

УДК 624.078:69.057.1

Оценка влияния конструкционных параметров на надежность платформенного стыка панельных зданий по методу статистического моделирования

Ашот Георгиевич ТАМРАЗЯН, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой железобетонных и каменных конструкций, e-mail: tamrazian@mail.ru

Денис Сергеевич ДЕХТЕРЕВ, аспирант, e-mail: 9201177874@mail.ru

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337 Москва, Ярославское ш., 26

Аннотация. Развитие панельного домостроения в середине XX в. обозначило проблему безопасности панельных зданий по истечении нормативного срока их эксплуатации. Одной из важнейших задач при оценке надежности панельного здания является оценка надежности платформенных стыков панелей. Совершенствование методики обследования и расчета платформенных стыков – основной путь повышения безопасности эксплуатируемых панельных зданий. В работе приведены параметры, оказывающие влияние на несущую способность и начальную надежность платформенных стыков. Показаны функция распределения вероятности, индекс надежности и вероятность отказа конструкций. Для оценки влияния расчетных параметров на надежность платформенного стыка выполнен статистический эксперимент. Исходными данными для эксперимента послужили результаты научных исследований и натурных испытаний с реальными параметрами конструкций. Установлено существенное превышение степени влияния отдельных параметров на надежность стыка, что позволяет учитывать результаты эксперимента в практике проектирования и строительства зданий.

Ключевые слова: надежность и безопасность конструкций, платформенный стык, функция распределения вероятности, индекс надежности, вероятность отказа.

ASSESSING THE IMPACT OF STRUCTURAL PARAMETERS ON THE RELIABILITY OF A PLATFORM JOINT OF PANEL BUILDINGS BY THE METHOD OF STATISTICAL MODELING

Ashot G. TAMRAZYAN, e-mail: tamrazian@mail.ru

Denis S. DEKHTEREV, e-mail: 9201177874@mail.ru

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

Abstract. The development of panel house building in the middle of the XX century addressed the problem of safety of panel buildings at the expiration of their standard operational life. One of the major problems when assessing the reliability of the panel building is the assessment of the reliability of the platform panel joints. Improving methods of inspection and calculation of platform joints is a main way of improving the safety of operated prefabricated buildings. The paper lists the parameters that affect the bearing capacity and initial reliability of platform joints. The probability distribution function, reliability index and failure probability of structures are shown. To assess the influence of design parameters on the reliability of the platform joint, the statistical experiment was conducted. Results of scientific studies and in-place tests with real parameters of designs were the initial data for the experiment.

A significant excess of the degree of influence of some parameters on the reliability of the joint has been established; this makes it possible to take into account the experiment results in the practice of design and construction of buildings. **Key words:** reliability and safety of structures, joint platform, probability distribution function, reliability index, probability of failure.

Интенсивное строительство в середине XX в. панельных зданий, рассчитанных на нормативный срок эксплуатации не более 50 лет, привело сегодня к необходимости решения вопроса проведения их капитального ремонта, реконструкции или демонстрации, и в первую очередь вопроса оценки надежности зданий, их

ремонтнопригодности и определения остаточного ресурса.

В настоящее время расчет строительных конструкций проводится по полувероятностному методу предельных состояний, в основе которого лежат частные коэффициенты запаса, учитывающие статистическую изменчивость случайных параметров —

нагрузок, свойств материала, геометрических параметров конструкций. Применение этих коэффициентов, однако, не дает возможности определять в процессе расчета как общую надежность сооружения, так и надежность его отдельных конструктивных элементов. Использование при проектировании вероятностно-

статистического аппарата позволяет создавать здания с заданным уровнем безопасности, а также оптимизировать затраты на строительство при достижении требуемого уровня надежности [1].

Дальнейшим развитием метода предельных состояний является проектирование конструктивных элементов зданий с нормируемым уровнем надежности [2]. Это открывает дополнительные возможности снижения материальных затрат без повышения рисков. Установлено, что величина отказов конструкций эксплуатируемых зданий по первой группе предельных состояний не превышает 3 %, что свидетельствует о достаточности принятых норм проектирования [3].

