

# ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИЙ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ШПОНОЧНЫХ СТЫКАХ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ЗДАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ВОЗВЕДЕНИЯ

*И.С. Дербенцев, А.А. Карякин, М.В. Тарасов, П.В. Попп*  
*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

В последнее время в мире наблюдается тренд на индустриализацию железобетонного домостроения. В России накоплен большой опыт крупнопанельного домостроения, позволяющий находить оптимальные конструктивные решения, однако новые решения приводят к необходимости их дополнительного изучения. Современные программные комплексы позволяют строить объемные модели здания с учетом физической нелинейности, позволяющие учесть фактическое распределение усилий между элементами. При этом для построения корректной модели крупнопанельного здания требуется задание податливостей стыков между ними. Величина податливости при отсутствии нормативной базы определяется прямыми испытаниями, результаты которых в дальнейшем используются для построения расчетной модели здания при его проектировании. Расчетная модель здания дает приблизительную оценку работы конструкций, и степень ее точности зависит от правильности выбора исходных предпосылок при построении.

В настоящей статье выполнена оценка численной модели крупнопанельного здания путем сопоставления с результатами прямых наблюдений за сдвиговыми перемещениями в вертикальных стыках наиболее нагруженной ячейки строящегося здания. Наблюдения проводились на 26-этажном крупнопанельном здании с перекрестной конструктивной системой с самонесущими наружными продольными стенами. Вертикальные стыки – монолитные железобетонные с применением шпонок с тросовым петлевым поперечным армированием.

Помимо этого, также дана оценка усилий, возникающих в этих стыках. В целом, это позволяет сделать вывод о корректности применения расчетной модели крупнопанельного здания с применением упругоподатливых связей с ограничением предельных усилий для моделирования вертикальных стыков.

Расчетная часть исследования выполнялась с использованием объемной конечно-элементной модели с учетом величины податливостей стыков и фактических жесткостей конструктивных элементов здания.

Результаты исследования могут использоваться при моделировании, расчёте и проектировании крупнопанельных зданий и дают новые научные знания о работе зданий такого типа.

*Ключевые слова:* крупнопанельные здания, монолитные стыки, жесткость стыков, прочность стыков, испытания на растяжение, замковое соединение, петлевые соединения.

## **Введение**

За последнее десятилетие увеличилось число публикаций, связанных с исследованием работы шпоночных стыков сборных элементов с тросовым петлевым армированием. Так, напряженно-деформированному состоянию стыков до трещинообразования посвящена работа [1], большой экспериментальный материал и его анализ в части оценки предельных усилий, воспринимаемых стыками на основе теории пластичности бетона, представлен исследователями из Украины (О.А. Довженко, В.В. Погребной и др. [2–6]). В связи с увеличением индустриального строительства в Индии поиск новых решений для устройства стыков сборных элементов затронул в том числе и шпоночные стыки с тросовым петлевым армированием [7–9]. Обширные экспериментально-теоретические исследования проведены исследователями из Дании [10–14].

На сегодняшний день в нормы РФ [15] включены рекомендации, полученные в резуль-

тате обобщения большого числа исследований [16, 17].

Рассматриваемый стык разработан компанией Reikko [18, 19] (рис. 1).

Несмотря на широкие экспериментально-теоретические исследования, на сегодняшний день отсутствуют сведения о работе данных стыков в составе несущего остова здания. Настоящая статья направлена на освещение этого вопроса.

## **Методика исследования**

### *Характеристики здания*

Жилое здание 26-этажное, размером в плане в осях 40 м × 14,4 м, с высотой этажа 2,85 м (рис. 2). Перекрестной конструктивной системы. Наружные продольные стены самонесущие: несущий слой из бетона класса В22,5 толщиной 120 мм. Остальные наружные стены – несущие: несущий слой из бетона класса В22,5 толщиной 180 мм (подвал – 1 этаж), 150 мм (2–14-й этажи), 120 мм (15–26-й этажи, чердак). Наружный слой панелей



Рис. 1. Конструкция стыков стеновых панелей:  
1 – стеновые панели; 2 – жестяная коробка; 3 – тросовая петля

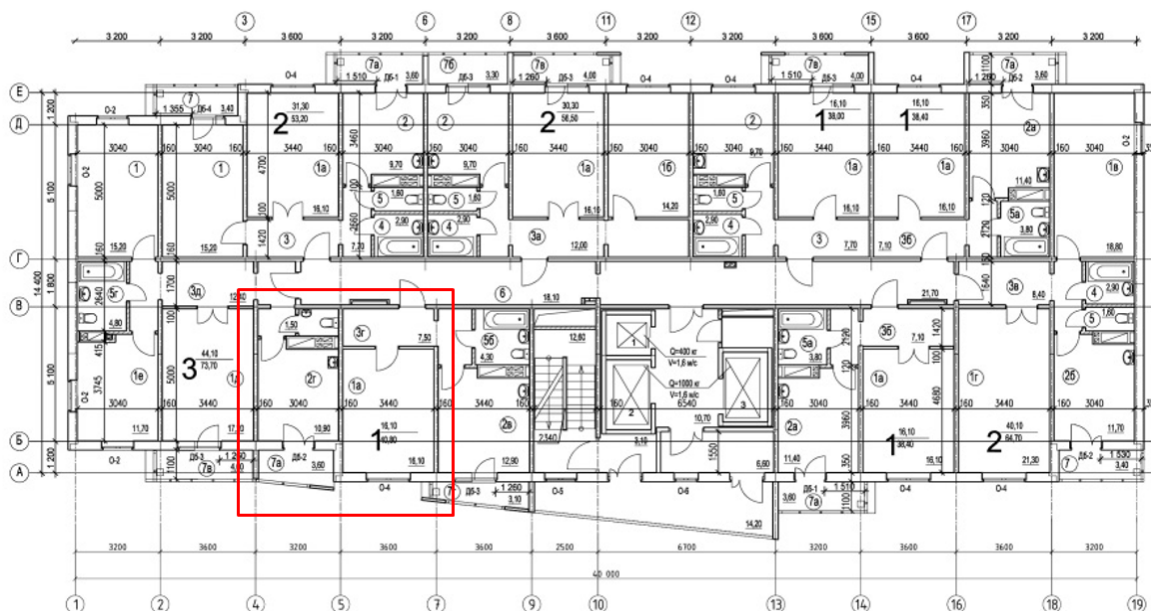


Рис. 2. План первого этажа (рамкой выделены наиболее нагруженные ячейки)

из бетона класса В25 – 80 мм с гибкими связями из нержавеющей стали, утеплитель – 150 мм.

