхняя полка сборной части ригеля которых имеет арматурные выпуски 6 для соединения с арматурой добетонируемой его монолитной части. Плиты перекрытия 8 имеют шпонки 9. В пространство между боковыми поверхностями соседних плит устанавливаются арматурные каркасы 11 и объем этого пространства заполняется мелкозернистым бетоном замоноличивания 7.

Стойки панелей-рам 1 устанавливаются на верхнюю поверхность монолитной части 10 сборно-монолитного ригеля (рисунок 2) и с помощью центрирующих закладных элементов 12 или центрирующих гнезд по типу платформенного [7,8] или штепсельного стыка [9,10] соединяются с выпусками арматурных стержней 13 стойки нижерасположенной панели-рамы с помощью ванной сварки, резьбовых или обжимных соединений 14. В стойке панели- рамы в зоне описанного платформенного стыка устанавливается косвенная арматура 15.

Ригели стеновых панелей- рам соединяют с плитами перекрытий бетоном, замоноличиваются по выпускам арматуры и используя шпонки на боковой поверхности и торцах плит перекрытий. Наружная самонесущая стена выполняется в виде трехслойной конструкции, с эффективным заполнением объема в плоскости панели рамы. Межкомнатные и межквартирные перегородки выполняется из легкого стенового легко утилизируемого материала с высокими теплофизическими и шумозащитными свойствами. Заполнение объема пустот терморазьемов ригелей производится теплоизоляционным материалом с низким коэффициентом водопоглощения (например, пеностеклом [11]), что обеспечивает высокую теплозащиту наружных стен здания. Кроме того, установка несущих ригелей с терморазъемами по наружному контуру здания позволяет обеспечить не только теплозащиту здания, но и повышает его общую пространственную устойчивость при особых, в т.ч. аварийных воздействиях. Решению этой же задачи способствует также взаимно перпендикулярное расположение дисков плит перекрытий над соседними в плане помещениями здания (см. рисунок 1,б).

