

В.И. КОЛЧУНОВ^{1,2}, В.С. МОСКОВЦЕВА¹, О.Б. БУШОВА², Д.И. ЖУКОВ²

¹Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия

²НИУ «Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ МОНОЛИТНЫХ КАРКАСОВ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ С ПЛОСКИМИ ПЕРЕКРЫТИЯМИ ОТ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ

Аннотация. В работе приведены новые конструктивные решения для защиты монолитных каркасов многоэтажных зданий с плоскими перекрытиями от прогрессирующего обрушения. При этом рассмотрено два варианта усиления приопорных зон - зон сопряжения плиты с колонной, обеспечивающие восприятие пиковых изгибающих моментов при внезапном изменении силовых потоков конструктивной системы, вызванном удалением одной из несущих колонн: 1-й вариант - усиление с применением металлических пластин-вставок, 2-й вариант – усиление с применением приопорных каркасов с наклонными арматурными стержнями. Численными исследованиями фрагмента рассматриваемого монолитного каркаса здания по первичной расчетной схеме на действие проектной нагрузки и по вторичной расчетной схеме на запроектное воздействие показана эффективность предложенных конструктивных решений усиления зон сопряжения плит плоских перекрытий с колоннами для защиты монолитных каркасов зданий от прогрессирующего обрушения. Установлено, что в рассмотренном численном примере расход стали при применении варианта армирования приопорной зоны каркасами с наклонными стержнями, при прочих равных условиях, снижается до 46%.

Ключевые слова: железобетон, многоэтажные здания, плоские перекрытия, прогрессирующее обрушение, расчетный анализ.

V.I. KOLCHUNOV^{1,2}, V.S. MOSKOVITSEVA¹, O.B. BUSHOVA², D.I. ZHUKOV²

¹South-Western State University", Kursk, Russia

²NRU "Moscow State University of Civil Engineering", Moscow, Russia

COMPUTATIONAL ANALYSIS OF METHODS FOR PROTECTING MONOLITHIC FRAMES OF MULTI-STOREY BUILDINGS WITH FLAT FLOORS FROM PROGRESSIVE COLLAPSE

Abstract. The paper presents new design solutions for the protection of monolithic frames of multi-storey buildings with flat floors from progressive collapse. At the same time, two variants of strengthening the support zones - the zones of coupling of the plate with the column, providing the perception of peak bending moments in the event of a sudden change in the force flows of the structural system caused by the removal of one of the supporting columns, are considered: the 1st variant-reinforcement with the use of metal insert plates, the 2nd variant - reinforcement with the use of support frames with inclined reinforcing rods. Numerical studies of a fragment of the considered monolithic frame of a building according to the primary design scheme for the effect of the design load and according to the secondary design scheme for the out-of-design impact show the effectiveness of the proposed design solutions for strengthening the interface zones of flat slabs with columns to protect the monolithic frames of buildings from progressive collapse. It is established that in the considered numerical example, the steel consumption when using the option of reinforcing the support zone with frames with inclined rods, other things being equal, is reduced to 46%.

Keywords: reinforced concrete, multi-storey buildings, flat floors, progressive collapse, computational analysis.

Введение

В последние два-три десятилетия проблема защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения активно обсуждается в отечественных и зарубежных научных публикациях. К настоящему времени в этом направлении проведено значительное количество исследований, среди которых, применительно к железобетонным каркасам многоэтажных зданий, можно отметить отечественные [1-9] и зарубежные работы [10-15]. По результатам этих и других исследований предложены различные способы защиты железобетонных каркасов зданий от прогрессирующего обрушения при особых воздействиях. В частности, известны предложения по увеличению сечений конструктивных элементов несущих каркасов зданий [1, 16], установке в ригелях непрерывного двойного верхнего и нижнего рабочего армирования, обеспечивающего восприятие усилий при внезапном изменении силовых потоков в элементах конструктивной системы [1, 16], усиление элементов железобетонных конструктивных систем путем установки косвенной арматуры и применение высокопрочного бетона [4, 12], установка в ригелях предварительно напряженной арматуры [5, 17] и другие. Однако все эти работы касались расчета и защиты конструктивных элементов по нормальным сечениям элементов, зоне действия максимальных изгибающих моментов. Исследования, связанные с обеспечением защиты железобетонных каркасов зданий от прогрессирующего обрушения по наклонным сечениям, для рассматриваемых конструктивных систем практически не проводились. В то же время, как показано в ряде исследований прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям [18, 19], разрушение конструкций ригелей и плит в зонах их сопряжения с колонной по наклонным сечениям может быть хрупким и, соответственно, более опасным при прогрессирующем обрушении. Тем более, что при традиционно применяемых схемах поперечного армирования, конструкции не могут воспринять измененные силовые потоки от особых воздействий, вызванных удалением из конструктивной системы одного из несущих элементов. В таких конструктивных системах, которые по характеру силового сопротивления являются системами с односторонними связями, при внезапном изменении силовых потоков и, соответственно, знаков моментов и поперечных не обеспечиваются защита от прогрессирующего обрушения.

