



## Напряженно-деформированное состояние петлевого стыка крупнопанельного здания при прогрессирующем обрушении

Ю.В. Миронова<sup>1</sup>, В.А. Люблинский<sup>2</sup>, Ж.М. Малонго<sup>3</sup>, И.Ф. Харитонов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Казань, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>ООО «СОВРЕМЕННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ», г. Казань, Россия

**Аннотация.** *Постановка задачи.* Обеспечение прочности и надежности сборных зданий напрямую зависит от конструктивного решения, прочностных и деформативных характеристик вертикальных и горизонтальных стыков, технологии и качества их выполнения. Эта задача усложняется при проектировании зданий с учетом прогрессирующего обрушения, предопределяя необходимость модернизации типовых решений. Рассмотрена необходимость разработки решений, повышающих сопротивляемость крупнопанельных зданий аварийным воздействиям, приводящим к моментальному или длительному разрушению отдельных конструктивных элементов и узлов. Вследствие наличия различных по характеру и свойствам элементов петлевого стыка при аварийном воздействии данное соединение элементов сборных несущих систем испытывает сложное напряженное состояние. *Цель работы* заключается в определении напряженно-деформированного состояния петлевого стыка стеновых панелей при прогрессирующем обрушении.

*Задачами исследования* являются: определение максимальных напряжений в элементах крупнопанельного здания при прогрессирующем обрушении; численное моделирование петлевого стыка и анализ его напряженно-деформированного состояния; разработка конструктивных решений стыка с учетом выявленных особенностей его работы.

*Результаты.* Определены максимальные усилия в панелях и стыках модернизированного конструктивного решения крупнопанельного здания при аварийном воздействии, предложены варианты модернизации конструктивных решений петлевого стыка. Проведено многофакторное численное моделирование петлевого стыка с учетом работы на аварийное воздействие, определены прочностные и деформационные характеристики. Предложено решение по проектированию петлевого стыка для несущих систем с учетом их работы при прогрессирующем разрушении.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что предлагаемый вариант модернизации типового решения и результаты исследования могут быть использованы при проектировании петлевых стыков крупнопанельных зданий, проектируемых с учетом прогрессирующего обрушения.

**Ключевые слова:** прогрессирующее обрушение, крупнопанельные здания, петлевые стыки, вертикальный стык, напряженно-деформированное состояние

**Для цитирования:** Миронова Ю.В., Люблинский В.А., Малонго Ж.М., Харитонов И.Ф. Напряженно-деформированное состояние петлевого стыка крупнопанельного здания при прогрессирующем обрушении // Известия КГАСУ, 2024, № 4(70), с. 72-82, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.7, EDN: ECSCSH

# Stress-strain state of the loop joint of a large-panel building with progressive collapse

Yu.V. Mironova<sup>1</sup>, V.A. Lyublinsky<sup>2</sup>, J.M. Malongo<sup>3</sup>, I.F. Kharitonov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

<sup>2</sup>National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

<sup>3</sup>LLC "MODERN DESIGN", Kazan, Russia

**Abstract.** *Problem statement.* Ensuring the strength and reliability of prefabricated buildings directly depends on the design solution, strength and deformation characteristics of vertical and horizontal joints, technology and quality of their execution. This task becomes more complicated when designing buildings, taking into account the progressive collapse, predetermining the need to modernize standard solutions. The necessity of developing solutions that increase the resistance of large-panel buildings to emergency impacts leading to instant or prolonged destruction of individual structural elements and assemblies is considered. Due to the presence of elements of the loop joint that differ in nature and properties, this connection of elements of prefabricated load-bearing systems undergoes a complex stress state during an emergency. *The purpose* of the work is to determine the stress-strain state of the loop joint of wall panels during progressive collapse.

*The objectives of the study are:* determination of maximum stresses in the elements of a large-panel building with progressive collapse; numerical modeling of a loop joint and analysis of its stress-strain state; development of structural solutions for the joint, taking into account the identified features of its operation.

*Results.* The maximum efforts in the panels and joints of the modernized structural solution of a large-panel building in case of emergency impact are determined, and options for upgrading the structural solutions of the loop joint are proposed. Multifactorial numerical modeling of the loop joint was carried out, taking into account the work on emergency impact, strength and deformation characteristics were determined. A solution has been proposed for the design of a loop joint for load-bearing systems, taking into account their operation during progressive collapse.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that the proposed option for the modernization of a typical solution and the results of the study can be used in the design of loop joints of large-panel buildings designed taking into account progressive collapse.

