

**ОЦЕНКА ВЕСОМОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ
ПЛАТФОРМЕННОГО СТЫКА ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ
НА НАДЕЖНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ ПО МЕТОДУ ЛИНЕАРИЗАЦИИ**

**ASSESSMENT OF PONDERABILITY OF CONSTRUCTIONAL PARAMETERS
OF PLATFORM JOINT OF PANEL BUILDINGS
ON RELIABILITY OF CONNECTION BY METHOD OF LINEARIZATION**

А.Г. ТАМРАЗЯН, Н.В. ФЕДОРОВА, Д.С. ДЕХТЕРЕВ
A.G. TAMRAZYAN, N.V. FEDOROVA, D.S. DEKHTEREV

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)
(National Research Moscow State University of Civil Engineering)

E-mail: klynavit@yandex.ru, gbk@mgsu.ru

В ходе проведения исследования платформенных стыков панельных зданий текстильной и легкой промышленности установлено, что наиболее существенный вклад в обеспечение надежности стыкового соединения оказывает ряд параметров, носящих случайный характер. Распределение этих параметров описывается нормальным законом, не имеющим простого численного решения. Для определения вероятности отказа соединения при проведении вероятностных расчетов использован метод линеаризации, в основе которого заложен метод разложения исходной функции в ряд Тейлора. Используя данные ранее полученных исследований, в работе проведена оценка влияния конструкционных параметров горизонтального платформенного стыка панельных зданий на надежность соединения. Определены коэффициенты весомости исследуемых параметров при оценке вероятности отказа стыка. Практическая ценность полученных результатов исследований заключается в повышении надежности узлов сопряжения панелей.

In the process of the study of platform joints of panel buildings of the Textile and Light Industry, it was established that the most significant contribution to the reliability of the joint is provided by a number of parameters which have speciality randomly. The distribution of these parameters is described by a normal principle that does not have a simple numerical solution. To determine the probability of failure of the connection in the conduct of probabilistic calculations, method of linearization is used, which is based on the method of expanding the initial function in a Taylor series. The work assesses the impact of structural parameters of the horizontal platform joint of panel buildings on the reliability of the connection. The coefficients of

ponderability of the investigated parameters are determined in estimating the probability of joint failure. The practical value of the obtained research results is to increase the reliability of the node of interface panel.

Ключевые слова: вероятность отказа, надежность, линейризация, платформенный стык, функция Лапласа, весомость параметра.

Keywords: probability of failure, reliability, linearization, platform joint, Laplace function, parameters of ponderability.

В настоящее время острой проблемой крупных городов России является реконструкция малоэтажной панельной застройки. Во всех случаях реконструкции и капитального ремонта панельных зданий актуальна задача оценки надежности существующих конструктивных элементов и всего здания в целом. Большая часть элементов панельного здания выполнена в заводских условиях с отлаженной системой операционного контроля [1], [2] и высоким качеством производства. В условиях строительной площадки возможности по оценке качества ограничены. В этом случае наиболее ответственными элементами панельного здания становятся горизонтальные платформенные стыки панелей (рис. 1 – платформенный стык панельных зданий: а) – наружных стен при одностороннем опирании перекрытия, б) – внутренних стен при двустороннем опирании), что требует тщательного анализа их технического состояния при проведении капитального ремонта или реконструкции.

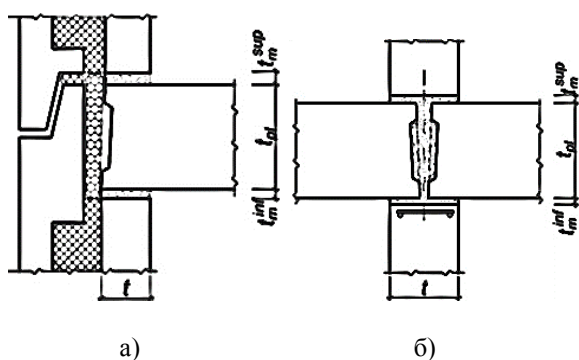


Рис. 1

На несущую способность платформенного стыка влияют несколько конструктивных параметров, в большинстве случаев имеющих случайный характер. При классическом подходе к расчету стыка отклонения

этих параметров контролируются из условия их равнозначности, однако их влияние на надежность соединения неодинаково. Превышение допустимого предела одного из контролируемых параметров не приводит к отказу всего соединения, если другие параметры не имеют существенных отклонений. В то же время даже незначительное одновременное отклонение нескольких параметров в худшую сторону способно привести к разрушению соединения.

