

Устойчивость рамно-стержневых конструктивных систем на просадочных грунтах

К.О. Дубракова¹ ✉, С.В. Дубраков¹, И.В. Завалишин¹

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: dko1988@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. Для обеспечения требований Федерального закона №384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» необходимо более глубокое изучение устойчивости рамно-стержневых конструктивных систем при возникновении аварийной ситуации, связанной с просадкой основания одной из опор, и разработка методики оценки ресурса сопротивления элементов зданий, находящихся в сложных инженерно-геологических условиях.

Методы. В качестве критерия устойчивости принят знак работы концевых моментов и поперечных сил. Отрицательное значение указанной работы является признаком "активной" потери устойчивости стержня, положительное - "пассивной". При возникновении аварийной ситуации, связанной с просадкой основания одной из опор рамы, работа продольной силы перестает способствовать потери устойчивости стержня. Следовательно, при определенном значении деформации S_{sl} отдельная стойка может перейти от активной бифуркации к пассивной, изменив критические параметры устойчивости всей системы в целом. Приведена формула для определения критической просадки $S_{sl,кр}$.

Результаты. Рассмотрена стержневая конструктивная система, центральный элемент которой нагружен силой $R_{кр}$, а крайние – силами $\alpha R_{кр}$. Найдены критические параметры устойчивости указанной рамы и формы бифуркации ее сжатых стоек с применением приведенных уравнений в зависимости от коэффициента приложения нагрузки α до и после возникновения рассматриваемой аварийной ситуации. Представлена оценка влияния просадки основания опор стоек рамы на характер бифуркации стержневой конструктивной системы в целом. Выполнен анализ зависимости критического значения просадки $S_{sl,кр}$ от схемы нагружения рассматриваемой рамы. Показано, что при значении коэффициента приложения нагрузки $\alpha=0,6$, на первом этапе, когда рассматриваемая система стабильна, первая стойка теряет устойчивость пассивно, остальные – активно. При просадке основания второй стойки на 21 мм и более происходит изменение типа ее бифуркации, при этом критические параметры устойчивости остальных элементов существенно не изменяются. В случае возникновения аналогичной аварийной ситуации с основанием правой стойки рамы, значение критической просадки составляет 140 мм. При этом изменение типа бифуркации третьей стойки приводит к переходу первой стойки к активной потере устойчивости, вследствие чего существенно изменяются критические параметры всей системы в целом.

Заключение. Предложенный критерий дает возможность относительно просто выявлять элементы с низкой сопротивляемостью потери устойчивости рамно-стержневых конструктивных систем, основанием которых являются просадочные грунты.

Ключевые слова: устойчивость; рамно-стержневая система; активная бифуркация; пассивная бифуркация; просадка основания.

© Дубракова К.О., Дубраков С.В., Завалишин И.В., 2019

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Дубракова К.О., Дубраков С.В., Завалишин И.В. Устойчивость рамно-стержневых конструктивных систем на просадочных грунтах // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019; 23(5): 117-128. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-5-117-128>.

Статья поступила в редакцию 19.08.2019

Статья подписана в печать 03.10.2019

Статья опубликована 25.10.2019

Stability of Frame-Rod Structural Systems on Subsiding Soils

Kseniya O. Dubrakova ¹ ✉, Sergey V. Dubrakov ¹, Ilya V. Zavalishin ¹

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: dko1988@yandex.ru

Abstract

Purpose of research. To meet the requirements of Federal Law No. 384 "Technical Regulation on the Safety of Buildings and Structures", a deeper study of the stability of frame-rod structural systems in the event of an emergency associated with subsidence of the base of one of the supports, and the development of a methodology for assessing the resource of resistance of building elements located in difficult engineering and geological conditions.

Methods. As a stability criterion, the sign of the work of the end moments and transverse forces is adopted. A negative value of this work is a sign of "active" loss of stability of the rod, a positive - "passive". In the event of an emergency related to the subsidence of one of the frame supports, the work of the longitudinal force ceases to contribute to the bifurcation of the rod. Therefore, at a certain strain value S_{sl} , a separate rack can go from active loss of stability to passive, changing the critical stability parameters of the entire system as a whole. The formula for determining the critical drawdown S_{cr} is given.

