УДК 69.057.12-413
doi: 10.33622/0869-7019.2023.03.30-35

Оценка податливости стыков сборных железобетонных элементов

Александр Николаевич ШУВАЛОВ, кандидат технических наук, доцент, ashuvalov@mgsu.ru

Михаил Германович КОВАЛЕВ, преподаватель, kovalevmg@mgsu.ru

Валентин Алексеевич ЕРМАКОВ, кандидат технических наук, доцент, ermakov@mgsu.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

Аннотация. *Новый этап развития крупнопанельного домостроения, позволяющего возводить экономичное жилье в короткие сроки, сопровождается применением инновационных конструктивных и технологических решений. Для качественного проектирования панельных зданий необходимы достоверные исходные прочностные и деформационные характеристики, в том числе податливость стыков сборных железобетонных элементов во всем диапазоне нагружения до предельного значения сдвигающих усилий. Приведены результаты натурных испытаний восьми серий образцов вертикальных стыков, в которых варьировался класс бетона, толщина панелей, количество и взаимное расположение сопрягаемых элементов. Получены характерные графики зависимостей перемещений от нагрузки одного из элементов стыка относительно другого. Для каждого образца определяли три коэффициента податливости на интервалах: от начала нагружения до образования трещин, от начала нагружения до момента приложения максимальной нагрузки и от момента образования трещины до приложения максимальной нагрузки. Кроме того, получены зависимости коэффициентов податливости стыков от класса бетона, типа стыка, количества и толщины элементов в нем, которые могут быть использованы в качестве исходных данных при расчетах многоэтажных панельных зданий.*

Ключевые слова: *панельное строительство, стыки железобетонных панелей, класс бетона, испытания железобетонных конструкций, перемещения, податливость, трещинообразование*

Для цитирования: *Шувалов А. Н., Ковалев М. Г., Ермаков В. А.* Оценка податливости стыков сборных железобетонных элементов // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 3. С. 30–35. doi: 10.33622/0869-7019.2023.03.30-35

EVALUATION OF THE COMPLIANCE OF PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS JOINTS

Aleksander N. SHUVALOV, ashuvalov@mgsu.ru

Mikhail G. KOVALEV, kovalevmg@mgsu.ru

Valentin A. ERMAKOV, ermakov@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

Abstract. *A new stage in the development of large-panel housing construction, which makes it possible to build economical housing in short terms, is accompanied by the use of innovative design and technological solutions. For high-quality design of panel buildings, reliable initial strength and deformation characteristics are required, including the ductility of the joints of prefabricated reinforced concrete elements in the entire range of loading up to the limit value of shear forces. Full-scale tests of eight series of samples of vertical joints were carried out, in which the class of concrete, the thickness of the panels, the number and relative position of the mating elements varied. As a result of the tests, characteristic graphs of the dependences of displacements on the load of one of the joint elements relative to the other were obtained. For each sample, three compliance coefficients were determined at the intervals: from the beginning of loading to the formation of cracks, from the beginning of loading to the moment of application of the maximum load, and from the moment of formation of a crack to the application of the maximum load. In addition, dependences of joint compliance coefficients on the class of concrete, joint type, number and thickness of elements in it were obtained, which can be used as initial data in the calculations of multi-storey panel buildings.*

Keywords: *panel construction, joints of reinforced concrete panels, concrete grade, testing of reinforced concrete structures, displacements, compliance, crack formation*

For citation: Shuvalov A. N., Kovalev M. G., Ermakov V. A. Evaluation of the Compliance of Prefabricated Reinforced Concrete Elements Joints. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2023, no. 3, pp. 30–35. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2023.03.30-35

© ШУВАЛОВ А. Н., КОВАЛЕВ М. Г., ЕРМАКОВ В. А., 2023

Введение

В настоящее время масштабы монолитного строительства значительно превышают объемы крупнопанельного домостроения ввиду возможности создавать уникальные архитектурные формы и других достоинств. Однако все чаще поднимается вопрос о модернизации базы крупнопанельного домостроения [1], рассматриваются инновационные направления конструктивно-экономических решений из крупнопанельных элементов с использованием петлевых соединений железобетонных элементов, сочетаний крупнопанельных элементов, а также различных звуко- и теплоизоляционных материалов, 3D-принтеров и др. [2].