Внутренние стеновые панели – из бетона класса В22,5 толщиной 200 мм (подвал – 9-й этаж), 180 мм (10–14-й этажи) и 160 мм (15–26-й этажи, чердак).

Плиты перекрытий с опиранием по трем и четырем сторонам, сборные железобетонные, толщиной 160 мм из бетона класса В22,5.

На отм. +45,6 и +48,45 (над 16-м и 17-м этажами) запроектированы монолитные плиты перекрытия из бетона класса В22,5 толщиной 160 мм.

#### Расчетная модель

Для оценки усилий сдвига, возникающих в вертикальных стыках и напряженно-деформированного состояния здания в целом, был выполнен его расчет. Анализу подвергались усилия, возникающие в процессе строительства, то есть пре-

жде всего от собственного веса железобетонных конструкций.

Для учета перераспределения усилий в процессе возведения здания использовалась система «Монтаж» ПК Лира-САПР [20]. Это позволило отразить изменение топологии расчётной схемы и получить корректное распределение нагрузок между элементами здания.

Стыки между сборными элементами моделировались специальными упругими элементами с учетом предельных усилий (255КЭ), жесткость которых назначалась исходя из результатов испытаний (рис. 3) [1, с. 20–24].

Жесткостные характеристики элементов пластин и стрелней для моделирования стеновых панелей, плит перекрытий и стоек лоджий соответствовали фактически применённым материалам и сечениям элементов.

## Строительные конструкции, здания и сооружения

### Анализ усилий сдвига в вертикальных швах

В результате расчета здания получены значения сдвиговых усилий в вертикальных стыках на каждой стадии монтажа, полученные значения усилий усреднялись по высоте стыка (рис. 4).

Из вышеприведенных графиков видно, что наиболее нагруженными являются связи на цокольном и первом этажах здания.

Максимальное усилие, возникающее в Т-образном узле сопряжения стеновых панелей первого этажа в осях А/7, составляет 49 кН, для линейного стыка в осях А/5 – 24,1 кН.

При анализе расчета здания было установлено, что наиболее нагруженными ячейками здания являются ячейки в осях 4-7/А-В, которые и были выбраны для наблюдений.

### Натурные наблюдения за деформациями в стыках

Для оценки напряженно-деформированного состояния вертикальных стыков были установлены 15 индикаторов часового типа с нулевой базой и ценой деления 0,001 мм (рис. 5). Индикаторы устанавливали в середине наиболее нагруженных по результатам расчетов вертикальных стыков. Данные индикаторы измеряли взаимный сдвиг смежных стеновых панелей, характеризую деформативность стыка. По результатам указанных измерений строились графики их изменения.

В процессе наблюдений напряженно-деформированного состояния несущих конструкций, в помещениях с установленными приборами поддерживалась постоянная положительная тем-