Results. A two-span frame is considered, in which the central strut is loaded with the force P_{kr} , the extreme - with the forces αP_{kr} . The type of rod bifurcation is determined. Using the above equations, critical parameters and forms of buckling of the structural system under consideration were found before and after the emergency in question. An assessment is given of the influence of the draft of the base of the supports of the frame racks on the character of the bifurcation of the rods of the structural system as a whole. The analysis of the dependence of the critical drawdown value $S_{sl, cr}$ on the loading scheme of the frame under consideration is performed. It is shown that when the coefficient of load application is $\alpha = 0.6$, at the first stage, when the system in question is stable, the first rack loses stability passively, the rest actively. When the base of the second pillar sags by 21 mm or more, a change in the type of its bifurcation occurs, while the critical stability parameters of the remaining elements do not change significantly. In the event of a similar emergency with the base of the right frame pillar, the critical drawdown value is 140 mm. Moreover, a change in the type of bifurcation of the third pillar leads to the transition of the first pillar to active bifurcation, as a result of which the critical parameters of the entire system as a whole change significantly.

Conclusion. An analysis of the calculation results showed that with a certain drawdown value, the emergency in question will lead to a change in the nature of the bifurcation of both individual elements and the entire structural system as a whole. The proposed stability criterion for frame-rod structural systems, the basis of which are subsidence soils, makes it possible to relatively easily identify elements with low resistance to buckling in difficult engineering and geological conditions.

Keywords: stability; frame-rod system; active bifurcation; passive bifurcation; subsidence of the base.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Dubrakova K. O., S Dubrakov. V., Zavalishin I. V. Stability of Frame-Rod Structural Systems on Subsiding Soils. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019, 23(5): 117-128 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-5-117-128>.

Received 13.06.2019

Accepted 22.07.2019

Published 25.10.2019

Введение

С целью защиты жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц согласно действующему федеральному закону¹ строительные конструкции и основание здания должны обладать такой прочностью и устойчивостью, чтобы в процессе строительства и эксплуатации не возникало угрозы разрушения отдельных несущих строительных конструкций. При этом чрезвычайно сложно обеспечить безаварийную работу рамно-стержневых конструктивных систем, основанием которых являются просадочные грунты. Известно, что внезапные структурные перестройки, связанные с просадкой основания, могут вызвать изменение критических параметров устойчивости как отдельных элементов, так и всей системы в целом. Следовательно, для обеспечения требований Федерального закона необходимо более глубокое изучение устойчивости рамно-стержневых конструктивных систем при возникно-

вании аварийной ситуации, связанной с просадкой основания.

Материалы и методы

В качестве критерия устойчивости принят знак работы концевых моментов и поперечных сил. При этом отрицательное значение указанной работы

$$A_i(M_i, Q_i) < 0, \quad (1)$$

служит признаком "активной" бифуркации, а ее положительное значение:

$$A_i(M_i, Q_i) > 0, \quad (2)$$

говорит о том, что стержень теряет устойчивость «пассивно» [1-15].

При возникновении аварийной ситуации, связанной с просадкой основания одной из опор рамы, работа продольной силы перестает способствовать бифуркации стержня [16-21]. Следовательно, при определенном значении деформации S_{s1} отдельная стойка может перейти от активной бифуркации к пассивной, что вызовет структурные и изменит критические параметры устойчивости всей рассматриваемой системы. Указанная ситуация может привести к необратимым деформациям и разрушению как отдельного несущего элемента, так и всего здания. Переход отдельной стойки рамно-стержневой конструктив-

¹ Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: федеральный закон №384-ФЗ от 30.12.2009. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

ной системы от активной бифуркации к пассивной произойдет, когда работа продольной силы компенсирует работу концевых моментов и поперечных сил:

$$A_i'(N) - A_i(M_i, Q_i) > 0. \quad (3)$$

Работа продольной силы $A_i'(N)$ определяется как произведение просадки основания на значение указанной силы:

$$A_i'(N) = S_{кр} \cdot \frac{\nu^2 \cdot E \cdot I_{min}}{l^2}. \quad (4)$$

Работу концевых моментов и поперечных сил можно представить в виде

$$A_i(M_i, Q_i) = i \cdot \sum C \cdot \varphi_{j,i}(\nu_i) \cdot Z_i, \quad (5)$$

где $\varphi_{j,i}(\nu_i)$ – значение функций метода перемещений для сжато-изогнутых стержней;

C – константа, определяемая по правилам строительной механики в зависимости от геометрии, схемы нагружения конструкции и жесткости ее элементов.