Перспективы применения современных технологических линий и внедрения комбинированной архитектурно-строительной системы, сочетающей в себе достоинства полносборного каркасного и панельного здания, рассмотрены в работе [3]. При проектировании панельных многоэтажных зданий в качестве исходных данных должны быть приняты прочностные и деформативные характеристики, соответствующие конструктивным решениям узлов сопряжения несущих элементов*.

Появление новых конструктивных решений стыков требует оценки их прочности и деформативности для использования в строительстве [4—8], отдельное внимание уделяется оценке надежности платформенных стыков с учетом различных конструктивных особенностей [9—12].

Одна из основных характеристик запроектированных вертикальных узлов сопряжения панелей — относительные смещения панелей как функции от нагрузки на вертикальные стыки разной конструкции. При этом важно получить параметры податливости вертикальных стыков во всем диапазоне нагружения до предельного значения сдвигающих усилий.

Результаты исследования прочности при растяжении и сдвиге стыка на основе резьбовых соединений приведены в работе [13]. Вырыв анкерного болта М16×50 с глубиной анкерования 50 мм и замка BT-Spannschloss (Германия) происходит при нагрузках ~50 кН. При испытаниях на сдвиг панелей, соединенных двумя стяжными замками BT-Spannschloss (в зависимости от варианта исполнения вертикального шва 10—20 мм) обнаружен значительный разброс величин предельных сдвигающих усилий (140 и 270 кН) и жесткости связей (2,5 и 30,1 кН/мм). Это не позволяет с достаточной надежностью рекомендовать расчетные значения показателей жесткости и предельного усилия.

В работах [14, 15] исследовали вертикальный стык панелей типа ЛС, работающий на сдвиг, с гибкими петлями и замоноличиванием шва раствором Р-400. Получены результаты, представляющие практический интерес при назначении начальной и расчетной жесткостей, а также расчетных усилий сдвига в стыке.

Следует отметить развитие методов численного моделирования крупнопанельных зданий с учетом их особенностей, что упрощает процесс проектирования, но не исключает вопрос выбора исходных данных [16].

Таким образом, новый этап развития крупнопанельного домостроения и технологических решений стыков и узлов, с одной стороны, и сложность численного моделирования с учетом сварки — с другой, делают актуальным экспериментальные исследования для адекватной оценки работы стыков.

Цель работы — определение податливости вертикальных стыков стеновых панелей.

1. Маркировка серий образцов

Серия образцов	Толщина стеновой панели, мм	Класс бетона стеновой панели	Форма стыка и количество элементов
С1	160	В15	Т-образный стык из двух элементов
С2	160	В22,5	
С3	200	В30	
С4	160	В15	Г-образный стык из двух элементов
С5	160	В22,5	
С6	200	В30	
С7	160	В15	Т-образный стык из трех элементов
С8	200	В30	

Материалы и методы

В НИУ МГСУ по заданию ООО «ЛСР» были проведены исследования вертикальных стыков панелей с различными толщинами, количеством и взаимным расположением сопрягаемых элементов, а также классами бетона. Маркировка серий образцов вертикальных стыков, полученных комбинированием толщины, класса бетона и типа сопрягаемых элементов, приведена в *табл. 1*.

При сборке вертикальных стыков в типовую конструкцию были внесены следующие изменения:

- скорректирована форма и протяженность сварного шва, соединяющего закладные детали стеновых панелей и монтажного уголка;
- применен Г-образный шов вместо П-образного;
- стык в образцах не заполняли раствором.

Остальные решения при сборке приняты в соответствии с типовым вариантом:

* СП 335.1325800.2017 «Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования».