В этой связи, целью настоящего исследования явилось построение расчетной модели, алгоритма физически и конструктивно нелинейного расчета и проведение расчетного анализа конструктивной системы железобетонных монолитных каркасов многоэтажных зданий с плоскими безбалочными перекрытиями с различными схемами поперечного и продольного армирования плит в зоне их сопряжения с колоннами при особых воздействиях и разработка на этой основе эффективных способов защиты таких каркасов от прогрессирующего обрушения.

Модели и методы

Для реализации поставленной цели были рассмотрены два варианта конструктивного решения зоны сопряжения плиты перекрытия колонной: вариант 1 – с использованием металлических пластин и вариант 2 – с использованием каркасов из гибкой арматуры с наклонными стержнями.

Конструктивное решение с использованием металлических пластин представляет собой скрытую металлическую капитель, состоящую из перекрестных стальных листов, размещаемых вертикально в двух ортогональных направлениях, с высотой капители равной толщине плиты безбалочного перекрытия (рисунок 1). Каждая металлическая пластина имеет предварительно выполненные отверстия под арматуру в нижней и верхней зонах.

Во втором варианте конструктивного решения в узлах сопряжения плитной железобетонной конструкции с колоннами применяются плоские каркасы из гибкой продольной и поперечной арматуры, поперечная арматура в которых выполнена в виде перекрестных наклонных стержней (рисунок 2). Каркасы с наклонными стержнями установлены во взаимно перпендикулярном направлении на четверти пролета в

межколонном пространстве вертикально на всю высоту сечения плиты безбалочного перекрытия. Арматурные каркасы внутри бетонного тела плиты, скомпонованные в ортогональную решетчатую структуру, обеспечивают совместную работу арматуры и бетона по всей высоте сечения. Такое техническое решение позволяет обеспечить восприятие изменяющихся в каркасе силовых потоков при особом воздействии, вызванном внезапным удалением одной из несущих колонн, и как следствие обеспечить повышение сопротивляемости каркаса прогрессирующему лавинообразному обрушению.

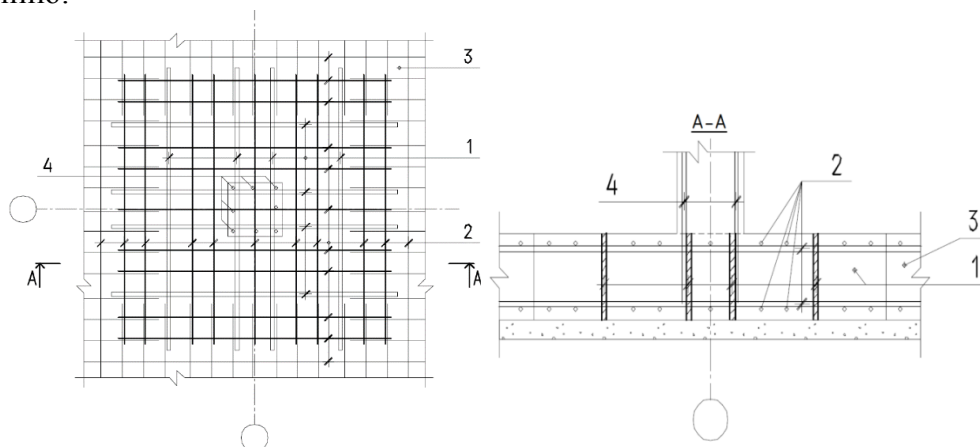


Рисунок 1 - Конструктивное решение безбалочного перекрытия с использованием металлических пластин: 1 – металлические пластины, 2 – ненапрягаемая и/или напрягаемая арматура, 3 – бетон, 4 – продольная арматура колонн