Элементы теории надежности были введены в расчетные положения большинства нормативных документов стран Европы и Америки [6], [7]. В данном случае проведение расчетов надежности позволит в полной мере охарактеризовать техническое состояние узла [3...5]. Различные методы расчета надежности для некоторых конструктивных форм приведены в [12], [13].

При проведении обследования существующего панельного здания, как и при проектировании нового, важно понимать весомость изменчивости конструктивных параметров на надежность соединения. Определение параметров, имеющих наибольшее влияние, – важная и актуальная задача для повышения отказоустойчивости и долговечности панельных зданий при их реконструкции и капитальном ремонте.

Оценка весомости конструктивных параметров на надежность соединения в данной работе выполнена на основании вероятностных расчетов с использованием метода линейризации. Согласно этому методу исходная функция представляется в виде ряда Тейлора. Коэффициенты ряда соответствуют частным производным в окрестностях центра распределения случайных параметров. Частные производные функции по исследуемому параметру соответствуют

коэффициентам весомости изменчивости параметра на общую надежность стыка.

Основные положения по расчету платформенных стыков указаны в [8]. В общем

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

где N – нагрузка на стыковое соединение; t – толщина стенки; d_j – расчетная ширина простенка; 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 площадок; 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 R_w и бетона опорных участков перекрытий R_{bp} .

Обозначая: S_N – среднеквадратическое отклонение несущей способности, N и N_0 –

случае выражение для определения резерва прочности горизонтального стыка с двухсторонним опиранием панелей перекрытия можно записать в виде:

нагрузка на стык и несущая способность стыкового соединения, вероятность отказа можно записать в виде:

$$P_f = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi \left[\frac{\bar{N}_0 - N}{S_{\Delta N_0}} \right], \quad (2)$$

где $\Phi(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\beta}^{-\infty} e^{-t^2/2} dt$ – функция Лапласа [9].

В качестве расчетных приняты пять параметров, которые указаны в табл. 1 – исходные случайные данные для вероятностного анализа.

Т а б л и ц а 1

№	Параметр	Математическое ожидание \bar{X}	Среднеквадратическое отклонение S
1	Расчетная толщина шва t_m , мм	20	5
2	Кубиковая прочность раствора R_m , МПа	20	2,7
3	Расчетная прочность бетона стены R_{bw} , МПа	17	2,3
4	Толщина стены t , мм	160	6,1
5	Расчетная прочность при сжатии бетона опорных участков перекрытий R_{bp} , МПа	14,5	1,96

Вероятностный анализ по методу линеаризации позволяет оценить влияние изменения отдельного расчетного параметра на вероятность отказа платформенного стыка при случайных значениях других расчетных параметров. В качестве постоянных величин приняты коэффициенты, независимые от расчетных параметров. Границы изменения расчетных параметров приняты по правилу 3σ . Для проведения вероятностного анализа с использованием метода линеаризации задаемся математическими ожиданиями, а также среднеквадратическими отклонениями расчетных параметров по материалам лабораторных исследований

образцов платформенных стыков панельных зданий [10], [11]. Среднеквадратическое отклонение прочностных характеристик материалов назначаем по коэффициенту вариации 13,5%, являющимся среднестатистическим показателем по заводам ЖБИ. Коэффициент вариации для отклонения толщины панели принят по результатам наблюдений равным 3,8%.

По теореме о композиции гауссовских распределений имеем:

$$S_{\Delta N_0}^2 = S_{\Delta R_{bw}}^2 + S_{\Delta t_m}^2 + S_{\Delta R_m}^2 + S_{\Delta t}^2 + S_{\Delta R_{bp}}^2, \quad (3)$$

где $S_{\Delta R_{bw}} = \frac{\partial N_0}{\partial R_{bw}} S_{R_{bw}}$; $S_{\Delta t_m} = \frac{\partial N_0}{\partial t_m} S_{t_m}$;
 $S_{\Delta R_m} = \frac{\partial N_0}{\partial R_m} S_{R_m}$; $S_{\Delta t} = \frac{\partial N_0}{\partial t} S_t$; $S_{\Delta R_{bp}} = \frac{\partial N_0}{\partial R_{bp}} S_{R_{bp}}$ -
частные производные по исследуемому па-

раметру, умноженные на среднеквадратические отклонения параметра.