**Keywords:** progressive collapse, large-panel buildings, loop joints, vertical joint, stress-strain state

**For citation:** Mironova Yu.V., Lyublinsky V.A., Malongo J.M., Kharitonov I.F. Stress-strain state of the loop joint of a large-panel building with progressive collapse // News of KSUAE, 2024, № 4(70), p. 72-82, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.7, EDN: ECSCSH

## 1. Введение

Несмотря на массовое строительство из монолитного железобетона, востребованность возведения крупнопанельных жилых домов и общественных зданий не уменьшается. Несомненны и такие преимущества сборного строительства, как быстрота возведения, изготовление на заводах крупнопанельного домостроения (КПД) с обеспечением качества и контроля на всех этапах, относительно невысокая себестоимость производства, широкий выбор серийных решений и другие. В совокупности с относительно простой и отработанной десятилетиями технологией возведения применение типовых систем является актуальным. Тем не менее, существуют проблемы и сложности применения серийных решений в современных условиях: изменились и ужесточились требования по безопасности зданий, обеспечению прочности, устойчивости и долговечности несущих систем [1-3]; типовые объемно-планировочные решения обладают высокой степенью морального износа; требуется уточнение конструктивных решений с

учетом применения современных материалов, достижений науки, инженерных и технических идей.

При проектировании зданий и сооружений в рамках современных норм требуется обеспечить сопротивляемость несущих систем аварийным ситуациям и недопущение прогрессирующего обрушения, особенно сложно решить этот вопрос в отношении конструктивных элементов заводского изготовления – требуется модернизация серийных решений элементов и их сопряжений [4, 5]. С точки зрения обеспечения устойчивости несущей системы против прогрессирующего обрушения крупнопанельные здания обладают более высокими характеристиками, по сравнению с каркасными системами, однако слабым местом являются узлы соединения панелей: горизонтальные и вертикальные стыки [6-8]. Обеспечение работы стыка на все виды нагрузок, определение оптимального конструктива, является актуальной задачей, в свете которой рассматриваются различные варианты решений, обеспечивающих соединениям надежность, долговечность, прочность, пригодность к нормальной эксплуатации и технологичность [9, 10], которые, кроме основных требований повысят живучесть зданий из сборного железобетона [4, 5, 10].

Доказано, что наиболее уязвимым элементом сборного железобетона являются стыки любых типов и решений, даже несмотря на надежное решение, важную роль в дальнейшей их работоспособности может сыграть человеческий фактор, зависящий от квалификации рабочих и множества прочих условий, о чем упоминается в работах многих исследователей. Поэтому столь острой является проблема выбора приемлемых решений стыков, оптимизирующих работу на вертикальные и горизонтальные нагрузки [11 – 13]. Характерные причины и механизмы разрушения крупнопанельных зданий при катастрофических воздействиях [14 – 16] вносят в работу несущих систем значительные изменения, приводят к перераспределению и увеличению усилий во всех несущих элементах, наблюдается многократное превышение проектных значений. Но есть и преимущество перед каркасными зданиями, заключающееся в том, что процесс разрушения незначительно затрагивает смежные блок-секции и ограничивается пределами аварийной. Изменение схемы прогрессирующего обрушения напрямую связано с местоположением и типом аварийного воздействия [2], что отражено в требованиях и рекомендациях нормативных документов. Однако, для каждой рассматриваемой системы с совокупностью уникальных условий процесс обрушения системы в целом будет значительно различаться. Все вышеперечисленные факторы и задачи задают направление совершенствования типовых унифицированных несущих конструкций и узлов их сопряжения в сборных зданиях [17, 18].

Процесс лавинообразного разрушения запускается в результате возникновения чрезмерных сдвигающих усилий в вертикальных стыках при увеличении нагрузки от вышележащих этажей вследствие потери опоры в виде панелей первого яруса, что приводит к нарушению работы всей несущей системы.

Армированные шпоночные стыки – самый распространенный тип соединения сборных панелей [9, 19, 20], который заключается в соединении выпусков металлических скоб из панелей пропуском через них вертикальной арматуры и последующим замоноличиванием всего шва. Работа стыков характеризуется действием продольных и поперечных усилия, изгибающих моментов, однако решающей при прогрессирующем обрушении является работа на сдвиг. Установлено, что разрушение вертикальных стыков может происходить по разным сценариям: как по контакту бетону соединения, так и по арматуре. При потере опоры основным критерием оптимального решения вертикального стыка является предотвращение сдвига элементов, разрыва арматуры, нарушения ее анкеровки в панели, скола бетона шва [21]. Повышение сопротивляемости системы разрушению возможно с применением в стыках решений, превращающих соединения в висячие системы или «гамак» [2, 3, 6].