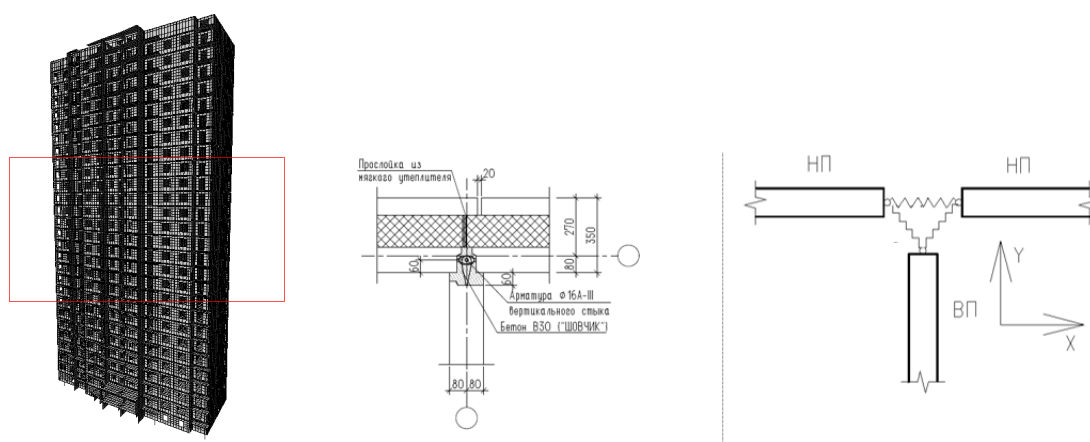


Рис. 3. Расчетная модель здания. Вертикальный стык стеновых панелей и его модель

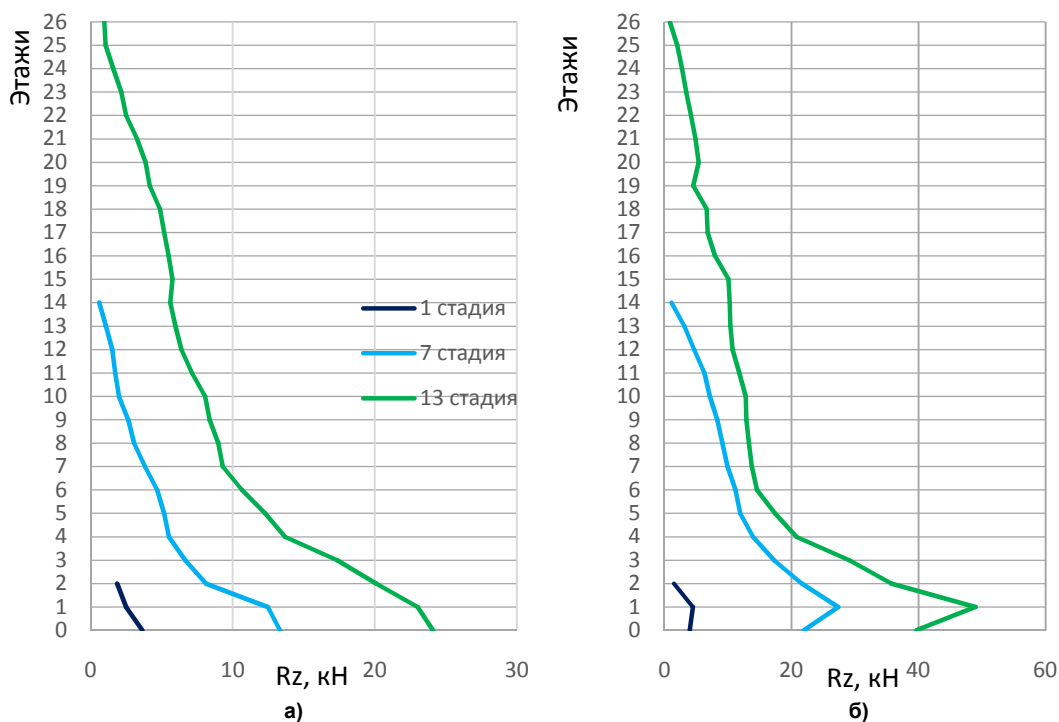


Рис. 4. Характер изменения сдвигающих усилий  $R_z$  в Т-образных шпоночных узлах сопряжения в осях А/5 (а) и А/7 (б) по высоте здания

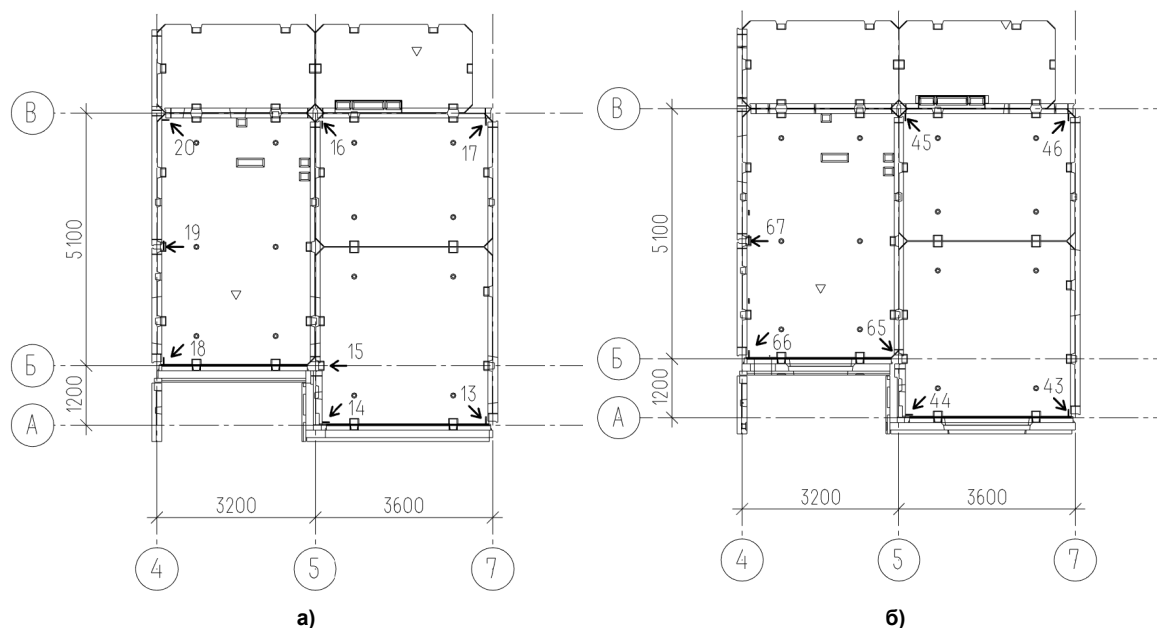


Рис. 5. Схема расположения индикаторов в вертикальных швах подвала (а) и первого этажей (б)

пература. Это связано с требованиями по эксплуатации измерительных приборов, которая невозможна при отрицательных температурах. Температура в помещениях замерялась непосредственно до снятия показаний приборов.

#### Результаты исследования и их анализ

После окончания строительства здания приборы снимались, строились графики изменения показаний, производилось сопоставление с данными расчетов. Анализ данных по величине сдвиговых перемещений позволяет выделить характерные группы.

#### Анализ результатов измерения деформаций в вертикальных швах

Графики изменения вертикальных перемещений в стыках самонесущих панелей и несущих панелей показаны соответственно на рис. 6 и 7.

Наибольшие перемещения показала группа из индикаторов И-44 и И-65 – индикаторы, установленные в стыках самонесущих и несущих стеновых панелей. На момент возведения 25-го этажа показания данных приборов были практически одинаковыми, достигающими 0,251 мм, при дальнейшем нагружении, прирост перемещений И-44 поменял знак, при этом И-65 показывал дальнейший рост вплоть до 0,441 мм к моменту снятия приборов. Возможно, причиной послужило перераспределение усилий со стыка самонесущей панели по оси Б и внутренней по оси 5 на стык самонесущей по оси А и наружной по оси 5. В этот момент наблюдалось образование волосяной вертикальной трещины в первом стыке, ширина раскрытия которой составила 0,05 мм и не изменялась в дальнейшем.

Второй характерной группой в порядке убывания показаний будет группа из приборов И-13,

И-14, И-18 и И-43. Данная группа также относится к вертикальным стыкам сопряжения самонесущих наружных стен и поперечных несущих. Характер роста перемещений в стыках данной группы был фактически линейным, при этом скорость прироста была приблизительно одинаковой. Предельные перемещения в стыках этой группы составили от 0,106 мм до 0,163 мм. Стоит отметить, что перемещения И-44, относящегося к первой группе, под конец наблюдений опустились до значений второй группы.

Остальные группы индикаторов относятся к стыкам несущих панелей, и, как и ожидалось, показали значительно меньшие сдвиговые перемещения.

Среди стыков несущих панелей наиболее характерны три группы.

Продолжая нумерацию групп, третья группа стыков – пара индикаторов И-15 и И-20, которые показывали стабильный рост перемещений в процессе роста нагрузок в стенах. Максимальное значение перемещений составило 0,022 и 0,031 мм соответственно. Характерно, что основной прирост деформаций проходил с начала наблюдения и до возведения 23-го этажа, в дальнейшем рост фактически закончился, показания возрастали незначительно.

Четвертая группа индикаторов: И-16, И-17, И-19, И-66, И-67. Общим для них является начальный рост с приблизительно одинаковой скоростью, максимальные значения с 19-го по 23-й этажи (до 0,018 мм) и затем дальнейшее падение показаний до 0,006 мм...0,015 мм. Показания данной группы характеризуются также большими колебаниями (до 0,009 мм), связанными, по-видимому, с перераспределением усилий.

