

УДК: 624.078.414
DOI: 10.52409/20731523_2023_3_135
EDN: JNOUXR



Конструктивное решение стыка колонн с перекрытием в сборно-монолитном каркасе для повышения сопротивляемости прогрессирующему разрушению

Ю.В. Миронова¹, А.М. Сулейманов¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Главной проблемой обеспечения сопротивляемости сборного железобетона прогрессирующему обрушению является необходимость модернизации типовых конструктивных решений стыков, как наиболее уязвимых элементов каркасных и бескаркасных зданий. В нормативных документах приводятся рекомендации в основном для монолитных каркасов зданий и сооружений, вопрос для сборного железобетона изучен недостаточно. *Цель работы* заключается в определении особенностей напряженно-деформированного состояния сборно-монолитного каркаса и модернизации конструктивного решения стыка колонны с перекрытием на основании результатов численного моделирования. *Задачами исследования* являются выявление наиболее опасной схемы прогрессирующего обрушения каркаса многоэтажного здания, определение особенностей работы сборно-монолитного стыка колонны при критичной схеме разрушения, разработка и численное моделирование конструктивного решения стыка. *Результаты.* В работе представлены результаты численных исследований сборно-монолитного каркаса при прогрессирующем обрушении, результаты моделирования и принятое конструктивное решение стыка, повышающее сопротивляемость каркаса лавинообразному разрушению.

Выводы. Значимость полученных результатов для сборно-монолитного строительства заключается в получении новых данных о работе элементов каркаса и разработке рекомендаций по модернизации стыка.

Ключевые слова: многоэтажные здания, сборно-монолитный железобетонный каркас, прогрессирующее разрушение, стык колонны с перекрытием, напряженно-деформированное состояние.

Для цитирования: Миронова Ю.В., Сулейманов А.М. Конструктивное решение стыка колонн с перекрытием в сборно-монолитном каркасе для повышения сопротивляемости прогрессирующему разрушению // Известия КГАСУ, 2023, № 3(65), с.135-144, DOI: 10.52409/20731523_2023_3_135, EDN: JNOUXR

Constructive solution of the joint of columns with the floor slab in a prefabricated-monolithic frame to increase resistance to progressive collapse

J.V. Mironova¹, A.M. Suleymanov¹

¹ Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

Abstract: *Problem statement.* The main problem of ensuring the resistance of precast concrete to progressive collapse is the need to modernize standard structural solutions of joints, as the most vulnerable elements of frame and frameless buildings. The regulatory documents provide recommendations mainly for monolithic frames of buildings and structures, the issue for precast reinforced concrete has not been studied enough. *The purpose of the work* is to determine the

features of the stress-strain state of the prefabricated monolithic frame and the modernization of the structural solution of the joint of the column with the overlap based on the results of numerical modeling. *The objectives of the study* are: to identify the most dangerous scheme of progressive collapse of the frame of a multi-storey building, to determine the features of the work of a prefabricated monolithic joint of a column with a critical destruction scheme, to develop and numerically simulate a constructive solution of the joint. *Results*. The paper presents the results of numerical studies of a prefabricated monolithic frame with progressive collapse, the results of modeling and the adopted design solution of the joint, which increases the resistance of the frame to avalanche-like destruction.

Conclusions. The significance of the results obtained for prefabricated monolithic construction consists in obtaining new data on the performance of the frame elements and developing recommendations for the modernization of the joint.

Keywords: multi-storied buildings, prefabricated-monolithic reinforced concrete frame, progressive collapse, joint of a column with a floor slab, stress-strain state

For citation: Mironova J.V., Suleymanov A.M. Constructive solution of the joint of columns with the floor slab in a prefabricated-monolithic frame to increase resistance to progressive collapse // News KSUAE, 2023, № 3(65), p.135-144, DOI: 10.52409/20731523_2023_3_135, EDN: JNOUXR

