

УДК 69.07

Миронова Ю.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: jullog@fromru.com

Абдрахимова Н.С. – ассистент

E-mail: lis258.86@mail.ru

Халиуллин А.Р. – студент

E-mail: haliullin_505@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Повышение сопротивляемости несущей системы бескаркасного здания с бессварными вертикальными стыками прогрессирующему разрушению

Аннотация

В статье представлены результаты численного исследования напряженно-деформированного состояния несущей системы многоэтажного бескаркасного здания при аварийном воздействии. Рассмотрены возможные конструктивные решения бессварного вертикального стыка стеновых панелей и проведен анализ их НДС. На основе данного анализа предложено конструктивное решение по обеспечению неразрезности несущей системы крупнопанельного здания с использованием закладных деталей системы «Пфайфер». Показано, что данное решение значительно повышает сопротивляемость многоэтажного бескаркасного здания прогрессирующему разрушению при внештатных ситуациях.

Ключевые слова: крупнопанельное домостроение, бескаркасные здания, аварийные воздействия, прочность вертикальных стыков, бессварные стыки, система «Пфайфер», непрерывное армирование, пояса жесткости, сопротивляемость прогрессирующему разрушению.

Строительство крупнопанельных зданий не теряет актуальности ввиду относительно невысокой стоимости, быстровозводимости, индустриальности и других причин. Однако, учитывая большое количество аварий, произошедших в жилом секторе в результате взрывов бытового газа, терактов и т.п., при проектировании крупнопанельных зданий нормативными документами рекомендовано решать вопросы защиты зданий от прогрессирующего разрушения. Крупнопанельные здания за счет членения на отдельные конструктивные элементы обладают более высокой несущей способностью и устойчивостью, поэтому при аварийных воздействиях возможно разрушение одной или нескольких стеновых панелей, повреждение соседних элементов, но здание в целом, как правило, сохраняет устойчивость [1-3].

На сегодняшний день разработан ряд рекомендаций по защите зданий от прогрессирующего разрушения, с учетом специфики работы несущих систем в зависимости от конструктивной схемы [4, 5]. Устойчивость здания против прогрессирующего разрушения следует обеспечивать за счет: применения рациональных конструктивно-планировочных решений; обеспечения неразрезности конструктивной системы здания; применения материалов и конструктивных решений, обеспечивающих развитие в элементах конструкций и их соединениях пластических деформаций; первичных мер безопасности.

Важную роль в статической работе здания играют вертикальные стыки между панелями несущих стен. Основное статическое назначение вертикальных стыковых соединений панелей – восприятие сдвигающих сил, возникающих в стыках при совместной работе сопрягаемых стен. Связи в вертикальных стыках воспринимают усилия сдвига между панелями, возникающие в них при действии вертикальных и горизонтальных нагрузок, а также усилия растяжения и сжатия [6].

Конструктивные решения стыков должны обеспечить надежное выполнение его функций и быть технологичными в изготовлении. Наиболее индустриальными являются бессварные стыки, так как они исключают сварные работы в условиях строительной площадки, что является актуальным в условиях современного строительства. Бессварные стыки могут быть бетонными и железобетонными. Наличие в стыковом соединении

арматуры повышает сопротивление сдвигу, вносит качественное изменение в характер работы на сдвиг. Появление трещин в таком соединении приводит к перераспределению усилий сдвига между шпонками и включению в работу арматурных связей, пересекающих стык. Повышение качества крупнопанельного строительства привело к необходимости усовершенствования стыков стеновых панелей, в частности, разработаны и применяются бессварные петлевидные стыки, обладающие рядом преимуществ [7, 8]. Устройство стыков по системе «Пфайфер» не требует сварки. Используется гибкая арматура в виде петель стальных канатов, анкеруемых в бетон панели, через которые продевается арматурный стержень с последующим замоноличиванием стыка мелкозернистым бетоном.

Оценка напряженно-деформированного состояния вертикальных стыков стеновых панелей с целью повышения сопротивляемости несущих систем бескаркасного здания прогрессирующему разрушению проводилась с учетом влияния локальных разрушений на напряженно-деформированное состояние несущей системы бескаркасного здания и типа вертикального стыка на его несущую способность и сдвиговую податливость.