Критическую просадку $S_{кр}$ с учетом выражений (3), (4) и (5) можно определить по формуле

$$S_{кр} = \frac{l^2 \cdot \sum C \cdot \varphi_{j,i}(\nu_i) \cdot Z_i}{\nu^2}. \quad (6)$$

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим стержневую конструктивную систему, центральный элемент которой нагружен силой $P_{кр}$, а крайние – силами $\alpha P_{кр}$ (рис. 1 а). Найдем критические параметры устойчивости указанной рамы и формы бифуркации ее сжатых стоек с применением приведенных уравнений в зависимости от коэффициента приложения нагрузки α до и после возникновения рассматриваемой аварийной ситуации. Расчет рамы выполним методом перемещений с применением численного метода последовательных приближений [13-15, 22].

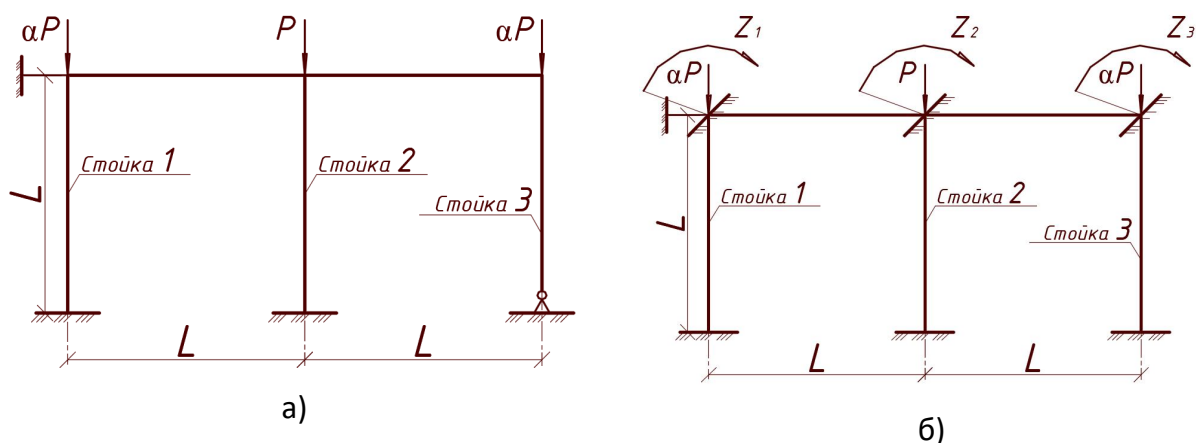


Рис. 1. Расчетная (а) и эквивалентная (б) схема рамно-стержневой конструктивной системы

Fig. 1. Estimated (a) and equivalent (б) schemes of the frame-rod structural system

Приняв за неизвестные углы поворота узлов Z_1, Z_2, Z_3 , вычислим работу концевых моментов и поперечных с

помощью функций метода перемещений. Тогда однородная система уравнений примет вид:

$$\left. \begin{aligned} r_{11} \cdot Z_1 + r_{12} \cdot Z_2 + r_{13} \cdot Z_3 &= 0 \\ r_{21} \cdot Z_1 + r_{22} \cdot Z_2 + r_{23} \cdot Z_3 &= 0 \\ r_{31} \cdot Z_1 + r_{32} \cdot Z_2 + r_{33} \cdot Z_3 &= 0 \end{aligned} \right\}, (7)$$

где $r_{11} = 8 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_1)$;

$r_{22} = 8 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_2)$;

$r_{33} = 4 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_3)$;

$r_{12} = r_{23} = 2 \cdot i$;

$r_{13} = r_{31} = 0$; $v_i = l \cdot \sqrt{\frac{P_i}{B_{red}}}$, ($i = 1, 2, 3$),

где B_{red} – приведенная жесткость сечения стержня; v_i – параметр векового уравнения.