1. Введение

В последние годы особенно актуальной становится задача обеспечения безопасности зданий и сооружений [1-4]. Аварийные воздействия различного характера на объекты капитального строительства приводят к значительным экономическим потерям и человеческим жертвам. Разрушение может произойти по техногенным (силовым, несилowym), природным (сейсмическим, геологическим, стихийным) и чрезвычайным (взрывы бытового газа, пожары, аварии, наезды техники) причинам. Кроме того, существует вероятность локального разрушения, связанная с ошибками проектирования: нарушение норм, некачественное возведение или неправильная эксплуатация, дефекты материалов и конструкций и т.п. Использование монолитного железобетона для жилых и общественных зданий обусловлено рядом преимуществ, однако сборный и сборно-монолитный железобетон остаются востребованы в силу определённых причин и технических соображений: быстровозводимость, экономичность, применение унифицированных решений. Тем не менее, типовые решения не всегда могут обеспечить соблюдение современных требований по безопасности зданий. В этой связи вопрос повышения сопротивляемости каркасных и бескаркасных несущих систем прогрессирующему обрушению становится первостепенным при их проектировании и возведении. В действующих нормативных документах приводятся рекомендации по прямым и косвенным способам защиты зданий и сооружений от лавинообразного разрушения, однако, в отношении сборно-монолитных несущих систем вопрос недостаточно изучен – большая часть рекомендаций предназначена для монолитных каркасов, для которых с технологической точки зрения проще реализовать эти защитные мероприятия. Для предотвращения прогрессирующего обрушения необходимо блокировать первоначальные локальные разрушения элементов несущей системы и ограничить их распространение на другие участки. При этом следует обеспечить перераспределение напряжений с разрушенных конструкций на смежные элементы каркаса, способные воспринять эти напряжения [5, 6]. Основным способом осуществления этой задачи является повышение жесткости и степени неразрезности конструктивной системы, а главную роль в любых типах каркасов выполняют соединения несущих конструкций между собой, в частности стыки колонн и перекрытий, испытывающие сложное напряженное состояние [7].

Так как соединение сборных элементов между собой (сварка и анкеровка закладных деталей, бессварные связи, замоноличивание скважин и стыков бетоном и др.) является слабым местом сборного железобетона, как с точки зрения технологических решений, так и с точки зрения работы конструкций, то требуется модернизация конструктивных решений несущих элементов и стыков с целью повышения

сопротивляемости прогрессирующему обрушению в части армирования и способов создания непрерывности [8 – 11]. Задача по выбору оптимальных решений стыков, воспринимающих вертикальные и горизонтальные сверхнормативные или противоположные по знаку нагрузки, является актуальной [12, 13, 14]. В связи с попытками возрождения строительства из сборного железобетона разрабатываются и модернизируются существующие решения. Помимо несущей способности и деформативности основных несущих конструкций особое внимание оказывается узлам их соединения, которые должны быть просты в монтаже, обладать прочностью, долговечностью и пригодностью к нормальной эксплуатации. Совокупность этих составляющих позволит повысить сопротивляемость зданий из сборного железобетона прогрессирующему разрушению [15, 16, 17].

Работы по исследованию механизмов разрушения многоэтажных зданий при аварийных воздействиях [17, 18] доказали, что в несущих системах вследствие перераспределения усилий, их значения многократно превышают начальные, меняются характер и схемы работы конструкций и узлов. На схему перехода локального разрушения в глобальное оказывает влияние вид аварийного воздействия [12 – 14], что определяет направление модернизации элементов и узлов монолитных, сборных и сборно-монолитных зданий [6, 15 – 17]. В зависимости от расположения центра жесткости здания и местоположения удаляемой колонны, в ней, в смежных или в удаленных от нее колоннах могут возникать растягивающие усилия с большими и чрезмерными значениями [17]. Вследствие этого, сечения арматуры, запроектированного на сжимающие усилия становится недостаточно для восприятия противоположных по знаку усилий, напряжения находятся за пределом пластической работы стали, происходит вырыв арматуры из тела колонн, нарушается целостность сварных швов все это приводит к локальному разрушению и запускается процесс прогрессирующего обрушения.