В работах [9, 12] исследовались бессварные петлевые соединения продольной арматуры сборных панелей с целью их модернизации и установления действительных напряжений и деформаций, были проведены натурные испытания, экспериментально установлено, что разрушение вертикальных стыков панелей происходит вследствие среза шпонки.

В работах [9, 13, 15] проведено моделирование работы вертикальных стыков на сдвиговые усилия. В [13] Рассмотрены различные диаметры стержней соединительных закладных деталей и их влияние на сдвиговую и осевую жесткость и прочность. В [14] определена схема разрушения стыка при сдвиге, предложены различные конструктивные решения и проведен их анализ. Получено, что оптимальное количество соединений по высоте составляет 3 петли с меньшим радиусом загиба. В [15] представлены результаты по испытанию болтового вертикального соединения, снижающего деформативность стыка при действии статической циклической нагрузки. Это позволяет сделать вывод, что попытки модернизации вертикальных стыков панелей и их натурные и численные испытания приводят к получению новых данных о работе соединений. Несмотря на различия в несущей способности и деформативности стыков, подучен схожий характер разрушения. Разброс деформаций и разрушающих усилий объясняется различием конструктивных решений стыков и исходных условий, в том числе геометрических и прочностных характеристик элементов. Это подтверждает необходимость модернизации вертикального стыка в совокупности со стеновыми панелями, закладными деталями и формой шпонки, преобразованием в многшпоночное соединение или установкой дополнительных анкерующих элементов.

Авторами предложено соединение арматуры закладной детали и арматуры панели при помощи муфт, обеспечивающее непрерывность арматурного стержня в пределах панели. Соединение закладных деталей смежных панелей для восприятия увеличивающихся усилий необходимо также выполнять при помощи закольцованного стального стержня, без применения сварных соединений.

Целью исследования заключается в определении напряженно-деформированного состояния предложенного конструктивного решения петлевого стыка стеновых панелей при прогрессирующем обрушении.

Объектом исследования является петлевой вертикальный стык панелей. Предмет исследования – напряженно-деформированное состояние вертикального петлевого стыка при прогрессирующем обрушении.

Задачами исследования являются:

– расчет несущей системы крупнопанельного здания по возможным схемам прогрессирующего обрушения для определения максимальных усилий в его элементах;

– анализ напряженно-деформированного состояния бессварного петлевого стыка на основании данных численного моделирования;

– разработка на основании анализа схем разрушения многоэтажного крупнопанельного здания рекомендаций по обеспечению сопротивляемости каркаса прогрессирующему обрушению модернизацией конструктивного решения стыка, в части обеспечения непрерывности арматуры.

## 2. Материалы и методы

С целью обеспечения устойчивости сборного крупнопанельного здания против прогрессирующего разрушения было предложено модернизировать вертикальный стык панелей, предусмотрев обеспечение непрерывности арматуры в каждом ярусе панелей. Соединение арматурных стержней между собой выполняется внутри панели при помощи муфт, в самом стыке арматура образует П-образные скобы, аналогичные стыку Передерия. Это решение должно обеспечить восприятие возможных максимальных сдвигающих усилий в вертикальном стыке, сохраняя неразрезность системы. Количество непрерывных поясов в стыке принято в четырех уровнях по высоте. Диаметр арматуры принят 12 мм, класс А500. Соединение скоб производится при помощи вертикального арматурного стержня и замоноличивания шва со шпонками. Соединение арматурной скобы стыка с арматурой панели с помощью муфт повышает сопротивляемость вырыву закладной детали из тела бетона, обеспечивая более надежную анкеровку. Разрушение стыка может происходить от разрыва арматурного стержня и разрушения шпонок. Данное решение позволяет увеличить сопротивление сдвигу по бетону шва, и предотвратить проскальзывание арматурного стержня в теле панели и предполагает разрушение от текучести арматуры.

Численный эксперимент реализован в вычислительных комплексах «ЛИРА 2017» и «ANSYS 2020». Рассмотрен десятиэтажный крупнопанельный жилой дом, выполненный по серии 121Ч, класс ответственности КС-2. Шаг панелей 3,6 м, высота 2,7 м, пролет 5,76 м. Внутренние и наружные стены из железобетонных панелей толщиной 160 мм и 350 мм соответственно, перекрытия из сплошных железобетонных плит толщиной 160 мм.