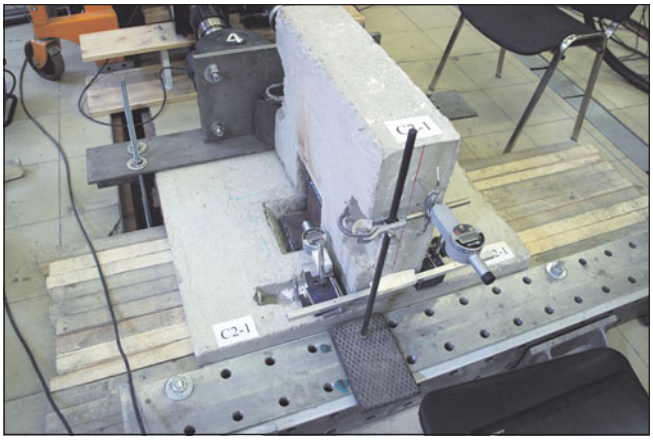

Рис. 1. *Испытания образца серии С3*

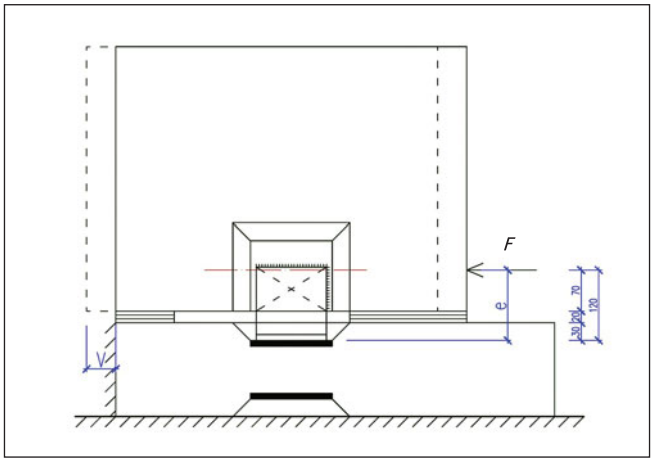

Рис. 2. *Принципиальная схема испытаний*

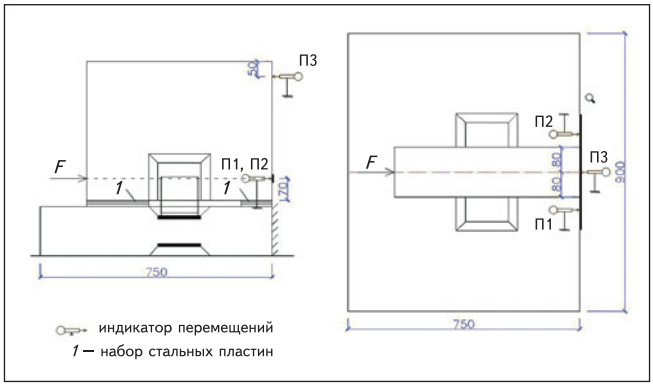

Рис. 3. *Схема стыка с указанием места приложения нагрузки и измерительных средств*

• соединительный элемент – уголок неравнополочный 125×80×10 мм по ГОСТ 8510;

• сварка ручная электродами Э46, катет сварного шва $K_f = 6$ мм.

Образцы вертикальных стыков испытывали на стенде, состоящем из силовой рамы, оснастки и двух гидроцилиндров *(рис. 1)*. Нагружение стыка проводили поэтапно перемещениями, с учетом конструктивного эксцентриситета $e = 120$ мм *(рис. 2)*.

Для определения относительных перемещений панелей в вертикальных стыках использовали индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. В Т-образном вертикальном стыке были установлены три индикатора: два в уровне приложения усилия и один в торце перемещаемой панели на расстоянии 50 мм от верхней грани *(рис. 3)*, который фиксировал возможный поворот в плоскости панели. Для Г-образного вертикального стыка предусматривался дополнительный четвертый индикатор, отмечающий перемещения от возможного поворота из плоскости панели.

Результаты исследования

С эксцентриситетом приложения нагрузки $e = 120$ мм испытывали восемь серий вертикальных стыков (по три образца в серии). Характерные графики зависимостей относительных перемещений от нагрузки элементов стыка для трех серий образцов, отличающихся друг от друга по типу стыков, представлены на *рис. 4*. На графиках отмечены значения относительных перемещений и нагрузки, соответствующие образованию трещины в бетоне и предельному состоянию.

Коэффициент податливости возрастает нелинейно и является производной перемещений по нагрузке. Однако из практических соображений расчета вертикальных стыков на конкретную нагрузку, возможна оценка коэффициентов податливости I на трех интервалах нагружения *(рис. 5)*:

$I_1 = V_{тр}/F_{тр}$ – до образования трещины;

$I_2 = V_р/F_р$ – от начала нагружения до максимальной нагрузки;

$I_3 = (V_р - V_{тр})/(F_р - F_{тр})$ – от образования трещины до максимальной нагрузки, где $V_{тр}$, $V_р$ – относительные перемещения соответственно при образовании первой трещины в бетоне и при максимальной нагрузке; $F_{тр}$ – нагрузка трещинообразования; $F_р$ – максимальная нагрузка.