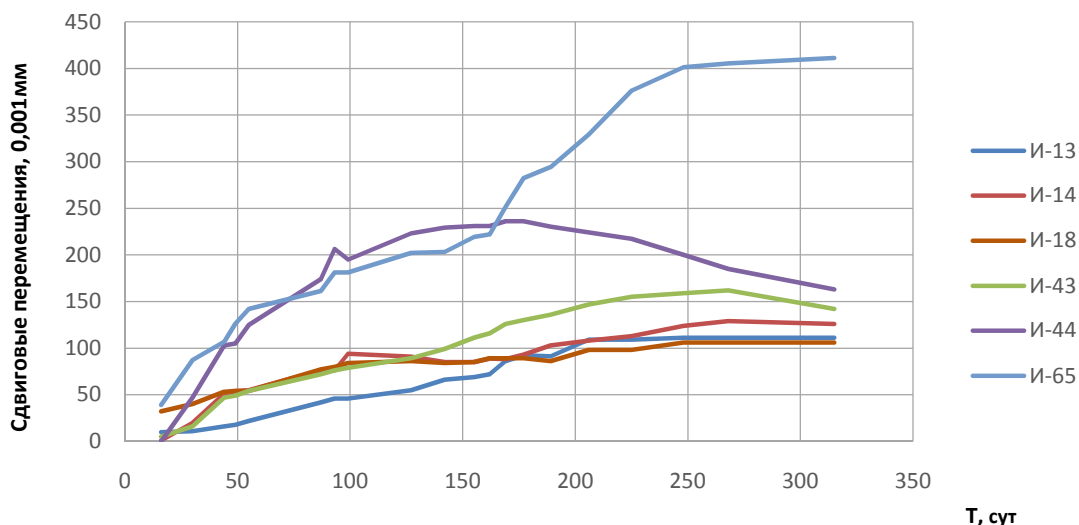


Рис. 6. Графики изменения вертикальных перемещений в стыках несущих и самонесущих стеновых панелей

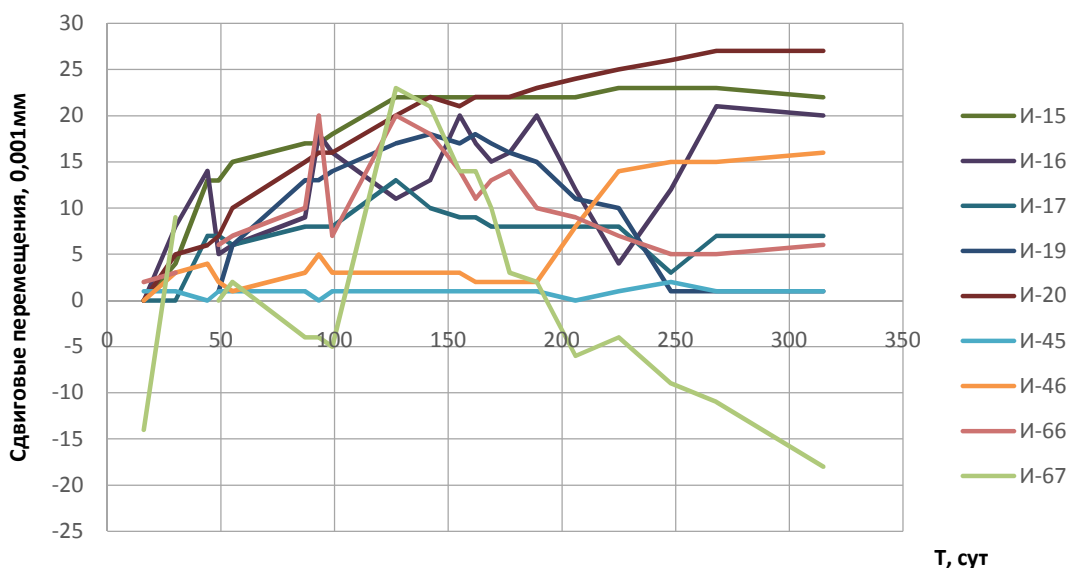


Рис. 7. График изменения вертикальных перемещений в стыках несущих стеновых панелей

Последняя пятая группа – пара индикаторов И-45 и И-46 не показывали роста, показания данной группы постоянно находились в области от 0,003 мм до 0,004 мм.

#### Сопоставление с результатами расчетов

Сопоставление результатов измерения сдвиговых деформаций вертикальных стыков со значениями, полученными при расчете здания (рис. 8, 9), позволяет оценить корректность назначения жесткостных характеристик стыков и расчетной модели в целом.

Наибольшее сходжение с результатами наблюдений показали расчетные результаты перемещений для стыков самонесущих панелей с несущими в осях Б/4, Б/5, А/7, а для стыков несущих панелей – в осях 4/Б-В, В/5 и В/7.

Наименьшее сходжение наблюдалось в сты-

ках по осям А/5 и В/4, что связано с образованной волосяной вертикальной трещиной в первом и практически отсутствующим сдвигом во втором.

#### Основные выводы по результатам наблюдений

Характер распределения усилий в вертикальных стыках по высоте здания является неравномерным, наибольшие сдвиговые усилия возникают на цокольном и первом этажах.

Отклонения в ходе сопоставления результатов перемещений с данными наблюдений, вероятно, вызваны перераспределением усилий между вертикальными и горизонтальными стыками в исследуемой ячейке здания. Косвенно это подтверждается одновременным разнонаправленным приращением деформаций в горизонтальных и вертикальных стыках.

