

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-4-72-83>

Влияние расчетной длины элементов на критические параметры устойчивости рамно-стержневых конструктивных систем

Е.Г. Пахомова¹, 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: sirius080993@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. В данной статье рассматривается влияние изменения расчетной длины элементов рамно-стержневых конструктивных систем, работающих в условиях стесненной бифуркации.

Методы. За критерий формы потери устойчивости элемента рамно-стержневой конструктивной системы принят знак работы концевых моментов и поперечных сил. С использованием указанного критерия получено выражение для оценки влияния изменения расчетной длины стоек рамы на критические параметры всей системы, позволяющее варьированием геометрии конструкции влиять на ее работоспособность. В качестве примера определены критические параметры устойчивости двухпролетной рамы, спроектированной из древесины деревянной, к среднему элементу которой прикладываем центральную силу $R_{кр}$, а к крайним – приложены силы с умножением на коэффициент α – $\alpha R_{кр}$. Выявлен вид бифуркации элементов рассматриваемой конструктивной системы (стесненной или принужденной) до и после изменения расчетной длины ее элементов. Вычисление неизвестных реакций и внутренних усилий системы выполнялось с применением специальных функций метода перемещений.

Результаты. Изменение расчетной длины элементов, теряющих устойчивость пассивно, не оказывает существенного влияния на критические параметры устойчивости рамно-стержневой конструктивной системы. При этом уменьшение на 30% расчетной длины стоек, находящихся в активной бифуркации, приводит к снижению критической силы на 50 %.

Заключение. Представлены достаточно простые алгебраические зависимости, позволяющие выявлять элементы рамно-стержневых систем, изменение расчетной длины которых оказывает существенное влияние на критические параметры устойчивости всей конструкции. При этом приведенные критерии позволяют оценивать ресурс сопротивления центрально сжатых элементов рамно-стержневых конструктивных систем.

Ключевые слова: устойчивость; рамно-стержневая система; активная бифуркация; пассивная бифуркация; расчетная длина.

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

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

Для цитирования: Влияние расчетной длины элементов на критические параметры устойчивости рамно-стержневых конструктивных систем / Е.Г. Пахомова, К.О. Дубракова, С.В. Дубраков, И.В. Завалишин // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019; 23(4): 72-83. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-4-72-83>.

Статья поступила в редакцию 31.05.2019

Статья подписана в печать 18.07.2019

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-4-72-83>

Influence of Effective Length of Elements on the Critical Parameters of Frame-Rod Structural Systems' Stability

Yekaterina G. Pakhomova¹, Kseniya O. Dubrakova¹ ✉,
Sergey V. Dubrakov¹, Ilya V. Zavalishin¹

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

✉ e-mail: sirius080993@yandex.ru

Abstract

Purpose of research. This article considers the influence of changes in the effective length of frame-rod structural systems elements operating under the conditions of constrained bifurcation.

Methods. A sign of the end moments and transverse forces has been taken as the criterion of the form of stability loss of a frame-rod structural system element. Using this criterion, an expression has been obtained to assess the effect of changes in effective length of the frame struts on the critical parameters of the entire system, which allows varying the geometry of the structure to affect its performance. As an example, the critical parameters of the stability of a two-span frame designed from wood have been defined, to the middle element of which we apply central force $P_{кр}$, and to the extreme elements we apply forces multiplied by the coefficient α - $\alpha P_{кр}$. The type of elements' bifurcation of the considered constructive system (constrained or forced) before and after the change of effective length of its elements has been revealed. The calculation of the unknown reactions and internal forces of the system were performed using special functions of the displacement method.

Results. Changes in effective length of elements that lose stability passively do not significantly affect the critical stability parameters of the frame-rod structural system. At the same time, a 30% reduction in effective length of struts being in active bifurcation leads to a 50% reduction in the critical force.

Conclusion. Quite simple algebraic dependences are presented in the paper that allow us to identify elements of frame-rod systems. Their change in effective length has a significant impact on the critical parameters of the entire structure' stability. At the same time, these criteria allow us to evaluate the resistance resource of centrally compressed elements of frame-rod structural systems.

Keywords: stability; frame-rod system; active bifurcation; passive bifurcation; effective length.

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

For citation: Pakhomova Y. G., Dubrakova K. O., Dubrakov S. V., Zavalishin I. V. Influence of Effective Length of Elements on the Critical Parameters of Frame-Rod Structural Systems' Stability. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* = *Proceedings of the Southwest State University*. 2019, 23(4): 72-83 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-4-72-83>.