Значения коэффициентов податливости *(см. рис. 5)* узлов сопряжения на линейном I_1 и нелинейном I_3 участках нагружения и на всем диапазоне нагружения I_2 вертикальных стыков представлены в *табл. 2*.

Обсуждение результатов

Анализ результатов, представленных на *рис. 4, 5* и в *табл. 2*, позволяет констатировать следующее. Коэффициент податливости I_1 на первом, практически линейном, участке деформирования до образования трещин в бетоне существенно меньше, чем значения I_2 и I_3. Наибольшее среднее значение коэффициента податливости $I_{1ср} = 21{,}8 \cdot 10^{-6}$ мм/Н получено для вертикальных Г-образных стыков серии

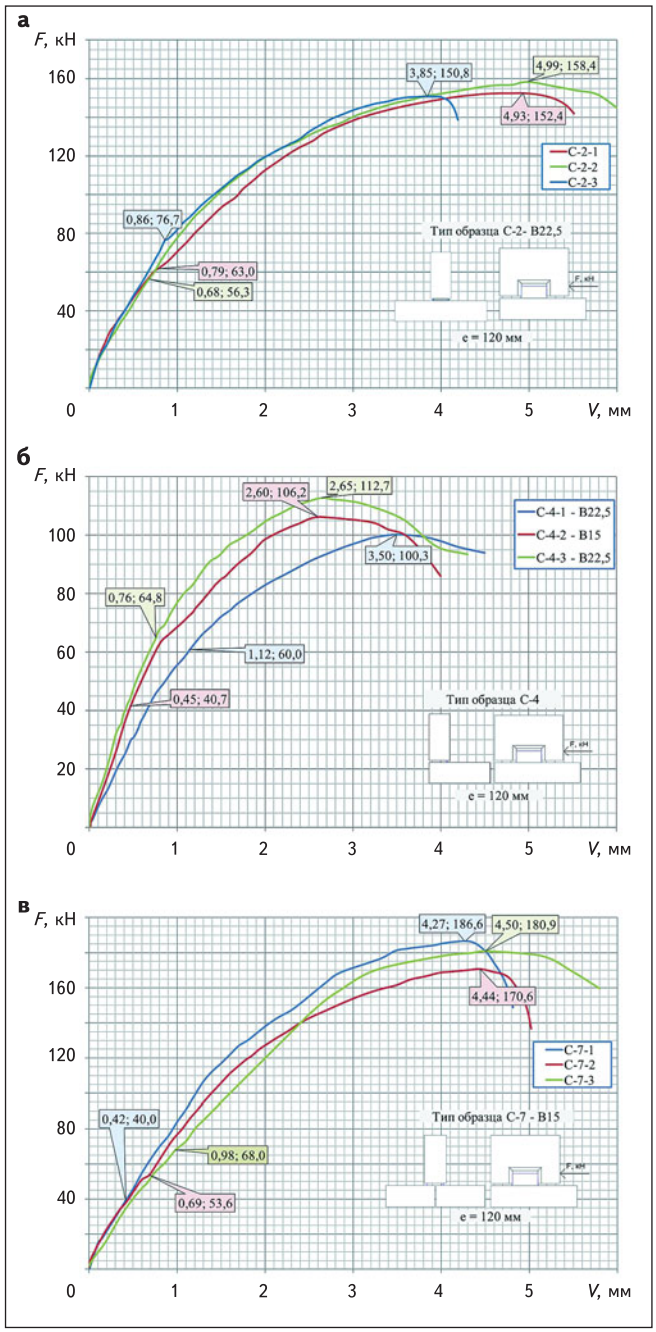

Рис. 4. ***Диаграмма перемещений V в зависимости от нагрузки F образцов серий С2 (а), С4 (б) и С7 (в)***

С5 из бетона класса В15. Наименьшее среднее значение коэффициента податливости $I_{1ср}$ = 7,4·10^{-6} мм/Н выявлено для симметричных стыков из двух блоков (серия С3) с использованием бетона класса В30. Минимальный разброс значений коэффициентов податливости I_1 относительно среднего значения $I_{1ср}$ получен по результатам испытаний вертикальных стыков серий С5 – 4,1 %, С4 – 5,3 %, С3 – 6,8 %, С2 – 7,4 %. Наибольший разброс значений коэффициентов податливости I_1 относительно $I_{1ср}$ получен для стыков серии С7 – 20,8 %.