Детерминант системы (7) определяется выражением

$$\begin{aligned} Det = & (8 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_1)) \cdot (8 \cdot i + \\ & + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_2)) \cdot (4 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_3)) + \\ & + 16 \cdot i^3 - (8 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_1)) \cdot 4 \cdot i^2 - \\ & - 4 \cdot i^2 \cdot (4 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_3)). \end{aligned} \quad (8)$$

Далее вычисляем углы поворота узлов рассматриваемой рамы. В приведенной двухпролетной конструктивной системе определяем значения изгибающих моментов, продольных и поперечных сил, составляем детерминант системы уравнений метода перемещений, записываем параметр векового уравнения для каждого из сжатых элементов.

Далее численным методом последовательных приближений определяем параметры векового уравнения, при которых детерминант, записанный для рассматриваемой рамы до просадки основания одной из ее опор, равен нулю при различных значениях коэффициента приложения нагрузки α . Аналогично определяем критические параметры устойчивости системы после возникновения приведенной аварийной ситуа-

ции. Сравним работу элементов рамы до и после просадки основания ее опор, оценим влияние деформаций грунта сжимаемой толщи на особенности бифуркации отдельной стойки и всей конструктивной системы. Вычислим значение просадки основания, при котором элементы могут перейти от активной бифуркации к пассивной. Определим критические параметры устойчивости исследуемой системы после изменения типа бифуркации её стойки.

Значение критической просадки вычислим, исходя из того условия, что в момент перехода от активной потери устойчивости к пассивной работа концевых моментов и поперечных сил элемента компенсируется работой продольной силы $A_1'(N)$.

Для решения указанной задачи найдем расчетную длину стоек, работу изгибающих моментов и поперечных сил для элементов приведенной рамы до возникновения аварийной ситуации, связанной с просадкой основания одной из опор. Работа каждой стойки равна:

$$A_i(M_i, Q_i) = 2 \cdot i \cdot \varphi_{2,i} \cdot Z_i. \quad (9)$$

Следовательно: $A_1(M_1, Q_1) = -0,293 \cdot i$, работа концевых моментов и поперечных сил второй стойки: $A_2(M_2, Q_2) = -0,723 \cdot i$, для третьей: $A_3(M_3, Q_3) = 1,526 \cdot i$. При этом до момента проявления негативных свойств грунта основания первый и второй элементы рамы теряют устойчивость активно, третий – пассивно.

Проанализируем поведение элементов рассматриваемой рамы в процессе по-

тери устойчивости до и после возникновения аварийной ситуации, связанной с просадкой основания опор первой и второй стойки. Значение просадки, при котором меняется характер бифуркации указанных элементов рамы, определим по формуле (6).

На рис. 2 для иллюстрации выражения (6) показан график зависимости критического значения просадки $S_{sl,кр.}$ для рассматриваемой рамно-стержневой конструктивной системы от коэффициента приложения нагрузки α .