На начальном этапе работы была рассмотрена работа трех различных по конструктивным особенностям стыков панелей: бетонные шпонки, железобетонные шпонки и система вертикальных бессварных стыков «Пфайфер». Для исследования работы стыка на сдвиг, был рассмотрен образец, представляющий собой стык двух однослойных панелей размером 2,63x2,7 м толщиной 400 мм. Ширина стыка 12 см. Шпонки имеют размеры 300x230 мм, 150x230 мм и 170x230 мм. Бетон стеновых панелей тяжелый класса В35, бетон замоноличивания стыков мелкозернистый класса В25. Предельные деформации бетона и арматуры приняты по СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры». Арматурный стержень принят круглого сечения диаметром 12 мм, класс А400. Анкер из гибкой арматуры задан канатом типа ТК 1x19(1+6+12). Податливость сопряжения учтена путем введения в расчетную схему участка с меньшей жесткостью.

Вертикальный стык железобетонных стеновых панелей моделировался в программном комплексе ЛИРА. Для аппроксимации стыка используются объемные изопараметрические конечные элементы с размерами граней не более 20 см, контурные условия – жесткие. В расчетах рассмотрена пространственная задача с учетом физической нелинейности бетона. Закладные детали в виде канатных петель и арматурных стержней заданы стержневыми конечными элементами.

Физическая нелинейность работы бетона панели задана экспоненциальным законом нелинейного деформирования. Нелинейные загрузки моделировались таким образом, что нагрузка увеличивалась в первых двух шагах на 10 тс, шесть последующих шагов – на 20 тс и в последних двух шагах – на 30 тс. В каждом шаге программным комплексом вычислялись усилия в конечных элементах и соответственно корректировались их жесткостные характеристики.

Определено напряженно-деформированное состояние стыка после приложения сдвигающей нагрузки. Измеряемыми параметрами во всех образцах испытаний являются напряжения, перемещения. Нагрузка прикладывалась к нижнему торцу правой стыкуемой панели. Нагрузки велись поэтапно, после каждого этапа были зафиксированы перемещения и напряжения в области стыка, а также продольные усилия в канатных петлях и арматурном стержне. Образцы были доведены до разрушения с целью получения данных о прочностных характеристиках элементов панелей и стыка.

В результате наблюдалось смещение правой панели относительно левой по контактной поверхности стыка обладающего низкими, в сравнении с бетоном панелей, прочностными характеристиками. При достижении нагрузки в 6 тс во всех трех образцах в нижней части стыка появляются первые трещины, при увеличении нагрузки начинают разрушаться конечные элементы стыка и конечные элементы панели.

Первые трещины в бетоне стыка появляются при нагрузке в 6 тс. Далее они развиваются по границе бетона панели и бетона стыка. Сдвигающие усилия на начальном этапе воспринимаются бетоном стыка. Канатные петли и арматурные стержни включаются в работу только при нагрузке 40 тс, при данной нагрузке трещина развивается до места расположения закладных деталей, после чего происходит перераспределение усилий.

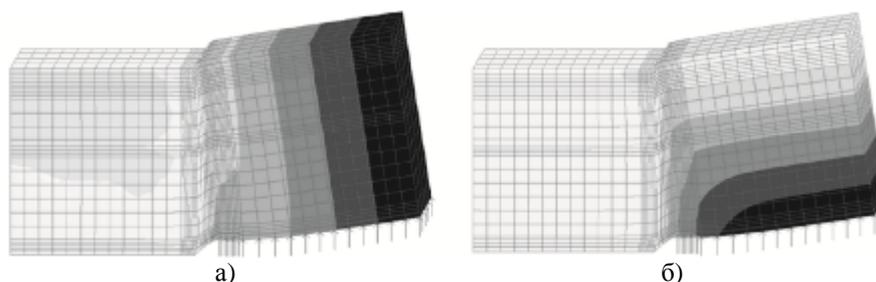


Рис. 1. Изополю перемещений а) по оси z; б) по оси x

Таблица 1

Результаты численного моделирования работы стыков на сдвиг

Нагрузка, Р, тс	Перемещение Δ, мм			Максимальные растягивающие напряжения в бетоне стыка, тс/м ²			Максимальные растягивающие усилия в арматурном стержне (канате), тс		
	Тип стыка			Тип стыка			Тип стыка		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	0,0061	0,0061	0,0061	82,86	82,8199	82,7983	-	0,0127	0,0202
20	0,0142	0,0142	0,0142	107,24	107,192	107,163	-	0,0269	0,0429
40	0,0366	0,0366	0,0365	131,44	131,313	131,247	-	0,212	0,305
60	0,069	0,0681	0,068	132,94	132,917	132,905	-	0,569	0,8
80	0,113	0,112	0,112	132,96	132,968	132,965	-	0,986	1,379
100	0,178	0,175	0,174	132,98	132,966	132,964	-	1,525	2,117
120	0,287	0,274	0,269	132,99	132,976	132,973	-	2,699	3,499
140	0,492	0,443	0,426	132,99	132,984	132,98	-	4,346	5,6012
170	-	1,174	1,023	-	132,988	132,983	-	8,416	10,305
200	-	-	2,127	-	-	132,979	-	-	18,620

Примечание. Тип стыка: 1 – образец с бетонными шпонками; 2 – образец с железобетонными шпонками; 3 – образец с бессварными стыками системы «Пфайфер».