Received 31.05.2019

Accepted 18.07.2019

Введение

Основной сложностью при проектировании стержневых конструктивных систем, таких, как структура, ферма или рама, является обеспечение устойчивости ее элементов.

При этом в большинстве случаев процесс бифуркации начинается с небольшой группы или с одного элемента. Поэтому при решении задач устойчивости рамно-стержневых систем одним из важных этапов является определение элементов, способных при небольшом значении сжимающей силы вовлечь в общую бифуркацию всю конструкцию [1-8]. В связи с этим целью исследования является изучение особенностей деформирования элементов рамно-стержневых конструктивных систем при длительном нагружении с учетом их совместной работы и установление критерия бифуркации (стесненной или принужденной).

Материалы и методы

Рассмотрим один (центральный) стержень, выделенный из состава спроектируемой конструкции, который потеряет устойчивость при заданном значении нагрузки $R_{кр.}(t)$ (рис.1).

Энергию деформаций U_i , которая появляется при процессе бифуркации, высчитаем как сумму работ, сил и моментов на его концах:

$$U_i = A_i(N) + A_i(M_i, Q_i). \quad (1)$$

В случаях, когда указанная работа отрицательна $A_i(M_i, Q_i) < 0$, стержень теряет устойчивость активно, так как работа продольной силы N_i гасит повышение потенциальной энергии деформации соседних элементов (их опорных реакций) и стержня U_i .

В этом случае критерий $A_i(M_i, Q_i) > 0$ будет признаком пассивной потери устойчивости, то есть рядом стоящие стержни (крайние) провоцируют его бифуркации.

Выявленные значения перемещений, поперечных сил и моментов, вызванных новыми усилиями в элементах, для вычисления их работы, получается вычислить с применением стандартных функций метода перемещений [9-12].

Применяем систему стандартного вида метода перемещений, взяв за неизвестные углы поворота и смещение узлов Z_1, Z_2, Z_n . Вычисляем однородную систему уравнений для вычисления неизвестных реакций и раскрытия статической неопределимости:

$$\left. \begin{aligned} r_{11} \cdot Z_1 + r_{12} \cdot Z_2 + \dots + r_{1n} \cdot Z_n &= 0 \\ r_{21} \cdot Z_1 + r_{22} \cdot Z_2 + \dots + r_{2n} \cdot Z_n &= 0 \\ &\dots \\ r_{n1} \cdot Z_1 + r_{n2} \cdot Z_2 + \dots + r_{nn} \cdot Z_n &= 0 \end{aligned} \right\}, (2)$$

$$v_i = l \cdot \sqrt{\frac{P_i}{B_{red}}}, \quad (i = 1, 2, 3 \dots n), \quad (3)$$

где B_{red} – жесткость поперечного сечения стержня, определяемая как произведение модуля деформации материала на минимальное значение момента инерции; v_i – параметр векового уравнения.

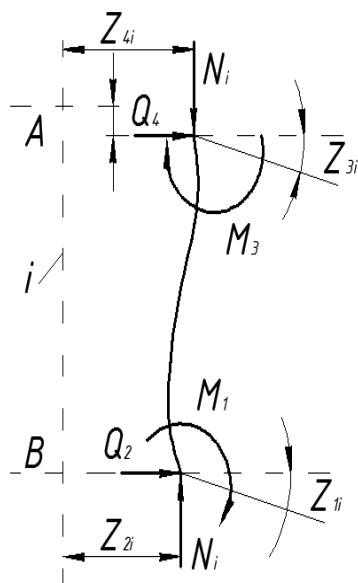


Рис. 1. Стержень, выделенный из системы

Fig. 1. Core isolated from the system

Определяем значение параметра векового уравнения устойчивости, при котором детерминант системы (2) равен 0:

$$Det = 0. \quad (4)$$

С применением приведенных выше системы стандартных неравенств и уравнений определим критические параметры формы бифуркации и устойчивости элементов спроектируемой конструктивной системы. Большое внимание представляет оценка влияния расчетной длины отдельных стержней и схемы нагружения на характер бифуркации как конкретных элементов, так и всей системы в целом.