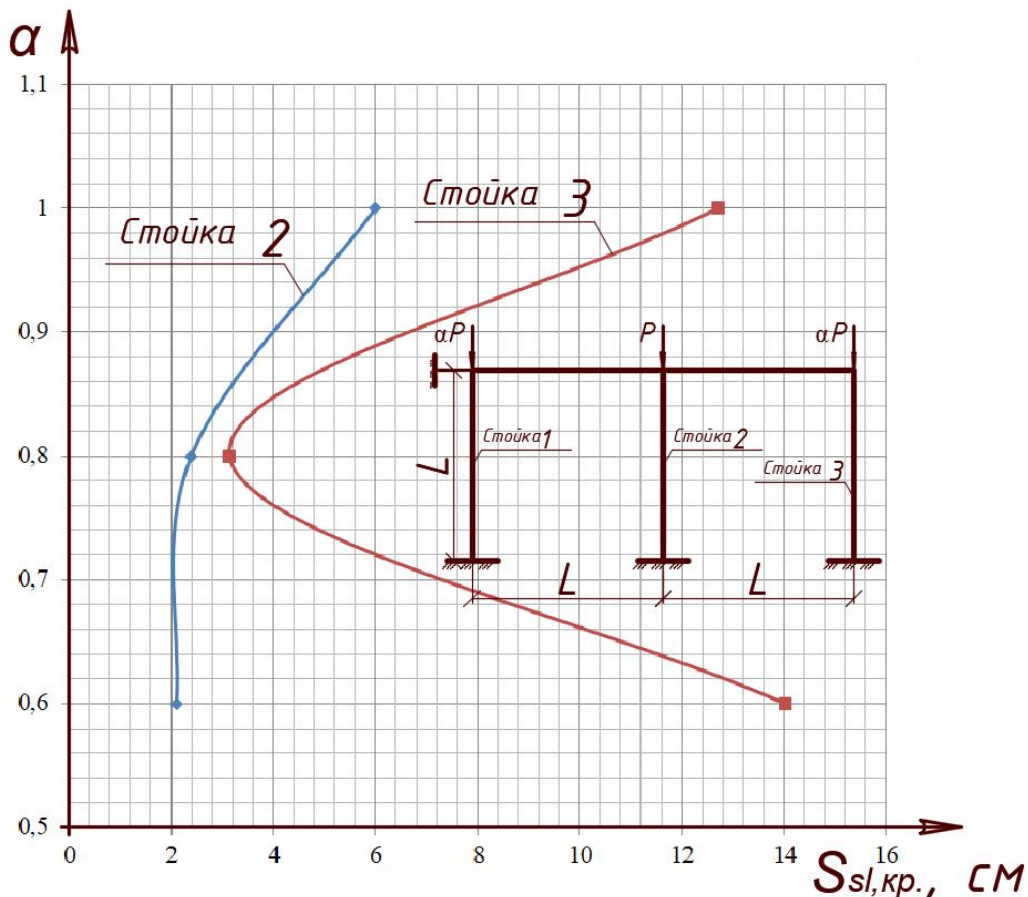


Рис. 2. Зависимость критического значения просадки $S_{sl,кр.}$ от коэффициента приложения нагрузки α

Fig. 2. Dependence of the critical value of the drawdown $S_{sl,кр.}$ on the load application coefficient α

Проанализируем характер бифуркации элементов рамы до и после возникновения аварийной ситуации, связанной с просадкой основания второй и третьей стоек при значении коэффициента приложения нагрузки $\alpha=0,6$. На первом этапе, когда рассматриваемая система стабильна, первая стойка теряет устой-

чивость пассивно, остальные – активно. При просадке основания второй стойки на 21 мм и более происходит изменение типа ее бифуркации, при этом критические параметры устойчивости остальных элементов существенно не изменяются. В случае возникновения аналогичной аварийной ситуации с основа-

нием правой стойки рамы, значение критической просадки составляет 140 мм. При этом изменение типа бифуркации третьей стойки приводит к переходу

ду первой стойки к активной бифуркации, вследствие чего существенно изменяются критические параметры всей системы в целом (рис. 3).

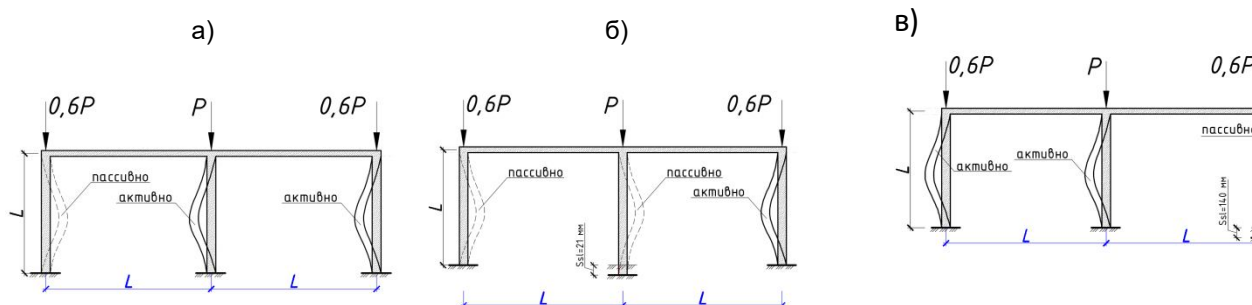


Рис. 3. Формы потери устойчивости рамы до (а) и после возникновения аварийной ситуации, связанной с просадкой основания второй (б) и третьей стоек (в)

Fig. 3. Forms of loss of stability of the frame before (a) and after an emergency situation associated with subsidence of the base of the second (б) and third pillars (в)

При значении коэффициента приложения нагрузки $\alpha=0,8$ работа элементов рассматриваемой рамно-стержневой конструктивной системы аналогична. При этом значение критической просадки основания второй стойки составляет 22 мм, третьей – 25 мм.