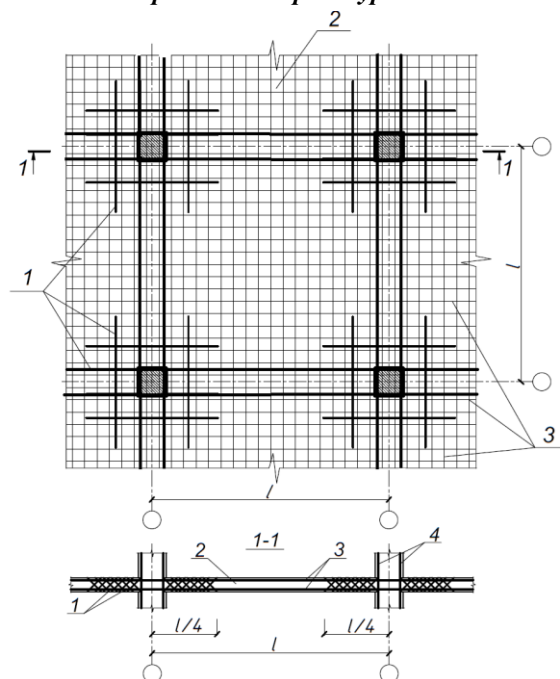


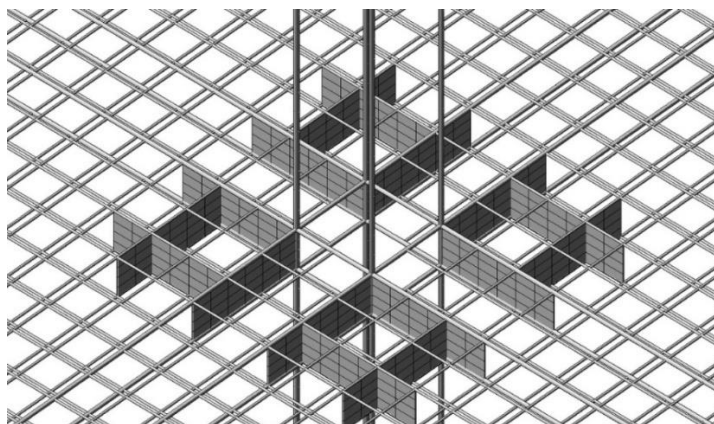
Рисунок 2 - Конструктивное решение безбалочного перекрытия с применением наклонных стержней: 1 – перекрестные наклонные стержни, 2 – бетон, 3 – стержневой арматурный каркас из напрягаемых и/или ненапрягаемых армирующих стержней, 4 – продольная арматура колонн

Расчетный анализ фрагмента безбалочного перекрытия, как подконструкции монолитного каркаса многоэтажного здания, с плоскими железобетонными плитами для названных вариантов конструктивного решения зоны сопряжения плитной железобетонной конструкции с колоннами, выполнен в программном комплексе ЛИРА-САПР.

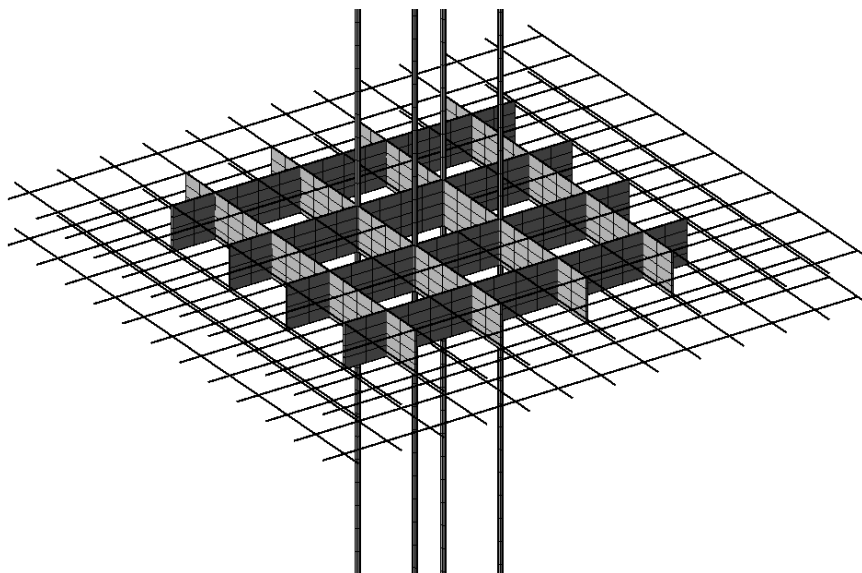
Рассматриваемый фрагмент плиты с колоннами в пределах одного этажа моделировался в программном комплексе ЛИРА-САПР при помощи объемных физически

нелинейных КЭ для плиты и колонны. Тело плиты было разбито на объемные КЭ размером $0.1 \times 0.1 \times 0.05$ м, тело колонн - на объемные КЭ размером $0.1 \times 0.1 \times 0.1$ м. Размеры стержневых конечных элементов армирования приняты 0.1 м. Арматура конструкции фрагмента моделировалась стержневыми конечными элементами. Узлы конечных элементов бетона и арматуры совпадали для обеспечения совместной работы.

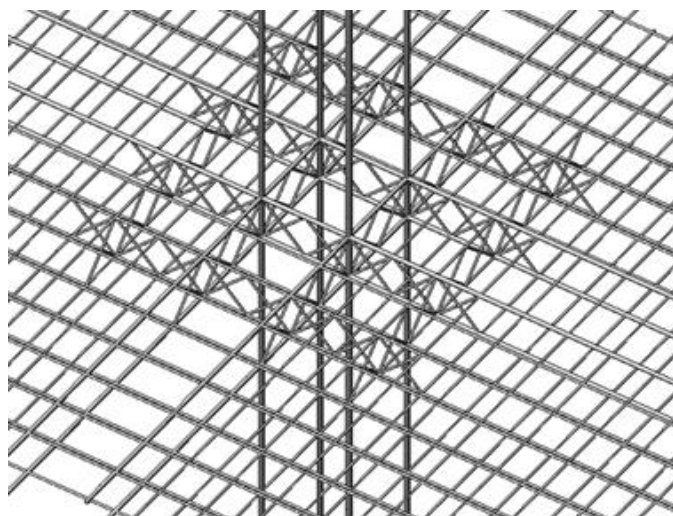
а)



б)



в)



