АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЕСОМОСТИ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СТЫКОВ КОЛОНН КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ

ДЕХТЕРЕВ Д.С.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Аннотация. В работе изучено влияние изменчивости конструкционных параметров стыков колонн многоэтажных каркасных зданий, выполненных с использованием ванной сварки на надежность соединения. Приведены основные расчетные положения и выявлены параметры, определяющие несущую способность и надежность стыка. Получены коэффициенты весомости параметров при расчете надежности. Проведена оценка надежности стыка при коррекции значений конструкционных параметров, заданных характеристиками нормального распределения. Для анализа весомости параметров применен один из методов вероятностного расчета – метод линеаризации исходной функции. Основная цель исследования – выявление наиболее значимых конструкционных параметров стыков для управления надёжностью, оценка влияния на надежность изменения значений вероятностных характеристик расчетных прочностных и геометрических параметров стыка колонн.

В ходе исследований установлено, что не все параметры стыка одинаково влияют на вероятность отказа конструкции и, в конечном итоге, на надежность всего сооружения. Наибольшей весомостью из всех конструкционных параметров при определении надежности стыка обладает прочность бетона замоноличивания. Расчет надежности стыка на проектные значения вероятностных характеристик параметров без учета изменчивости нагрузки показал превышение индексом надежности рекомендуемого нормативного значения. В ходе оценки влияния коррекции вероятностных характеристик конструкционных параметров установлено, что существенное влияние на надежность стыка имеет снижение математического ожидания параметров сечения колонны, что требует строгого учета при проведении оценки технического состояния каркасного здания.

Ключевые слова: вероятность отказа, надежность, линеаризация, жесткий стык, весомость параметра, интеграл Лапласа.

ANALYTICAL ASSESSMENT OF PONDERABILITY OF CONSTRUCTIONAL PARAMETERS ON RELIABILITY OF COLUMN CONNECTIONS IN FRAME BUILDINGS

DEKHTEREV D.S.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Abstract. The paper studies the effect of variability in the structural parameters of the joints of columns of frame buildings using tub welding on the reliability of the connection. The main design positions are given and the parameters that determine the bearing capacity and reliability of the joint are identified. We obtained the coefficients of ponderability parameters in the calculation of reliability. An assessment of the reliability of the joint with the correction of the values of the construction parameters specified by the characteristics of the normal distribution was carried out. To analyze the ponderability of the parameters, one of the probabilistic calculation methods was used - the linearization method of the original function. The main objective of the study is to identify the most significant structural parameters of the joints for managing reliability, assessing the impact on reliability of changes in the values of the probabilistic characteristics of the calculated strength and geometric parameters of the junction of columns.

The study found that not all parameters of the joints equally affect the probability of structural failure and, ultimately, the reliability of the entire structure. The greatest weight of all the construction parameters in determining the reliability of the joint has the strength of the concrete monolithing. The

calculation of the reliability of the joint on the design values of the probability characteristics of parameters without taking into account the load variability showed that the reliability index exceeded the recommended standard value. During the assessment of the impact of the correction of the probability characteristics of the construction parameters, it was found that the reduction in the probabilistic mean of the column cross section parameters has a significant effect on the reliability of the joint, which requires strict consideration when assessing the technical condition of the frame building.

Keywords: failure probability, reliability, linearization, column connections, ponderability of parameters, Laplace integral.

Введение

При проведении реконструкции каркасных зданий промышленной застройки важной задачей является оценка надежности основных конструктивных элементов здания и узлов их сопряжения. Большая часть сборных конструкций каркасных зданий выполняется в заводских условиях с высокой степенью операционного контроля [1]. Отдельные элементы и узлы сопряжения конструкций изготавливаются непосредственно на строительной площадке, что при отсутствии непрерывного контроля качества, способствует образованию строительных дефектов и снижению надежности всего здания [2-4]. Наиболее сложным и ответственным узлом, требующим высокой квалификации исполнителя, является стык колонн многоэтажных зданий с применением ванной сварки. На состояние стыка колонн оказывает влияние множество параметров, в большинстве случаев, оцениваемых при операционном контроле как равнозначные. Однако, параметры, влияющие на несущую способность стыкового соединения, не одинаково влияют на его надежность. Выявление наиболее значимых конструкционных параметров является актуальной задачей, решение которой будет способствовать повышению отказоустойчивости отдельных узлов каркасных зданий и всей конструкции в целом.