Для исследования влияния значения расчетной стойки на критические параметры устойчивости системы запишем выражение для определения коэффициента векового уравнения вторичной расчетной схемы $v_{i_{кр}}$, возника-

ющей после изменения условий закрепления и сопряжения отдельных элементов.

$$v_{i_{кр}} = l \cdot \sqrt{\frac{P}{B_{red}}}. \quad (5)$$

Параметр векового уравнения устойчивости первичной расчетной схемы будет соответственно равен:

$$v_{i_0} = l \cdot \sqrt{\frac{P}{B_0}}. \quad (6)$$

Отношение квадратов начального и критического параметров стандартного векового уравнения равно отношению соответствующих критических сил:

$$\frac{v_{i_{кр}}^2}{v_{i_0}^2} = \frac{P_{кр.}}{P_{кр.,0}}. \quad (7)$$

Параметры v_{i_0} и $v_{i_{кр}}$ определяются при выполнении расчета рамы на устойчивость по стандартным правилам строительной механики после и до изменения расчетной длины стоек.

Пользуясь соотношением (7), можно оценить влияние изменения расчетной длины стоек рамы на критические параметры всей системы, что, в свою очередь, позволяет, варьируя геометрией конструкции, влиять на ее работоспособность. Чем больше значение $\frac{v_{i_{кр}}^2}{v_{i_0}^2}$, тем более вероятна потеря устойчивости рамы в целом.

Количественный анализ. В качестве примера определим критические параметры устойчивости деревянной двухпролетной рамы, в которой к центральному элементу (к стойке 2) приложена сосредоточенная сжимающая сила $P_{кр}$, а к крайним – приложены силы $\alpha P_{кр}$ (рис. 2, 3).

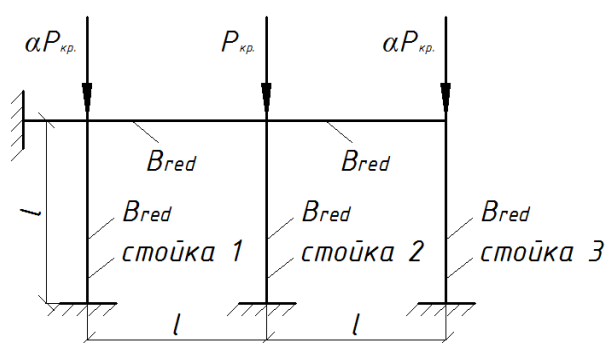


Рис. 2. Схема проектируемой рамы

Fig. 2. The design scheme of the frame

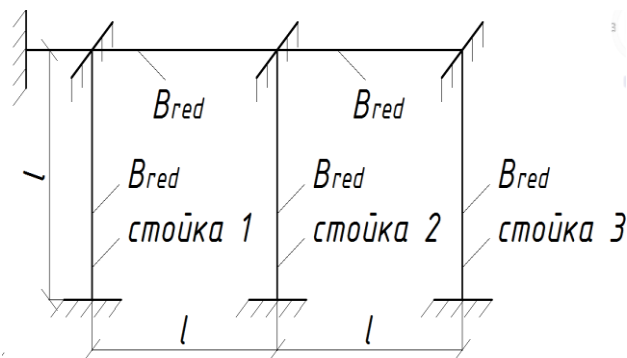
Рис. 3. Основная система
метода перемещений