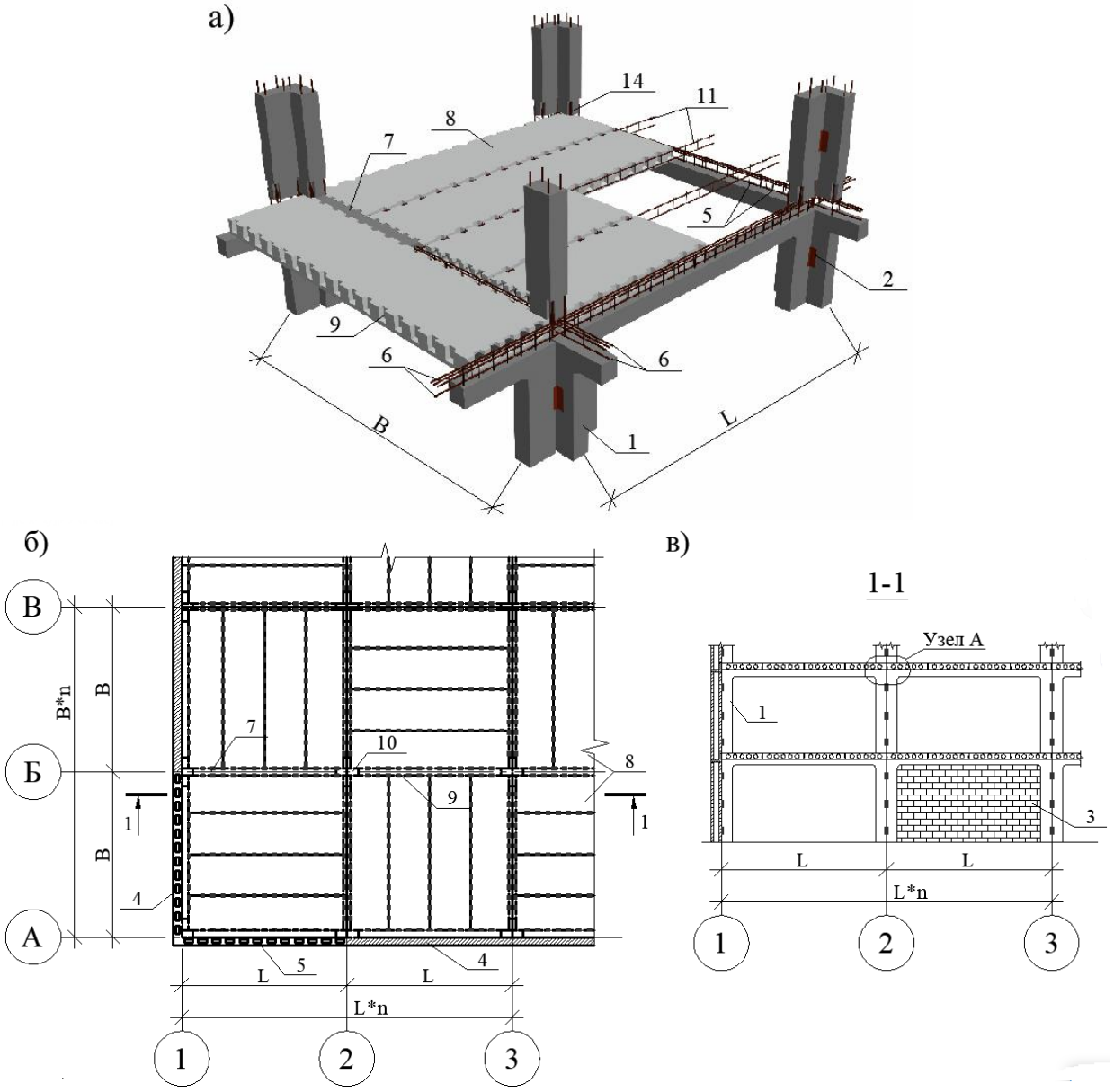

Рисунок 1 - Схема расположения несущих элементов конструктивной системы а) общий вид б) в плане, в) в разрезе *1 - панели-рамы, 2 - соединительные элементы, 3 - самонесущие внутренние стены, 4 - самонесущие наружные стены , 5 - ригели, 6 - арматурные выпуски, 7 - бетон замоноличивания, 8 - плиты перекрытия, 9 - шпонки, 10 - сборно-монолитный ригель, 11 - арматурные каркасы, 14 - обжимные соединения*

Соединение стоек рам с помощью выпусков арматуры и центрирующих прокладок обеспечивает передачу сжимающих усилий с вышележащей стойки на нижележащую через монолитный пояс ригеля по типу платформенного стыка. Предусмотренная установка дополнительных арматурных стержней 16 в торце стойки и отгибы их в тело бетона монолитной части ригеля (рисунок 2) направлена на обеспечение защиты каркаса здания от прогрессирующего обрушения. В случае внезапного выключения из каркаса здания одной из колонн в нем происходит перераспределение силовых потоков и ригели над этой колонной совместно с расположенной над этими ригелями колоннами образуют замкнутую рамно-стержневую пространственную систему, воспринимающую усилия от изменившихся силовых потоков.

а) б)

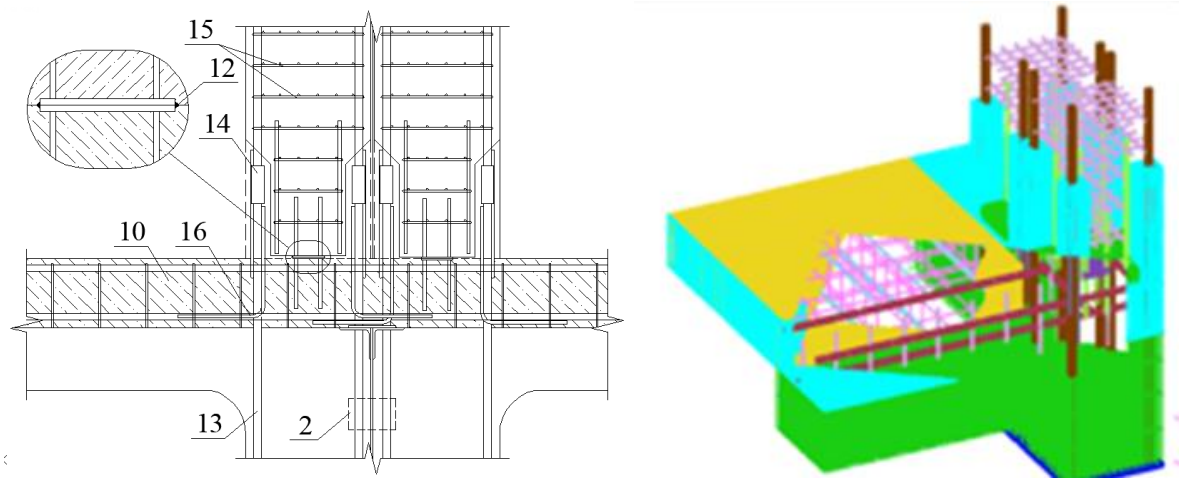

Рисунок 2 - Сборно-монолитный стык элементов каркаса (Узел А) а) конструктивное решение, б) 3D модель *2-соединительные элементы, 12-центрирующие закладные элементы, 14-обжимные соединения, 15-косвенная арматура, 16- арматурные стержни*

Армирование стоек каркаса и сборно-монолитного ригеля определяется расчетом таким образом, чтобы при внезапном выключении одной из колонн первого этажа здания для неразрезного ригеля над этой колонной и выше расположенных колонн обеспечивались требования несущей способности при особом предельном состоянии [12].

Особенности расчетной модели и алгоритма расчета каркаса здания. Расчет каркаса здания из панельно-рамных элементов на проектные нагрузки, предусмотренные отечественными строительными нормами, выполняется по расчетным схемам различных уровней. Расчетная схема первого уровня (первичная расчетная схема) моделирует все здание, включая фундамент с грунтовым основанием [12,13]. Расчетная схема второго уровня (рисунок 3) моделирует характерный фрагмент – подконструкции [14-16] каркаса здания в состав, которого входит и выключаемая колонна.