Однако практика обследования зданий показывает, что конструкции плохо защищены от повреждений, возникающих в ходе эксплуатации здания под воздействием внешних силовых факторов и внешней среды. Это приводит к образованию силовых трещин, деструктивных изменений в бетоне, коррозии арматуры и многочисленным отказам в работе конструкции [4]. В настоящее время строительными нормами не предусмотрено проведение расчетного контроля за сооружением в период перехода здания из нормативного состояния в предельное.

Введение методик эксплуатационного контроля за состоянием здания в нормативную документацию позволит управлять процессом старения конструктивных элементов здания. Указанный пробел в контроле старения здания может быть заполнен методикой расчетного прогноза срока службы как элемента надежности [5–7].

Срок службы зависит от комбинированного воздействия всех силовых факторов, неблагоприятного влияния окружающей среды, физического состояния

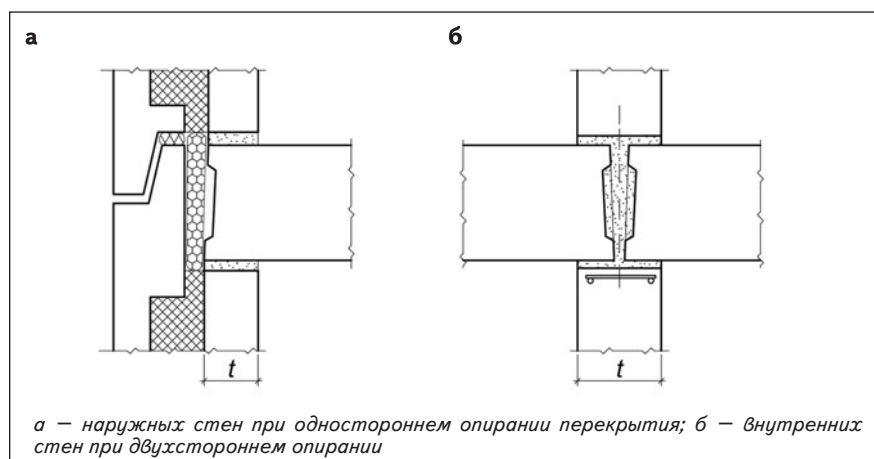


Рис. 1. Платформенный стык панельных зданий

конструкций на момент обследования здания, т. е. срок службы (ресурс) является интегральной оценкой состояния конструкции в любой момент времени.

Основные элементы панельного здания выполняются на заводе при тщательном контроле, что существенно повышает качество технологических процессов и надежность заводских элементов [1]. В этих условиях наиболее ответственными элементами панельного здания являются узлы сопряжения панелей стен и перекрытий, выполняемые на строительной площадке.

За время эксплуатации панельных зданий в различных климатических и геологических условиях данная конструктивная схема показала высокую надежность, в том числе с учетом сейсмического воздействия. Однако анализ аварий панельных зданий [8] показывает большое влияние начальных дефектов монтажных стыков на безопасность сооружения.

При проведении технической диагностики здания для целей реконструкции, капитального ремонта возникает необходимость оценки несущей способности платформенных стыков с учетом выявленных проектных отклонений, дефектов строительства и эксплуатационных повреждений.

Практикой диагностики зданий установлено, что более 30 % горизонтальных панельных швов имеют различного рода дефекты и повреждения, снижающие несущую способность конструкций.

Обнаруженные при обследовании здания нарушения нормативных и проектных параметров по-разному влияют на надежность сооружения [9], поэтому актуальной задачей при реконструкции и капитальном ремонте становится выявление наиболее значимых параметров, определяющих безопасность сооружения, что позволит повысить качество и снизить сроки проведения обследования, выполнить количественную оценку несущей способности и надежности сооружения.

Параметры, влияющие на несущую способность платформенных стыков панельных зданий, указаны в Пособии по проектированию жилых зданий [10]. Несущая способность горизонтального стыка N_j с двухсторонним опиранием панелей перекрытия (рис. 1) определяется по формуле

$$N_j = R_c t d_j, \quad (1)$$

где R_c — приведенное сопротивление стыка сжатию, t — толщина стены, d_j — расчетная ширина простенка.