2. Коэффициенты податливости образцов и их средние значения по сериям

Номер типа в серии	Податливость, 1·10^{-6} мм/Н					
	I_1	$I_{1ср}$	I_2	$I_{2ср}$	I_3	$I_{3ср}$
С1-2 В15	14,9	–	19,6	–	23	–
С2-1 В22,5	12,5	12,1	32,3	28,8	46,3	43
С2-2 В22,5	12,1		31,5		42,2	
С2-3 В22,5	11,6		25,5		40,4	
С3-1 В30	7,4	7,4	14,2	15,6	20,0	25,7
С3-2 В30	7,1		15,2		23,6	
С3-3 В30	7,6		17,4		33,5	
С4-2 В15	11,1	11,4	24,5	24	32,8	36
С4-3 В22,5	11,7		23,5		39,2	
С5-2 В15	21,5	21,8	Отказ: в момент образования трещины из-за кручения уголка			
С5-1 В15	22,4		48,1	46	105,9	88,3
С5-3 В15	21,6		43,8		70,6	
С6-1 В30	19,05	19,2	Отказ: трещина в сварном шве, K_f = 3,5...4 мм			
С6-2 В30	21		25,5	28,9	41,8	37,2
С6-3 В30	17,7		32,6		32,6	
С7-1 В15	11	12,5	26,3	29,9	26,3	29,8
С7-2 В15	12,9		32,1		32,1	
С7-3 В15	13,6		31,2		31,2	
С8-1 В30	9,8	9	19,3	17,6	30,2	27,8
С8-2 В30	6,7		17,8		31,3	
С8-3 В30	10,6		15,7		22,1	

Коэффициент податливости I_2 *(см. рис. 5)*, который определен по относительным перемещениям при максимальной нагрузке, характеризуется ожидаемо большими значениями. Разброс величин относительно среднего значения по результатам трех испытаний в каждой из восьми серий не превышал 20 %. Зависимость снижения коэффициента податливости $I_{2ср}$ при увеличении прочности бетона отмечена во всех трех типах вертикальных стыков.

Наибольшее среднее значение коэффициента податливости $I_{2ср}$ = 46,6·10^{-6} мм/Н наблюдалось для Г-образных стыков серии С5 из бетона класса В15. Наименьший средний коэффициент податливости $I_{2ср}$ = 15,6·10^{-6} мм/Н получен для симметричных стыков панелей серии С3 из бетона класса В30.

Среднее по трем образцам значение I_1 на линей-

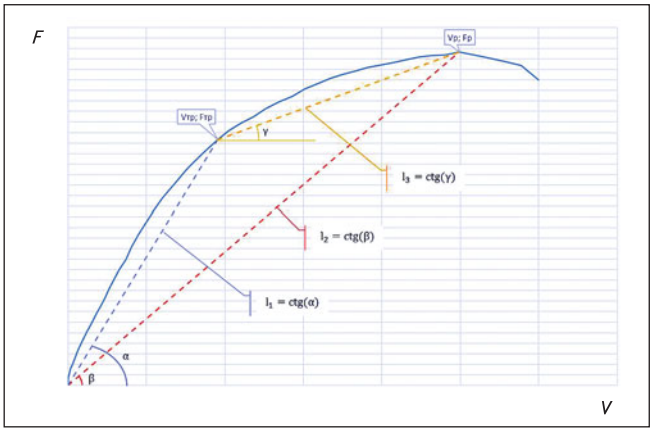

Рис. 5. ***Графики линейной аппроксимации перемещений для определения податливости стыка***

ном участке деформирования вертикального стыка зависит от типа стыка и класса бетона: начальный коэффициент податливости наиболее жесткого Т-образного стыка из двух элементов из бетона класса В30 $I_{1ср}$ = 7,4·10^{-6} мм/Н, что примерно в 3 раза меньше по сравнению с Г-образным стыком панелей из бетона В15.

Для вертикальных стыков панелей из бетона классов В15 и В22,5 можно использовать в расчетах коэффициент податливости $I_{1ср}$ *(см. табл. 2)* при нагрузке $F_{тр} \leqslant 50$ кН до образования трещин в бетоне, а для вертикальных стыков панелей — из бетона класса В30 при нагрузках $F_{тр} \leqslant 100$ кН.