а) б)

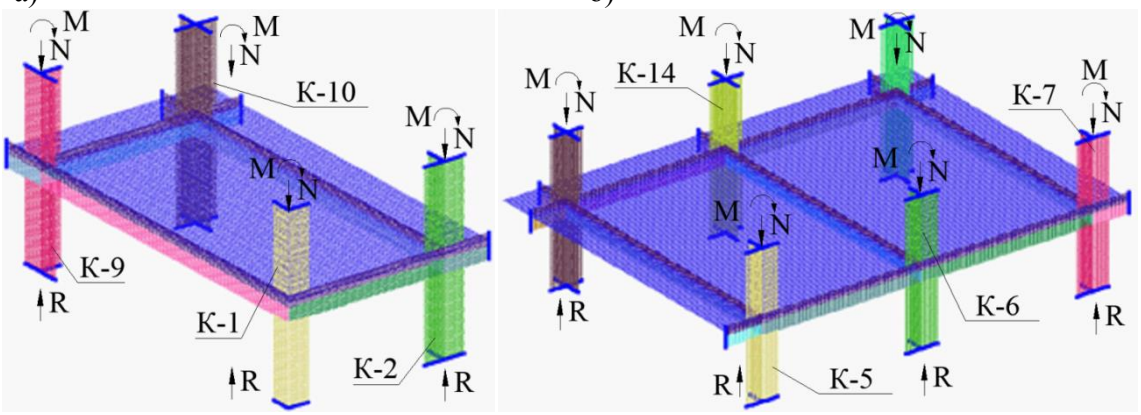

Рисунок 3 – Расчетная схема второго уровня при выключении: а) крайней, б) средней колонны

Результатом расчета являются усилия, перемещения и площадь требуемого армирования панелей-рам включая сборно-монолитные конструкции ригелей [17,18], панелей перекрытий, обвязочных ригелей и фундаментов.

Расчет каркаса здания с целью защиты от прогрессирующего обрушения производится на особое воздействие, определенное в нормах [12,13] как внезапное выключение из конструктивной системы здания одной из несущих конструкций, например крайней по контуру здания или угловой колонны первого этажа. В этом случае для расчета используется так называемая вторичная расчетная схема [12], которая отличается от первичной расчетной схемы тем, что в ней удалена одна из несущих конструкций. Поскольку при внезапном удалении этой конструкции конструктивная система здания получает динамические догружения [19,20], при расчете необходим их учет. Опыт расчета каркасов зданий с учетом динамических догружений [14-18,21] показал, что для сложных объектов, даже с применением высокоэффективных программных комплексов, такие расчеты не только достаточно трудоемки по времени, но и вызывают значительные сложности при инженерном анализе полученных результатов. В этих же работах, а также при на основании экспериментальных данных [22-24] была показана возможность применения двух и даже трехуровневых расчетных схем для учета особых воздействий, а во многих случаях и, достаточно апробированного в инженерной практике, кинематического метода предельного равновесия [1,25].

Вторичная расчетная схема каркаса здания первого уровня, моделирующая весь несущий остов здания, включает конечно-элементную модель всех основных несущих конструкций здания с удаленной колонной первого этажа здания (рисунок 3,а). Усилия внецентренного сжатия в удаленной колонне R полученные в первичной расчетной схеме, от эксплуатационной нагрузки во вторичной расчетной схеме прикладываются по направлению удаленной стойки с обратным знаком. Результатом расчета по вторичной расчетной схеме являются усилия и перемещения, полученные во всех конструктивных элементах каркаса здания после удаления колонны.

Для критериальной оценки возможного локального разрушения конструкций в зоне выключения колонны из конструктивной системы всего каркаса здания выделяется подконструкция и строится вторичная расчетная схема второго уровня. Размеры подконструкции и соответственно расчетной схемы определяются исходя из размеров локального разрушения которое в соответствии с [12] следует учитывать при расчете несущих конструкций одного этажа здания на участке, ограниченным кругом площадью не менее 28 $м^2$ (диаметр 6 м) для зданий высотой до 75 м. В соответствии с этим размер подконструкции остова здания для построения вторичной расчетной схемы второго уровня принимаются в пределах двух пролетов: по одному пролету в каждую сторону от удаленной колонны (см. рисунок 3).

Расчет по вторичной расчетной схеме производится на нормативные значения нагрузок с коэффициентом надежности по нагрузке, равным единице. Режим описанного нагружения подконструкции эксплуатационными нагрузками и аварийным воздействием приведен на рисунке 3. Прочность бетона и арматуры принимаются по нормативным значениям. При этом учитывая динамический характер особого воздействия на конструкции здания, на первой полуволне колебаний каркаса здания вводится коэффициент повышения динамической прочности бетона и стали [12].