Обозначив постоянный член выражения $K_1 = (b_{p\ell} - \delta_{p\ell}) \gamma_{p\ell} d_j$ и приняв $K_2 = B_w / R_{bw}$,
имеем исходное выражение для несущей способности стыкового соединения:

$$N_0 = K_1 \eta_{p\ell} R_{bw} - \frac{2K_1 / b_m \eta_{p\ell} R_{bw} t_m K_2 R_{bw} - K_1 / b_m^2 \eta_{p\ell} R_{bw} t_m^2 K_2 R_{bw}}{K_2 R_{bw} + 2R_m} =$$

$$= K_1 \eta_{p\ell} R_{bw} - \frac{2K_1 K_2 / b_m \eta_{p\ell} R_{bw}^2 t_m - K_1 K_2 / b_m^2 \eta_{p\ell} R_{bw}^2 t_m^2}{K_2 R_{bw} + 2R_m}. \quad (4)$$

Коэффициент $\eta_{p\ell}$ зависит от соотношения величин R_{bp} и R_{bw} . Частные производ-

ные функции несущей способности по исследуемому параметру при $\eta_{p\ell} \neq 1$:

$$\frac{\partial N_0}{\partial R_{bw}} = \frac{K_1 R_{bp}^2}{R_{bw}^2} - \frac{(4K_1 K_2 / b_m t_m R_{bp})(K_2 R_{bw} + 2R_m)}{(K_2 R_{bw} + 2R_m)^2} +$$

$$+ \frac{4K_1 K_2^2 / b_m R_{bp} R_{bw} t_m - 2K_1 K_2^2 / b_m R_{bp}^2 t_m}{(K_2 R_{bw} + 2R_m)^2} +$$

$$+ \frac{(2K_1 K_2 / b_m^2 R_{bp} t_m^2)(K_2 R_{bw} + 2R_m)}{(K_2 R_{bw} + 2R_m)^2} -$$

$$- \frac{2K_1 K_2^2 / b_m^2 R_{bp} R_{bw} t_m^2 - K_1 K_2^2 / b_m^2 R_{bp}^2 t_m^2}{(K_2 R_{bw} + 2R_m)^2}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial N_0}{\partial t_m} = - \frac{(4K_1 K_2 / b_m R_{bp} R_{bw} - 2K_1 K_2 / b_m R_{bp}^2)}{(K_2 R_{bw} + 2R_m)} +$$

$$+ \frac{(4K_1 K_2 / b_m^2 R_{bp} R_{bw} t_m - 2K_1 K_2 / b_m^2 R_{bp}^2 t_m)}{(K_2 R_{bw} + 2R_m)}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial N_0}{\partial R_m} = - \frac{8K_1 K_2 / b_m R_{bp} R_{bw} t_m - 4K_1 K_2 / b_m R_{bp}^2 t_m}{(K_2 R_{bw} + 2R_m)^2} -$$

$$- \frac{4K_1 K_2 / b_m^2 R_{bp} R_{bw} t_m^2 - 2K_1 K_2 / b_m^2 R_{bp}^2 t_m^2}{(K_2 R_{bw} + 2R_m)^2}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial N_0}{\partial t} = 0,$$

$$\frac{\partial N_0}{\partial R_{bp}} = 2K_1 - 2K_1 R_{bp} / R_{bw} - \frac{4K_1 K_2 / b_m R_{bw} t_m - 4K_1 K_2 / b_m R_{bp} t_m}{K_2 R_{bw} + 2R_m} +$$

$$+ \frac{2K_1 K_2 / b_m^2 R_{bw} t_m^2 - 2K_1 K_2 / b_m^2 R_{bp} t_m^2}{K_2 R_{bw} + 2R_m}. \quad (8)$$

Результаты расчета частного случая платформенного стыка с параметрами: $N=1700$ кН, $d_j=1000$ мм, $b_m=160$ мм, $B_w=20$, $b_{pl}=140$ мм сведены в табл. 2 – результаты вероятностного анализа частного случая платформенного стыка.