Сопротивление стыка сжатию R_c устанавливается эмпирически-

ми коэффициентами, учитывающими влияние горизонтальных растворных швов η_m и конструктивный тип стыка η_j . На значения этих коэффициентов, оказывают влияние следующие параметры стыка: расчетная толщина шва; расчетная ширина шва; кубиковая прочность раствора; класс бетона стены; суммарный размер платформенных площадок; коэффициент, учитывающий возможное суммарное смещение плит перекрытий в стыке относительно их проектного положения; коэффициент, учитывающий неравномерность загрузки конструкций и коэффициент, зависящий от соотношения расчетных прочностей при сжатии бетона стены и бетона опорных участков перекрытий.

Анализ несущей способности платформенного стыка с опиранием сплошных плит перекрытия показывает, что наибольшее влияние на его прочность оказывают толщина шва, прочность бетона стены и опорных участков перекрытия, прочность раствора, размер платформенных площадок и толщина стены [11]. Применение вероятностно-статистического аппарата позволяет оценить надежность конструкций платформенного стыка и оценить остаточный ресурс.

Начальная надежность стыка — это вероятность выполнения условия прочности стыка, которое определяется согласно [12] резервом несущей способности:

$$g = N - R_c t d_j = N - R_{bw} \left[1 - \frac{(2 - t_m/b_m) t_m/b_m}{1 + 2 R_m/B_w} \right] \times \left[(b_{pl} - \delta_{pl}) \gamma_{pl} \frac{\eta_{pl}}{t} \right] t d_j, \quad (2)$$

где где N — нагрузка, действующая на элемент; R_{bw} — расчетная прочность бетона стены; t_m — расчетная толщина шва; b_m — расчетная ширина шва; R_m — кубиковая прочность раствора; B_w — класс бетона стены; b_{pl} — суммарный размер платформенных площа-

Исходные данные для статистического моделирования

Параметр	Математическое ожидание	Среднеквадратичное отклонение
Расчетная толщина шва t_m , мм	20	5
Кубиковая прочность раствора R_m , МПа	20	2,7
Расчетная прочность бетона стены R_{bw} , МПа	17	2,3
Толщина стены t , мм	160	6,1
Расчетная прочность при сжатии бетона опорных участков перекрытий R_{bp} , МПа	14,5	1,96