Выводы

1. Полученные результаты позволили выполнить оценку коэффициентов податливости узлов сопряжения вертикальных стыков на трех участках нагружения: до образования трещин в бетоне I_1, от начала нагружения до максимальной нагрузки I_2 и после образования трещин до максимальной нагрузки I_3.

2. Уменьшение полной характеристики податливости $I_{2ср}$ при увеличении прочности бетона отмечается во всех типах вертикальных стыков и проявляется в большей степени по сравнению с изменением коэффициента податливости $I_{1ср}$.

3. Значительный разброс коэффициента податливости I_3 до 50 % для стыков одной серии определяется, в частности, разными нагрузками образования трещин (начала нелинейного участка деформирования). В этой связи показатель I_3 можно использовать только как качественную оценку податливости вертикальных стыков разной конструкции на нелинейном участке деформирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Николаев С. В.* Модернизация базы крупнопанельного домостроения – локомотив строительства социального жилья // Жилищное строительство. 2011. № 3. С. 3–7.
2. *Абакумов Р. Г.* Инновационные направления конструктивно-экономических решений развития жилищного строительства из крупнопанельных элементов // Научное обозрение. 2020. № 1. С. 57–67. doi: 10.35679/1815-4972-2020-1-57-67
3. *Шпетер А. К.* Реальность и будущее крупнопанельного строительства в Сибири // Жилищное строительство. 2012. № 4. С. 29–32.
4. *Колчунов В. И., Мартыненко Д. В.* Прочность и деформативность сборно-монолитных платформенных стыков панельных зданий // Строительство и реконструкция. 2019. № 2(82). С. 26–34. doi: 10.33979/2073-7416-2019-82-2-26-34
5. *Шапиро Г. И., Шапиро А. Г.* Расчет прочности платформенных стыков панельных зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2008. № 1. С. 55–57.
6. *Derbentsev I., Karyakin A., Volodin A.* Stress behaviour in compression of contact-monolithic joint of self-supporting wall of large panel multi-storey building [Напряжения при сжатии контактно-монолитного соединения самонесущей стены крупнопанельного многоэтажного здания] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. No. 262. P. 012032. doi: 10.1088/1757-899X/262/1/012032
7. *Vella J. P., Vollum R. L., Jackson A.* Investigation of headed bar joints between precast concrete panels [Исследование соединений стержней с головками между сборными железобетонными панелями] // Engineering Structures. 2017. Vol. 138. Pp. 351–366. doi: 10.1016/j.engstruct.2017.02.018
8. *Raghavan L., Thiagu H.* Structural behaviour of conventional and precast panel joints [Конструктивные особенности соединений обычных и сборных панелей] // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). 2017. Vol. 8. Iss. 4. Pp. 156–162.
9. *Тамразян А. Г., Дехтерев Д. С.* Оценка влияния конструкционных параметров на надежность платформенного стыка панельных зданий по методу статистического моделирования // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 5–10.
10. *Грановский А. В., Смилянский А. Л., Граник В. Г.* К оценке надежности платформенных стыков панельных зданий при использовании в них преднапряженных плит с внутренними анкерами // Бетон и железобетон. 2003. № 2. С. 2–6.
11. *Тамразян А. Г., Федорова Н. В., Дехтерев Д. С.* Оценка весомости конструкционных параметров платформенного стыка панельных зданий на надежность соединения по методу линеаризации // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 1(373). С. 155–161.
12. *Тамразян А. Г., Дехтерев Д. С.* Исследование на-

дежности горизонтального монолитного стыка сборных стеновых элементов панельных зданий методом статистического моделирования // Инновации и инвестиции. 2017. № 11. С. 170–174.

13. *Грановский А. В., Доттуев А. И.* Экспериментальные исследования прочности при сдвиге и растяжении вертикальных стыков панелей с использованием связей из стяжных замков BT-Spannschloss // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 1. С. 17–20.
14. *Карякин А. А., Дербенцев И. С., Попп П. В.* Результаты испытаний фрагментов вертикальных шпоночных стыков крупнопанельных зданий на сдвиг // Научный поиск : материалы Второй научной конференции аспирантов и докторантов. Технические науки. 2011. Т. 1. С. 122–126.
15. *Дербенцев И. С.* Результаты испытаний натурных образцов шпоночных соединений панелей крупнопанельных зданий с гибкими связями // Научный поиск : материалы Второй научной конференции аспирантов и докторантов. Технические науки. 2010. Т. 1. С. 72–76.
16. *Водопьянов Р. Ю.* Моделирование и расчет крупнопанельных зданий в ПК ЛИРА-САПР 2017 // Жилищное строительство. 2017. № 3. С. 42–48.