При проектировании сборных и сборно-монолитных каркасов с учетом сопротивляемости прогрессирующему обрушению анализ изменения напряженно-деформированного состояния необходимо выполнять для всех элементов каркаса, а не только для элементов зоны локального воздействия и в соответствии с данными этого анализа закладывать соответствующие мероприятия во всей несущей системе. Что касается сборно-монолитных железобетонных каркасов, эту задачу необходимо решать с учетом типизации и унификации узлов и элементов

Представителями сборно-монолитных каркасов являются безригельные каркасы по системам «УИКСС» и «КУБ», запроектированных с жестким сопряжением плит перекрытий и колонн и шарнирным соединением плит между собой горизонтальными шпонками и выпусками арматуры [19, 20]. Соединение колонн между собой и с надколонной плитой осуществляется за счет сварки выпусков арматуры колонн и закладных деталей плиты, затем стык замоноличивается, образуется шпонка, данное решение обеспечивает работу стыка на продольные сжимающие силы, поперечные силы и изгибающие моменты, однако при прогрессирующем обрушении первостепенное значение в колонне имеет продольная сила. Конструктивное решение стыка должно предотвращать нарушение сварного шва между уголками плиты и закладной деталью колонны, нарушение ее анкеровки, скол бетона. Этого можно достичь применением в стыках колонн решений, аналогичных штепсельным соединениям [18, 19]. В работе [17] предложено конструктивное решение штепсельного стыка колонн сборного железобетонного каркаса с использованием закладной детали в виде гофрированной трубы и установки арматурных стержней для восприятия дополнительных усилий, именно это решение можно рассмотреть для обеспечения работы стыка на растяжение при прогрессирующем обрушении. В соответствии с рекомендациями СП «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения» предлагается в стыке установить дополнительные связи между колонной и плитой перекрытия, представленные гнутыми арматурными стержнями, предусмотренными в плите и замоноличиваемым в скважину колонны при монтаже стыка, по аналогии со штепсельным соединением. Исследования штепсельных стыков приведены в работах [17, 18], испытаны соединения продольной арматуры сборных элементов с помощью муфт различных типов, даны решения по

установке в металлических трубах арматуры с заполнением полимерраствором, все эти предложения оказались малоэффективными вследствие разрушения от сдвига арматуры по контакту с раствором. Исследования [19, 21] были посвящены работе на вырыв из тела колонны арматуры при горизонтальных нагрузках, предложено спиральное обрамление арматуры, при разрушении арматурный стержень вместе с оболочкой плавно вышел из скважины, определены сопротивление стыка при выдергивании и среднее значение прочности анкеровки для типового и предложенного решений, предложено изменить форму скважины преобразованием в многошпоночное соединение или установить дополнительные анкерующие элементы.

Исходя из вышесказанного оптимальным и менее трудоемким вариантом модернизации типового конструктивного решения стыка представляется установка дополнительных арматурных связей между плитой и колонной по аналогии со штепсельным стыком, связи включаются в работу при возникновении растягивающих усилий, обеспечивая непрерывность системы. Целью исследования является определение напряженно-деформированного состояния предложенного конструктивного решения и разработка рекомендаций по проектированию.

Задачами исследования являются:

- получение данных о напряженно-деформированном состоянии сборно-монолитного каркаса при различных схемах разрушения и выявление наиболее опасных узлов;
- разработка конструктивного решения стыка колонн с надколонной плитой, повышающего сопротивляемость каркаса прогрессирующему обрушению;
- получение данных об особенностях работы усовершенствованного стыка с помощью численного моделирования и варьирования исходных данных.

2. Материалы и методы

Повышения сопротивляемости сборно-монолитного железобетонного каркаса прогрессирующему разрушению можно добиться усовершенствованием конструктивного решения стыка колонны с надколонной плитой перекрытия, в котором предусмотрены гибкие арматурные связи, устанавливаемые в скважины колонны с последующим их инъецированием мелкозернистым бетоном по аналогии со штепсельным стыком (рис.1). В качестве гибких связей может быть использована стальная стержневая арматура или канаты небольшого диаметра. Связи заанкерены в плиту на стадии изготовления. Конструктивное решение должно обеспечить работу стыка на вероятные растягивающие усилия при прогрессирующем обрушении, создавая локальную неразрывность связи колонны с перекрытием.