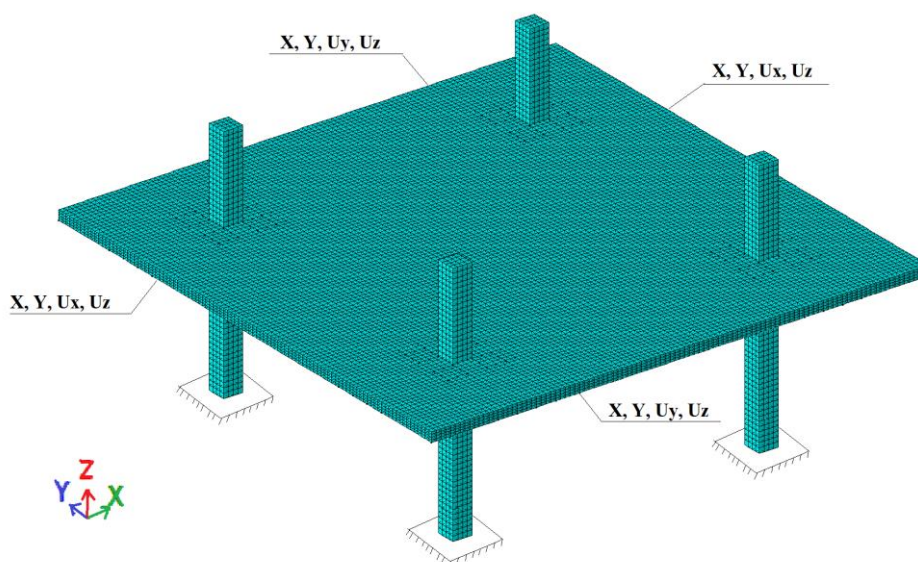
*Рисунок 3 - Модели рассматриваемых конструкций в программном комплексе ЛИРА-САПР:
а, б – с использованием металлических пластин;
в – с применением плоских каркасов с наклонными стержнями*

Расчетные характеристики материалов принимались в соответствии с СП 63.13330.2018 для бетона класса В30, армирование конструкции фрагмента выполнялось арматурой А500.

При расчете рассматриваемого фрагмента здания, выделенного из конструктивной системы, влияние отброшенных частей здания моделировалось соответствующими граничными условиями. В частности, ограничивались горизонтальные перемещения верха колонн, горизонтальные и вертикальные перемещения низа колонн. Также вводились соответствующие ограничения на перемещения и углы поворота контура плит (см. рисунок 4).

Размеры фрагментов в плане, исходя из рекомендованных нормами [20] размеров зоны возможного локального разрушения рассматриваемого каркаса здания, были приняты 12х12м, с шагом сетки колонн 6х6 м. При моделировании конструктивного решения узлов перекрытия по первому варианту сопряжения колонны с плитой металлические пластины задавались размером 1600х200 мм, толщиной 8 мм, размещаемые на всю высоту сечения, при двух типах конструктивного исполнения: с разрывом пластин по длине (рисунок 3,а) и без разрыва (рисунок 3,б). В первом случае неразрывность армирования обеспечивалась установкой по контуру пластин гибких стержней.

а)



б)

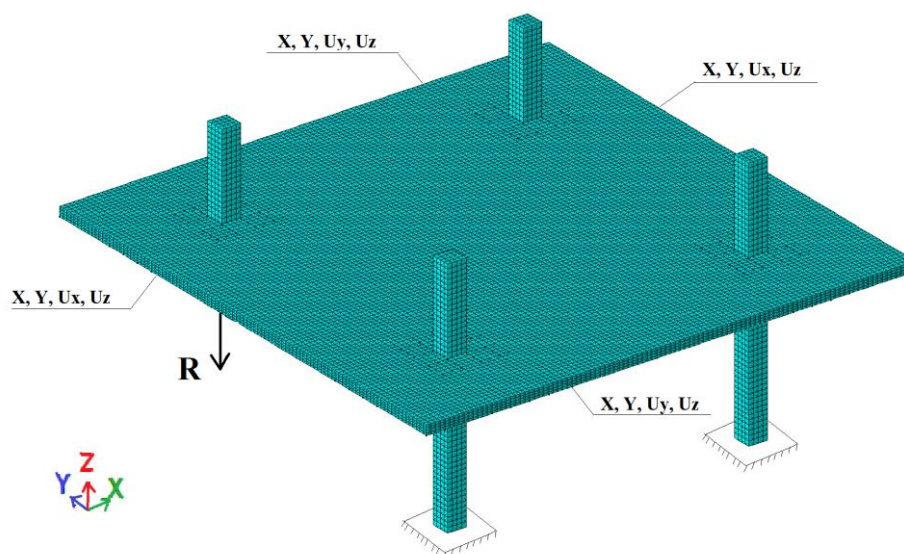


Рисунок 4 - Расчетные схемы фрагмента каркаса здания: а – первичная; б – вторичная

Во втором варианте конструктивного решения узла были запроектированы плоские каркасы с продольной верхней и нижней арматурой из стержней диаметром 18 мм класса А500 и наклонными стержнями диаметром 10 мм того же класса (рисунок 3,в). В обоих вариантах класс бетона принят В30.