При выполнении численного моделирования в соответствии с конструктивными особенностями панельных зданий, основным варьируемыми характеристиками при определении напряженно-деформированного состояния являются: конструктивная схема, толщина стеновой панели, толщина защитного слоя, процент армирования панелей, класс бетона и арматуры, характер воздействия. В работе принято серийное решение с изменением способа соединения арматурных стержней на муфтовое. Проведение численного эксперимента необходимо для определения наиболее опасных зон при воздействии аварийных нагрузок и для дальнейшего более детального рассмотрения и изучения напряженно-деформированного состояния вертикальных петлевых стыков. Максимальные усилия в элементах несущей системы определены моделированием аварийной ситуации с удалением крайней, средней и угловой панелей. Несущие стены и перекрытия смоделированы конечными оболочечными элементами, геометрические параметры соответствуют параметрам элементов, бетон панелей – класса В25, начальный модуль упругости  $E=3 \times 10^6$  т/м<sup>2</sup>. Вертикальные и горизонтальные швы моделируются с учетом податливости в виде связей. Нагрузки на здание приняты согласно СП «Нагрузки и воздействия», район строительства – г. Чебоксары. Анализ результатов расчета показал значительную разницу напряженно-деформированного состояния в зависимости от схемы разрушения, результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения усилий и перемещений в зависимости от схемы разрушения

Удаляемая панель	Перемещения, мм			Максимальные значения усилий					
	z	x	y	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	Q <sub>x</sub>	Q <sub>y</sub>	N <sub>x</sub>	N <sub>y</sub>
				тс*м/м		тс/м		тс/м <sup>2</sup>	
угловая	176	23,3	3,08	4,69	4,12	61,5	135	315	815
крайняя	7,1	1,38	4,2	4,69	5,67	72,9	135	160	1150
средняя	37,5	10,3	7,23	9,56	9,01	119	208	297	1230

Таким образом, максимальные перемещения получены в несущей системе, при удалении угловой панели, а максимальные значения продольных, поперечных усилий и изгибающих моментов – при удалении средних панелей. Это может быть объяснено перераспределением усилий и сдерживанием деформаций смежными элементами. Однако, если рассматривать вопрос обеспечения устойчивости несущей системы, то основными критериями могут быть выбраны максимальные перемещения. Максимальные значения напряжений возникают над удаляемой панелью во всех трех схемах, причем значительная часть воспринимается вертикальными швами, как наименее жесткими элементами.

Для дальнейшего исследования напряженно-деформированного состояния предлагаемого конструктивного решения рассмотрен стык панелей на усилия, полученные из расчета несущей системы. Цель расчета – определение характера работы стыка для разработки рекомендаций по проектированию вертикального стыка панелей, повышающего сопротивляемость несущей системы бескаркасного здания прогрессирующему разрушению, а также совершенствования методов расчета несущей способности и деформативности армированных шпоночных петлевых стыков стеновых панелей.

В программном комплексе ANSYS была разработана численная модель рассматриваемого конструктивного решения с целью определения действительного напряженно-деформированного состояния и схемы разрушения стыка. Выполнено сопоставление полученных данных с данными натурального эксперимента. За основу принята работа [9], смоделирован образец стыка (рис. 1), который подвергся испытаниям подобным физическому эксперименту. Для учета физической нелинейности бетона в сжатой и растянутой зонах применена модель для упругопластического анизотропного материала Menetrey-Willam Base на стадиях до и после образования макротрещин. Расчет проводился

в нелинейной постановке для арматуры и бетона. Коэффициент трения между бетоном панели и раствором шпонки был принят равным 0,6, рассмотрена контактная задача. Бетонная шпонка и арматура работали совместно (принят параметр «bonded»). Для аппроксимации стыка использованы объемные параметрические модели с размерами граней не более 50 см, контурные условия – жесткие. Арматурные стержни заданы стержневыми конечными элементами.

Для проведения эксперимента на сдвигающие усилия, был разработан образец, представляющий собой стык двух однослойных панелей размером 2800 мм x 3300 мм толщина панелей 160 мм, ширина стыка 160 мм. Бетон стеновых панелей тяжелый класса В25, бетон замоноличивания стыков мелкозернистый класса В20. Предельные деформации бетона и арматуры приняты по СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции». Арматурные стержни периодического профиля класса А500, диаметром 12 мм. Учет податливости соединения выполнен путем введения в его расчетную схему участка с меньшей жесткостью.