Fig. 3. The basic system of displacement method

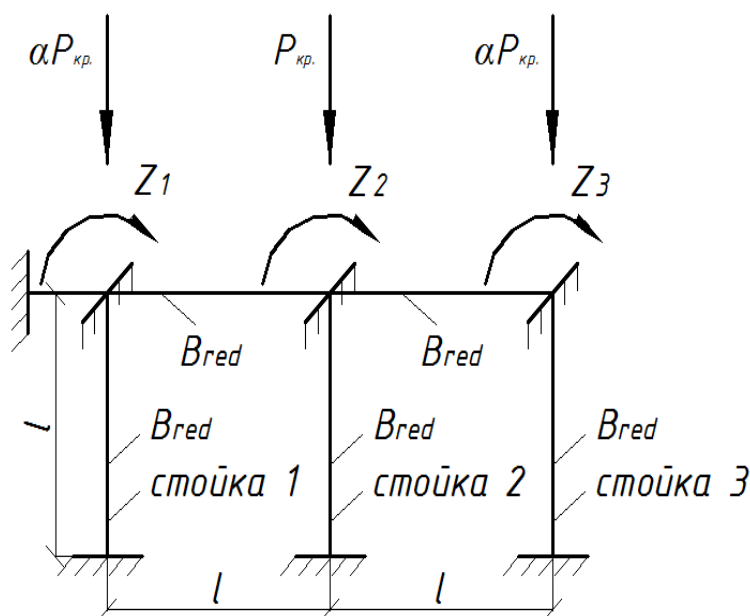


Рис. 4. Эквивалентная системы метода перемещений

Fig. 4. Equivalent system of displacement method

Выявляем вид бифуркации в элементах спроектируемой рамно-стержневой конструктивной системы. Вычисление скрытых внутренних усилий и реакций системы получаем при помощи типовых функций метода перемещений. Если принять за неизвестные углы пово-

рота узлов Z_1 , Z_2 , Z_3 (рис. 4), однородная система уравнений примет вид:

$$\left. \begin{aligned} r_{11} \cdot Z_1 + r_{12} \cdot Z_2 + r_{13} \cdot Z_3 &= 0 \\ r_{21} \cdot Z_1 + r_{22} \cdot Z_2 + r_{23} \cdot Z_3 &= 0 \\ r_{31} \cdot Z_1 + r_{32} \cdot Z_2 + r_{33} \cdot Z_3 &= 0 \end{aligned} \right\}, (8)$$

где $r_{11} = 8 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_1)$;
 $r_{22} = 8 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_2)$;
 $r_{33} = 4 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_3)$;

$$\begin{aligned} r_{12} &= r_{23} = 2 \cdot i; \\ r_{13} &= r_{31} = 0; \\ v_i &= l \cdot \sqrt{\frac{P_i}{B_{red}(w,t)}}, \quad (i = 1, 2, 3). \end{aligned}$$

где B_{red} — жесткость поперечного сечения стержня, определяемая как произведение модуля деформаций материала на минимальное значение момента инерции; v_i — параметр векового уравнения.

После сокращений и преобразований выражение для определения детерминанта системы (8) примет вид:

$$\begin{aligned} Det &= (8 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_1)) \cdot (8 \cdot i + \\ &+ 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_2)) \cdot (4 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_3)) + \\ &+ 16 \cdot i^3 - (8 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_1)) \cdot 4 \cdot i^2 - \\ &- 4 \cdot i^2 \cdot (4 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_3)). \end{aligned} \quad (9)$$

Пользуясь выведенными уравнениями, получаем критические параметры и определяем форму потери устойчивости спроектированной рамно-стержневой конструктивной системы.

Помимо этого, проанализировав изменение значения критической силы при изменении расчетной длины всех стоек рамы, в действительности можно предположить, что при действии силовых факторов увеличение или уменьшение расчетной длины стоек, теряющих устойчивость активно и пассивно, влияет на общую бифуркацию системы.

Для выполнения предложенной задачи определяем параметр векового уравнения $v_{i_{кр}}$, который, в свою очередь, определяется после проявления аварийной ситуации, в связи с этим расчетная длина стоек:

$$v_{i_{кр}} = l \cdot \sqrt{\frac{P}{B_{red}}}. \quad (10)$$

Полученный параметр векового уравнения при заданном и не изменяемом значении нагрузки в добавок с постоянным значением влажностных характеристик древесины будет равен

$$v_{i_0} = l \cdot \sqrt{\frac{P}{B_0}}. \quad (11)$$

Отношение квадратов начального и критического параметров векового уравнения получаем прямую зависимость к отношению соответствующих критических сил:

$$\frac{v_{i_{кр}}^2}{v_{i_0}^2} = \frac{P_{кр.}}{P_{кр.,0}}. \quad (12)$$

Параметры v_{i_0} и $v_{i_{кр}}$ определяются при расчете предложенной спроектируемой рамно-стержневой системы на устойчивость по стандартным правилам строительной механики после и до изменения расчетной длины стоек.

Пользуясь соотношением (12), можно оценить влияние изменения расчетной длины стоек рамы на критические параметры всей системы, что в свою очередь позволяет, варьируя геометрией конструкции, влиять на ее работоспособность. Чем больше значение $\frac{v_{i_{кр}}^2}{v_{i_0}^2}$, тем более вероятна потеря устойчивости рамы в целом.

Для анализа влияний изменения расчетных длин каждой из стоек рамы заменим жесткое опирание шарнирно-неподвижным. Расчетная схема рамы для указанного случая представлена на рис. 5.