Были построены два варианта расчетных схем: *первичная* расчетная схема, моделирующая рассматриваемый фрагмент на действие заданной проектной равномерно распределенной нагрузки 9 кН/м^2 (рисунок 4,а), и *вторичная* расчетная схема на действие заданной проектной равномерно распределенной нагрузки 9 кН/м^2 и особое воздействие - в виде внезапного удаления из конструктивной системы фрагмента одной из колонн (рисунок 4,б).

При этом рассматриваемое особое воздействие учитывалось приложением в зоне удаления колонны ее реакции с обратным знаком, полученной из предварительного расчета всего каркаса здания по первичной расчетной схеме.

Результаты исследования и их анализ

Анализ полученных результатов расчета фрагмента железобетонного каркаса монолитного многоэтажного здания с обозначенными вариантами конструктивных решений по первичной и вторичной расчетным схемам позволяет отметить следующее:

Общая качественная картина вертикальных перемещений (прогибов) монолитной плиты для варианта усиления узла каркасами с наклонными стержнями показана на рисунке 5. Такая же картина была получена и при расчете варианта усиления приопорной зоны металлическими пластинами. Количественное значение перемещений плиты для рассмотренных вариантов конструкций сопряжения плиты с колонной также были близки между собой (см. таблицу 1). Максимальное перемещение плиты при действии равномерно распределенной нагрузки (данный расчет по первичной расчетной схеме) для конструкций узла с пластинами составили 4,17 мм, а для конструкций с гибкими стержнями – 4,22 мм. При расчете по вторичной расчетной схеме – после удаления одной из колонн максимальные перемещения под удаленной колонны для конструкций узла с пластинами составили 18,6 мм, а для конструкций с гибкими стержнями – 15,7 мм.

Сопоставление деформаций продольной арматуры для варианта усиления каркасами с наклонными стержнями по первичной и вторичной расчетным схемам (рисунок 6) показало, что после удаления одной из колонн эти деформации (равно как и напряжения) несколько (на 12%) превышают предельно допустимые, нормируемые [20]. Следовательно, исходя из критериев по деформации, площадь гибких арматурных стержней для выполнения этого условия должна быть увеличена на один диаметр, или при сохранении диаметра принятых арматурных каркасов 18 мм, должна быть увеличена на один диаметр фоновая арматура плиты с 10 мм до 12 мм.

Из этого следует, что рассматриваемое конструктивное решение в узлах практически эквивалентно как при расчете на заданную проектную нагрузку, так и при расчете на рассматриваемое особое воздействие.

Сопоставление расхода стали для рассмотренных двух вариантах конструктивного решения приопорных зон показало, что, при одинаковой толщине плиты и практически одинаковых параметров полученных перемещений и предельных деформаций, применение предложенного варианта с гибкой арматурой позволяет снизить расход стали до 46%. Кроме того, трудоемкость выполнения варианта конструктивного решения узла с гибкой арматурой также заметно меньше, поскольку при монтаже арматурных каркасов не требуется заведение продольных стержней, пересекающих пластины, в специально устраиваемые для этого отверстия, соответственно в этом варианте сокращается количество монтажных операций.