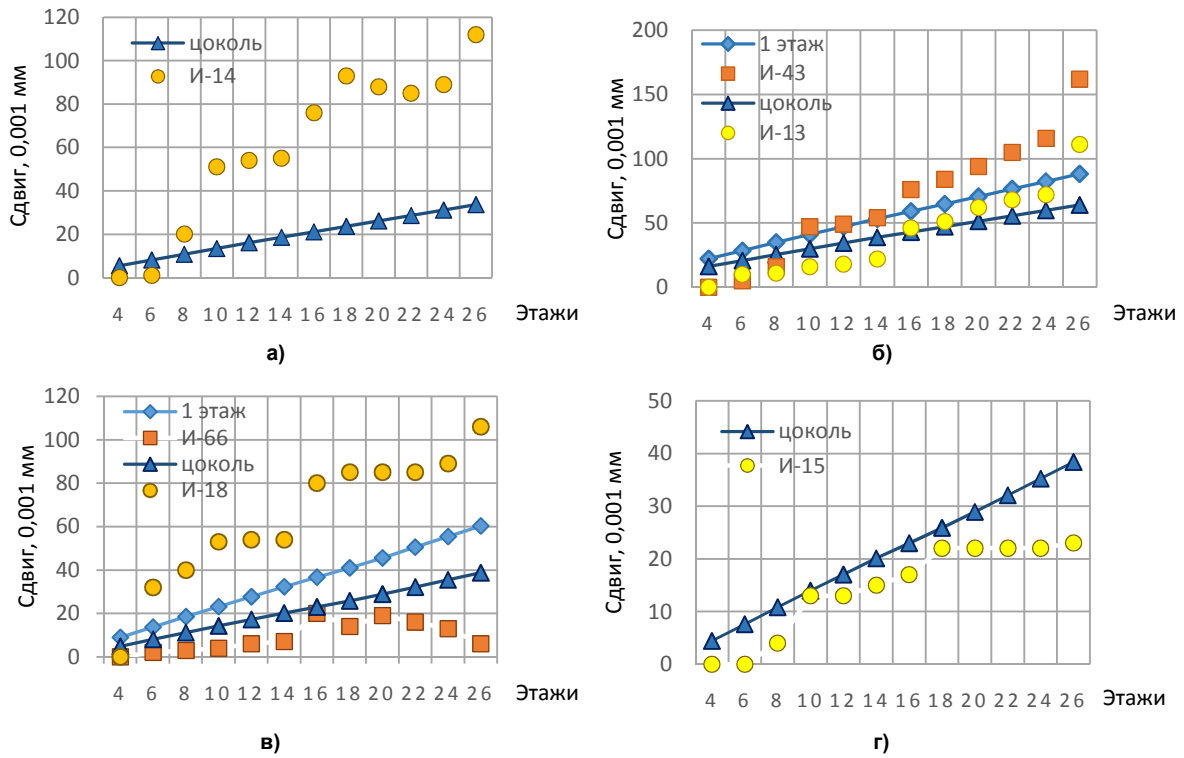


Рис. 8. Сопоставление результатов наблюдений и численного расчета для стыков самонесущих панелей в осях: а – А/5, б – А/7, в – Б/4 и г – Б/5

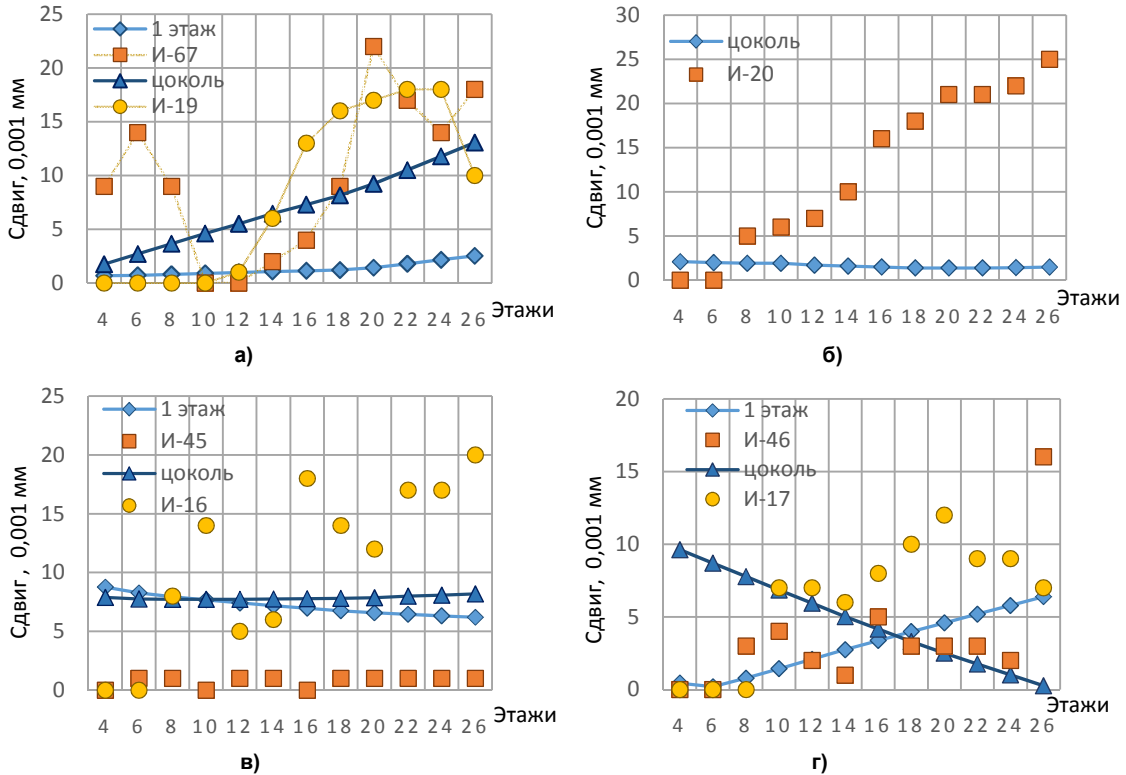


Рис. 9. Сопоставление результатов наблюдений и численного расчета для стыков несущих панелей в осях: а – 4/Б-В, б – 4/В, в – 5/В, г – 7/В