Основанная и эквивалентная системы метода перемещений разработаны аналогично с представленными выше (см. рис. 3, 4). Однородная система уравнений примет вид:

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

где $r_{11} = 8 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_1(v_1)$;

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

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

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

$$r_{13} = r_{31} = 0;$$

$$v_i = l \cdot \sqrt{\frac{P_i}{B_{red}(w, t)}}, \quad (i = 1, 2, 3).$$

Детерминант системы (10) определяется выражением:

$$\begin{aligned} Det = & (8 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_1(v_1)) \cdot (8 \cdot i + \\ & + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_2)) \cdot (4 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_3)) + \\ & + 16 \cdot i^3 - (8 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_1(v_1)) \cdot 4 \cdot i^2 - \\ & - 4 \cdot i^2 \cdot (4 \cdot i + 4 \cdot i \cdot \varphi_2(v_3)). \end{aligned} \quad (14)$$

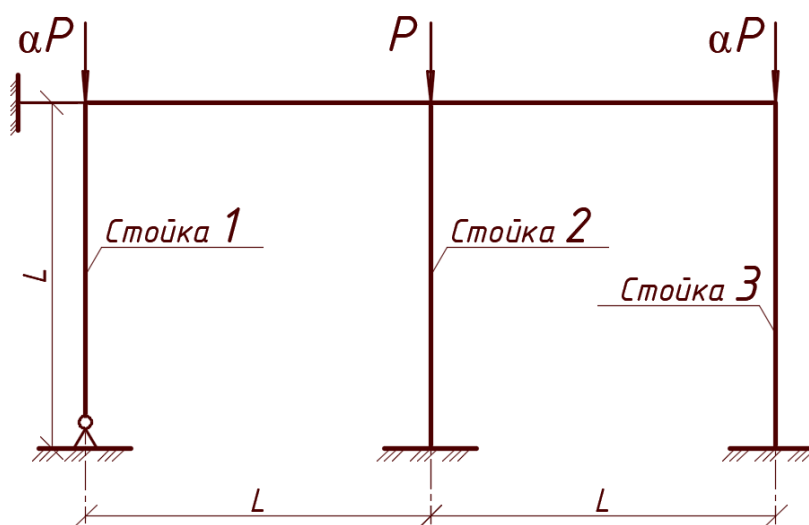


Рис. 5. Расчетная схема рамы при изменении расчетной длины стойки 1

Fig. 5. The design scheme of the frame when changing the estimated length of the rack 1

Аналогично выполнен расчет изменения критических параметров устойчивости рассматриваемой рамно-стержневой конструктивной системы (см. рис. 2) при изменении расчетных длин стоек 2 и 3.

Результаты указанного расчета приведены на рис. 6. Вертикальными линиями ограничены зоны активной и пассивной бифуркации стоек 1 и 3, стойка 2 теряет устойчивость активно, незави-

симо от значения параметра приложения нагрузки α .

Результаты и их обсуждение

Из анализа рис. 6 можно сделать вывод, что при значении $\alpha \leq 0,756$ левая и правая стойки конструктивной системы теряют устойчивость пассивно. В случае, когда параметр приложения нагрузки α превышает значение 0,756, стойка 3 рассматриваемой рамы переходит к активной бифуркации, при

$\alpha > 0,9$ все стойки теряют устойчивость активно. Вместе с тем при значении $\alpha \leq 0,9$, когда стойка 1 теряет устойчивость пассивно, изменение ее расчетной длины приводит к уменьшению критической силы в среднем на 15%. В случае, когда параметр приложения нагрузки α превышает значение 0,9, изменение расчетной длины элемента 1 приводит к увеличению максимального значения сжимающей силы на 5%.

В то же самое время при значении $\alpha \leq 0,76$, когда стойка 3 теряет устойчивость пассивно, изменение ее расчетной длины приводит к уменьшению критической силы в среднем на 6%. В случае, когда параметр приложения нагрузки α превышает значение 0,76, изменение расчетной длины элемента 3 приводит к увеличению максимального значения сжимающей силы на 2%.