Развитая в работах В.В. Болотина теория надежности легла в основу нормативной документации многих стран, в том числе Европы [5-7]. Различные методы расчета надежности для некоторых конструктивных форм приведены в [8, 9]. Из практических исследований наибольшее значение имеют работы В.В. Райзера [10], В.П. Чиркова и А.В. Перельмута.

Исследованием работы стыков колонн каркасных зданий занимались А.П. Васильев, В.М. Горшкова, В.В. Иванов, Н.Н. Коровин, С.М. Крылов, Р.Р. Латыпов, В.П. Малышев, М.Е. Гончаров, Б.С. Соколов и др. [11, 12]. Все проводимые ранее исследования выполнялись для уточнения несущей способности и деформативности стыковых соединений, разработки их новых видов и форм. Отказоустойчивость стыков, влияние отдельных параметров стыка на надежность соединения не исследована и является актуальной задачей.

Модели и методы

Для оценки весомости конструкционных параметров использован метод линеаризации, согласно которому исходная функция несущей способности представляется в виде ряда Тейлора. Коэффициенты ряда соответствуют частным производным в окрестностях центра распределения случайных параметров. Частные производные функции по исследуемому параметру определяют коэффициенты весомости параметра на общую надежность стыка. При этом предполагается, что все исследуемые параметры и сама функция изменяются по закону нормального распределения.

Основные положения по расчету стыков сборных железобетонных колонн каркасных многоэтажных зданий указаны в [13]. Несущая способность жесткого стыка на ванной сварке (рисунок 1) определяется по двум случаям расчета внецентренно сжатых элементов: с учетом бетона замоноличивания, но без учета косвенного армирования нижней части

колонны, или без учета работы бетона замоноличивания и с учетом косвенного армирования. Прочность стыка с учетом бетона замоноличивания определяется выражением:

$$N \cdot e = \gamma_{bc} \cdot R_b \cdot b \cdot x (h_0 - 0,5x) + \gamma_{bc} \cdot R_b \cdot b_n (x - h'_f) \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2} - \frac{h'_f}{2} \right) + \gamma_{bs} \cdot R_{bs} \cdot h'_f (h_0 - 0,5h'_f) + R_{sc} \cdot A_s (h_0 - a')$$
(1)

где b и h_0 – расчетная ширина и высота сечения колонны,

R_b – расчетное сопротивление бетона колонны,

R_{bs} – расчетное сопротивление бетона замоноличивания,

x – высота сжатой зоны,

h'_f – размер сечения подрезок колонны,

R_{sc} и A_s расчетное сопротивление и площадь сжатой арматуры,

e – расстояние от точки приложения усилия N (с учетом эксцентриситета) до растянутой или наименее сжатой арматуры.

Рисунок 1 – Конструкция жесткого стыка колонн с применением ванной сварки продольных стержней арматуры

Использование вероятностно-статистического аппарата позволяет оценить начальную безотказность конструкции стыка. Общее выражение для резерва прочности жесткого стыка можно представить в виде:

$$g = N(R_b, R_{bs}, R_{sc}, h'_f, h, b, a, e, d) - N_0, \quad (2)$$

где N_0 – усилие от внешней нагрузки, действующей в сечении, N – несущая способность узла в виде функции от конструктивных параметров.

Надежность конструкции стыка согласно [10, 12]:

$$P_s = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi \left[\frac{\bar{g}}{S_{\Delta g}} \right], \quad (3)$$

где $S_{\Delta g}$ – среднеквадратическое отклонение резерва прочности, определяемое с использованием метода ланеаризации [14];

$\bar{g}$ – математическое ожидание резерва прочности, определенное по средним значениям исследуемых параметров;

$$\Phi \left[\frac{\bar{g}}{S_{\Delta g}} \right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\beta} e^{-\frac{t^2}{2}} dt - \text{интеграл Лапласа.}$$

В ходе предварительного анализа конструктивного решения стыка, приведенного на рисунке 1, установлено, что определяющими конструктивными параметрами стыкового соединения являются шесть величин, указанные в таблице 1. Все указанные параметры независимы и распределяются по нормальному закону [15]. Влияние изменчивости нагрузки на стык в данном исследовании не рассматривалось.