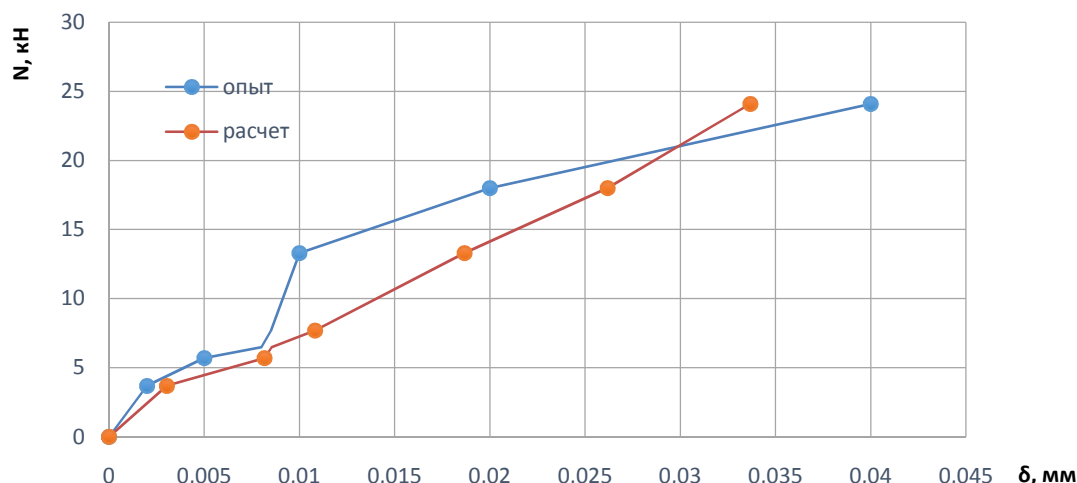


Рис. 10. Зависимости вертикального смещения от сдвигающего усилия  $N$

### Оценка усилий в вертикальных стыках

На рис. 10 приведен график сопоставления зависимостей вертикального смещения от сдвигающей силы, полученный при натурных испытаниях фрагмента стыка [1, 25], и график, построенный по результатам расчета модели крупнопанельного здания, для линейного стыка панелей в осях А/5.

Полученный график позволяет оценить величину усилий в стыках крупнопанельного здания исходя из сдвиговых перемещений в них. Согласно результатам [1, 25] предельное усилие в стыке при испытании на сдвиг составляет 64 кН. Максимальное значение сдвигающего усилия при расчете в наиболее нагруженной ячейке составило 24,1 кН. Максимальная величина смещения, полученная в ходе расчета, является равной 0,0339 мм, расхождение со значением в результате натурального испытания образца составило 15,3 %.

### Заключение

В результате проведенного анализа сопоставления результатов испытаний и численного расчета установлено, что для расчетов крупнопанельных зданий допустимо использовать модели с дискретно расположенными упругоподатливыми конечными элементами с ограничением предельных усилий с учетом жесткостных параметров, полученных в результате натурных испытаний фрагментов стыков, поскольку они показывают высокую достоверность с результатами наблюдений.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на уточнение работы стыков, их роли в перераспределении усилий между элементами здания.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность студентке Д.И. Шиловой, сотрудникам строительной лаборатории ЮУрГУ Н.Ф. Брюхову, А.Н. Черткову, со-

трудникам предприятия ООО «БЕТОТЕК», включая руководителя проектного отдела И.А. Бельдейко.

### Литература

1. Дербенцев, И.С. Несущая способность и деформативность шпоночных соединений с петлевыми гибкими связями в стыках крупнопанельных многоэтажных зданий: дис. ... канд. техн. наук / И.С. Дербенцев. – Челябинск, 2014. – 158 с.
2. Довженко, О.А. Методика расчета шпоночных соединений железобетонных элементов / О.А. Довженко, В.В. Погребной, Ю.В. Чурса // Вестник Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка «Теория и практика строительства». – 2013. – № 755. – С. 111–117.
3. Довженко, О.А. Прочность одношпоночных стыков, разрушающихся по шву / О.А. Довженко, В.В. Погребной, И.А. Юрко // Технические науки: электрон. научн. журн. – 2015. – № 7. – С. 100–121.
4. Довженко, О.А. Учет формы поперечного сечения шпонок при расчете их прочности / О.А. Довженко, В.В. Погребной, Ю.В. Чурса // Сборник научных трудов УкрДУЗТ. – 2015. – № 155. – С. 221–228.
5. Погребной, В.В. Прочность бетонных и железобетонных элементов при срезе: дис. ... канд. техн. наук / В.В. Погребной. – Полтава, 2000. – 236 с.
6. Рожко, В.Н. Прочность шпоночных соединений бетонных и железобетонных элементов: дис. ... канд. техн. наук / В.Н. Рожко. – Полтава, 2008. – 182 с.
7. Biswal, A. Study of shear behavior of grouted vertical joints between precast concrete wall panels under direct shear loading / A. Biswal, A.M. Prasad, A.K. Sengupta // Structural Concrete. – 2018. – DOI: 10.1002/suco.201800064