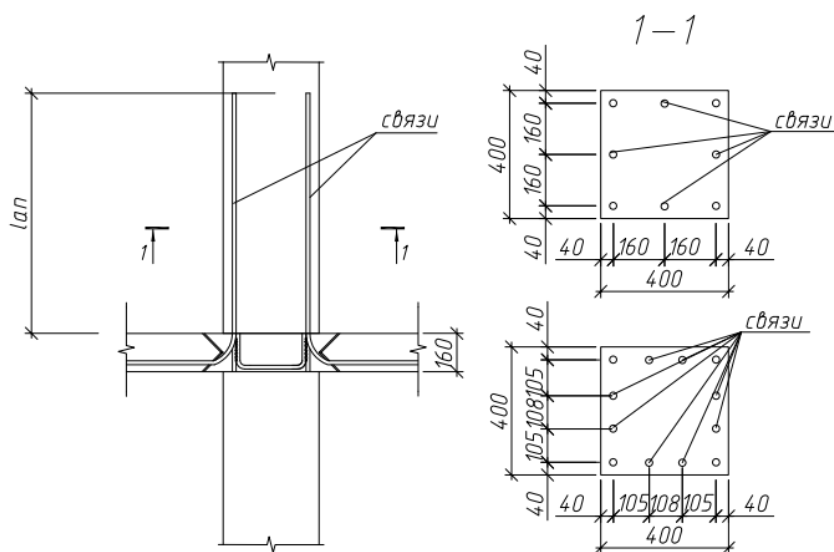


Рис.1 Конструктивное решение стыка с дополнительными связями
(иллюстрация автора)

Fig. 1. Constructive solution of the joint with additional connections
(illustration by the author)

На начальном этапе для анализа изменения напряженно-деформированного состояния несущих элементов и определения максимальных усилий выполнен расчет пространственной модели каркаса для стадии нормальной эксплуатации и стадии аварийных воздействий в ПК ЛИРА. Рассмотрена модель жилого 25-этажного сборно-монолитного здания, район строительства – г. Казань. Здание Г-образное в плане, размером 27,0 x 18,0 м в осях, высота этажа 3 м. Колонны сечением 400 x 400 мм, толщина плит перекрытия 160 мм, лестничная клетка 3,0 x 6,0 м. Бетон несущих конструкций тяжелый класса В25, стык между смежными плитами замоноличивается мелкозернистым бетоном класса В25. Арматура класса А500. Прогрессирующее обрушение моделировалось удалением крайних, средних и угловых колонн в соответствии с рекомендациями нормативных документов.

Предлагаемый стык был численно смоделирован методом конечных элементов, варьировались диаметры арматурного стержня, класс арматуры, количество связей, определен характер разрушения стыка и его напряженно-деформированное состояние. Численное моделирование и многофакторные эксперименты проведены в программном комплексе ANSYS. Физическая нелинейность бетона и арматуры с учтена применением теорий Bilinear Isotropic Hardening и Menetrey-Willam Base, бетон описан как упругопластический анизотропный материал как до, так и после образования макротрещин в бетоне. Рассмотрена модель угловой колонны геометрия модели была построена в SpaceClaim и экспортирована в ANSYS Workbench 2020. Плита размерами 1890 x 1890 мм, толщиной 160 мм. Колонны с размерами 400 x 400 мм, высотой 3000 мм. Задача рассмотрена в нелинейной постановке. Коэффициент трения между бетоном колонны и оболочкой скважины принят равным 0,6. Бетонная оболочка и арматура работали совместно. Варьировались диаметры арматурных связей 14, 18, 22 мм. Глубина заделки арматуры в колонну принята 1000 мм.

Верификация численной модели выполнена на результатах натурального эксперимента, смоделирован стык колонн, который подвергся испытаниям на растяжение [19], однако в данном эксперименте не учитывалось влияние плиты перекрытия. Анализ работы модели показал, что характер разрушения соответствует данным физического эксперимента, деформации по оси z линейные, усилие, при котором арматурный стержень вместе с оболочкой выходит из скважины отличается от исходного на 5%, данное расхождение допустимо. Таким образом, принципы численного моделирования применимы для дальнейших экспериментов и адекватно отражают действительную работу. Исходя из вышесказанного принято смоделировать сборно-монолитный стык колонны и перекрытия со связями по аналогии со штепсельным стыком.