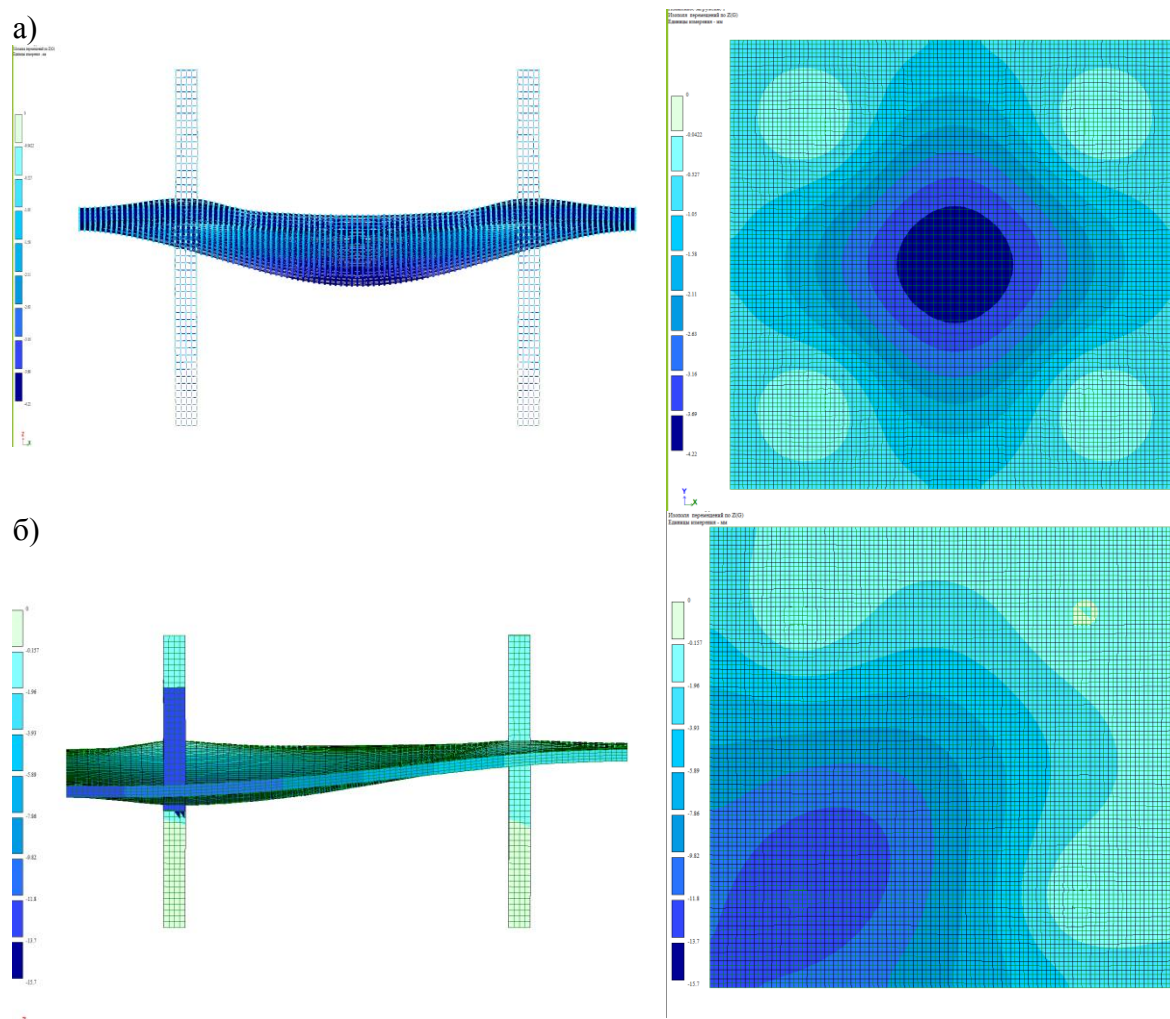


Рисунок 5 - Мозаика перемещений в рассматриваемых конструкциях с применением наклонных стержней: а – из расчета по первичной расчетной схеме; б – по вторичной расчетной схеме

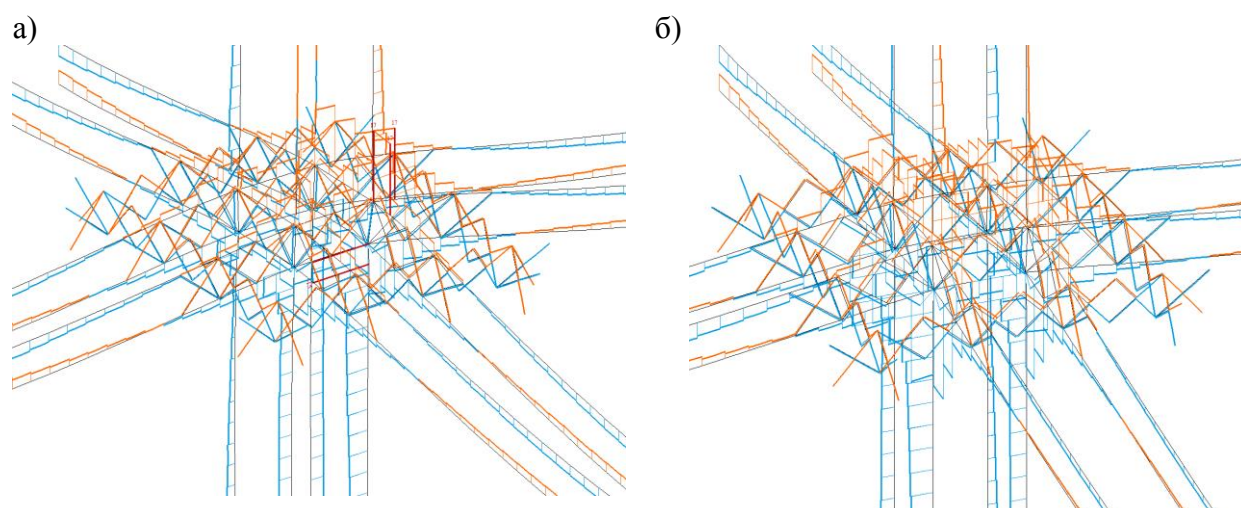


Рисунок 6 - Распределение усилия N в арматурных стержнях в конструкции с применением наклонных стержней: а – по первичной схеме расчета; б – по вторичной схеме расчета

Таблица 1 - Сопоставление параметров напряженно-деформированного состояния плоских перекрытий при различных вариантах конструктивного решения зон сопряжения плиты с колонной

Параметр	Первичная схема		Вторичная схема	
	Усиление металлическими пластинами	Усиление каркасами с наклонными стержнями	Усиление металлическими пластинами	Усиление каркасами с наклонными стержнями
Перемещения Z , мм	4,17 (1/1440)	4,22 (1/1420)	18,6 (1/320)	15,7 (1/380)
Напряжения в арматуре (max)	194	216	374	571
Деформации арматуры ε_s	0.0097	0.0108	0.0187	0.028

Выводы

1. Предложено новое конструктивное решение узла сопряжения плитных железобетонных конструкций и вертикальных конструкций колонн, позволяющее в опорной части выровнять пиковые значения изгибающих моментов, действующих в зоне сопряжения плиты с колонной.