Выводы

Анализ полученных результатов расчета показал, что при некотором

значении просадки, рассматриваемая аварийная ситуация приведет к изменению характера бифуркации как отдельных элементов, так и всей конструктивной системы в целом.

Предложенный критерий дает возможность относительно просто выявлять элементы с низкой сопротивляемостью потери устойчивости рамно-стержневых конструктивных систем, основанием которых являются просадочные грунты.

Список литературы

1. Александров А. В., Травуш В. И., Матвеев А. В. Исследование устойчивости конструкций арочного покрытия зала с использованием критериев выявления наиболее опасных элементов // Вестник отделения строительных наук РААСН. 2004. Вып. 8. С. 14—21.
2. Александров А. В., Матвеев А. В. Критерии выявления наиболее опасных элементов и их использование в задачах устойчивости конструкций // Безопасность движения поездов: тр. 4-й науч.-практ. конф. М.: МИИТ, 2003. С. III—1 — III—2.

3. Александров А. В., Травуш В. И., Матвеев А. В. О расчете стержневых конструкций на устойчивость // Промышленное и гражданское строительство. 2002. № 3. С. 16—20.
4. Александров А. В. Роль отдельных элементов стержневой системы при потере устойчивости // Вестник МИИТа. 2001. Вып. 5. С. 46.
5. Дубракова К. О. Вопросы устойчивости статически неопределимых систем из древесины // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. №11. С. 54-55.
6. К алгоритмизации задач расчета живучести железобетонных рам при потере устойчивости / В.И. Колчунов, Н.О. Прасолов, Л.В. Кожаринова, О.А. Ветрова // Строительство и реконструкция. 2012. №6. С. 28-34.
7. Матвеев А. В. Некоторые вопросы создания специализированного программного комплекса для анализа мостовых конструкций // Вестник МИИТа. 2002. Вып. 7. С. 76-83.
8. Пахомова Е.Г., Дубракова К.О. Работоспособность железобетонных рамно-стержневых систем в сложных инженерно-геологических условиях // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2019. № 5. С. 46-48.
9. Пахомова Е.Г., Дубракова К. О., Дубраков С.В. Устойчивость рамно-стержневых коррозионно-повреждаемых железобетонных конструктивных систем // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2019. № 7. С. 54-56.
10. Пахомова Е.Г., Бредихина Н.В. Вероятностные закономерности возникновения отказов строительного потока // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. №6(69). С. 35-40.
11. Пахомова Е.Г., Переверзев Е.О., Конорев Д.Ф. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений при воздействии агрессивных сред // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и Технологии. 2014. №1. С. 72-74.
12. Пахомова Е.Г. Расчет несущей способности изгибаемых железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях // Промышленное и гражданское строительство. 2009. №5. С. 43-44.
13. Травуш В.И., Колчунов В.И., Дмитриева К.О. Устойчивость сжатых стержней из древесины при одновременном проявлении силового и средового воздействия // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. №2. С. 50-53.
14. Травуш В.И., Колчунов В.И., Дмитриева К.О. Экспериментально-теоретическое исследование прочности и устойчивости сжатых стержней из древесины при силовом и средовом воздействии // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. №3. С. 280-285.

15. Емельянов С.Г., Пахомова Е.Г. Reliability of RC frame-braced systems in dangerous geological conditions // *Journal of Applied Engineering Science Paper number: 17(2019)2*, 602, с. 245 – 250.

16. Багдасаров Ю.А. О достоверности оценки просадочности грунтов // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2000. №2. С. 21-26.

17. Буренин В.С., Езерский В.А., Монастырев П.В. Исследование современных тенденций проектирования жилых зданий в России и за рубежом // *Архитектура и время*. 2017. №5. С. 2-6.

18. Григорян А.А. О количественной оценке просадочности // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2001. №2. С. 17-21.

19. Дубракова К.О., Куценко О.И., Карцев И.Н. Изменение физико-механических характеристик грунта эксплуатируемого основания // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2019. №3. С.54-64. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-3-54-64>.

20. Межеровский В.А. Распространение влаги и развитие просадочных деформаций в лессовом основании здания // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 1998. №1. С. 20-22.