Для образца с бетонными шпонками максимальная нагрузка составила 140 тс, после чего произошло разрушение нижней шпонки по плоскости среза бетона стыка. Для образцов с железобетонными шпонками и бессварными стыками системы Пфайфер разрушение наступило при нагрузке 170 тс и 200 тс соответственно. Образцы прекратили воспринимать нагрузку вследствие разрушения бетона стыка и бетона панели в районе анкеровки петель.

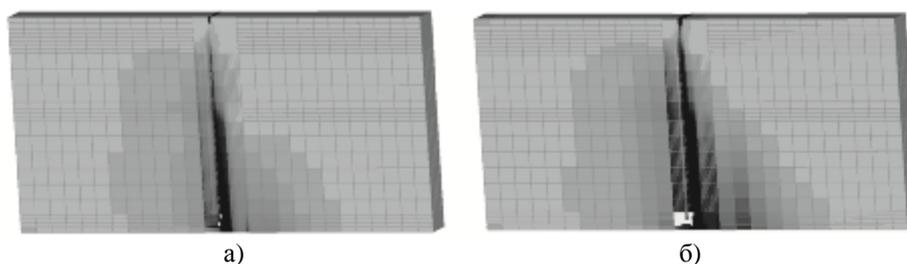


Рис. 2. Разрушение образцов: а) железобетонные шпонки; б) шпонки по системе «Пфайфер»

По результатам численного эксперимента получено, что при введении в стык закладных деталей происходит перераспределение усилий, что приводит к увеличению несущей способности и снижению деформативности стыка. При этом большей прочностью и меньшей деформативностью обладает бессварный стык выполненный по системе «Пфайфер».

Очевидно, что использование стыков по системе «Пфайфер» в крупнопанельных зданиях, увеличит безопасность и надежность несущих систем за счет повышения несущей способности и уменьшения деформативности системы в целом. Однако, использование системы бессварных стыков «Пфайфер» по предлагаемой производителем

схеме практически не сказывается на сопротивляемости крупнопанельных зданий прогрессирующему разрушению. Поэтому предлагается при помощи данной системы обеспечить неразрезность конструктивной системы. Для этого заменим две петли по обе стороны панели на канат, протянутый в бетоне панели с двумя петлями на концах. Соединение панелей между собой выполняется путем размещения арматурного стержня в петлях и дальнейшего замоноличивания. Несущая система, выполненная с учетом такого решения будет работать как неразрезная. При аварийном воздействии, разрушенные панели не полностью исключаются из работы благодаря канатам, способствуя перераспределению усилий между элементами здания.

Для исследования изменения НДС несущей системы здания, был проведен численный эксперимент с предложенными конструктивными мероприятиями по повышению сопротивляемости прогрессирующему разрушению.

При моделировании работы несущей системы многоэтажного жилого здания с учетом аварийных воздействий, за основу был принят 20-ти этажный жилой дом. По конструктивной схеме – здание бескаркасное, с поперечными несущими стенами, высота этажа – 2,7 м.

Моделирование несущих стен и перекрытий произведено при помощи конечных элементов типа оболочки, модуль деформации соответствует физическому модулю материала конструкции, моделирование стыка производилось с учетом податливости плит перекрытий в зоне стыка и податливости вертикальных стыков стеновых панелей.

В ходе численного эксперимента варьировался характер аварийного воздействия на несущую систему здания [5, 8]:

1 группа образцов характеризуется карстовой воронкой диаметром 6 м под фундаментом здания: модель 1 – карстовая воронка в углу здания, модель 2 – в средней части здания.

2 группа образцов характеризуется горизонтальной нагрузкой на вертикальные несущие элементы: 1 тс/м² поверхности рассматриваемого элемента в пределах одного этажа (коэффициент надежности по нагрузке принят равным единице): модель 3.

3 группа образцов характеризуется разрушением (удалением) конструкций одного этажа здания, ограниченных площадью до 80 м²:

а) двух пересекающихся стен на участках от места их пересечения (в частности, от угла здания) до ближайшего проема в каждой стене или до следующего вертикального стыка со стеной другого направления или участке указанного размера: модель 4;

б) навесных ограждающих панелей, расположенных на участке, не превышающем указанный размер локального разрушения: модель 5 – отсутствие угловых панелей, модель 6 – средней панели;

в) перекрытия на указанной площади – модели 4, 5, 6.