По данным табл. 2 построен график влияния изменчивости конструкционных параметров на вероятность отказа конструкции

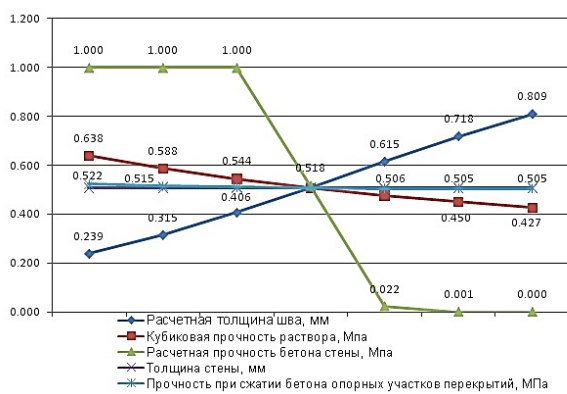


Рис. 2

Весомость определяли путем вычисления соотношения $S_{\Delta} / S_{\Delta N_0}$ по каждому параметру. Результаты расчета свидетельствуют о высокой степени влияния на

стыка (рис. 2 – сводный график влияния изменчивости всех варьируемых параметров на вероятность отказа стыка), а также график распределения коэффициентов весомости расчетных параметров (рис. 3 – коэффициенты весомости варьируемых конструкционных параметров стыка при оценке их влияния на вероятность отказа конструкции).

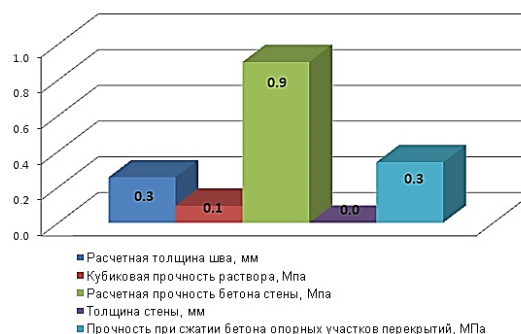


Рис. 3

надежность стыка прочности бетона стены. Прочность растворного шва, напротив, оказывает наименьшее влияние на вероятность отказа конструкции стыка.

Таблица 2

Параметр и его отклонение	N, кН	N_0 , кН	$\frac{\partial N_0}{\partial t_m}$	$\frac{\partial N_0}{\partial R_m}$	$\frac{\partial N_0}{\partial R_{bw}}$	$\frac{\partial N_0}{\partial t}$	$\frac{\partial N_0}{\partial R_{bp}}$	$S_{\Delta N_0}$	$\frac{\bar{N}_0 - N}{S_{\Delta N_0}}$	P_f
t_m	-3σ	1836,4	9,79	1,47	78,65	0,00	32,47	191,81	0,711	0,239
	-2σ	1788,2	9,47	2,98	74,93	0,00	31,62	183,32	0,481	0,315
	-σ	1741,7	9,16	4,53	71,33	0,00	30,80	175,23	0,238	0,406
	0	1696,7	8,84	6,13	67,84	0,00	30,00	167,58	-0,020	0,508
	σ	1653,2	8,53	7,78	64,49	0,00	29,24	160,38	-0,292	0,615
	2σ	1611,4	8,21	9,47	61,25	0,00	28,50	153,68	-0,576	0,718
	3σ	1571,1	7,89	11,21	58,14	0,00	27,78	147,51	-0,874	0,809
R_m	-3σ	1639,6	11,50	10,39	65,30	0,00	28,99	170,58	-0,354	0,638
	-2σ	1662,1	10,45	8,58	66,20	0,00	29,39	170,98	-0,222	0,588
	-σ	1680,8	9,58	7,20	67,05	0,00	29,72	171,67	-0,112	0,544
	0	1696,7	8,84	6,13	67,84	0,00	30,00	172,52	-0,019	0,508
	σ	1710,2	8,21	5,29	68,58	0,00	30,24	173,42	0,059	0,476
	2σ	1722,0	7,66	4,60	69,25	0,00	30,45	174,35	0,126	0,450
	3σ	1732,3	7,18	4,05	69,87	0,00	30,63	175,27	0,184	0,427
R_{bw}	-3σ	1008,0	3,86	2,86	115,46	0,00	0,00	20,80	-33,275	1,000
	-2σ	1237,6	5,44	3,77	116,23	0,00	0,00	29,03	-15,929	1,000
	-σ	1467,1	7,17	5,28	93,82	0,00	2,80	38,98	-5,975	1,000
	0	1696,7	8,84	6,13	67,84	0,00	30,00	75,41	-0,044	0,518
	σ	1926,2	10,33	6,77	50,92	0,00	50,33	112,83	2,005	0,022
	2σ	2155,8	11,66	7,25	39,33	0,00	66,02	143,28	3,181	0,001
	3σ	2385,3	12,86	7,60	31,11	0,00	78,47	167,96	4,080	0,000