В качестве исходных значений расчетных параметров приняты наиболее распространенные значения прочности материалов и геометрические параметры конструктивных элементов стыка, также использованные в типовых сериях на каркасы промышленных зданий [10, 11]. Математическое ожидание прочности бетона и арматуры назначены по формуле:

$$\bar{X} = \frac{R_n}{1 - 1,64\nu}, \quad (4)$$

где R_n – нормативная призмная прочность бетона и нормативное сопротивление арматуры сжатию, принимаемые в зависимости от класса бетона B по прочности на сжатие и класса арматуры по таблицам [13].

Среднеквадратические отклонения прочности бетона и арматуры S определяются выражением:

$$S = \bar{X} \cdot \nu, \quad (6)$$

где ν –средний коэффициент вариации характеристик выпускаемой продукции, определяемый качеством производственного процесса [16, 17]. Коэффициент вариации прочности бетона принят $\nu_b=0,135$, коэффициент вариации прочности арматуры согласно [18] $\nu_s=0,04$. Учет изменчивости геометрических параметров конструкций проведем на основании существующих допусков на изготовление элементов. Согласно типовой документации на элементы каркасных зданий предельные отклонения размеров колонны не должны превышать 5 мм. При этом достоверность отбраковки должна быть не менее 95%, что соответствует уровню 1,64 стандарта. Для вероятностных расчетов принимаем коэффициент вариации высоты сечения колонны $\nu_h=0,008$, диаметра арматуры $\nu_d=0,015$.

Среднеквадратическое отклонение резерва прочности определим с учетом теоремы о сложении дисперсий [12]:

$$S_g^2 = S_{\Delta R_b}^2 + S_{\Delta R_{bs}}^2 + S_{\Delta R_{sc}}^2 + S_{\Delta d}^2 + S_{\Delta h_p}^2 + S_{\Delta h}^2, \quad (7)$$

где $S_{\Delta i}$ частные среднеквадратические отклонения параметра i , определяемые по формулам:

$$S_{\Delta i} = \frac{\partial g}{\partial i} \cdot S_i, \quad (8)$$

где $\frac{\partial g}{\partial i}$ – абсолютное значение частной производной функции резерва прочности (3) по исследуемому параметру i ,

S_i – среднеквадратическое отклонение исследуемого параметра, принимаемое по таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для вероятностного анализа

Расчетный параметр		Математическое ожидаие $\bar{X}$	Среднеквадрати чное отклонение S_i	Расчетное значение для оценки резерва прочности по СП 63.13330
1	Прочность бетона колоны R_b , МПа, класс В30	28,51	3,85	17
2	Прочность бетона замоноличивания R_{bp} , МПа, класс В25	23,92	3,23	14,5
3	Прочность арматуры R_{sc} , МПа, класс А400	430,88	18,83	350
4	Диаметр рабочей арматуры d , мм	20	0,25	20
5	Размер сечения подрезок колонны h_p , мм	100	1,5	100
6	Размер сечения колонны h , мм	400	2,5	400

Коэффициенты весомости C_i расчетного параметра i определены по формуле:

$$C_i = \frac{\left(\frac{\partial g}{\partial i} \cdot S_i \right)^2}{S_g^2} \cdot 100\% . \quad (9)$$

При проведении вероятностных расчетов по оценке надежности стыковых соединений необходимо определить приемлемый уровень надежности конструкции [19]. Существующие значения нормируемого уровня надежности назначены директивным методом и дифференцированы в зависимости от вида предельного состояния и степени ответственности здания. ЕН 1990 [20] предусматривает нормирование индекса надежности, рассчитанного методом двух моментов по формуле:

$$\beta = \frac{\bar{g}}{S_g} . \quad (9)$$

Для жилых и общественных зданий со средними последствиями разрушения минимальное значение β при 50-летнем базовом периоде рекомендуется назначить не менее 3,8 [16]. Учитывая вышесказанное, рекомендуемый уровень надежности конструкции стыка колонн без учета изменчивости нагрузки предлагается назначить не ниже обеспеченности расчетного сопротивления бетона, что соответствует значению 0,9986 ($\beta = 3$).

