

Вестник Томского государственного  
архитектурно-строительного университета.  
2026. Т. 28. № 1. С. 288–297.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)  
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo  
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –  
Journal of Construction and Architecture.  
2026; 28 (1): 288–297.  
Print ISSN 1607-1859  
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624

DOI: 10.31675/1607-1859-2026-28-1-288-297

EDN: XCKXXL

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОЙ ОСАДКИ ОСНОВАНИЙ КАРКАСНЫХ СООРУЖЕНИЙ

**Сергей Иванович Герасимов, Виктор Михайлович Тихомиров,  
Анатолий Михайлович Попов, Арина Владимировна Егорова,  
Александр Александрович Спиридонов**

*Сибирский государственный университет путей сообщения,  
г. Новосибирск, Россия*

**Аннотация.** *Актуальность.* Каркасные сооружения благодаря своей экономичности и скорости возведения широко используются в современном строительстве. Для обеспечения их долговечной и безопасной эксплуатации уже при проектировании нужно учитывать негативные последствия аварийных ситуаций, таких как неравномерная осадка фундамента или случайные динамические воздействия. Это позволит заблаговременно принять необходимые меры по усилению конструкций.

*Цель работы* – повышение достоверности оценки дополнительных усилий, действующих в элементах каркасного сооружения при неравномерной осадке его фундамента или динамическом воздействии.

*Методы.* Применен метод физического моделирования с помощью конструкционной системы PASCО, использующей тензометрические датчики для измерения усилий в элементах конструкции.

*Результаты.* Получены значения усилий в элементах модели каркасной конструкции при неравномерной осадке ее основания и при вертикальном ударном воздействии. Определены наиболее опасные варианты осадки основания и динамические коэффициенты для наиболее нагруженных элементов при вертикальном ударе.

**Ключевые слова:** каркасное сооружение, экспериментальное моделирование, неравномерная осадка фундамента, удар

**Для цитирования:** Герасимов С.И., Тихомиров В.М., Попов А.М., Егорова А.В., Спиридонов А.А. Моделирование неравномерной осадки оснований каркасных сооружений // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2026. Т. 28. № 1. С. 288–297. DOI: 10.31675/1607-1859-2026-28-1-288-297. EDN: XCKXXL

ORIGINAL ARTICLE

## MODELING OF NONUNIFORM SETTLEMENT OF FRAMED STRUCTURE FOUNDATIONS

Sergei I. Gerasimov, Viktor M. Tikhomirov, Anatoly M. Popov,  
Arina V. Egorova, Aleksandr A. Spiridonov  
Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russia

**Abstract.** Due to the high cost-effectiveness and construction speed of frame structures, they are widely used in modern construction. In the framed structure design, the most difficult computational problems are emergency situations, in particular, uneven foundation settlement and accidental dynamic impacts during the construction and operation. Understanding causes, consequences and methods of prevention the framed structure settlement, is critically important to ensure their durability and safety.

**Purpose:** The purpose of the work is to analyze the redistribution of efforts in framed structure elements in emergency situations.

**Methodology:** Experimental modeling based on the PASCO system is used to measure forces in the rods.

**Research findings:** The force redistribution in the elements mounted to a columnar foundation with nonuniform foundation settlement is identified. The most dangerous situations are identified, in which additional calculations or additional experimental model studies are required.

**Value:** The data obtained in the work show the effectiveness of using experimental modeling for further analysis and design of wireframe systems.

**Keywords:** frame structure, experimental modeling, nonuniform foundation settlement

**For citation:** Gerasimov S.I., Tikhomirov V.M., Popov A.M., Egorova A.V., Spiridonov A.A. Modeling of Nonuniform Settlement of Framed Structure Foundations. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2026; 28 (1): 288–297. DOI: 10.31675/1607-1859-2026-28-1-288-297. EDN: XCKXXL

При проектировании строительных конструкций каркасного типа, которые широко применяются в современном строительстве благодаря своей универсальности и экономичности [1], необходимо учитывать воздействия природного и техногенного характера [2–4]. Это – землетрясения, осадки основания, карсты, террористические акты, которые могут являться причиной аварии [5–8]. Поэтому исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) строительных конструкций при такого рода воздействиях весьма актуальны. На данный момент анализ НДС предпочтительнее проводить численными способами, основным из которых является метод конечных элементов [9]. При конечно-элементном моделировании не всегда корректно можно описать граничные условия задачи. Натурный эксперимент при аварийном воздействии не представляется возможным. Альтернативой является методика физического моделирования [10–14].