3. Результаты и обсуждение

В результате расчета каркаса здания в линейной постановке и при аварийном воздействии по нескольким схемам получены данные по усилиям и перемещениям, которые приняты для дальнейшего численного моделирования стыка. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Максимальные значения усилий в элементах при различных схемах работы

Схема	Растяжение в пластинах		Сжатие в пластинах		Сжатие в стержнях	Растяжение в стержнях	Перемещения		
	Mx, т*м	Mу, т*м	Mx, т*м	Mу, т*м	N, т	N, т	Z, мм	X, мм	Y, мм
До удаления	6,65	5,86	22,9	22,5	512	-	40,8	47,3	147
Удаление угловой колонны	13,5	14,6	23,8	23	551	120,63	50	14,4	115
Удаление крайней колонны	13,3	12,3	23,3	23,2	583	-	55,9	44,1	170
Удаление средней колонны	9,49	10,6	22,8	22,4	526	-	41,8	50,3	150

Установлено, что растягивающие усилия в пластинах в 1,4 – 2,5 раза превышают усилия при нормальных условиях эксплуатации, сжимающие усилия в пластинах и усилия в колоннах увеличились незначительно, но при удалении угловой колонны, ввиду смещения центра жесткости каркаса, усилия в некоторых колоннах меняли знак, стержни воспринимают растягивающие напряжения. Таким образом, можно сделать вывод, что в зависимости от жесткостных характеристик каркаса в целом и от схемы разрушения могут быть выявлены наиболее опасные элементы с точки зрения прогрессирующего обрушения. Однако, основная часть колонн способна воспринять дополнительные напряжения, полученные вследствие перераспределения усилий, что объясняется работой железобетона на сжатие. Аналогичные данные об НДС были получены и в работах [11, 12, 14], что подтверждает необходимость разработки мероприятий по повышению сопротивляемости прогрессирующему обрушению.

Повышение сопротивляемости сборно-монолитного каркаса прогрессирующему обрушению возможно при доработке типового проектного решения стыка, допускающего возможность его работы на растяжение и обеспечивающего непрерывность связи колонны с надколонной плитой. Исходя из полученных результатов оптимальным решением является использование в качестве закладной детали гнутого арматурного стержня, заанкеренного в плиту и устанавливаемого в скважины колонны с последующим замоноличиванием. Диаметр и количество арматурных стержней нужно подбирать исходя из возможных максимальных сжимающих и растягивающих усилий. Преимуществом такого решения является минимальный расход арматуры, по сравнению с установкой дополнительных стержней по всей высоте колонны. Учитывая вышесказанное, предложено решение для сборного элемента колонны с возможностью размещения в расчетном сечении четырех или восьми дополнительных связей.