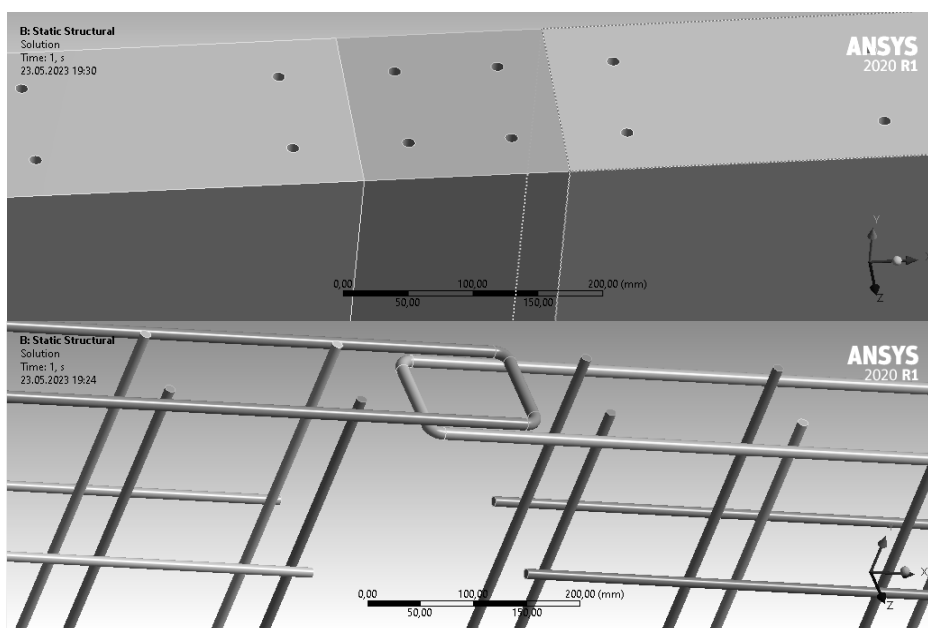


Рис. 1. Модель вертикального стыка панелей в ANSYS (иллюстрация авторов)  
Fig. 1. The vertical panel joint model in ANSYS (illustration by the authors)

Для адекватной работы модели стыка между разными элементами заданы условия соединения. Все арматурные стержни были связаны между собой и с бетоном, тип «Bonded», контакт между бетонным раствором шва и стеновой панелью имеет тип «No separations», модель состоит из 1154 контактных элементов с характерными свойствами.

На каждом этапе нагружения были зафиксированы перемещения и напряжения в области стыка и продольные усилия в арматуре. Рассматривались 3 варианта усилий на стык, в зависимости от модели прогрессирующего обрушения: удаление угловой, крайней и средней панелей. Усилия приняты из расчета несущей системы в ПК «ЛИРА». Модель была доведена до разрушения с целью получения данных о прочностных характеристиках элементов панелей и стыка.

### 3. Результаты и обсуждение

По результатам анализа верификационной модели сделан вывод, что характер разрушения численной модели соответствует данным физического эксперимента [9], деформации по оси z линейные, усилие, при котором образуются первые трещины сопоставимы с исходными, разница значений составила 5-7%. Сделан вывод, что принципы численного моделирования адекватно отражают действительную работу и позволяют выполнить численный эксперимент для рассматриваемого решения.

При исследованиях напряженно-деформированного состояния исследуемого стыка на сдвиг получена картина напряжений, представленная на рис.2:

Аналогичные картины разрушения получены для угловых и Т-образных стыков панелей. Моделирование предлагаемого решения стыка в ANSYS позволило получить картину напряжений и деформаций в нем, установлено, что напряжения в стыке, возникающие при удалении опорных панелей не приводят к разрыву арматуры внутри панели и вырыву из нее, обеспечивая непрерывность.

Максимальное перемещение получено в верхней части стыка, разрушение произошло по контакту бетонного раствора стыка и панели. В нижней части стыка перемещения меньше, но также наблюдается нарушение сцепления между бетоном стыка и панели. Арматура панелей испытывает сдвигающие напряжения, вызывающие и растяжение, и сжатие по длине, в зависимости от местоположения рассматриваемого участка.