Распространенным аварийным воздействием на конструкцию зданий можно считать осадку фундамента, которую подразделяют на три основных типа: равномерная, неравномерная и крен. Наиболее опасная неравномерная осадка столбчатого фундамента. Также при строительстве и эксплуатации нередко сооруже-

ния испытывают динамические воздействия различного рода. При численном моделировании конструкций, испытывающих ударную нагрузку, практически невозможно учесть все жесткостные параметры системы «конструкция и тело, которое производит удар». Поэтому более корректно в данном случае использовать физическое моделирование и теорию подобия.

В настоящей работе рассмотрено физическое моделирование неравномерной осадки фундамента каркасной конструкции, а также ударного воздействия при ее строительстве. С помощью конструкционной системы PASCO [10] было проведено исследование перераспределения усилий в элементах модели конструкции при данных видах воздействий.

Моделировалось одноэтажное трехсекционное здание с двускатной крышей, установленное на фундаменте из восьми опор. Его 3D-модель показана на рис. 1. При высоте внутреннего помещения 2,5 м масштабный коэффициент подобия будет равен 45,5. В свою очередь, плотность материала модели в 8 раз меньше плотности стали. Следовательно, коэффициент подобия по массе будет равен  $45,5 \cdot 8 = 364$ . Для моделирования собственного веса, передающегося на стойки и раскосы каркаса, на перекрытие прикладывались 3 груза массой по 1 кг (рис. 2). Это соответствует собственному весу для данной конструкции, изготовленной из одинаковых стальных стержней замкнутого квадратного гнутого профиля  $70 \times 70 \times 4$  с погонной массой 7,97 кг/м.

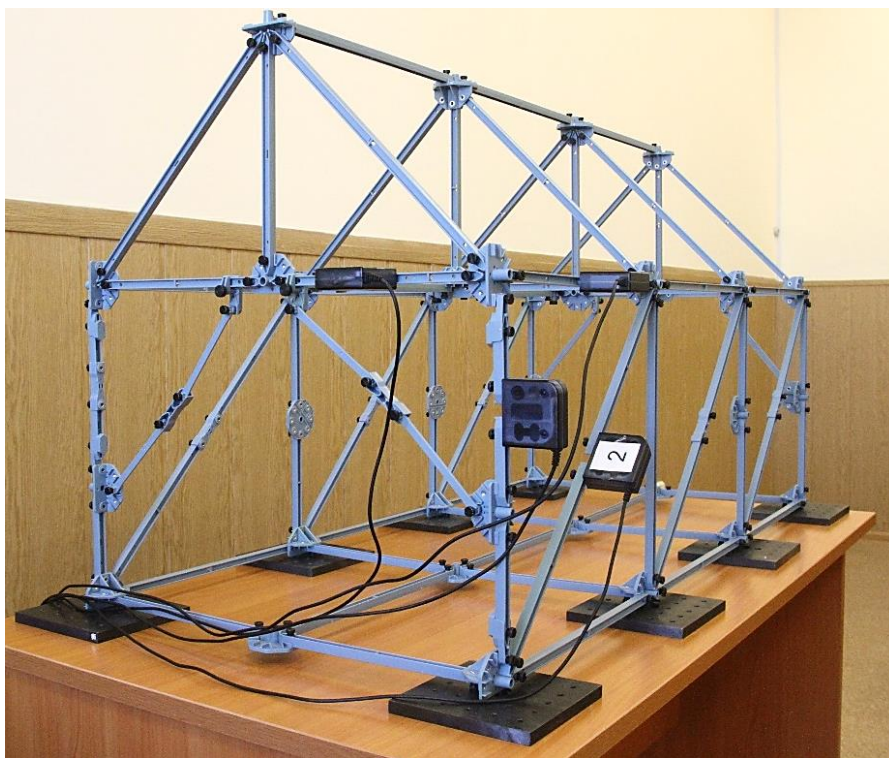


Рис. 1. Вид 3D-модели каркасного сооружения (цифрой 2 обозначен датчик)  
Fig. 1. 3D model of a framed structure