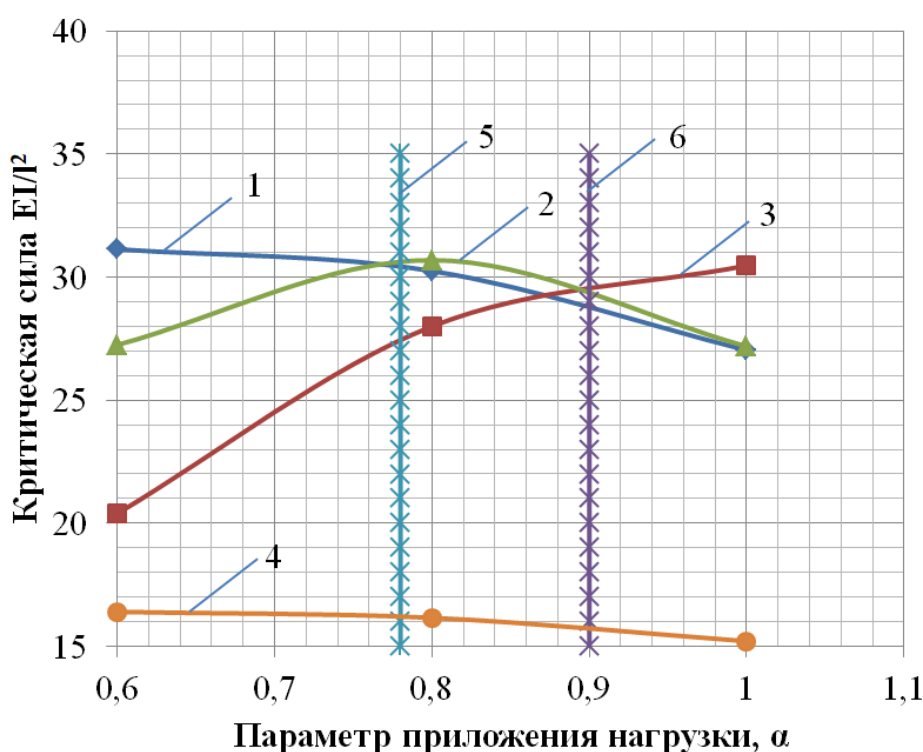


Рис. 6. График зависимости значения критической силы $P_{кр,0}$ от параметра приложения нагрузки α при изменении расчетной длины стоек рамно-стержневой системы с указанием характера бифуркации: 1 – расчетная длина всех элементов рамы одинакова, 2 – уменьшение расчетной длины стойки 3 на 30%; 3 – уменьшение расчетной длины стойки 1 на 30%; 4 – уменьшение расчетной длины стойки 2 на 30%; 5 – граница перехода стойки 3 от пассивной потери устойчивости к активной; 6 – граница перехода стойки 1 от пассивной потери устойчивости к активной

Fig. 6. Graph of the dependence of the value of the critical force $P_{(cr, 0)}$ on the load application parameter α when changing the estimated length of the racks of the frame-rod system indicating the nature of the bifurcation: 1 - the calculated length of all frame elements is the same, 2 - reducing the estimated length of the rack 3 by 30%; 3 - reduction of the estimated length of the rack 1 by 30%; 4 - reduction of the estimated length of the rack 2 by 30%; 5 - the border of the transition rack 3 from passive loss of resistance to active; 6 - the border of the transition rack 1 from passive loss of resistance to active

При этом изменение расчетной длины второй стойки приводит к уменьшения критической силы в среднем на 50%.

Выводы

Представлены достаточно простые алгебраические зависимости, позволяющие выявлять элементы рамно-

стержневых систем, изменение расчетной длины которых оказывает существенное влияние на критические параметры устойчивости всей конструкции. При этом приведенные критерии позволяют оценивать ресурс сопротивления центрально сжатых элементов рамно-стержневых конструктивных систем.

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. Матвеев А. В. Некоторые вопросы создания специализированного программного комплекса для анализа мостовых конструкций // Вестник МИИТа. 2002. Вып. 7. С. 76—83.
6. Пятикрестовский, К. П. Нелинейные методы механики в проектировании современных деревянных конструкций. М.: МГСУ, 2014. 320 с.
7. Пятикрестовский К. П., Травуш В. И. О программировании нелинейного метода расчета деревянных конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 2. С. 115—119.
8. Пятикрестовский К. П., Хуганов Х.С. Нелинейные деформации статически неопределимых деревянных конструкций // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 11-12. С. 21—30.

9. Ключева Н.В., Дмитриева К.О. Вопросы устойчивости стержневых элементов конструктивных систем из древесины при силовом и средовом нагружении // Строительство и реконструкция . 2016. №4. С. 13-18.