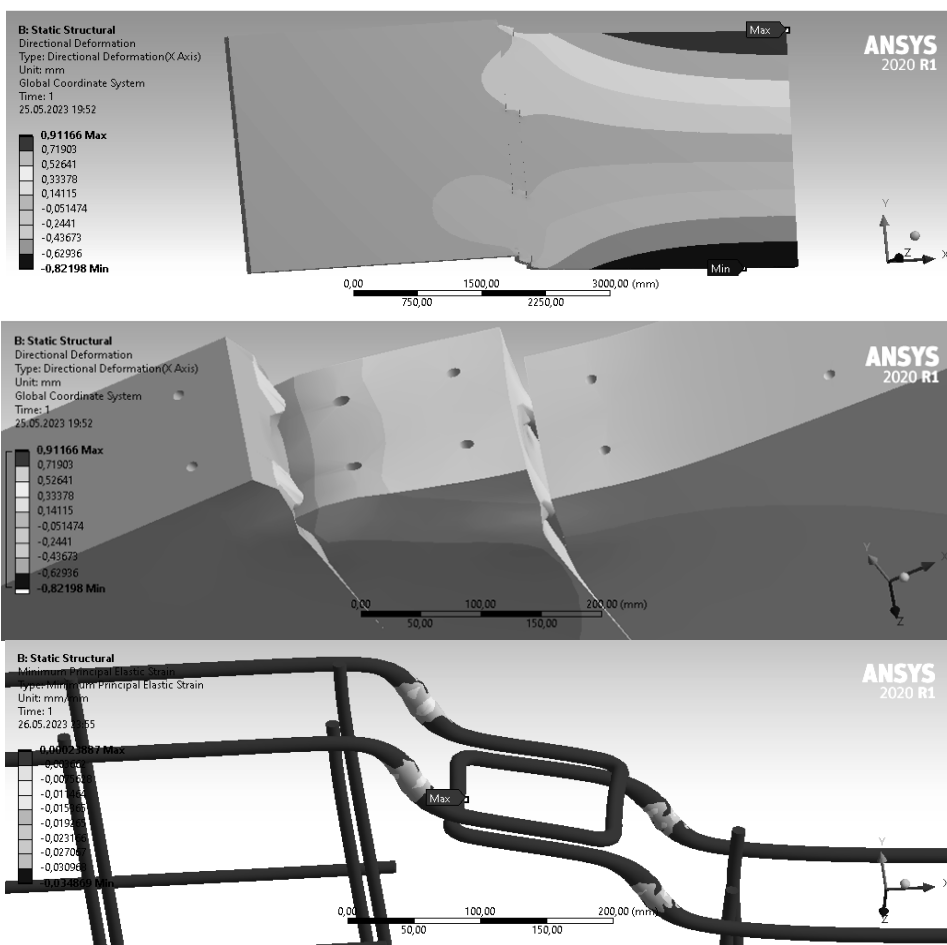


Рис. 2. Деформированная модель стыка (иллюстрация авторов)  
 Fig. 2. Deformed joint model (illustration by the authors)

Таблица 2

Результаты численного моделирования стыка

Модель		Перемещения, мм			Напряжения, кН		
		по оси X	по оси Z	полное	растяжение	сжатие	сдвиг
1	max	0,41918	0,0032117	2,2357	229,82	66,5	96,7
	min	-0,37795	-2,1961	0	-66,2	-219,0	-120,5
2	max	0,91166	0,006985	4,8623	499,8	140,3	210,3
	min	-0,82198	-4,7761	0	-143,9	-476,4	-262,0
3	max	1,3996	0,010723	7,4645	767,3	215,3	322,8
	min	-1,2619	-7,3322	0	-220,9	-731,3	-402,3

Оценка поведения стыка на сдвигающие усилия позволила сделать вывод, что начальные разрушения происходят по контакту бетона панели и бетона шва

замоноличивания, а затем от взаимного сдвига бетонных элементов и арматуры, что подтверждается данными натурных экспериментов в работах [9, 13], расхождение данных составило не более 10% с учетом отличия конструктивных решений. Необходимо отметить, что по сравнению с армированными шпоночными сварными стыками, петлевые отличаются большей несущей способностью и меньшей деформативностью, несмотря на схожесть характера разрушения [10, 12, 14]. Таким образом, на начальных этапах нагружения в петлевом стыке трещины возникают при нагрузке примерно 20% от разрушающей (в сварном примерно при 10-15% от разрушающей [12]), увеличиваются перемещения, снижается общая жесткость стыка, что приводит к увеличению податливости. При дальнейшем увеличении нагрузки в работу включается арматура, обеспечивая пластический характер разрушения стыка, при этом напряжения в арматуре при проектных нагрузках не достигали предельных значений. Доведение стыка до разрушения показало, что в теле панели происходит нарушение сцепления горизонтальной арматуры без нарушения ее целостности, разрыв арматуры наблюдался в месте стыка – по петле. При этом максимальная разрушающая сдвиговая нагрузка на стык составила 402,3 кН, при расчетной проектной 316,1 кН (полученной по результатам расчета несущей системы), что сопоставимо с результатами работ [15, 19]. Таким образом обеспечение непрерывности арматуры путем использования муфтового соединения является возможным решением при повышении сопротивляемости крупнопанельного здания прогрессирующему обрушению. Такой тип соединения превращает ярус панелей в вертикальный «гамак», позволяющий сдерживать перемещение верхних панелей. Полученные результаты испытания фрагмента стыка необходимо добавить в расчетную модель несущей системы, для уточнения характера разрушения здания при прогрессирующем обрушении и достаточности конструктивных мероприятий [4, 6].