Результаты исследования

Полученные коэффициенты весомости показывают влияние изменчивости конструкционного параметра на надежность стыка при существующих (проектных)

значениях коэффициента вариации исследуемых величин и могут быть использованы для их коррекции. Для оценки влияния смещения основных вероятностных характеристик исследуемых параметров на надежность стыка выполнены аналитические расчеты надежности стыка для двух вариантов коррекции:

- 1) Изменение коэффициента вариации исследуемого параметра на 10, 20 и 30 % при сохранении значения математического ожидания.
- 2) Изменение математического ожидания на 10, 20 и 30 % при постоянном коэффициенте вариации исследуемого параметра

Результаты определения коэффициентов весомости конструкционных параметров приведены на рисунке 2.

Результаты оценки надежности конструкции стыка колонн на ванной сварке для первого варианта коррекции показаны в виде графиков на рисунке 3, для второго варианта показаны на рисунке 4.

Рисунок 2 – Коэффициенты весомости расчетных параметров при оценке надежности соединения

Рисунок 3 – График влияния коррекции коэффициента вариации расчетных параметров на надежность соединения

Рисунок 4 – График влияния коррекции математического ожидания расчетных параметров на надежность соединения

Выводы

1. По результатам оценки надежности стыка колонн на ванной сварке установлено, что без учета изменчивости нагрузки, индекс надежности стыка превышает нормативный уровень $\beta = 4,399 > 3,8$.
2. Существующий подход к операционному контролю параметров стыкового соединения колонн 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. Применение равнозначной оценки параметров, назначение равных требований к качеству производства в отношении всех параметров стыка не допустимо.
3. По результатам вероятностных расчетов установлено, что при существующих в настоящее время коэффициентах вариации прочность бетона замоноличивания подрезок колонны и прочность бетона колонны имеет наибольшее значение весомости для обеспечения надежности стыка.
4. Корректировка допусков на изготовление стыков сборной колонны может существенно повысить надежность стыкового соединения. При этом, необходимо повысить требования к прочностным характеристикам бетона замоноличивания. Снижение коэффициента вариации прочности бетона на 10-20% повышает надежность стыка до $\beta = 4,9$.
5. Низкое влияние на надежность изменения текущих значений коэффициентов вариации диаметра арматуры и размеров подрезок колонны позволяет существенно сократить требования к качеству изготовления в отношении данных параметров. Значения их отклонений могут быть снижены без существенного влияния на надежность стыка.
6. Существенное значение на надежность стыка имеет снижение математического ожидания параметров сечения колонны, что требует строгого учета при проведении оценки технического состояния каркасного здания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. Основопологающие свойства конструктивных систем, понижающих риск отказа элементов здания // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 5-2 (44). С. 126-131

3. Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. А.Г.Тамразян [и др.]; под общ. ред. Тамразяна А. Г. Москва, 2012. Изд-во МИСИ-МГСУ, 304с.
4. Тамразян А.Г. Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2011. № 2-1. С. 21-27
5. Лантух-Лященко А. И. Концепция надежности в Еврокоде // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. 2014. № 6.
6. Binhua Wu, Wei Gao, Di Wu, Chongmin Song, Probabilistic interval geometrically nonlinear analysis for structures // Structural Safety. 2017. Vol. 65. Pp. 100-112.
7. Souvik Chakraborty, Rajib Chowdhury. Assessment of polynomial correlated function expansion for high-fidelity structural reliability analysis // Structural Safety. 2016. Vol. 59. Pp. 9-19.
8. Kathryn Roscoe, Ferdinand Diermanse, Ton Vrouwenvelder. System reliability with correlated components: Accuracy of the Equivalent Planes method // Structural Safety. 2015. Vol. 57. Pp. 53-64.
9. André Teófilo Beck, Cláudio R. Ávila da S. Jr. Strategies for finding the design point under bounded random variables. 2016. Vol. 58. Pp. 79-93.
10. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании: монография. Москва: АСВ, 1998. 304 с.
11. Гончаров М.Е. Прочность стыков железобетонных колонн, усиленных металлическими элементами, при статическом и кратковременном динамическом нагружениях. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск, 2014. 206 с.
12. 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: сборник докладов Международной научной конференции, 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-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. Москва: НИУ МГСУ, 2016. С.413- 416.
13. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52.01-2003. М.: Минрегион России. 2012. 162 с.
14. Тамразян А.Г. Расчет элементов конструкций при заданной надежности и нормальном распределении нагрузки и несущей способности // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 109-115.
15. Тамразян А.Г. Оценка риска и надежности несущих конструкций и ключевых элементов - необходимое условие безопасности зданий и сооружений // Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко "Исследования по теории сооружений". 2009. № 1. С. 160-171.
16. Тамразян А.Г. Динамическая устойчивость сжатого железобетонного элемента как вязкоупругого стержня // Вестник МГСУ. 2011. № 1-2. С. 193-196.
17. Бухтиярова А.С., Колчунов В.И., Прасолов Н.О. Расчет обобщенного параметра живучести железобетонной рамно-стержневой конструктивной системы при внезапной потере устойчивости несущего элемента // Строительство и реконструкция. 2013. № 6 (50). С. 9-12.
18. Чирков В.П., Шавыкина М.В., Мухин С.В. Многоэлементная арматура – резерв расчетной надежности железобетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2007. №9. С. 61-62.
19. Tamrazyan A.G. The assessment of reliability of punching reinforced concrete beamless slabs under the influence of a concentrated force at high temperatures // Procedia Engineering. 2016. T. 153. C. 715-720.
20. EN 1990 Eurocode - Basis of structural design. The European Union Per Regulation, 2002.

REFERENCES

1. Tamrazyan A.G., Dudina I.V. Vliyanie izmenchivosti kontroliruemyykh parametrov na nadezhnost' prednaprjazhennykh balok na stadii izgotovleniya [Influence of variability of controlled parameters to reliability of pre-stressed beams during production]. *Zhilishhnoe stroitel'stvo*. 2001. No 1. Pp. 16-17. (rus)
2. Kljueva N.V., Tamrazyan A.G. Osnovopolagajushhie svojstva konstruktivnykh sistem, ponizhajushhih risk otkaza jelementov zdaniya [General properties structural systems decreasing failure risk of structural elements]. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012. No 5-2 (44). Pp. 126-131.
3. Snizhenie riskov v stroitel'stve pri chrezvychajnykh situacijah prirodno i tehnogennogo haraktera [Decreasing of risk in construction during emergency situations caused by natural and artificial factors] A.G.Tamrazjan and etc.; ed. by. Tamrazjan A. G. Moscow: Izd-vo MISI-MGSU, 2012.304 p.
4. Tamrazyan A.G. Osnovnye principy ocenki riska pri proektirovanii zdaniy i sooruzhenij [General principles for assessment risk at designing of building and structures]. *Vestnik MGSU*. 2011. No 2-1. Pp. 21-27.
5. Lantuh-Ljashhenko A. I. Konceptija nadezhnosti v Evrokode [Reliability conceptions in EuroCode]. *Mosti ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktika*. 2014. No 6.
6. Binhua Wu, Wei Gao, Di Wu, Chongmin Song, Probabilistic interval geometrically nonlinear analysis for structures. *Structural Safety*. 2017. Vol. 65. Pp. 100-112.