8. Biswal, A. *Experimental investigation and prediction of shear behavior of vertical joints between precast concrete wall panels*. M.S. thesis. / A. Biswal, A. Prasad, A. Sengupta. – Chennai, India: Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Madras. – 2015.
9. Sarma, B.S. *Experimental studies on wire rope loop connections for precast concrete panel walls* / B.S. Sarma, V. Govindaraj, S. Manohar // *The Fourth International fib congress*. Mumbai. – 2014. – No. 2. – P. 555–558.
10. Jorgensen, H.B. *Load carrying capacity of keyed joints reinforced with high strength wire rope loops* / H.B. Jorgensen, L.C. Hoang // *Concrete innovation and design, fib symposium, Copenhagen*. – 2015. – May 18–19.
11. *Construction friendly ductile shear joints for precast concrete panels* / J.H. Sorensen, L.C. Hoang, G. Fisher, G.F. Olsen // *Proceedings of the Second International Conference on Performance-based and Life-cycle Structural Engineering*. – 2015.
12. *Test and analysis of a new ductile shear connection design for RC shear walls* / J.H. Sorensen, L.C. Hoang, G.F. Olsen, G. Fisher // *Struct Concr.* – 2017. – No. 18. – P. 189–204.
13. Jorgensen, H.B. *Load carrying capacity of shear wall T-connections reinforced with high strength wire ropes* / H.B. Jorgensen, T. Bryndom, M. Larsen, L.C. Hoang // *Performance-Based Approaches, fib Symposium, Cape Town*. – 2016. – Nov, 21–23.
14. Jorgensen, H.B. *Strength of loop connections between precast concrete elements*. PhD thesis / H.B. Jorgensen. – Odense, Denmark: University of Southern Denmark, 2014.
15. СП 335.1325800.2017. *Свод правил. Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования*. – М.: Минстрой России, 2017. – 82 с.
16. Бобрышев, П.Н. *Влияние количества связей на несущую способность образцов при сдвиге* / П.Н. Бобрышев // *Тр. Ин-та ЦНИИСК им. Кучеренко*. – 1970. – Вып. 14. *Сейсмостойкость зданий и инженерных сооружений*. – С. 14–18.
17. Лишак, В.И. *Прочность шпоночных стыков панельных зданий при сдвиге* / В.И. Лишак, И.А. Романова // *Сб. науч. трудов ЦНИИЭП жилища «Конструкции крупнопанельных жилых зданий»*. – 1978. – С. 49–54.
18. *Greatly improved product from Peikko PVL single wire connection loop* // *Peikko News*. – Finland: Peikko Corp., 2010. – 1.
19. Суур-Аскола, П. *Технологически усовершенствованный продукт от компании Peikko – тросовая петля PVL* // *Жилищное строительство*. – 2013. – № 3. – С. 21–24.
20. Водопьянов, Р.Ю. *Моделирование и расчет крупнопанельных зданий в ПК ЛИРА-САПР 2017* / Р.Ю. Водопьянов // *Жилищное строительство*. – 2017. – № 3. – С. 42–48.
21. Шапиро, Г.И. *К вопросу о построении расчетной модели панельного здания* / Г.И. Шапиро, Р.В. Юрьев // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2004. – № 12. – С. 32–33.
22. Данель, В.В. *Конечноэлементная модель крупнопанельного здания* / В.В. Данель // *Вестник МГСУ*. – 2011. – № 2. – С. 148–153.
23. Данель, В.В. *Анализ формул для определения жесткости при растяжении монолитного бетонного стыка двух железобетонных панелей, пересекаемого непрерывными арматурными стержнями* / В.В. Данель // *Строительная механика и расчет сооружений*. – 2010. – № 3 2010. – С. 4–13.
24. Kariakin, A.A. *Experimental and Numerical Research on Tensile Performance of Inter-Panel Fastener Joints of Large-Panel Buildings* / A.A. Kariakin, I.S. Derbentsev, M.V. Tarasov // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2017. – Vol. 262. – 012046.
25. *Отчет о научно-исследовательской работе на тему: «Исследование работы стыков и узлов сопряжения крупнопанельных жилых зданий на основе применения новых видов бетонов и новых конструктивных решений»*. – Челябинск: ЮУрГУ, 2011.

**Дербенцев Илья Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), [derbentsev@susu.ru](mailto:derbentsev@susu.ru)

**Карякин Анатолий Андреевич**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции и сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), [kariakinaa@susu.ru](mailto:kariakinaa@susu.ru)

**Тарасов Максимилян Владимирович**, аспирант кафедры «Строительные конструкции и сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), [tar-mv@bk.ru](mailto:tar-mv@bk.ru)

**Попп Павел Валерьевич**, старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции и сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), [polkobnik@mail.ru](mailto:polkobnik@mail.ru)

*Поступила в редакцию 9 декабря 2019 г.*



## RESEARCH OF FORCES IN VERTICAL KEY-JOINTS OF A LARGE PANEL BUILDING IN THE PROCESS OF ITS CONSTRUCTION

I.S. Derbentsev, [derbentcevis@susu.ru](mailto:derbentcevis@susu.ru)

A.A. Karyakin, [kariakinaa@susu.ru](mailto:kariakinaa@susu.ru)

M.V. Tarasov, [tar-mv@bk.ru](mailto:tar-mv@bk.ru)

P.V. Popp, [polkobnik@mail.ru](mailto:polkobnik@mail.ru)

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Recently, the world has seen a tendency of reinforced concrete housing construction industrialization. Russia has gained extensive experience in large-panel housing construction, which helps to find optimal structural solutions, but new solutions lead to the need for additional study. Modern software systems allow you to build volumetric models of a building, taking into account physical non-linearity, which helps to take into account the actual distribution of efforts between the elements. At the same time, to build the correct model of a large-panel building, the flexibility of joints between them is required. The flexibility is calculated by online tests the results of which are used to build the future model of a building in the process of its designing. The calculation model of a building gives an approximate estimate of structural behavior and the degree of its accuracy depends on the correct selection of the initial premises.

This article estimates the numerical model of a large-panel building by comparing it with the results of direct observations of shear movements in the vertical joints of the most loaded walls of a building under construction. The observations were carried out on a 26-story large-panel building with a cross structural system with self-supporting external longitudinal walls. Vertical joints are monolithic reinforced concrete with the use of dowels with cable loop transverse reinforcement.

In addition, estimation of forces at the joints is also given. In general, we may conclude that the calculation model of a large-panel building is applied correctly using elastic-flexible connections with limiting ultimate forces for vertical joints modeling.

The modeling part of the study is performed using a finite element model taking into account the magnitude of the joints flexibility and the actual stiffness of the building structural elements.

The results of the study can be used in modeling, calculation and design of large-panel buildings, and they provide new scientific knowledge about the operation of buildings of this type.

*Keywords:* large-panel buildings, monolithic joints, joint stiffness, joint strength, tensile tests, lock joints, loop joints.

### References

1. Derbentsev I.S. *Nesushchaya sposobnost' i deformativnost' shponochnykh soyedineniy s petlevymi gibkimi svyaziyami v stykakh krupnopanel'nykh mnogoetazhnykh zdaniy. Dis. kand. tekhn. nauk* [Load Bearing Capacity and Deformation of Keyed Connections with Loop Flexible Connections in Joints of Large-panel Multi-Storey Buildings. Cand. sci. diss.]. Chelyabinsk, 2014, p. 158.
2. Dovzhenko O.A., Pogrebnoy V.V., Chursa Yu.V. [Method for Calculating Keyed Joints of Reinforced Concrete Elements]. *Vestnik Poltavskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta im. Yu. Kondratyuka «Teoriya i praktika stroitel'stva»* [Bulletin of Poltava National Technical University Named after Y. Kondratyuk "Theory and Practice of Construction"], 2013, no. 755, pp. 111–117 (in Russ.).
3. Dovzhenko O.A., Pogrebnoy V.V., Yurko I.A. [The Strength of Single-Key Joints, Collapsing Along the Joint]. *Tekhnicheskkiye nauki: elektron. nauchn. zhurn.* [Engineering: Electron. Scientific Journ.], 2015, no. 7, pp. 100–121 (in Russ.).
4. Dovzhenko O.A., Pogrebnoy V.V., Chursa Yu.V. [Taking into Account the Cross-Sectional Shape of the Keys when Calculating their Strength]. *Sbornik nauchnykh trudov UkrDUZT* [Collection of Scientific Works of UkrDUZT], 2015, no. 155, pp. 221–228 (in Russ.).
5. Pogrebnoy V.V. *Prochnost' betonnykh i zhelezobetonnykh elementov pri sreze. Dis. kand. tekhn. nauk* [The Strength of Concrete and Reinforced Concrete Elements in Shear. Cand. sci. diss.]. Poltava, 2000, 236 p.
6. Rozhko V.N. *Prochnost' shponochnykh soyedineniy betonnykh i zhelezobetonnykh elementov. Dis. kand. tekhn. nauk* [Strength of Keyed Joints of Concrete and Reinforced Concrete Elements. Cand. sci. diss.]. Poltava, 2008, 182 p.
7. Biswal A., Prasad A.M., Sengupta A.K. [Study of Shear Behavior of Grouted Vertical Joints between Precast Concrete Wall Panels under Direct Shear Loading]. *Structural Concrete*, 2018. DOI: 10.1002/suco.201800064
8. Biswal A., Prasad A., Sengupta A. [Experimental Investigation and Prediction of Shear Behavior of Vertical Joints between Precast Concrete Wall Panels]. Chennai, India, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Madras Publ., 2015.