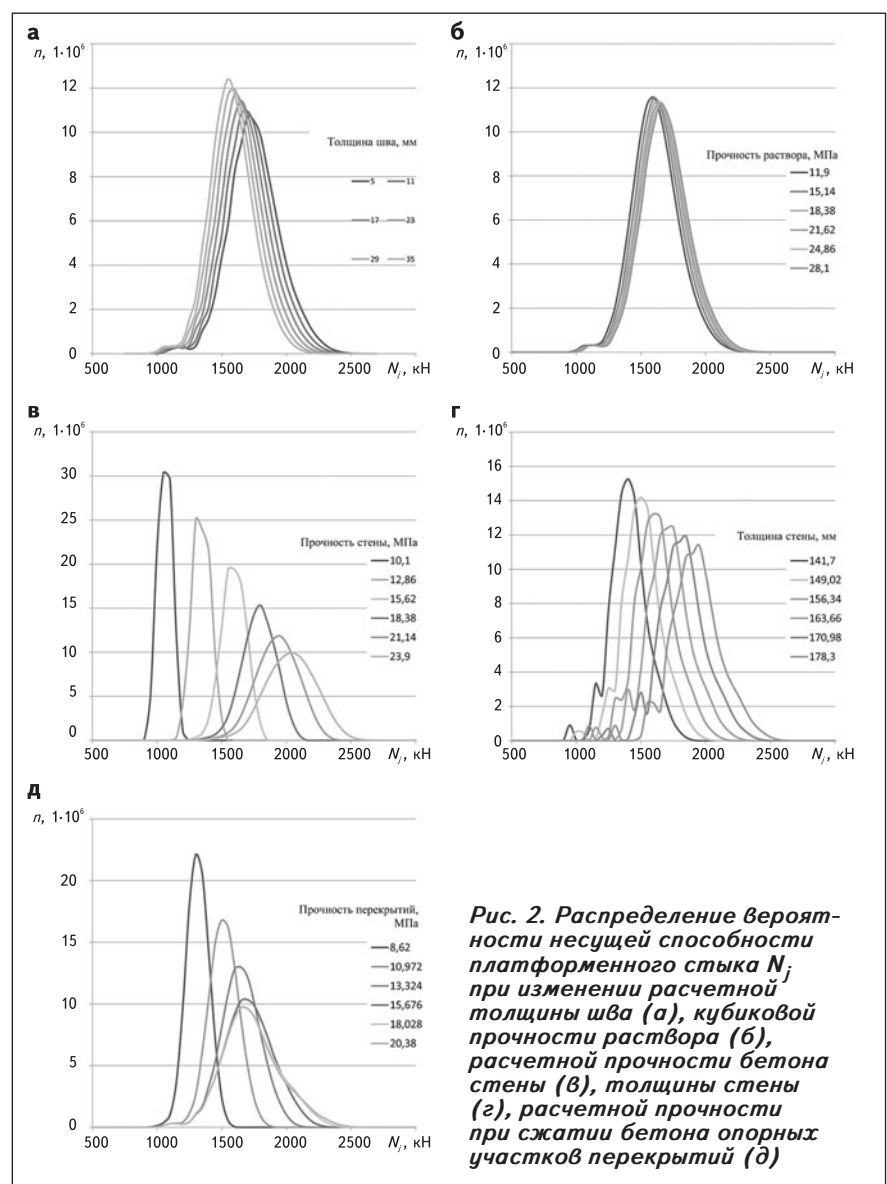


Рис. 2. Распределение вероятности несущей способности платформенного стыка N_j при изменении расчетной толщины шва (а), кубиковой прочности раствора (б), расчетной прочности бетона стены (в), толщины стены (г), расчетной прочности при сжатии бетона опорных участков перекрытий (д)

док; δ_{pl} — коэффициент, учитывающий возможное суммарное смещение плит перекрытий в стыке относительно их проектного положения; γ_{pl} — коэффициент, учитывающий неравномерность

загрузки конструкций; η_{pl} — коэффициент, зависящий от соотношения расчетных прочностей при сжатии бетона стены и бетона опорных участков перекрытий.

Для вычисления надежности платформенного стыка используем функцию распределения вероятности $F(g)$:

$$F(g) = \int_{-\infty}^g f(g) dg. \quad (3)$$

При нормальном законе распределения вероятности согласно [12]:

$$F(g) = \frac{1}{S_g \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^g e^{-\frac{(g-\bar{g})^2}{2S_g^2}} dg. \quad (4)$$

Вероятность отказа Q определяется выражением

$$Q = F(g = 0).$$

В результате преобразований получим:

$$Q = 0,5 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\beta e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 0,5 - \Phi(\beta), \quad (5)$$

где $\beta = \bar{g}/S_g$ – индекс надежности [13]; t – квантиль нормального распределения; $\Phi(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\beta e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ – интеграл Лапласа.

Надежность стыка P_s будет определяться выражением

$$P_s = 1 - Q = 0,5 + \Phi(\beta).$$

Вычисление надежности платформенного стыка аналитически при наличии нескольких случайных параметров затруднительно и требует значительного времени. При необходимости вычисления надежности с несколькими случайными параметрами эффективно применяются методы статистического моделирования с использованием ресурсов ПК.