#### 4. Заключение

Для обеспечения устойчивости зданий против прогрессирующего обрушения вследствие аварийных воздействий необходима разработка конструктивных мероприятий, обеспечивающих или повышающих сопротивляемость зданий критическим воздействиям путем усовершенствования существующих типовых решений. Для крупнопанельных зданий характерным является обрушение в пределах блок-секции и для его недопущения можно ограничить деформации в пределах одного яруса панелей, обеспечивая поддержку верхних этажей. Рассмотренный в работе способ соединения арматуры закладных деталей с арматурой панелей может помочь восприятию дополнительных усилий от разрушения смежных элементов. Такой способ является достаточно экономичным и технологичным, а учитывая унификацию и типизацию сборных элементов, не требует глобального изменения технологии заводов КЖД.

По результатам исследования были сделаны выводы:

1. Анализ схем разрушения крупнопанельного здания модернизированной серии показал, что в зависимости от местоположения удаляемого элемента картина напряженно-деформированного состояния может значительно различаться. Это связано со смещением центра жесткости несущей системы относительно ее центра тяжести, что характерно для новых решений крупнопанельных зданий различных форм в плане. Следовательно, для полноценного анализа и нахождения максимальных усилий и перемещений необходимо провести серию расчетов с исключением однотипных, но разных по местоположению элементов.

2. При оценке результатов численного моделирования работы стыка на сдвиг определены особенности его напряженно-деформированного состояния. Характер разрушения стыка соответствует данным натурных экспериментов, полученные значения сопоставимы с экспериментальными. Однако, применение мер по обеспечению непрерывности стыка, оказывают влияние на его несущую способность при аварийном воздействии.

3. Предложено решение по модернизации конструктивного решения стыка и получены данные о характере его работы, доказывающие его применимость для зданий, проектируемых с учетом недопущения прогрессирующего обрушения



Дальнейшим направлением исследования может быть уточнение жесткостных характеристик стыка с учетом предельных условий работы материалов, а также разработкой методики расчета стыка по прочности и податливости

#### Список литературы/ References

1. Peng J., Hou C., and Shen L. Progressive collapse analysis of corner-supported composite modular buildings // *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 48. doi: 10.1016/j.jobe.2021.103977.
2. 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. Analysis of the features of resistance to progressive collapse of structural systems of buildings and structures during sudden structural changes: an analytical review of scientific research. // *Construction and reconstruction*. 2021. No. 3 P. 76-108. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-95-3-76-108>.
3. 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
4. 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// *Civil and industrial construction*. 2018. No 10. P. 95–101
5. Колчунов В.И., Московцева В.С., Бушова О.Б., Жуков Д.И. Расчетный анализ способов защиты монолитных каркасов многоэтажных зданий с плоскими перекрытиями от прогрессирующего обрушения // *Строительство и реконструкция*. 2021. №4. С.35-44. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-96-4-35-44>.  
Kolchunov V.I., Moskovtseva V.S., Bushova O.B., Zhukov D.I. Computational analysis of methods for protecting monolithic frames of multi-storey buildings with flat floors from progressive collapse. // *Construction and reconstruction*. 2021. №4. P.35-44. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-96-4-35-44>
6. Травуш В.И., Колчунов В.И., Клюева Н.В. Некоторые направления развития теории живучести конструктивных систем зданий и сооружений // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 3. С. 4-11.  
Travush V.I., Kolchunov V.I., Klueva N.V. Some directions of development of survivability theory of structural systems of buildings and structures // *Civil and industrial construction*. 2015. No 3. P. 4–11
7. 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 // *Construction and reconstruction*. 2021. №2. P. 39-45. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-94-2-39-45
8. Rekha B., Ravindra R. Reliability analysis for bond stress of precast panel joints // *International Journal of Reliability and Safety*, 17(3–4), 228–247. <https://doi.org/10.1504/IJRS.2023.135677>
9. Дербенцев И.С., Тарасов М.В., Карякин А.А. Натурные испытания вертикальных шпоночных стыков железобетонных стеновых панелей с петлевыми гибкими связями на сдвиг // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2021. Т. 21. № 3. С. 13-22.