7. Souvik Chakraborty, Rajib Chowdhury, Assessment of polynomial correlated function expansion for high-fidelity structural reliability analysis. *Structural Safety*. 2016. Vol. 59. Pp. 9-19.
8. Kathryn Roscoe, Ferdinand Diermanse, Ton Vrouwenvelder. System reliability with correlated components: Accuracy of the Equivalent Planes method. *Structural Safety*. 2015. Vol. 57. Pp. 53-64.
9. André Teófilo Beck, Cláudio R. Ávila da S. Jr. Strategies for finding the design point under bounded random variables. 2016. Vol. 58. , Pp. 79-93.
10. Rajzer V.D. Teorija nadezhnosti v stroitel'nom proektirovanii [Theory of reliability in constructional designing]. Moscow: ASV, 1998. 304 p.
11. Goncharov M.E. Prochnost' stykov zhelezobetonnykh kolonn, usilennykh metallichesкими jelementami, pri staticheskom i kratkovremennom dinamicheskom nagruzhenijah. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehnikeskikh nauk [Strength of connection nodes of reinforced concrete columns strengthened by metal elements under static and short-term dynamic loading]. Tomsk, 2014. 206 p.
12. Tamrazyan A.G., Karpov A.E., Dekhterev D.S., Laskovenko A.G. Opreделение raschetnykh parametrov dlja ocenki nadezhnosti platformennykh stykov panel'nykh zdaniy [Determination of calculation parameters for assessment reliability platform-type connections of panel buildings]. In Proc. of Int. conf.: Sovremennyye problemy rascheta zhelezobetonnykh konstrukcij, zdaniy i sooruzhenij na avarijnye vozdeystviya; ed. by A.G. Tamrazjan, D.G. Kopanica; Moscow: MGSU, 2016. Pp.413- 416..
13. SP 63.13330.2012. Betonnoe i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozeniya. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 52.01-2003 [Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Actual version of SNiP 52.01-2003]. Moscow: Minregion Rossii. 2012. 162 p.
14. Tamrazyan A.G. Raschet ehlementov konstrukcij pri zadannoј nadezhnosti i normal'nom raspredelenii nagruzki i nesushchej sposobnosti [Calculation of structural elements at accepted reliability parameter and normal distribution of load and load capacity]. *Vestnik MGSU*. 2012. No 10. Pp. 109-115.
15. Tamrazyan A.G. Ocenka riska i nadezhnosti nesushchih konstrukcij i klyuchevyh ehlementov - neobhodimoe uslovie bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij. *Vestnik CNIISK im. V.A. Kucherenko "Issledovaniya po teorii sooruzhenij"*. 2009. No 1. Pp. 160-171.
16. Tamrazyan A.G. Dinamicheskaya ustojchivost' szhatogo zhelezobetonного ehlementa kak vyazkouprugogo sterzhnya [Dynamic stability of compressed reinforced concrete element as visco-elastic bar]. *Vestnik MGSU*. 2011. No 1-2. Pp. 193-196.
17. Buhtiyarova A.S., Kolchunov V.I., Prasolov N.O. Raschet obobshchennogo parametra zhivuchesti zhelezobetonnoj ramno-sterzhnevoj konstruktivnoj sistemy pri vnezapnoj potere ustojchivosti nesushchego ehlementa [Calculation of generalized parameter of survivability of reinforced concrete frame-rod structural system under sudden buckling of load bearing element]. *Building and Reconstruction*. 2013. No 6 (50). Pp. 9-12.
18. CHirkov V.P., SHavykina M.V., Muhin S.V. Mnogoehlementnaya armatura – rezerv raschetnoj nadezhnosti zhelezobetonnykh konstrukcij [Multi-element reinforcement is reserve of calculation reliability of reinforced concrete structures]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2007. No 9. Pp. 61-62.
19. Tamrazyan A.G. The assessment of reliability of punching reinforced concrete beamless slabs under the influence of a concentrated force at high temperatures. *Procedia Engineering*. 2016. T. 153. Pp. 715-720.
20. EN 1990 Eurocode - Basis of structural design. The European Union Per Regulation, 2002.

Информация об авторах:

Дехтерев Денис Сергеевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
129337, Россия, г. Москва, Ярославское ш., д.26,
аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций
Тел.: +7 (495) 287-49-14 (доб. 3036, 3084)
E-mail: gbk@mgsu.ru

Information about authors:

Dekhterev Denis Sergeevich

Moscow State University of Civil Engineering, 129337, Russia. Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26,
Graduate student of the department of Reinforce concrete and masonry structures,
Ph.: +7 (495) 287-49-14 (3036, 3084)
E-mail: gbk@mgsu.ru