Рассмотрены три варианта несущих систем с бессварными стыками: в качестве исходной модели принята несущая система, рассчитываемая без учета прогрессирующего разрушения; модель, рассчитываемая с учетом прогрессирующего разрушения; модель с использованием непрерывной арматуры в панелях (обеспечивающей неразрезность несущей системы, в верхнюю и нижнюю часть панели введены канаты), рассчитываемая с учетом прогрессирующего разрушения.

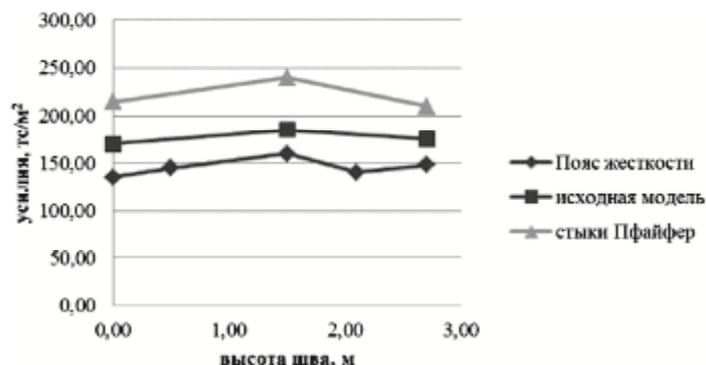


Рис. 3. Распределение нормальных напряжений по высоте шва для второй модели разрушения

Сравнивались напряжения в швах, расположенных над локальными разрушениями. Получено, что в стыках с непрерывным армированием, напряжения значительно отличаются от напряжений в исходной модели и модели без непрерывного армирования. Аналогичные картины распределения напряжений по высоте шва получены по всем вариантам локальных разрушений.

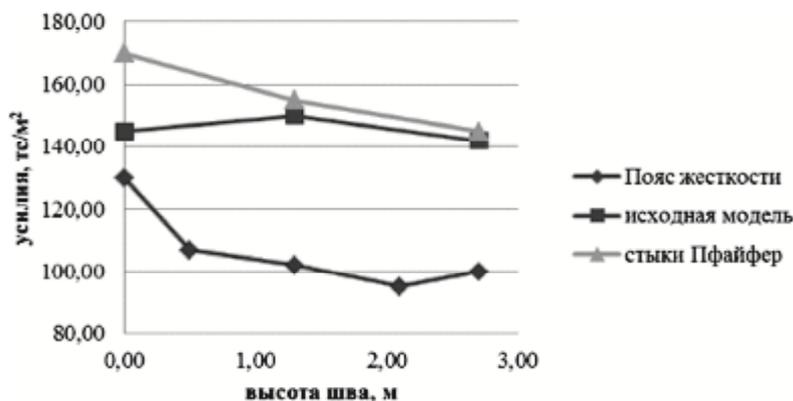


Рис. 4. Распределение нормальных напряжений по высоте шва для шестой модели разрушения

По результатам численного эксперимента сделаны следующие выводы:

1. При возникновении внепроектной нагрузки приводящей к локальному разрушению, напряжения в отдельных элементах несущей системы бескаркасного крупнопанельного здания могут возрастать и отличаться более чем в 2 раза.

2. При исследовании НДС различных по конструктивным решениям вертикальных стыков стыки, выполненные по системе «Пфайфер», обладают более высокими прочностными и деформативными характеристиками. Преимуществом бессварных стыков системы «Пфайфер» является их технологичность, упрощение монтажа панелей, повышение прочности, герметичность и коррозионная стойкость стыков панелей, снижение металлоемкости стыка; возможность создания поясов жесткости, неразрезности несущей системы.

3. В случае аварийного воздействия на несущую систему здания, запроектированную с учетом предложенного конструктивного решения, при любой возможной схеме локального разрушения происходит перераспределение напряжений между элементами стыка. В свою очередь, данное перераспределение приводит к повышению сопротивляемости несущей системы бескаркасного здания прогрессирующему разрушению.

Таким образом, одним из конструктивных решений, повышающих сопротивляемость бескаркасного здания разрушению, является применение закладных деталей «Пфайфер», объединенных между собой при помощи стальных канатов, расположенных в теле стеновой панели. Данное решение позволяет достичь эффекта непрерывного армирования, включающегося в работу при аварийном воздействии, образуя пояс жесткости для несущей системы здания. При возникновении нештатной ситуации, происходит обрушение части здания в пределах воздействия, прогрессирующего разрушения несущей системы в целом не происходит.