2. Проведенный с использованием предложенного алгоритма расчетный анализ вариантов защиты монолитных каркасов многоэтажных зданий с плоскими перекрытиями от прогрессирующего обрушения при двух вариантах конструктивного исполнения узла сопряжения плиты с колонной показал, что вариант защиты с усилением приопорной зоны с помощью гибкой арматуры более эффективен по сравнению с вариантом защиты с применением жесткой арматуры для усиления приопорной зоны. Расход стали на конструкцию усиления узла в первом варианте может быть снижен до 46%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алмазов В.О., Као Зуй Кхой. Динамика прогрессирующего разрушения монолитных многоэтажных каркасов. М.: ACB, 2013. 128 с.
2. S.Yu. Fialko, O.V. Kabantsev, A.V. Perelmuter Elasto-plastic progressive collapse analysis based on the integration of the equations of motion // Magazine of Civil Engineering. 2021. 102(2). Article No. 10214.
3. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Чесноков Д.А. Защита многоэтажных зданий от прогрессирующего обрушения // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 6. С.8–13.
4. Федорова Н. В., Фан Динь Гуок, Нгуен Тхи Чанг. Экспериментальные исследования живучести железобетонных рам с ригелями, усиленными косвенным армированием // Строительство и реконструкция. 2020. № 1. С. 92-100.
5. Ильющенко Т.А., Колчунов В.И., Федоров С.С. Трещиностойкость преднапряженных железобетонных рамно-стержневых конструкций при особых воздействиях // Строительство и реконструкция. 2021. (1).С. 74-84.
6. Федорова Н.В., Кореньков П.А., Ву Н.Т. Методика экспериментальных исследований деформирования монолитных железобетонных каркасов зданий при аварийных воздействиях // Строительство и реконструкция. 2018. Т. 4. № 78. С.42–52.
7. Кодыш Э.Н. Проектирование защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения с учетом возникновения особого предельного состояния // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 10. С. 95–101.
8. Kolcunov V.I., Tuyen V.N., Korenkov P.A. Deformation and failure of a monolithic reinforced concrete frame under accidental actions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. T. 753. C.032037.
9. Fedorova N.V., Ngoc V.T. Deformation and failure of monolithic reinforced concrete frames under special actions // Journal of Physics: Conference Series. 2019. T. 1425. C.012033.
10. Adam J.M., Parisi F., Sagaseta J., Lu X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century // Engineering Structures. 2018. T. 173. C.122–149.
11. Yu J., Tan K.H. Experimental and numerical investigation on progressive collapse resistance of reinforced concrete beam column sub-assemblages // Engineering Structures. 2013. T. 55. C.90–106.

12. Deng X.-F., Liang S.-L., Fu F., Qian K. Effects of high-strength concrete on progressive collapse resistance of reinforced concrete frame // *Journal of Structural Engineering*. 2020. Vol. 146. Issue 6. P. 04020078. DOI: 10.1061/(asce)st.1943-541x. 0002628
13. Xuan W., Wang L., Liu C., Xing G., Zhang L., Chen H. Experimental and theoretical investigations on progressive collapse resistance of the concrete-filled square steel tubular column and steel beam frame under the middle column failure scenario // *Shock and Vibration*. 2019. Vol. 2019. Pp. 1–12. DOI: 10.1155/2019/2354931
14. Alogla K., Weekes L., Augustus-Nelson L. Theoretical assessment of progressive collapse capacity of reinforced concrete structures // *Magazine of Concrete Research*. 2017. T. 69. № 3. С.145–162.
15. Shan S. et al. Experimental study on the progressive collapse performance of RC frames with infill walls // *Eng. Struct.* 2016. Vol. 111. Pp. 80–92.
16. Бу Нгок Туен Исследование живучести железобетонной конструктивно нелинейной рамно-стержневой системы каркаса многоэтажного здания в динамической постановке // *Строительство и реконструкция*. 2020. Т. 90. № 4. С.73–84.
17. Федорова Н. В., Халина Т.А. Исследование динамических догрузений в железобетонных конструктивных системах при внезапных структурных перестройках // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 8. С. 32-36.
18. Бондаренко В.М. Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: АСВ, 2004. 472 с.
19. Бондаренко В.М., Ключева Н.В. К расчёту сооружений, меняющих расчетную схему в следствии коррозионных изменений // *Известия вузов*. 2008. №1. С.4-12.
20. СП 385. 1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения.