- Derbentsev I.S., Tarasov M.V., Karyakin A.A. Full-scale tests of vertical key joints of reinforced concrete wall panels with loop flexible shear connections// Bulletin of SUSU. The series "Construction and Architecture". 2021. Vol. 21. No. 3. P. 13-22.
10. Маринина Д.А. Несущая способность и деформативность сварных вертикальных стыков крупнопанельных зданий на закладных деталях. //Строительство и реконструкция. 2023;1(1):28-42.  
Marinina D.A. Bearing capacity and deformability of welded vertical joints of large-panel buildings on embedded parts. //Construction and reconstruction. 2023;1(1):28-42.
11. Salama A. E., Shaheen H. Effect of Horizontal and Vertical Joints on the behaviour of Large Panel Precast Concrete Walls // Mansoura Engineering Journal. 9, 61–73 (2022). DOI: 10.21608/bfemu.2022.221883
12. Люблинский В.А. К испытанию вертикальных сварных стыковых соединений панельных зданий // Строительство и реконструкция. 2019. №5. С. 17-22. DOI: 10.33979/2073-7416-2019-85-5-17-22  
Lyublinskiy V.A. About tests of vertical welded butt joints of panel buildings // Construction and reconstruction. 2019. №5. P. 17-22. DOI: 10.33979/2073-7416-2019-85-5-17-22
13. Seo S.-Y., Moon J.-H., Oh Y.-H., Yun H.-D. Shear Performance of Vertical Joints between Precast Concrete (PC) Wall Panels//Journal of the Architectural Institute of Korea, 39(6), 203–212. <https://doi.org/10.5659/JAIK.2023.39.6.203>
14. Li Y., Tong J., Yang Y., Sun B., Zhao W. Shear performance of vertical joints with different lapping splices for precast concrete frame–shear wall structures//Structural Concrete, 23(3), 1572–1592. <https://doi.org/10.1002/suco.202100817>
15. Moon K. Y., Kim S. J., Lee K., Kim Y. N. Development and Shear Performance Evaluation of Vertical Joints between Precast Concrete Walls //Journal of The Korean Association For Spatial Structures, 22(4), 81–88. <https://doi.org/10.9712/kass.2022.22.4.81>
16. Luo P., Liu J. An experimental study of the mechanical behaviour of squat shear walls built with precast concrete two-way hollow slabs// Journal of the South African Institution of Civil Engineering. 64, 56–66 (2022). DOI: 10.17159/2309-8775/2022/v64no2a5
17. Киреева Э.И., Дубынин Н.В. Модернизация крупнопанельных зданий типовых серий //Жилищное строительство. 2015. №5.  
Kireeva E.I., Dubynin N.V. Modernization of large-panel buildings of standard series //Housing construction. 2015. №5.
18. Щукина Е.В., Захаров А.В. Планировочные особенности крупнопанельных жилых зданий с продольными несущими стенами в контексте изменения потребностей жилого фонда // Инновации и инвестиции. 2023. №7.  
Shchukina E.V., Zakharov A.V. Planning features of large-panel residential buildings with longitudinal load-bearing walls in the context of changing needs of the housing stock // Innovations and investments. 2023. No.7.
19. Модин А.К., Сергеев М.С., Лисятникова М.О., Суханов А.А. Анализ работы вертикального стыка монолитного шпоночного соединения двух железобетонных панелей с использованием гибкой стержневой арматуры // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2.  
Modin A.K., Sergeev M.S., Lisyatnikova M.O., Sukhanov A.A. Analysis of the vertical joint of a monolithic key connection of two reinforced concrete panels using flexible rod fittings // Bulletin of the BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No.2.
20. Цветкова А.А. Жесткость стыков сборных железобетонных стеновых панелей на сдвиг в их плоскости до момента трещинообразования //Инженерные исследования. 2022. № 4 (9). С. 26-33.  
Tsvetkova A.A. Stiffness of joints of precast reinforced concrete wall panels for shear in their plane up to the moment of cracking //Engineering research. 2022. No. 4 (9). P. 26-33.
21. Mirsayapov I., Minzianov R. Rebar movement in seals under static loading // IOP conference series: Materials Science and Engineering, Kazan, 29 April – 15 2020. 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**, доцент, кандидат технических наук, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: yul.mironova2018@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6329-1325

**Люблинский Валерий Аркадьевич**, профессор, кандидат технических наук, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация

Email: lva\_55@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9603-1730

**Малонго Жозуе Манзабе**, инженер-конструктор, ООО «СОВРЕМЕННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ», г. Казань, Российская Федерация

Email: djodjomanzabe@gmail.com

**Харитонов Илья Федорович**, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, инженер-конструктор, ООО «ПКФ «КАРКАС», г. Казань, Российская Федерация

E-mail: ilya.haritonow@yandex.ru

#### Information about the authors

**Juliya V. Mironova** associated professor, candidate of technical science, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: yul.mironova2018@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6329-1325

**Valery A. Lyublinskiy** professor, candidate of technical sciences, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

E-mail: lva\_55@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9603-1730

**Josue M. Malongo** design engineer, LLC «MODERN DESIGN», Kazan, Russian Federation

Email: djodjomanzabe@gmail.com

**Iliya F. Kharitonov** graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, design engineer, LLC «KARKAS», Kazan, Russian Federation

E-mail: ilya.haritonow@yandex.ru