Для оценки влияния параметров платформенного стыка на его начальную надежность проведен численный эксперимент по методу статистического моделирования. В качестве расчетных параметров приняты: расчетная толщина шва t_m , кубиковая прочность раствора R_m , расчетная прочность бетона стены R_{bw} , толщина стены t , прочность при сжатии бетона опорных участков перекрытий R_{bp} , оказывающая влия-

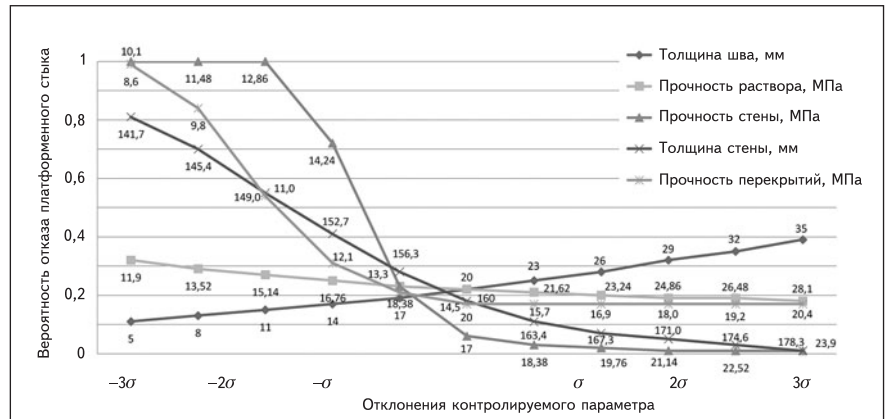


Рис. 3. График вероятности отказа платформенного стыка от величины отклонения контролируемого параметра

ние на коэффициент η_{pR} . Все указанные параметры независимы и распределяются по нормальному закону.

Для определения возможных отклонений некоторых параметров платформенных стыков использованы данные инженерного обследования панельных зданий [8]. При этом выявлено существенное влияние на надежность стыков повышенной толщины и степени заполнения растворного шва, пониженной марки раствора, глубины опирания перекрытий.

В ходе экспериментальных исследований прочности и деформативности платформенных стыков в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко [11, 14, 15] установлено, что наступление отказа соединений происходит по причине образования трещин и разрушения опорных участков стеновых панелей, а также опорных зон плит перекрытия. Результаты исследований показывают существенное влияние на надежность стыка прочности бетона стеновых панелей и плит перекрытия.

При моделировании расчетных параметров с нормальным распределением задаемся их математическими ожиданиями, а также среднеквадратичными отклонениями по материалам лабораторных исследований образцов платформенных стыков

панельных зданий в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко [15] (см. таблицу). Среднеквадратичное отклонение σ прочностных характеристик материалов назначаем по коэффициенту вариации 13,5 %, являющемуся средне-статистическим показателем по заводам ЖБИ.

Расчетную прочность бетона устанавливаем с учетом коэффициента надежности по бетону при сжатии $\gamma_b = 1,3$ для классов бетона стен и перекрытий соответственно В30 и В25. Коэффициент вариации для отклонения толщины панели по результатам наблюдений соответственно принят равным 3,8 %.

Численный эксперимент по методу статистического моделирования позволяет оценить влияние изменения отдельного расчетного параметра на вероятность отказа платформенного стыка при случайных значениях других расчетных параметров. В качестве постоянных величин приняты коэффициенты, не зависящие от расчетных параметров. Границы изменения расчетных параметров приняты по правилу 3σ .

В результате моделирования 100 случайных значений с нормальным распределением пяти параметров платформенного стыка получены графики распределения вероятности несущей способности платформенного

стыка в зависимости от величины контролируемого параметра (рис. 2).

По результатам численного эксперимента построен график зависимости вероятности отказа платформенного стыка от величины отклонения контролируемого параметра при нагрузке на стык 1500 кН (рис. 3).

Согласно проведенным исследованиям, запас несущей способности при расчете стыкового соединения по средним значениям контролируемых параметров составляет 254 кН, коэффициент использования конструкции

$k = 0,85$. Несмотря на внушительный запас расчетной прочности, платформенный стык в результате нормативной изменчивости входящих в расчет параметров обладает некоторой вероятностью отказа конструкции.

Вывод

Определение надежности платформенного стыка панельных зданий по методу статистического моделирования позволяет установить влияние отдельных параметров на вероятность отказа конструкции. Наибольшее влияние на вероятность отказа конст-

рукции имеет прочность бетона стены. Отклонение толщины стены ниже проектного на $1,5\sigma$ приводит к 100 % отказу конструкции. При прочности стен выше проектного значения, вероятность отказа минимальна. Также велико влияние на вероятность отказа снижения прочности бетона перекрытий.