Результаты исследования и их анализ

Для количественной оценки напряженно деформированного состояния по первичной и вторичной расчетным схемам рассмотрен фрагмент трехэтажного каркаса здания общественного назначения из панельных элементов с сеткой колонн 5,2 м и высотой этажа 3,6 м. Сечения колонн принято 200х300 мм. Армирование колонн As=As' принято 4-мя стержнями диаметром 14 мм, класса А400. Сечение сборно-монолитных ригелей принято

тавровым, высотой h=470 мм, с шириной b=80 мм и шириной полки bf'=200 мм (см. рисунок 3,а). Рабочее армирование ригеля принято четырьмя стержнями диаметром 16 мм класса А500. Класс бетона панелей рам В30. Эксплуатационная нагрузка назначена как для здания общественного назначения с коэффициентом надежности по ответственности $\gamma_n = 1$. Влияние отброшенных смежных панелей рам конструктивной системы каркаса здания учитывалось реакциями в удаленных связях в уровне соединительных элементов (см. рисунок 3). Режим нагружения принят по схеме рисунка 3. Режим моделирования статико-динамического нагружения конструктивной системы из железобетона был определен по результатам испытаний [20]. При этом динамическая прочность бетона R_{bd} и арматуры R_{sd} вычислены по рекомендациям [13].

В результате расчета, выполненного в ПК ЛИРА САПР в физически и геометрически нелинейной постановке, были установлены параметры напряженно деформированного состояния элементов конструктивной системы при аварийном воздействии.

После выключения из работы крайней колонны характер работы несущей системы изменился. Характер поврежденных элементов с указанием зон, разрушившихся от сжимающих или растягивающих напряжений приведен на рисунке 4. Наиболее поврежденными оказались приопорные зоны в верхней зоне ригелей, примыкающих к колоннам, расположенным в непосредственной близости от удаляемой. Можно отметить отсутствие разрушений ригелей вблизи колонны К-10, что свидетельствует о вовлечении в работу плит перекрытий, соединенных между собой в жесткий диск (рисунок 4,а).

Характер разрушения при выключении средней колонны аналогичен ранее рассмотренному с той лишь особенностью, что плиты в плитах перекрытия и монолитных участках практически полностью отсутствуют пластические шарниры, что позволяет сделать вывод о восприятии дополнительных внутренних усилий горизональными участками панелей-рам (рисунок 4,б).

а) б)

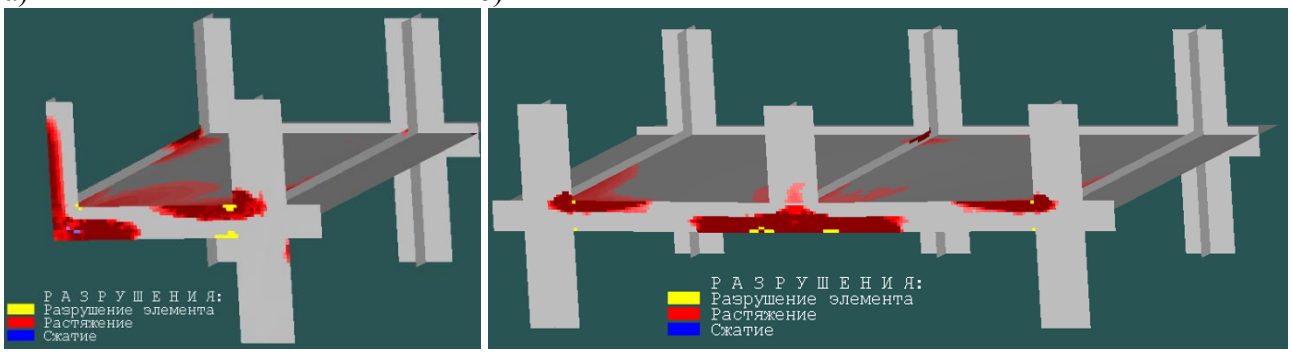

Рисунок 4 – Характер разрушения элементов при выключении: а) крайней, б) средней колонны

Анализируя поля главных напряжений, направления и локализации трещин в элементах конструктивной системы после аварийного воздействия был установлен характер разрушения аналогичный механизму обрушения 1 типа [1,25], когда линия излома проходит по кратчайшему расстоянию между неразрушенными колоннами, перераспределяя усилия на неразрушенные элементы каркаса пропорционально расчетным пролетам (рисунок 5).

В частности, ввиду различной длины пролета в цифровых и буквенных осях, ригель между колонной К-1 и К-2 имеет развитую сеть трещин, переходящих из нижней зоны в верхнюю вслед за сменой знака изгибающего момента, в то время как в ригеле между колонной К-1 и К-9 трещинообразование наблюдается в зоне 1/4 расчетного пролета в нижней и верхней зоне соответственно. Данную особенность можно использовать при проектировании конструктивных мероприятий по защите от прогрессирующего обрушения.