10. Дубракова К.О. Вопросы устойчивости статически неопределимых систем из древесины // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. №11. С. 54-55.

11. Ключева Н.В., Дмитриева К.О. Анализ устойчивости стержневых конструкций из древесины при силовом нагружении и переменной влажности // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2016. №3. С. 17-24.

12. Ключева Н.В., Дмитриева К.О. Вопросы устойчивости стержневых элементов конструктивных систем из древесины различных пород при силовом и средовом нагружении в условиях повышенной влажности // Строительство и реконструкция . 2016. №5. С. 60-68.

References

1. Aleksandrov A.V. Issledovanie ustoichivosti konstruksii arochnogo pokrytiya zala s ispol'zovaniem kriteriev vyyavleniya naibolee opasnykh elementov [Investigation of the sustainability of structures of the arch covering of the hall using the criteria for identifying the most dangerous elements]. *Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk RAASN*, 2004, vol. 8, pp. 14-21 (In Russ.).

2. Aleksandrov 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.* [Safety of train traffic. Tr. 4th scientific-practical. conf.]. Moscow, 2003, pp. III — 1 — III — 2 (In Russ.).

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

4. Aleksandrov A. V. Rol' otdel'nykh elementov sterzhnevoi sistemy pri potere ustoichivosti [The role of individual elements of the core system in the event of loss of stability]. *Vestnik MIITa = Bulletin of Moscow Institute of Railway Transport*, 2001, vol. 5, p. 46 (In Russ.).

5. Matveev A. V. Nekotorye voprosy sozdaniya spetsializirovannogo programmno kompleksa dlya analiza mostovykh konstruksii [Some issues of creating a specialized soft-

ware for the analysis of bridge structures]. *Vestnik MIITa = Bulletin of Moscow Institute of Railway Transport*, 2002, vol. 7, pp. 76-83 (In Russ.).

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

7. Pyatikrestovsky K. P., Travush V. I. O programmirovanii nelineinogo metoda rascheta derevyannykh konstrukttsii [On programming non-linear method of calculating wooden structures]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo = Academia. Architecture and construction*, 2015, no. 2, pp. 115-119 (In Russ.).

8. Pyatikrestovsky K. P., Khuganov H.S. Nelineinye deformatsii staticheskii neopredelimykh derevyannykh konstrukttsii [Nonlinear deformations of statically indefinable wooden structures]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo = Proceedings of higher educational institutions. Building*, 2013, no. 11-12, pp. 21-30 (In Russ.).

9. Klyueva N.V., Dmitrieva K.O. Voprosy ustoichivosti sterzhnevnykh elementov konstruktivnykh sistem iz drevesiny pri silovom i sredovom nagruzhenii [Questions of sustainability of core elements of structural systems made of wood under force and environmental loading]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya = Construction and reconstruction*, 2016, no.4, pp. 13-18 (In Russ.).

10. Pyatikrestovsky K.P. Nelineinye metody mekhaniki v proektirovanii so-vremennykh derevyannykh konstrukttsii [Nonlinear methods of mechanics in the design of modern wooden structures]. Moscow, MGSU Publ., 2014, 320 p. (In Russ.).

11. Klyueva N.V., Dmitrieva K.O. Analiz ustoichivosti sterzhnevnykh konstrukttsii iz drevesiny pri silovom nagruzhenii i peremennoi vlazhnosti [Analysis of the stability of wood core structures under power loading and variable humidity]. *Nauchnyi vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura = Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture*, 2016, no.3, pp. 17-24 (In Russ.).

12. Klyueva N.V., Dmitriev K.O. Voprosy ustoichivosti sterzhnevnykh elementov konstruktivnykh sistem iz drevesiny razlichnykh porod pri silovom i sredovom nagruzhenii v usloviyakh povyshennoi vlazhnosti [Questions of sustainability of the core elements of structural systems of wood of various species under force and environmental loading in conditions of high humidity]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya = Construction and reconstruction*, 2016, no.5, pp. 60-68 (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the Authors

Пахомова Екатерина Геннадиевна, кандидат технических наук, доцент, декан факультета строительства и архитектуры, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: dko1988@yandex.ru

Yekaterina G. Pakhomova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Dean of the Construction and Architecture Faculty, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: dko1988@yandex.ru

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, Candidate of Engineering Sciences, 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 Construction, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: sirius080993@yandex.ru