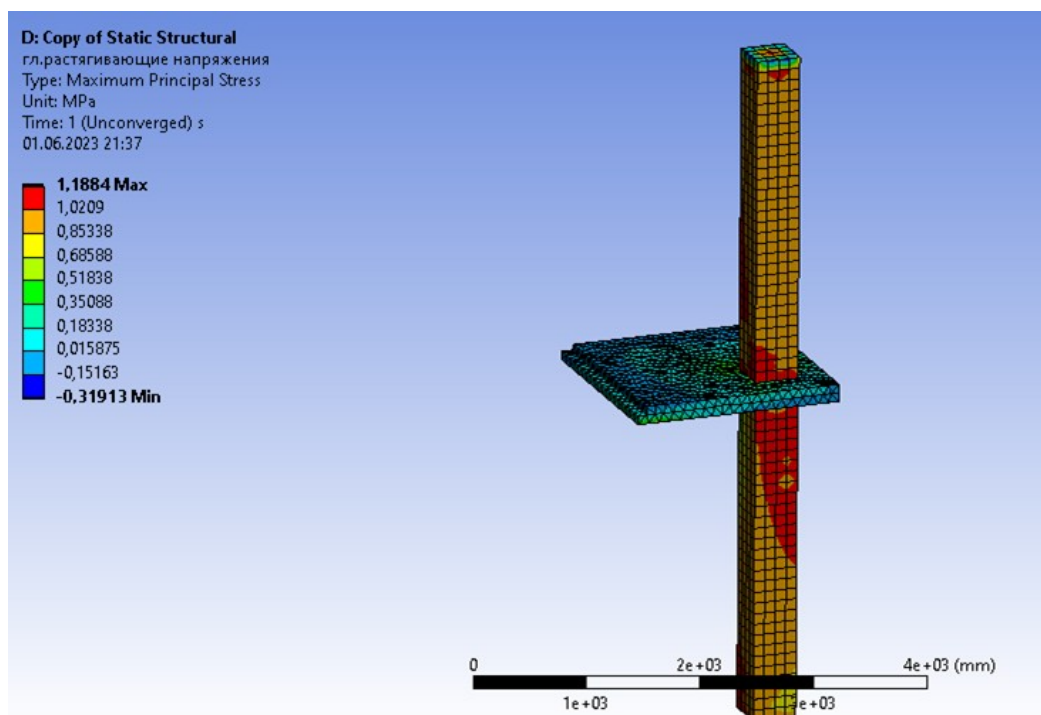


Рис. 2. Растягивающие усилия в бетоне колонны
(иллюстрация автора)

Fig. 2. Tensile forces in concrete columns
(illustration by the author)

Приведенное в [13] исследование стыка сборных колонн доказало эффективность идеи использования дополнительных закладных деталей в скважинах, обеспечивающих монолитность (непрерывность) колонны по высоте. Рассматриваемое в данной работе

конструктивное решение призвано обеспечить неразрывность вертикальных несущих конструкций не допуская разрушения от растягивающих напряжений по аналогии с [13].

В ходе численного моделирования (рис. 2) усовершенствованного конструктивного решения стыка получены данные о его напряженно-деформированном состоянии в зависимости от дополнительного армирования гибкими связями, результаты приведены в табл. 2. Установлено, что сопротивление стыка растяжению увеличилось более, чем в два раза относительно типового решения. Таким образом, дополнительные гибкие связи обеспечили восприятие растягивающих напряжений без нарушения анкеровки в теле плиты и колонны, тем самым обеспечив непрерывность стыка. Для рассмотренного в работе каркаса 25-этажного здания, оптимальным является применение связей $\varnothing 22$ мм, применение связей $\varnothing 18$ мм тоже возможно, но без обеспечения запаса по прочности арматуры.

Таблица 2
Максимальные значения напряжений в элементах при различных решениях стыка

Наименование		Нагрузка, тс	Напряжение в бетоне, Мпа	Напряжение в арматуре, МПа
Сжимающие усилия, тмх (типовое решение)		200	19,68	303,87
Растягивающие усилия, тмх (типовое решение)		120	1,1884	679,85
Растягивающие усилия	Усиленный стык, дополнительная арматура 4 $\varnothing 14$	60	1,1921	679,14
		120	1,1905	704,67
		180	1,1931	705,33
	Усиленный стык, дополнительная арматура 4 $\varnothing 18$	60	1,1891	413,24
		120	1,1843	429,19
		180	1,1845	430,64
	Усиленный стык, дополнительная арматура 4 $\varnothing 22$	60	1,0191	278,66
		120	1,0260	289,89
		180	1,2208	292,24

На основании полученных результатов в численном эксперименте были разработаны рекомендации по проектированию предлагаемого конструктивного решения, а именно при использовании каркаса системы КУБ 2.5 до 10 этажей аналогичными расчетами установлено, что целесообразно применять арматуру $\varnothing 14$. При этажности от 10 – 15 арматуру $\varnothing 18$. При этажности от 15 – 25 этажей $\varnothing 22$, количество дополнительной арматуры 4 – 8 шт. в зависимости от растягивающих усилий в стыке. Длина анкеровки при этом должна составлять не менее 1000мм, скважины заполнять мелкозернистым бетоном марки В25 под давлением. Согласно нормативным требованиям и изложенным в [1] принципам проектирования, данное решение адекватно, актуально и отражает общую направленность конструктивных решений стыков. Для повышения сопротивления связей вырыву дополнительно можно установить в скважины колонн гофрированную трубу, это решение является одним из направлений дальнейших исследований и в данной работе не рассматривалось. Рекомендации могут быть уточнены и расширены для арматуры других классов и диаметров, а также других размеров сечений колонн и классов бетона.