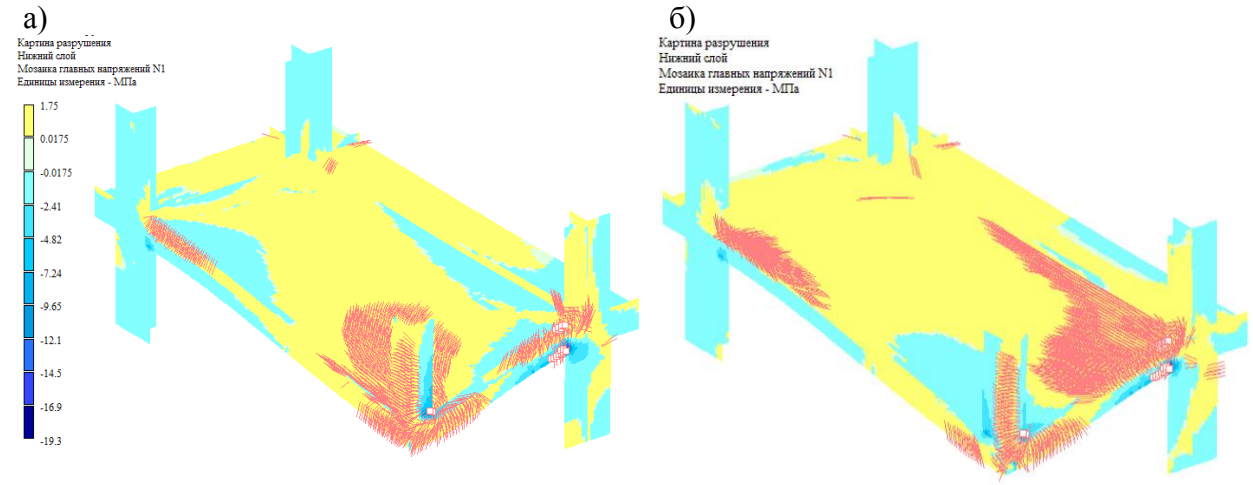

Рисунок 5 – Картина трещинообразования при верхнем (а) и нижнем (б) слое бетона при удалении крайней колонны

Характер трещинообразования после удаления средней колонны в горизонтальных элементах панелей-рам не отличается от рассмотренного ранее сценария, с той лишь особенностью, что в плитах перекрытия практически не образовались трещины в нижней зоне (рисунок 6). Небольшая локализация трещин приурочена к верхней части плит, примыкающих к колоннам К-5 и К-7, что убедительно свидетельствует о активном вовлечении ригелей в работу по поглощению динамических колебаний элементами панелей-рам, что положительно скажется на ремонтопригодности предлагаемой конструктивной системы после возможного аварийного воздействия.

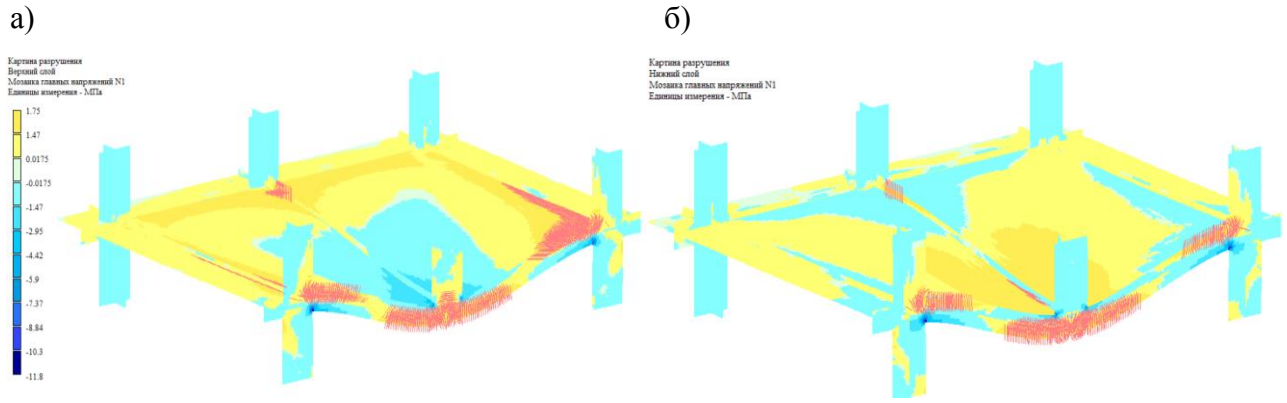

Рисунок 6 – Картина трещинообразования при верхнем (а) и нижнем (б)слое бетона при удалении средней колонны

Анализ полученных количественных значений напряженного состояния в ригелях и колоннах рассматриваемого фрагмента сборно - монолитного каркаса здания до и после аварийного воздействия позволяет отметить, что предложенное конструктивное решение соединения арматуры стойки панели рамы с арматурой стойки нижележащей рамы и анкеровкой в монолитной части ригелей дополнительно устанавливаемых стержней 16 (см. рисунок 2) в стойках рам второго этажа, обеспечивают защиту рассматриваемого каркаса здания от прогрессирующего обрушения при внезапном удалении одной из колонн первого этажа.

Выводы

Предложена индустриальная конструктивная система сборно-монолитного каркаса многоэтажного здания из железобетонных панельно-рамных элементов обеспечивающая новые качественные показатели объемно - планировочных решений, "пластику" фасадов, адаптационную приспособляемость к особым аварийным воздействиям, высокие экономические и экологические показатели для индустриально возводимых зданий

массового применения. Разработан алгоритм расчета каркасов зданий рассматриваемого типа в запредельных состояниях, вызванных аварийным воздействием, в виде внезапного выключения одной из несущих конструкций. Численные расчеты каркаса здания из панельно-рамных элементов показали, что предложенная конструкция и схема армирования платформенного стыка стоек панелей-рам с ригелями перекрытия обеспечивают требования предельных состояний при проектных нагрузках и рассмотренных особых воздействиях.