t	-3σ	1700	1696,7	8,84	6,13	67,84	0,00	30,00	173,31	-0,019	0,508
	-2σ		1696,7	8,84	6,13	67,84	0,00	30,00	173,31	-0,019	0,508
	-σ		1696,7	8,84	6,13	67,84	0,00	30,00	173,31	-0,019	0,508
	0		1696,7	8,84	6,13	67,84	0,00	30,00	173,31	-0,019	0,508
	σ		1696,7	8,84	6,13	67,84	0,00	30,00	173,31	-0,019	0,508
	2σ		1696,7	8,84	6,13	67,84	0,00	30,00	173,31	-0,019	0,508
	3σ		1696,7	8,84	6,13	67,84	0,00	30,00	173,31	-0,019	0,508
R _{bp}	-3σ	1700	1696,7	6,84	4,75	21,30	0,00	100,57	61,11	-0,055	0,522
	-2σ		1696,7	7,75	5,38	33,93	0,00	77,05	88,33	-0,038	0,515
	-σ		1696,7	8,41	5,84	49,44	0,00	53,52	122,28	-0,027	0,511
	0		1696,7	8,84	6,13	67,84	0,00	30,00	163,03	-0,021	0,508
	σ		1696,7	9,03	6,26	89,13	0,00	6,48	210,59	-0,016	0,506
	2σ		1696,7	9,04	5,53	117,72	0,00	0,00	274,91	-0,012	0,505
	3σ		1696,7	9,04	5,53	117,72	0,00	0,00	274,91	-0,012	0,505

ВЫВОДЫ

Существующий подход к операционному контролю параметров платформенного стыка предполагает равнозначную оценку их влияния на прочность. Однако не все параметры одинаково влияют на вероятность отказа конструкции и, в конечном итоге, на надежность всего сооружения. Установлено, что при существующих в настоящее время коэффициентах вариации прочность бетона стены имеет наибольшее значение и весомость для обеспечения надежности платформенного стыка. Наименьшую весомость на надежность соединения имеет толщина стены и кубиковая прочность раствора. Внедрение в практику строительства новых и обследования существующих зданий контроля наиболее значимых параметров платформенных стыков позволит существенно повысить надежность конструктивных элементов панельных зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тамразян А.Г., Дудина И.В. Влияние изменчивости контролируемых параметров на надежность преднапряженных балок на стадии изготовления // Жилищное строительство. – 2001, № 1. С. 16...17.
2. Ключева Н.В., Тамразян А.Г. Основополагающие свойства конструктивных систем, понижающих риск отказа элементов здания // Изв. Юго-Западного гос. ун-та. – 2012, № 5...2 (44). С. 126...131.
3. Тамразян А.Г. и др. Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера / Под общ. ред. Тамразяна А.Г. – М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2012.
4. Сатьянов С.В., Пилипенко П.Б., Котельников В.С., Четверик Н.П., Французов В.А., Тамразян А.Г.,

Бедов А.И. 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.

5. Тамразян А.Г. Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений // Вестник МГСУ. – 2011, № 2-1. С. 21...27.

6. Лантух-Лященко А. И. Концепция надежности в Еврокоде // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2014, № 6.

7. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. – М.: АСВ, 1998.

8. Пособие по проектированию жилых зданий / ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). – М.: Стройиздат, 1989.

9. Моисеенко Р.П. Начальная надежность элементов строительных конструкций. – Томск: Изд-во Томск. гос. архит.-строит. ун-та, 2014.

10. Тамразян А.Г., Карнов А.Е., Дехтерев Д.С., Ласковенко А.Г. Определение расчетных параметров для оценки надежности платформенных стыков панельных зданий. С.413- 416 // В сб.: Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия // Сб. Междунар. научн. конф., посвященной 85-летию кафедры железобетонных и каменных конструкций и 100-летию со дня рождения Н.Н. Попова (19–20 апреля 2016 г., Москва) / под ред. А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы. – М.: НИУ МГСУ, 2016. С. 528.