21. Межеровский В.А. Расчетные модели системы «здание – лессовое просадочное основание» // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2001. №5. С. 21-23.

22. Ключева Н.В., Дмитриева К.О. Анализ устойчивости стержневых конструкций // *Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2016. №3(43). С. 17-24.

References

1. Aleksandrov A.V., Travush V.I., Matveev A.V. Issledovanie ustoichivosti konstruksii arochnogo pokrytiya zala s ispol'zovaniem kriteriev vyyavleniya naibolee opasnykh elementov [Study of the stability of the structures of the arched covering of the hall using the criteria for identifying the most dangerous elements]. *Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk RAASN = Bulletin of the Department of Construction Sciences of the RAAS*, 2004, vol. 8, pp. 14-21 (In Russ.).

2. Alexandrov A. V., Matveev A. V. [Criteria for identifying the most dangerous elements and their use in problems of structural stability]. *Bezopasnost' dvizheniya poezdov. Tr. 4-i nauch.-prakt. konf.* [Traffic safety. Tr. 4th scientific and practical conf.]. Moscow, MIIT, 2003, S. III — 1 — III — 2 (In Russ.).

3. Alexandrov A. V., Travush V. I., Matveev A. V. O raschete sterzhnevyykh konstruksii na ustoichivost' [On the calculation of bar structures for stability]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and civil construction*, 2002, no. 3, pp. 16-20 (In Russ.).

4. Aleksandrov A. V. Rol' ot del'nykh elementov sterzhnevoi sistemy pri potere ustoichivosti [The role of individual elements of the core system in case of loss of stability]. *Vestnik MIITa = Bulletin of MIIT*, 2001, vol. 5, pp. 46 (In Russ.).

5. Dubrakova K. O. Voprosy ustoichivosti staticheski neopredelimykh sistem iz drevesiny [Issues of stability of statically indeterminate systems of wood]. *BST: Byulleten' stroitel'noi tekhniki = BST: Bulletin of construction equipment*, 2018, no. 11, pp. 54-55 (In Russ.).

6. Kolchunov V.I., Prasolov N.O., Kozharinova L.V., Vetrova O.A. K algoritimizatsii zadach rascheta zhivuchesti zhelezobetonnykh ram pri potere ustoichivosti [To the algorithmization of problems of calculating the survivability of reinforced concrete frames with loss of stability]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya = Construction and reconstruction*, 2012, no. 6, pp. 28-34 (In Russ.).

7. Matveev A. V. Nekotorye voprosy sozdaniya spetsializirovannogo programmogo kompleksa dlya analiza mostovykh konstruksii [Some issues of creating a specialized software complex for the analysis of bridge structures]. *Vestnik MIITa = Bulletin of MIIT*, 2002, vol. 7, pp. 76—83 (In Russ.).

8. Pakhomova E.G., Dubrakova K.O. Rabotosposobnost' zhelezobetonnykh ramno-sterzhnevnykh sistem v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh [Efficiency of reinforced concrete frame-rod systems in complex engineering-geological conditions]. *BST: Byulleten' stroitel'noi tekhniki = BST: Bulletin of construction equipment*, 2019, no. 5, pp. 46-48 (In Russ.).

9. Pakhomova E.G., Dubrakova K.O., Dubrakov S.V. Ustoichivost' ramno-sterzhnevnykh korrozionno-povrezhdaemykh zhelezobetonnykh konstruktivnykh sistem [Stability of frame-rod corrosion-damaged reinforced concrete structural systems]. *BST: Byulleten' stroitel'noi tekhniki = BST: Bulletin of construction equipment*, 2019, no. 7, pp. 54-56 (In Russ.).

10. Pakhomova E.G., Bredikhina N.V. Veroyatnostnye zakonomernosti vozniknoveniya otkazov stroitel'nogo potoka [Probability Regularities of Construction Flow Failure Occurrence]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2016, no. 1, pp. 35-40 (In Russ.).

11. Pakhomova E.G., Pereverzev E.O., Konorev D.F. Dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstruksii inzhenernykh sooruzhenii pri vozdeistvii agressivnykh sred [Durability of reinforced concrete structures of engineering structures when exposed to aggressive environments]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology*, 2014, no.1, pp. 72-74 (In Russ.).