Благодарности.

Исследования выполнены в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (договор № 075-15-2021-312).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В., Шапиро Г.И., Гасанов А.А. Расчеты крупнопанельных зданий на устойчивость против прогрессирующего обрушения методами предельного равновесия и конечного элемента // ACADEMIA. Архитектура и строительство. 2016. №4. С. 109-111.
2. Травуш В.И., Пономарев В.Н., Бондаренко В.М., Еремин К.И. О необходимости системного подхода к научным исследованиям в области комплексной безопасности и предотвращения аварий зданий и сооружений // Архитектура. Строительство. Образование. 2014. №2. С. 7-16.
3. Соколов Б.С., Трошков Е.О. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния штепсельных стыков железобетонных колонн с плитами перекрытия при косом внецентренном сжатии // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. № 3. С. 126-135.
4. Трошков Е.О., Соколов Б.С. Сравнение результатов компьютерного моделирования и экспериментальных исследований штепсельных стыков сборных железобетонных колонн с плитами перекрытий // Жилищное строительство. 2017. № 7. С. 41-46.
5. Коянкин А.А., Митасов В.М. Напряжённо-деформированное состояние сборно-монолитного здания // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 6(74). С. 175–184.
6. Николаев С.В. Обновление жилищного фонда страны на базе крупнопанельного домостроения // Жилищное строительство. 2018. №3. С. 3-8.
7. Клюева Н.В., Колчунов В.И., Рыпаков Д.А., Бухтиярова А.С. Жилые и общественные здания из железобетонных панельно-рамных элементов индустриального производства // Жилищное строительство. 2015. №5. С. 69-76.
8. Пат. № 2506385 Российская Федерация, МПК E04H 1/00. Здание из панельных элементов / В.А. Ильичёв, В.И. Колчунов, Н.В. Клюева, А.С. Бухтиярова, заявл. 1.08.2012, опубл. 10.12.2014, Бюл. №4. 8 с.
9. Пат. № 2627524. Российская Федерация, МПК E02B1/61. Платформенный сборно-монолитный стык / Н.В. Клюева, П.А. Кореньков, заявл. 11.12.2015; опубл. 8.08.2017, Бюл. № 22. – 8 с
10. Пушкарёв Б.А., Кореньков П.А. Сборно-монолитные железобетонные конструкции. Сферы применения и особенности расчёта // Строительство и техногенная безопасность. 2013. № 46. С. 30-35.
11. Минько Н.И., Пучка О.В., Евтушенко Е.И., Нарцев В.М., Сергеев С.В. Пеностекло – современный эффективный неорганический теплоизоляционный материал // Фундаментальные исследования. 2013. №6. С.849-854
12. СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования». М.: ЭС НТИ "Техэксперт", 2017. 35 с.
13. Методическое пособие «Проектирование мероприятий по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения» М.: ЭС НТИ "Техэксперт", 2018. 158 с.
14. Савин С.Ю., Федорова Н.В., С.Г. Емельянов С.Г. Анализ живучести сборно-монолитных каркасов многоэтажных зданий из железобетонных панельно-рамных элементов при аварийных воздействиях, вызванных потерей устойчивости одной из колонн // Жилищное строительство. 2018. № 12. С. 3-7.
15. Колчунов В.И., Федорова Н.В., Савин С.Ю., Ковалев В.В., Ильющенко Т.А. Моделирование разрушения железобетонного каркаса многоэтажного здания с предварительно напряженными ригелями // Инженерно - строительный журнал. 2019. No 8(92). С. 155–162. DOI: 10.18720/MCE.92.13
16. 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. 23–27.

17. Колчунов В.И., Мартыненко Д.В. Деформирование и трещинообразование конструкции платформенного стыка в сборно-монолитном каркасе здания // Строительство и реконструкция. 2020. № 4 (90). С. 38-47.

18. Колчунов В.И., Мартыненко Д.В. Прочность и деформативность сборно-монолитных платформенных стыков панельных зданий // Строительство и реконструкция. 2019. № 2 (82). С. 26-34.

19. Колчунов В.И., Андросова Н.Б., Клюева Н.В., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях. М.: Изд-во АСВ, 2014. 208 с.

20. Федорова Н.В., Кореньков П.А. Анализ деформирования и трещинообразования многоэтажных железобетонных рамно-стержневых конструктивных систем зданий в предельных и запредельных состояниях // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №11. С.8-13.

21. Fedorova N., Tamrazyan A., Korenkov P. Industrial constructive system of civil buildings of increased survivability // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 97. P.04003

22. Колчунов В.И., Осовских Е.В., Фомичев С.И. Прочность железобетонных платформенных стыков жилых зданий с перекрестно-стеновой системой из панельных элементов // Жилищное строительство. 2009. №12. С.12-16

23. Bournas D.A., Negro P., Molina F.J. Pseudodynamic tests on a full-scale 3-storey precast concrete building: Behavior of the mechanical connections and floor diaphragms // Engineering Structures. 2013 Volume 57. Pp. 609-627

24. Трошков Е.О. Экспериментальные исследования штепсельных стыков второго типа на сдвиг // Долговечность, прочность и механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов: Сборник докладов IX Академических чтений РААСН – Международной научной конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2016. С. 85–90.