Список библиографических ссылок

1. Алмазов В.О. Проблемы прогрессирующего разрушения // Строительство и реконструкция, 2014, № 6 (56). – С. 3-10.
2. Миронова Ю.В. Влияние локального высокотемпературного нагрева на напряженно-деформированное состояние несущей системы многоэтажного бескаркасного жилого здания. // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия: сборник докладов Международной научной конференции. – М.: НИУ МГСУ, 2016. – С. 255-257.

3. Мишуев А.В., Казеннов В.В., Комаров А.А., Громов Н.В., Лукьянов А.В., Прозоровский Д.В. Особенности аварийных взрывов внутри жилых газифицированных зданий и промышленных объектов // Пожаровзрывобезопасность, 2012. – С. 56-63.
4. Данель В.В. Совершенствование конструкций и расчетных схем крупнопанельных зданий // Жилищное строительство, 2014, № 5. – С. 55-59.
5. Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий. – М.: ОАО «ЦПП», 2005. – 40 с.
6. Соколов Б.С., Миронова Ю.В. Прочность и податливость вертикальных стыков стеновых панелей с использованием гибких петель // Жилищное строительство, 2014, № 5. – С. 60-62.
7. Зенин С.А. Проектирование жилых крупнопанельных домов с применением бесварных стыков на тросовых петлевидных соединениях // Жилищное строительство, 2013, № 7. – С. 14-15.
8. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. – М.: МНИИТЭП, НИИЖБ, 2005. – 76 с.

Mironova U.V. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: jullog@fromru.com

Abdrahimova N.S. – assistant

E-mail: lis258.86@mail.ru

Khaliullin A.R. – student

E-mail: haliullin_505@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The increasing resistance of the supporting system of the frameless building with a no-welding vertical joints to progressive collapse

Resume

In the design of large-panel buildings regulatory documents are recommended to address the issues of protection of buildings against progressive collapse. The article presents the results of a numerical investigation of stress-strain state of load-carrying system of frameless multi-storey building in case of emergency impact. Reviewed the work of three types of panel joints, concrete pins, reinforced concrete pins, and a system of vertical joints «PFIFER», the analysis of their stress-strain state. It is found that when injected into the junction of the embedded parts is a redistribution of effort resulting in increased bearing capacity and reduced deformation of the joint. A disconnect joint system «PFIFER» has greater strength and less deformability.

Based on this analysis, the proposed constructive solution to ensure the continuity system of large panel buildings using embedded parts of the system «PFIFER». Considered three variants of load-bearing systems no-welding joints: as initial model adopted the carrier system calculated without taking into account progressive collapse; the model was calculated considering the progressive collapse; the model using continuous reinforcement in the panels (providing continuity system in the upper and lower part of the panel introduced the ropes), calculated taking into account progressive collapse.

Equal tension in the joints, located over local destruction. In case of an emergency impact on the bearing system of the building, designed according to the proposed structural solution with any possible scheme of local fracture redistribution of stresses between the elements of the joint. This leads to increased resistance of the frameless building carrier system to progressive destruction.

Keywords: large-panel housing construction, frameless buildings, emergency exposure, the strength of the vertical joints, the no-welding joints, «PFIFER», continuous reinforcement, belt stiffness, resistance to progressive collapse.

Reference list

1. Almazov V.O. Problems of progressive destruction // *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*, 2014, № 6 (56). – P. 3-10.
2. Mironova U.V. Influence of local high-temperature heating on the stress-strain state of the bearing system frameless multi-storey residential building. // *Current problems in the calculation of reinforced concrete structures, buildings and structures on the impact of the emergency: Proceedings of the International Scientific Conference*. – M.: NIU MGSU, 2016. – P. 255-257.
3. Mishuev A.V., Kazennov V.V., Komarov A.A., Gromov N.I. Lukyanov, A.V., Prozorovskiy D.V. Especially of an accidental explosion inside the apartment is gasified buildings and industrial facilities // *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2012. – P. 56-63.
4. Danel V.V. Improvement of designs and design schemes of large-panel buildings // *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2014, № 5. – P. 55-59.
5. Recommendations to prevent progressive collapse of large panel buildings. – M.: LTD «СРР», 2005. – 40 p.
6. Sokolov B.S., Mironova U.V. Strength and yielding of vertical joints of wall panels with flexible loops // *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2014, № 5. – P. 60-62.
7. Zenin S.A. Designing of residential large-panel buildings with the use of joints without welding on cable clasp joints // *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2013, №. 7. – P. 14-15.
8. Recommendations to protect residential buildings from progressive collapse. – M.: MNIITEP, NIIZHB, 2005. – 76 p.