12. Pakhomova E.G. Raschet nesushchei sposobnosti izgibaemykh zhelezobetonnykh konstruksii pri korrozionnykh povrezhdeniyakh [Calculation of the bearing capacity of bent

reinforced concrete structures with corrosion damag]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and civil engineering*, 2009, no. 5, pp. 43-44 (In Russ.).

13. Travush V.I., Kolchunov V.I., Dmitrieva K.O. Ustoichivost' szhatykh sterzhnei iz drevesiny pri odnovremennom proyavlenii silovogo i sredovogo vozdeistviya [Stability of compressed rods made of wood with the simultaneous manifestation of force and environmental impact]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii = Structural mechanics and calculation of structures*, 2016, no. 2, pp. 50-53 (In Russ.).

14. Travush V.I., Kolchunov V.I., Dmitrieva K.O. Eksperimental'no-teoreticheskoe issledovanie prochnosti i ustoichivosti szhatykh sterzhnei iz drevesiny pri silovom i sredovom vozdeistvii [Experimental and theoretical study of the strength and stability of compressed wood rods under force and environmental impact]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti = News of higher educational institutions. Technology of the textile industry*, 2016, no. 3, pp. 280-285 (In Russ.).

15. Emelyanov S.G., Pakhomova E.G. Reliability of RC frame-braced systems in dangerous geological conditions. *Journal of Applied Engineering Science Paper number: 17* (2019) 2, 602, pp. 245 - 250.

16. Bagdasarov Yu. A. O dostovernosti otsenki prosadochnosti gruntov [On the reliability of estimates of subsidence of soils]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov = Foundations, foundations and soil mechanics*, 2000, no. 2, pp. 21-26 (In Russ.).

17. Burenin V.S., Yezersky V.A., Monastyrev P.V. Issledovanie sovremennykh tendentsii proektirovaniya zhilykh zdaniy v rossii i za rubezhom [The study of modern trends in the design of residential buildings in Russia and abroad]. *Arkhitektura i vremya = Architecture and Time*, 2017, no. 5, pp. 2-6 (In Russ.).

18. Grigoryan A.A. O kolichestvennoi otsenki prosadochnosti [Changes in the Physico-Mechanical Characteristics of the Soil of the Operated Foundation]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov = Foundations, foundations and soil mechanics*, 2001, no. 2. pp. 17-21 (In Russ.).

19. Dubrakova K.O., Kutsenko O.I., Kartsev I.N. Izmenenie fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik grunta ekspluatiruemogo osnovaniya [Change of physical and mechanical characteristics of the soil of the operated base]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2019, no. 3, pp. 54-64 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-3-54-64>.

20. Mezherovsky V.A. Rasprostranenie vlagi i razvitie prosadochnykh deformatsii v lessovom osnovanii zdaniya [Moisture distribution and the development of subsidence deformations in the loess base of the building]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov = Foundations, foundations and soil mechanics*, 1998, no. 1, pp. 20-22 (In Russ.).

21. Mezherovsky V.A. Raschetnye modeli sistemy «zdanie – lessovoe prosadochnoe osnovanie» [Settlement models of the system “building - loess subsidence base”]. *Osnovaniya*,

fundamenty i mekhanika gruntov = Foundations, foundations and soil mechanics, 2001, no. 5, pp. 21-23 (In Russ.).

22. Klyueva N.V., Dmitrieva K.O. Analiz ustoichivosti sterzhnevykh konstruksii [Analysis of stability of core structures]. *Nauchnyi Vestnik Voronezhskogo gosudarstvenngo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura = Scientific Bulletin of the Voronezh State Architectural and Construction University. Construction and architecture*, 2016, no.3(43), pp. 17-24 (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the Authors

Дубракова Ксения Олеговна, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: sirius080993@yandex.ru

Ksenia O. Dubrakova, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Industrial and Civil Construction Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation
e-mail: sirius080993@yandex.ru

Дубраков Сергей Валерьевич, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: sirius080993@yandex.ru

Sergey V. Dubrakov, Associate Professor, Department of Industrial and Civil Construction, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: sirius080993@yandex.ru

Завалишин Илья Владимирович, инженер кафедры промышленного и гражданского строительства, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: sirius080993@yandex.ru

Ilya V. Zavalishin, Engineer, Department of Industrial and Civil Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: sirius080993@yandex.ru