25. Любомирский Н.В., Родин С.В., Кореньков П.А., Абселямов Р.С. Анализ опасности прогрессирующего обрушения монолитного железобетонного каркаса 19-тиэтажного жилого дома в г. Евпатория // Строительство и реконструкция. 2014. № 5 (55). С. 38-46.

REFERENCES

1. Zenin S.A., Sharipov R.Sh., Kudinov O.V., Shapiro G.I., Gasanov A.A. Raschety krupnopanel'nykh zdaniy na ustoychivost' protiv progressiruyushchego obrusheniya metodami predel'nogo ravnovesiya i konechnogo elementa [Calculations of large-panel buildings for stability against progressive collapse by the methods of limiting equilibrium and finite element]. *ACADEMIA. Architecture and construction*. 2016. No. 4. Pp. 109-111. (in Russian)

2. Travush V.I., Ponomarev V.N., Bondarenko V.M., Eremin K.I. O neobkhodimosti sistemnogo podkhoda k nauchnym issledovaniyam v oblasti kompleksnoy bezopasnosti i predotvrashcheniya avariy zdaniy i sooruzheniy [On the need for a systematic approach to scientific research in the field of integrated safety and prevention of accidents in buildings and structures]. *Arkhitektura. Stroitel'stvo. Obrazovaniye*. 2014. No. 2. Pp. 7-16. (in Russian)

3. Sokolov B.S., Troshkov E.O. Komp'yuternoye modelirovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya shtepsel'nykh stykov zhelezobetonnykh kolonn s plitami perekrytiya pri kosom vnetsentrennom szhatii [Computer modeling of the stress-strain state of plug joints of reinforced concrete columns with floor slabs under oblique eccentric compression]. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2018. No 3. Pp. 126-135. (in Russian)

4. Troshkov E.O., Sokolov B.S. Sravneniye rezul'tatov komp'yuternogo modelirovaniya i eksperimental'nykh issledovaniy shtepsel'nykh stykov sbornykh zhelezobetonnykh kolonn s plitami perekrytiy [Comparison of the results of computer modeling and experimental research of plug joints of precast concrete columns with floor slabs]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2017. No 7. Pp. 41-46. (in Russian)

5. Koyankin A.A., Mitasov V.M. Stress-strain state of precast and cast-in place buildings. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. No. 6 (74). Pp. 175-184.

6. Nikolaev S.V. Obnovleniye zhilishchnogo fonda strany na baze krupnopanel'nogo domostroyeniya [Renovation of the country's housing stock on the basis of large-panel housing construction]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2018. No. 3. S. 3-8. (in Russian)

7. Klyueva N.V., Kolchunov V.I., Rypakov D.A., Bukhtiyarova A.S. Zhilyye i obshchestvennyye zdaniya iz zhelezobetonnykh panel'no-ramnykh elementov industrial'nogo proizvodstva [Residential and public buildings from reinforced concrete panel-frame elements of industrial production]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2015. No. 5. S. 69-76. (in Russian)

8. Pat. No. 2506385 Russian Federation, IPC E04H 1/00. Zdaniye iz panel'nykh elementov [A building made of panel elements] / V.A. Ilyichev, V.I. Kolchunov, N.V. Klyueva, A.S. Bukhtiyarova, app. 1.08.2012, publ. 10.12.2014, Bul. No. 4. 8 p. (in Russian)

9. Pat. No. 2627524. Russian Federation, IPC E02B1 / 61. Platformennyy sborno-monolitnyy styk [Platform precast-monolithic joint] / N.V. Klyueva, P.A. Korenkov, declared. 12/11/2015; publ. 08.08.2017, Bul. No. 22. - 8 s (in Russian)

10. Pushkarev B.A., Korenkov P.A. Sborno-monolitnyye zhelezobetonnyye konstruktsii. Sfery primeneniya i osobennosti raschota [Precast monolithic reinforced concrete structures. Spheres of application and calculation features]. Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. 2013. No. 46. Pp. 30-35. (in Russian)

11. Minko N.I., Puchka O.V., Evtushenko E.I., Nartsev V.M., Sergeev S.V. Penosteklo – sovremennyy effektivnyy neorganicheskiy teploizolyatsionnyy material [Foam glass is a modern effective inorganic heat-insulating material]. *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2013. No. 6. Pp. 849-854 (in Russian)

12. Building Code of Russian Federation SP 385.1325800.2018 “Protection of buildings and structures against progressive collapse. Design code. Basic statements ". Moscow: ES NTI "Techexpert", 2017. 35 p. (in Russian)

13. Methodological manual “Proyektirovaniye meropriyatiy po zashchite zdaniy i sooruzheniy ot progressiruyushchego obrusheniya” ["Designing measures to protect buildings and structures from progressive collapse"] Moscow: ES STI "Techexpert", 2018. 158 p. (in Russian)