9. Sarma B.S., Govindaraj V., Manohar S. [Experimental Studies on Wire Rope Loop Connections for Precast Concrete Panel Walls]. *The Fourth International fib congress. Mumbai*, 2014, vol. 2, pp. 555–558.
10. Jorgensen, H.B., L.C. Hoang. [Load Carrying Capacity of Keyed Joints Reinforced with High Strength Wire Rope Loops]. *Concrete Innovation and Design, Fib Symposium*, Copenhagen, 2015.
11. Sorensen J.H., Hoang L.C., Fisher G., Olsen G.F. [Construction Friendly Ductile Shear Joints for Precast Concrete Panels]. *Proceedings of the Second International Conference on Performance-based and Life-cycle Structural Engineering*, 2015.
12. Sorensen J.H., Hoang L.C., Olsen G.F., Fisher G. [Test and Analysis of a New Ductile Shear Connection Design for RC Shear Walls]. *Structural Concrete*, 2017, no. 18, pp. 189–204.
13. Jorgensen H.B., Bryndom T., Larsen M., Hoang L.C. [Load Carrying Capacity of Shear Wall T-Connections Reinforced with High Strength Wire Ropes]. *Performance-Based Approaches, Fib Symposium*, Cape Town, 2016.
14. Jorgensen H.B. [Strength of Loop Connections between Precast Concrete Elements. Phd Thesis]. Odense, Denmark, University of Southern Denmark, 2014.
15. SP 335.1325800.2017. *Svod pravil. Krupnopanel'nyye konstruktivnyye sistemy. Pravila proyektirovaniya* [Design Code. Large-Panel Construction System. Design Rules]. Moscow, Minstroy Rossii Publ., 2017. 82 p.
16. Bobryshev P.N. [The Effect of the Number of Joints on the Bearing Capacity of the Samples in Shear]. *Seysmostoykost' zdaniy i inzhenernykh sooruzheniy. Tr. In-ta. TSNIISK im. Kucherenko* [Earthquake Resistance of Buildings and Engineering Structures. Tr. Inst. TSNIISK them. Kucherenko], 1970, iss.14, pp.14–18 (in Russ.).
17. Lishak V.I., Romanova I.A. [The Strength of the Key Joints of Panel Buildings in Shear]. *Sb. nauch. Trudov TSNIIEP zhilishcha "Konstruktivnyye krupnopanel'nykh zhilykh zdaniy"* [Sat. Scientific Proceedings of TsNIIEP Dwellings "Design of Large-Panel Residential Buildings"], 1978, pp. 49–54 (in Russ.).
18. [Greatly improved product from PeikkoPVL single wire connection loop. Peikko News]. Finland, Peikko Corp. Publ., 2010, no. 1.
19. Suur-Askola P. [Technologically Advanced Product from Peikko – Wire Loop PVL]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo* [Housing Construction], 2013, no. 3, pp. 21–24 (in Russ.).
20. Vodop'yanov R.Yu. [Modeling and Analysis of Large-Panel Buildings in the PK LIRA-SAPR 2017]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo* [Housing Construction], 2017, no. 3, pp. 42–48 (in Russ.).
21. Shapiro G.I., Yur'yev R.V. [To the Question of Constructing a Design Model of a Panel Building]. *Pro-myshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2004, no. 12, pp. 32–33 (in Russ.).
22. Danel' V.V. [The Finite Element Model of a Large-Panel Buildings]. *Vestnik MGSU*, 2011, no. 2, pp. 148–153 (in Russ.).
23. Danel' V.V. [Analysis of Formulas for Determining the Tensile Rigidity of a Monolithic Concrete Joint of Two Reinforced Concrete Panels Intersected by Continuous Reinforcing Bars]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions], 2010, no. 3, pp. 4–13 (in Russ.).
24. Kariakin A.A., Derbentsev I.S., Tarasov M.V. [Experimental and Numerical Research on Tensile Performance of Inter-Panel Fastener Joints of Large-Panel Buildings]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 262, 012046. DOI: 10.1088/1757-899X/262/1/012032
25. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote na temu: «Issledovaniye raboty uzlov sopryazheniya krupnopanel'nykh zhilykh zdaniy na osnove primeneniya novykh vidov betonov i novykh konstruktivnykh resheniy»* [Report on the Research Work on the Topic: “The Study of the Joints and Junctions of Large-Panel Residential Buildings Based on the Use of New Types of Concrete and New Design Solutions”]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2011. 83 p.

Received 9 December 2019

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Исследование усилий в вертикальных шпоночных стыках крупнопанельного здания в процессе возведения / И.С. Дербенцев, А.А. Карякин, М.В. Тарасов, П.В. Попп // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 24–23. DOI: 10.14529/build200103

#### FOR CITATION

Derbentsev I.S., Karyakin A.A., Tarasov M.V., Popp P.V. Research of Forces in Vertical Key-Joints of a Large Panel Building in the Process of its Construction. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2020, vol. 20, no. 1, pp. 24–23. (in Russ.). DOI: 10.14529/build200103