4. Заключение

Недопущение прогрессирующего обрушения для проектируемых и существующих зданий, особенно сборных и сборно-монолитных, имеющих типовые унифицированные решения является актуальной задачей. Изменение конструктивной схемы вследствие аварий различного происхождения приводит к иной картине напряженно-деформированного состояния, меняя значения и направление действия усилий. В частности, рассмотренный в работе стык колонн и надколонной плиты сборно-монолитной несущей системы, запроектированный на внецентренное сжатие, может подвергнуться растяжению. В несмежных пролетах типовое решение позволяет воспринять дополнительные усилия, а в смежных, удаленных или далеко расположенных

требуется усиление. Унификация и типизация сборных каркасов, позволяет не усиливать все расчетные сечения, а на основе прогноза работы каркаса в целом дать рекомендации по установке связей в зависимости от этажности, нагрузок и расположения элементов уже на стадии проектирования. Задачи исследования решены в полном объеме:

1. В результате расчета несущей системы сборно-монолитного каркаса 25-этажного здания по различным схемам разрушения получены данные о напряженно-деформированном состоянии элементов и узлов, определена величина изменения усилий и выявлен наиболее опасный узел, в котором усилия поменяли характер;

2. Предложено конструктивное решение стыка колонн с надколонной плитой, повышающего сопротивляемость каркаса прогрессирующему обрушению. Модернизация стыка заключается в установке дополнительных связей плита – колонна в виде гнутых арматурных стержней в качестве закладных деталей, обеспечивающих его работу на растяжение и непрерывность.

3. На основании анализа результатов численного моделирования стыка выявлены особенности напряженно-деформированного состояния стыка при работе на растяжение и даны рекомендации по подбору арматуры.

Дальнейшие исследования могут затрагивать моделирование стыка и анализ его напряженно-деформированного состояния с использованием гофрированной трубы в скважинах, учет в расчете сварного шва, определение и использование пластических свойств арматуры.

Список литературы / References

1. 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. [Kodysh E.N. Designing the protection of buildings and structures against progressive collapse in view of the emergence of a special limiting state// Promyshlennoye i grazhdanskoye Stroitel'stvo. 2018. No 10. P. 95–101]
2. Тамразян А.Г. Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2011. № 2–1. С. 21–27. [Tamrazyan A.G. Recommendations to working out of requirements to robustness of buildings and constrictions//Vestnik MGSU. 2011. No 2–1. P. 21–27.]
3. Kiakojoury F. et al. Progressive collapse of framed building structural: Current knowledge and future prospects // Engineering Structures. 2020. Vol. 206. P. 110061. doi:10.1016/j.engstruct.2019.110061
4. Никитин Г.П. Подвесные несущие системы зданий Технопарка и Университета в г. Иннополис // Промышленное и гражданское строительство. 2022 № 3. С.19–24. [Nikitin G.P. Suspended load-bearing systems of Technopark and University buildings in Innopolis // Promyshlennoye i grazhdanskoye Stroitel'stvo. 2022. No 3. P. 19–24]
5. Люблинский В.А. К вопросу о перераспределении напряжений в вертикальных несущих железобетонных конструкциях многоэтажных зданий // Строительство и реконструкция. 2021. №2. С. 39–45. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-94-2-39-45 [Lyublinskiy V.A. To the question of redistribution of stress in vertical bearing RC structures of multi-story buildings // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2021. №2. P. 39–45. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-94-2-39-45]
6. Juliya Mironova. Structural solution of the horizontal joint of floor slabs in girderless frame // 2 International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE–2021). 2021. Vol. 274 P.1–10. DOI: 10.1051/e3sconf/202127403017
7. Mirsayapov Ilshat and Nikitin Georgy and Khanbekov Midkhat/ Strength of reinforced concrete flat slabs for punching// STCCE-2020 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Kazan, Russia, 2020, 517, Vol. 890, 012076.
8. J. Liu, Y. Xue, C. Wang, J. Nie, and Z. Wu. Experimental investigation on seismic performance of mechanical joints with bolted flange plate for precast concrete column // Engineering Structures. 2020. Vol. 216. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110729.