14. Savin S.Yu., Fedorova N.V., S.G. Emelyanov S.G. Analiz zhivuchesti sborno-monolitnykh karkasov mnogoetazhnykh zdaniy iz zhelezobetonnykh panel'no-ramnykh elementov pri avariynykh vozdeystviyakh, vyzvannykh poterey ustoychivosti odnoy iz kolonn [Survivability Analysis of Reinforced Concrete Frameworks of Multi-storey Buildings Made of Frame-panel Elements Using Combination of Prefabricated and Monolithic Concrete in Case of Accidental Impacts Caused by Loss of Stability of One of the Columns]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2018. No. 12. Pp. 3-7. (in Russian)

15. Kolchunov V.I., Fedorova N.V., Savin S.Yu., Kovalev V.V., Ilyushchenko T.A. Failure simulation of a RC multi-storey building frame with prestressed girders. *Magazine of Civil Engineering*. 2019.No. 8 (92). Pp. 155-162. DOI: 10.18720 / MCE.92.13.

16. Emelyanov S.G., Fedorova N.V., Kolchunov V.I. Osobennosti proyektirovaniya uzlov konstruktsiy zhilykh i obshchestvennykh zdaniy iz panel'no-ramnykh elementov dlya zashchity ot progressiruyushchego obrusheniya [Features of design of units of structures of residential and public buildings from panel-frame elements for protection against progressive collapse]. *Stroitel'nye materialy*. 2017. No. 3. Pp. 23–27. (in Russian)

17. Kolchunov V.I., Martynenko D.V. Deformation and cracking of the platform joint of the prefabricated-monolithicrc building frame. *Building and Reconstruction*. 2020;(4):38-47. (In Russ.) https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-90-4-38-47. (in Russian)

18. Kolchunov V.I., Martynenko D.V. The strength and deformability of precast-monolithic platform joints of panel buildings. *Building and Reconstruction*. 2019;(2):26-34. (In Russ.) https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-82-2-26-34. (in Russian)

19. Kolchunov V.I., Androsova N.B., Klyueva N.V., Bukhtiyarova A.S. Zhivuchest' zdaniy i sooruzheniy pri zaproyektnykh vozdeystviyakh [Survivability of buildings and structures under beyond design basis impacts]. Moscow: Publishing house ASV, 2014. 208 p. (in Russian)

20. Fedorova N.V., Korenkov P.A. Analiz deformirovaniya i treshchinoobrazovaniya mnogoetazhnykh zhelezobetonnykh ramno-sterzhnevykh konstruktivnykh sistem zdaniy v predel'nykh i zapredel'nykh sostoyaniyakh [Analysis of deformation and cracking of multi-storey reinforced concrete frame-rod structural systems of buildings in limiting and out-of-limit states]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2014, no. 2016. No. 11. S.8-13. (in Russian)

21. Fedorova N., Tamrazyan A., Korenkov P. Industrial constructive system of civil buildings of increased survivability. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 97. P.04003

22. Kolchunov V.I., Osovskikh E.V., Fomichev S.I. Prochnost' zhelezobetonnykh platformennykh stykov zhilykh zdaniy s perekrestno-stenovoy sistemoy iz panel'nykh elementov [Strength of reinforced concrete platform joints of residential buildings with a cross-wall system of panel elements]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2009. No. 12. Pp.12-16 (in Russian)

23. Bournas D.A., Negro P., Molina F.J. Pseudodynamic tests on a full-scale 3-storey precast concrete building: Behavior of the mechanical connections and floor diaphragms. *Engineering Structures*. 2013 Volume 57. Pp. 609-627.

24. Troshkov E.O. Eksperimental'nyye issledovaniya shtepsel'nykh stykov vtorogo tipa na sdvig [Experimental studies of plug joints of the second type for shear]. Dolgovechnost', prochnost' i mekhanika razrusheniya betona, zhelezobetona i drugikh stroitel'nykh materialov: Sbornik dokladov IX Akademicheskikh chteniy RAASN – Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii [Durability, strength and fracture mechanics of concrete, reinforced concrete and other building materials: Collection of reports of the IX Academic Readings of the RAACS - International Scientific Conference]. Saint Petersburg : SPbGASU, 2016. Pp. 85–90. (in Russian)

25. Lyubomirsky N.V., Rodin S.V., Korenkov P.A., Abselyamov R.S. Hazard analysis progressive collapse of monolithic reinforced concrete frame 19-storey residential building in the city of Evpatoria. *Building and Reconstruction*. 2014. No. 5 (55). Pp. 38-46. (in Russian)

Информация об авторах:

Кореньков Павел Анатолиевич
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: kpa_gbk@mail.ru

Федоров Сергей Сергеевич
ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве.
E-mail: FedorovSS@mgsu.ru

Information about authors:

Korenkov Pavel An.
V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia,
candidate of technical science, docent, associate professor of the building structures.
E-mail: kpa_gbk@mail.ru

Fedorov Sergey S.
Moscow State University of Civil Enginieerig, Moscow, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of information systems, technologies and automation in construction.
E-mail: FedorovSS@mgsu.ru