11. Тамразян А.Г., Дехтерев Д.С. Оценка влияния конструктивных параметров на надежность платформенного стыка панельных зданий по методу статистического моделирования // Промышленное и гражданское строительство. – 2016, № 7. С. 20...25.

12. Kathryn Roscoe, Ferdinand Diermanse, Ton Vrouwenvelder. System reliability with correlated components: Accuracy of the Equivalent Planes method. Structural Safety. – Vol. 57, November 2015. P.53...64.

13. André Teófilo Beck, Cláudio R. Ávila da S. Jr. Strategies for finding the design point under bounded random variables. – Vol. 58, January 2016. P. 79...93.

REFERENCES

1. Tamrazyan A.G., Dudina I.V. Vliyanie izmenchivosti kontroliruemykh parametrov na nadezhnost prednapryazhennykh balok na stadii izgotovleniya // Zhilishnoe stroitelstvo. – 2001, № 1. S. 16...17.
2. Klyueva N.V., Tamrazyan A.G. Osnovopolagayushie svoystva konstruktivnykh sistem, ponizhayushih risk otказа elementov zdaniya // Izv. Yugo-Zapadnogo gos. un-ta. – 2012, № 5...2 (44). S.126...131.
3. Tamrazyan A.G. i dr. Snizhenie riskov v stroitelstve pri chrezvychajnykh situatsiyah prirodnoho i tehnogennogo haraktera / Pod obsh. red. Tamrazyana A.G. – M.: Izd-vo MISI-MGSU, 2012.
4. Satyanov S.V., Pilipenko P.B., Kotelnikov V.S., Chetverik N.P., Francuzov V.A., Tamrazyan A.G., Bedov A.I. Riski v stroitelnoj deyatel'nosti pri vozvedenii, rekonstrukcii i kapitalnom remonte stroitelnykh obektov i ih minimizatsiya // Montazhnye i specialnye raboty v stroitelstve. – 2011, № 3. S. 12...13.
5. Tamrazyan A.G. Osnovnye principy ocenki riska pri proektirovanii zdaniy i sooruzhenij // Vestnik MGSU. – 2011, № 2-1. S. 21...27.
6. Lantuh-Lyashenko A. I. Konceptsiya nadezhnosti v Evrokode // Mosti ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktika. – 2014, № 6.
7. Rajzer V.D. Teoriya nadezhnosti v stroitel'nom proektirovanii. – M.: ASV, 1998.
8. Posobie po proektirovaniyu zhilykh zdaniy / CNIIEP zhilisha Goskomarhitektury. Vyp. 3. Konstrukcii zhilykh zdaniy (k SNiP 2.08.01-85). – M.: Strojizdat, 1989.
9. Moiseenko R.P. Nachalnaya nadezhnost elementov stroitelnykh konstrukcij. – Tomsk: Izd-vo Tomsk. gos. arhit.-stroit. un-ta, 2014.
10. Tamrazyan A.G., Karpov A.E., Dehterev D.S., Laskovenko A.G. Opredelenie raschetnykh parametrov dlya ocenki nadezhnosti platformennykh stykov panelnykh zdaniy. S.413- 416 // V sb.: Sovremennye problemy rascheta zhelezobetonnykh konstrukcij, zdaniy i sooruzhenij na avarijnye vozdejstviya // Sb. Mezhdunar. nauchn. konf., posvyashennoj 85-letiyu kafedry zhelezobetonnykh i kamennykh konstrukcij i 100-letiyu so dnya rozhdeniya N.N. Popova (19–20 aprelya 2016 g., Moskva) /pod red. A.G. Tamrazyana, D.G. Kopanicy. – M.: NIU MGSU, 2016. S. 528.
11. Tamrazyan A.G., Dehterev D.S. Ocenka vliyaniya konstrukcionnykh parametrov na nadezhnost platformennogo styka panelnykh zdaniy po metodu statisticheskogo modelirovaniya // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. – 2016, № 7. S. 20...25.
12. Kathryn Roscoe, Ferdinand Diermanse, Ton Vrouwenvelder. System reliability with correlated components: Accuracy of the Equivalent Planes method. StructuralSafety. – Vol. 57, November 2015. P. 53...64.
13. Andre Teofilo Beck, Claudio R. Avila da S. Jr. Strategies for finding the design point under bounded random variables. – Vol. 58, January 2016. P. 79...93.

Рекомендована кафедрой железобетонных и каменных конструкций. Поступила 17.08.17.