9. Ruiz-Pinilla J.G., Cladera A., Pallares F.J., Calderon P.A., Adam J.M. Joint strengthening by external bars on RC beam-column joints // *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 45. doi:10.1016/j.jobe.2021.103445.
10. Федорова Н.В., Савин С.Ю. Анализ особенностей сопротивления прогрессирующему обрушению конструктивных систем зданий и сооружений при внезапных структурных перестройках: аналитический обзор научных исследований. // *Строительство и реконструкция*. 2021. №3 С. 76–108. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-95-3-76-108>. [Fedorova N.V., Savin S. Yu. Progressive collapse resistance of facilities experienced to localized structural damage - an analytical review // *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2021. №3 P. 76–108. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-95-3-76-108>]
11. Kiakojoury F. et al. Progressive collapse of framed building structures: Current knowledge and future prospects // *Engineering Structures*. 2020. Vol. 206. P. 110061. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.110061.
12. Yi N.H. et al. Collision capacity evaluation of RC columns by impact simulation and probabilistic evaluation // *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2015. Vol. 13. No 2. P. 67–81.
13. Q. Rong and Q. Luo Experimental study on seismic performance of an improved precast reinforced concrete column-to-column joint // *Mechanics Based Design of Structures and Machines*. 2022. Vol. 50. No. 5. doi: 10.1080/15397734.2020.1763183.
14. H. T. Thai, Q. V. Ho, W. Li, and T. Ngo. Progressive collapse and robustness of modular high-rise buildings // *Structure and Infrastructure Engineering*. 2021. doi: 10.1080/15732479.2021.1944226.
15. P. Sharafi, M. Alembagheri, K. Kildashti, and H. T. Ganji. Gravity-Induced Progressive Collapse Response of Precast Corner-Supported Modular Buildings // *Journal of Architectural Engineering*. 2021. Vol. 27. No. 4. doi: 10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000499.
16. J. Peng, C. Hou, and L. Shen. Progressive collapse analysis of corner-supported composite modular buildings // *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 48. doi: 10.1016/j.jobe.2021.103977.
17. Люблинский В.А., Миронова Ю.В. Повышение сопротивляемости штепсельного стыка колонн прогрессирующему обрушению // *Строительство и реконструкция*. 2022. №5. С. 57-66. doi.org:10.33979/2073-7416-2022-103-5-57-66 [Lyublinskiy V.A., Mironova J.V. Increasing the resistance of the plug joint of columns to progressive collapse // *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2022. №5 P. 57–66/ doi.org:10.33979/2073-7416-2022-103-5-57-66]
18. Трошков Е.О. Сравнение результатов компьютерного моделирования и экспериментальных исследований штепсельных стыков сборных железобетонных колонн с плитами перекрытий // *Жилищное строительство*. 2017. №7. С.41-46. [Troshkov E.O. Comparison of the results of computer modeling and experimental studies of plug joints of precast reinforced concrete columns with floor slabs // *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2017. №7. P.41-46.]
19. Соколов Б.С., Трошков Е.О. Деформативность штепсельных стыков сборных железобетонных плит перекрытий с колоннами в несущей системе УИКСС // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. №3 (62). С. 32-39 [Sokolov B.S., Troshkov E.O. Deformability of plug joints of precast reinforced concrete floor slabs with columns in the bearing system of UICSS // *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. 2017. №3 (62). P. 32-39]
20. В.А. Попов, В.А. Казаков, А.Ф. Андриюшенков, Н.С. Воловник Организация производства сборных железобетонных конструкций строительной системы «КУБ 3V» для освоения выпуска 30 000 кв. м жилой площади в год // *Вестник СибАДИ*. № 3 (49), 2016. С.68–74. [V.A. Popov, V.A. Kazakov, A.F. Andryushenkov, N.S. Volovnik Organization of production of prefabricated reinforced concrete structures of the KUB 3V building system for the development of an output of 30,000 sq. m of living space per year // *Vestnik SibADI*. No. 3 (49), 2016. P.68–74.]

21. Mirsayapov, I. Rebar movement in seals under static loading / I. Mirsayapov, R. Minzianov // IOP conference series : Materials Science and Engineering, Kazan, 29 апреля – 15 2020 года. Vol. 890. – Kazan, Russia: IOP Science, 2020. – P. 012073. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012073. – EDN FAXEJY.

Информация об авторах

Миронова Юлия Викторовна, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: yul.mironova2018@mail.ru

Сулейманов Альфред Мидхатович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: sulejmanov@kgasu.ru

Information about the authors

Julia V. Mironova, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: yul.mironova2018@mail.ru

Alfred M. Suleymanov, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: sulejmanov@kgasu.ru