Повышению риска отказа конструкции способствует увеличенная толщина растворного шва. Изменение прочности раствора на надежность конструкции стыка влияния практически не оказывает.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дудина И. В., Тамразян А. Г. Обеспечение качества сборных железобетонных конструкций на стадии изготовления // Жилищное строительство. 2001. № 3. С. 8–10.
2. Тамразян А. Г. Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2011. № 2-1. С. 21–27.
3. Сатьянов С. В., Пилипенко П. Б., Котельников В. С. [и др.]. Риски в строительной деятельности при возведении, реконструкции и капитальном ремонте строительных объектов и их минимизация // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2011. № 3. С. 12–13.
4. Тамразян А. Г., Филимонова Е. А. О влиянии снижения жесткости железобетонных плит перекрытий на несущую способность при длительном действии нагрузки // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 7. С. 30–32.
5. Ключева Н. В., Тамразян А. Г. Основополагающие свойства конструктивных систем, понижающих риск отказа элементов здания // Изв. Юго-Западного государственного ун-та. 2012. № 5–2(44). С. 126–131.
6. Тамразян А. Г. [и др.] Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. М. : МИСИ–МГСУ, 2012. 304 с.
7. Тамразян А. Г. Расчет элементов конструкций при заданной надежности и нормальном распределении нагрузки и несущей способности // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 109–115.
8. Нарушевич А. Н. Влияние дефектов платформенных стыков на напряженно-деформированное состояние конструктивных систем крупнопанельных зданий: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2015. 202 с. URL: <http://search.rsl.ru/en/record/01007955326> (дата обращения: 10.06.2016).
9. Тамразян А. Г., Дудина И. В. Влияние изменчивости контролируемых параметров на надежность преднапряженных балок на стадии изготовления // Жилищное строительство. 2001. № 1. С. 16–17.
10. Пособие по проектированию жилых зданий / ЦНИИ-ЭП жилища Госкомархитектуры. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). М. : Стройиздат, 1989. 304 с.
11. Тамразян А. Г., Карпов А. Е., Дехтерев Д. С., Ласковенко А. Г. Определение расчетных параметров для оценки надежности платформенных стыков панельных зданий // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия: сб. докл. Междунар. науч. конф. (19–20 апреля 2016 г., Москва). М. : НИУ МГСУ, 2016. 528 с.
12. Моисеенко Р. П. Начальная надежность элементов строительных конструкций. Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. 23 с.
13. Райзер В. Д. Теория надежности в строительном проектировании: монография. М. : АСВ, 1998. 304 с.
14. Промежуточный отчет на тему: «Разработка методики расчета напряженно-деформированного состояния и несущей способности 25-этажного жилого крупнопанельного дома типовой серии на базе расчетно-экспериментальных исследований». Шифр № К.254-14. М. : МГСУ, 2014. 72 с.
15. Техническое заключение по результатам экспериментальных исследований прочности и деформативности панельных стыков. М. : ОАО «НИЦ «Строительство», 2014. 125 с.