R E F E R E N C E S

1. Nikolaev S. V. Modernization of the large–panel housing construction base – the locomotive of social housing construction. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2011, no. 3, pp. 3–7. (In Russ).
2. Abakumov R. G. Innovative directions of structural and economic solutions of housing construction development from large-panel elements. *Nauchnoe obozrenie*, 2020, no. 1, pp. 57–67. (In Russ). doi: 10.35679/1815-4972-2020-1-57-67
3. Shpeter A. K. The reality and future of large-panel construction in Siberia. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2012, no. 4, pp. 29–32. (In Russ).
4. Kolchunov V. I., Martynenko D. V. The strength and deformability of precast-monolithic platform joints of panel buildings. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*, 2019, no. 2(82), pp. 26–34. (In Russ). doi: 10.33979/2073-7416-2019-82-2-26-34
5. Shapiro G. I., Shapiro A. G. Strength calculation of platform-type joints of panel buildings. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2008, no. 1, pp. 55–57. (In Russ).
6. Derbentsev I., Karyakin A., Volodin A. Stress behaviour in compression of contact-monolithic joint of self-supporting wall of large panel multi-storey building. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 262, p. 012032. doi: 10.1088/1757-899X/262/1/012032
7. Vella J. P., Vollum R. L., Jackson A. Investigation of headed bar joints between precast concrete panels. *Engineering Structures*, 2017, vol. 138, pp. 351–366. doi: 10.1016/j.engstruct.2017.02.018
8. Raghavan L., Thiagu H. Structural behaviour of conventional and precast panel joints. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 2017, vol. 8, iss. 4, pp. 156–162
9. Tamrazyan A. G., Dekhterev D. S. Assessing the impact of structural parameters on the reliability of a platform joint of panel buildings by the method of statistical modeling. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2016, n. 7, pp. 5–10. (In Russ).
10. Granovskiy A. V., Smilyanskiy A. L., Granik V. G. To assess the reliability of platform joints of panel buildings when using prestressed plates with internal anchors in them. *Beton i zhelezobeton*, 2003, no. 2, pp. 2–6. (In Russ).
11. Tamrazyan A. G., Fedorova N. V., Dekhterev D. S. Assessment of ponderability of constructional parameters of platform joint of panel buildings on reliability of connection by method of linearization. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 2018, no. 1(373), pp. 155–161. (In Russ).
12. Tamrazyan A. G., Dekhterev D. S. Investigation of the reliability of the horizontal monolithic joint of prefabricated wall elements of panel buildings by statistical modeling. *Innovacii i investicii*, 2017, no. 11, pp. 170–174. (In Russ).
13. Granovskiy A. V., Dottuev A. I. Experimental studies of shear and tensile strengths of panel vertical joints with the use of ties of swivels BT-spannschloss. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2014, no. 1, pp. 17–20. (In Russ).
14. Karyakin A. A., Derbencev I. S., Popp P. V. Test results of fragments of vertical key joints of large-panel buildings for shear. *Nauchnyj poisk. Materialy Vtoroj nauchnoj konferencii aspirantov i doktorantov. Tekhnicheskie nauki*, 2011, vol. 1, pp. 122–126. (In Russ).
15. Derbencev I. S. Experimental and theoretical studies of monolithic keyed joints with flexible cable loops of large-panel multi-storey buildings. *Nauchnyj poisk. Materialy Vtoroj nauchnoj konferencii aspirantov i doktorantov. Tekhnicheskie nauki*, 2010, vol. 1, pp. 72–76. (In Russ).
16. Vodop'yanov R. Yu. Simulation and computation of large-panel buildings in PC LIRA-SAPR 2017. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2017, no. 3, pp. 42–48. (In Russ). ■

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ! ПРЕЖДЕ ЧЕМ ОТПРАВИТЬ СТАТЬЮ В РЕДАКЦИЮ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ, **ВНИМАТЕЛЬНО** ОЗНАКОМЬТЕСЬ С ТРЕБОВАНИЯМИ К СТАТЬЯМ, КОТОРЫЕ ПРИВЕДЕНЫ НА САЙТЕ ЖУРНАЛА (**www.pgs1923.ru**) В РАЗДЕЛЕ «АВТОРАМ».