REFERENCES

1. Almazov V.O., Kao Zui Khoi. Dynamics of progressive destruction of monolithic multi-storey frames. Moscow: DIA, 2013. 128 p.
2. S.Yu. Fialkoa, O.V. Kabantsevb, A.V. Perelmuter Elasto-plastic progressive collapse analysis based on the integration of the equations of motion // *Magazine of Civil Engineering*. 2021. 102(2). Article No. 10214
3. Kodysh E.N., Trekin N.N., Chesnokov D.A. Protection of multi-storey buildings from progressive collapse // *Industrial and civil construction*. 2016. No. 6. P. 8-13.
4. Fedorova N.V., Fan Dinh Guok, Nguyen Thi Chang. Experimental studies of the survivability of reinforced concrete frames with crossbars reinforced with indirect reinforcement // *Construction and reconstruction*. 2020. No. 1. Pp. 92-100.
5. Ilyushchenko T.A., Kolchunov V.I., Fedorov S.S. Crack resistance of prestressed reinforced concrete frame-rod structures under special influences. *Construction and reconstruction*. 2021. (1). P. 74-84.
6. Fedorova N.In., Koren'kov P.A., Wu N.T. Methods of experimental studies of the deformation of monolithic reinforced concrete frame of a building during emergency effects // *Construction and reconstruction of the* 2018. Vol. 4. No. 78. Pp. 42–52.
7. Kodish E.N. The protection design of buildings and structures against progressive collapse, given the emergence of limit state // *Industrial and civil construction*. 2018. No. 10. Pp. 95-101.
8. Kolcunov V.I., Tuyen N.V., Korenkov P. A. Deformation and failure of a monolithic reinforced concrete frame under accidental actions // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. T. 753. S. 032037.
9. Fedorova N.V., Ngoc T.V. Deformation and failure of monolithic reinforced concrete frames under special actions // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. T. 1425. P. 012033.
10. Adam J.M., Parisi F., Sagaseta, J., Lu X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century // *Engineering Structures*. 2018. Vol. 173. S. 122–149.
11. Yu J., Tan K.H. Experimental and numerical investigation on progressive collapse resistance of reinforced concrete beam column sub-assemblages // *Engineering Structures*. 2013. T. 55. Pp. 90–106.
12. Deng X.-F., Liang S.-L., Fu F., Qian K. Effects of high-strength concrete on progressive collapse resistance of reinforced concrete frame // *Journal of Structural Engineering*. 2020. Vol. 146. Issue 6. P. 04020078. DOI: 10.1061/(asce)st.1943-541x. 0002628
13. Xuan W., Wang L., Liu C., Xing G., Zhang L., Chen H. Experimental and theoretical investigations on progressive collapse resistance of the concrete-filled square steel tubular column and steel beam frame under the middle column failure scenario // *Shock and Vibration*. 2019. Vol. 2019. Pp. 1–12. DOI: 10.1155/2019/2354931
14. Alogla K., Weekes L., Augustus-Nelson L. Theoretical assessment of progressive collapse capacity of reinforced concrete structures // *Magazine of Concrete Research*. 2017. Vol. 69 No. 3. Pp. 145-162.
15. Shan S. et al. Experimental study on the progressive collapse performance of RC frames with infill walls // *Eng. Struct.* 2016. Vol. 111. Pp. 80–92.

16. Wu Ngoc Tuen. Study of the survivability of a structurally nonlinear reinforced concrete frame-rod system of a multi-storey building frame in a dynamic formulation // Construction and reconstruction. 2020. Vol. 90. No 4. Pp. 73-84.
17. Fedorova N.V., Khalina T.A. Investigation of dynamic reloading in reinforced concrete structural systems during sudden structural rearrangements // Industrial and civil construction. 2017. No. 8. Pp. 32-36.
18. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Computational models of the force resistance of reinforced concrete. M.: DIA, 2004. 472 p.
19. Bondarenko V.M., Klyueva N.V. On the calculation of structures that change the design scheme as a result of corrosion changes // Izvestiya vuzov. 2008. No. 1. P. 4-12.
20. SP 385. 1325800.2018 Protection of buildings and structures from progressive collapse.

Информация об авторах:

Колчунов Виталий Иванович

Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ), г. Курск, Россия,
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
академик РААСН, профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой уникальных зданий и сооружений ЮЗГУ, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ.
E-mail: asiorel@mail.ru

Московцева Виолетта Сергеевна

Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ), г. Курск, Россия,
аспирант кафедры уникальных зданий и сооружений ЮЗГУ.
E-mail: lyavetka1@mail.ru

Бушова Олеся Борисовна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ.
E-mail: bushova96@mail.ru

Жуков Дмитрий Игоревич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ.
E-mail: izhukovdmitry@mail.ru

Information about authors:

Kolchunov Vitaly I.

Southwest State University (SWSU), Kursk, Russia,
National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MSUCE), Moscow, Russia,
academician of RAASN, professor, Dr. sciences, head. Department of Unique Buildings and Structures of South-Western State University, professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, NRU MGSU.
E-mail: asiorel@mail.ru

Moskovtseva Violetta S.

Southwest State University (SWSU), Kursk, Russia,
Post-graduate student of the Department of Unique Buildings and Structures of South-Western State University,
E-mail: lyavetka1@mail.ru

Bushova Olesya B.

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MSUCE), Moscow, Russia,
Postgraduate student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, NRU MSUCE.
E-mail: bushova96@mail.ru

Zhukov Dmitry I.

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MSUCE), Moscow, Russia,
Postgraduate student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, NRU MSUCE.
E-mail: izhukovdmitry@mail.ru