REFERENCES

1. Dudina I. V., Tamrazyan A. G. Ensuring quality precast concrete at the manufacturing stage. *Zhilishhnoe stroitel'stvo*, 2001, no. 3, pp. 8–10. (In Russian).
2. Tamrazyan A. G. The basic principles of risk assessment in the design of buildings and structures. *Vestnik MGSU*, 2011, no. 2-1, pp. 21–27. (In Russian).
3. Sat'janov S. V., Pilipenko P. B., Kotel'nikov V. S., et. al. Risks in the construction activity in the construction, reconstruction and capital repairs of building objects and their minimization. *Montazhnye i special'nye raboty v stroitel'stve*, 2011, no. 3, pp. 12–13. (In Russian).
4. Tamrazyan A. G., Filimonova E. A. On the effect of reducing the hardness of concrete slabs on the carrying capacity with long-term effect of load. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2012, no. 7, pp. 30–32. (In Russian).
5. Kljueva N. V., Tamrazyan A. G. The fundamental properties of structural systems, reducing the risk of failure of the building elements. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 5–2(44), pp. 126–131. (In Russian).
6. Tamrazyan A. G., et. al. *Snizhenie riskov v stroitel'stve pri chrezvychajnyh situacijah prirodno i tehnogenno haraktera* [Reducing the risk in construction in emergency situations of natural and man-made]. Moscow, MISI–MGSU Publ., 2012. 304 p. (In Russian).
7. Tamrazyan A. G. Calculation of structural elements at a given reliability and normal distribution and load bearing capacity. *Vestnik MGSU*, 2012, no. 10, pp. 109–115. (In Russian).
8. Narushevich A. N. *Vlijanie defektov platformennyh stykov na naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie konstruktivnyh sistem krupnopanel'nyh zdaniy* [The influence of defects on the joint platform of the stress-strain state of structural systems of large buildings]. Novosibirsk, 2015. 202 p.
Available at: <http://search.rsl.ru/en/record/01007955326> (accessed: 10.06.2016). (In Russian).
9. Tamrazyan A. G., Dudina I. V. Influence of variation of monitored parameters on the reliability of pre-stressed beams at the manufacturing stage. *Zhilishhnoe stroitel'stvo*, 2001, no. 1, pp. 16–17. (In Russian).
10. *Posobie po proektirovaniju zhilyh zdaniy*. CNIIeP zhilishha Goskomarhitektury. Iss. 3. Konstrukcii zhilyh zdaniy [Construction of residential buildings] (k SNIIP 2.08.01-85). Moscow, Strojizdat Publ., 1989. 304 p. (In Russian).
11. Tamrazyan A. G., Karpov A. E., Dehterev D. S., Laskovenko A. G. Determination of design parameters for evaluating the reliability of the platform joints of panel buildings. *Sovremennye problemy rascheta zhelezobetonnyh konstrukcij, zdaniy i sooruzhenij na avarijnye vozdejstviya* [Modern problems of calculation of reinforced concrete structures, buildings and structures on the impact of emergency]. Sbornik dokladov Mezhdunar. nauch. konf. (19–20 Apr. 2016, Moscow). Moscow, NIU MGSU, 2016. 528 p. (In Russian).
12. Moiseenko R. P. *Nachal'naja nadjozhnost' jelementov stroitel'nyh konstrukcij* [Starting reliability of structural elements]. Tomsk, Izd-vo Tom. gos. arhit.-stroit. un-ta Publ., 2014. 23 p. (In Russian).
13. Rajzer V. D. *Teorija nadezhnosti v stroitel'nom proektirovanii* [Theory of reliability in building design]. Moscow, ASV Publ., 1998. 304 p. (In Russian).
14. *Promezhutochnyj otchet na temu: «Razrabotka metodiki rascheta naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija i nesushhej sposobnosti 25-jetazhnogo zhilogo krupnopanel'nogo doma tipovoj serii na baze raschetno-jeksperimental'nyh issledovanij»* [Development of the method of calculation of stress-strain state and the bearing capacity of a 25-storey residential house large-type series on the basis of settlement and experimental studies]. Shifr № K.254-14. Moscow, MGSU Publ., 2014. 72 p. (In Russian).
15. *Tehnicheskoe zakljuchenie po rezul'tatam eksperimental'nyh issledovanij prochnosti i deformativnosti panel'nyh stykov* [A technical report on the results of experimental studies of the strength and deformability of the panel joints]. Moscow, OAO «NIC «Stroitel'stvo» Publ., 2014. 125 p. (In Russian).

Для цитирования: 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.

For citation: 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* [Industrial and Civil Engineering], 2016, no. 7, pp. 5–10. (In Russian). ■

ЖУРНАЛ «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО» ИНДЕКСИРУЮТ:

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU

Russian Science Citation
Index (RSCI) на платформе
Web of Science

 **ULRICHSWEB™**
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

САЙТ ЖУРНАЛА «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»: www.pgs1923.ru