### Неравномерная осадка фундамента

Неравномерная осадка фундамента моделировалась путем удаления одной или двух опор. Пять опор, которые удалялись в процессе экспериментальных исследований, обозначены на рис. 2 буквами *A, B, C, D, E*.

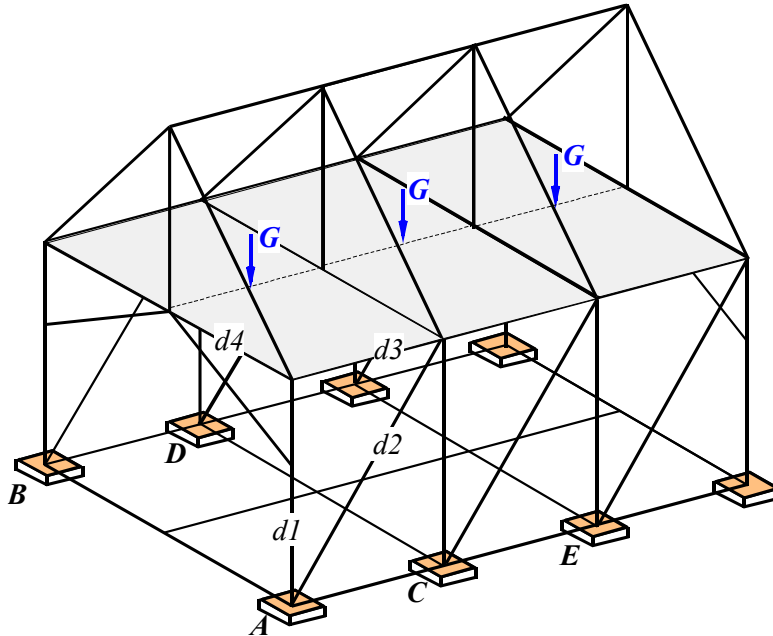


Рис. 2. Схема расположения опор, грузов и стержней с датчиками измерения усилий  
 Fig. 2. Schematic view of supports, weights and rods with force sensors

Для определения продольных сил в четырех элементах здания были установлены специальные тензометрические датчики конструктивной системы PASCO. Схема расположения датчиков представлена на рис. 2. Датчик *d1* (на диаграмме Force 1) устанавливался на вертикальную стойку, датчик *d2* (на диаграмме Force 2) – на раскос, датчики *d3* (на диаграмме Force 3) и *d4* (на диаграмме Force 4) – на стержнях верхнего пояса фермы. При данной установке датчиков было проведено пять опытов:

1. Статическое нагружение грузами  $G = 10$  Н.
2. Нагрузка + осадка (удаление) опоры *A*.
3. Нагрузка + одновременная осадка (удаление) опор *A* и *B*.
4. Нагрузка + осадка (удаление) опоры *C*.
5. Нагрузка + одновременная осадка (удаление) опор *C* и *D*.
6. Нагрузка + одновременная осадка (удаление) опор *A* и *E*.

Для всех вариантов воздействий на модель фиксировались диаграммы «усилие – время» для четырех датчиков (*d1–d4*). На рис. 3 представлены диаграммы состояния усилий в четырех стержнях (1, 2, 3, 4) для случая осадки угловой опоры *A*, где в конечном счете были зафиксированы наиболее значимые изменения усилий. Для исключения влияния начальных усилий перед проведе-

нием каждого опыта производилась калибровка датчиков (показания сбрасывались до нуля). В связи с особенностями измерительного блока конструкционной системы PASCO на диаграммах положительное значение силы соответствует деформации «сжатие», а отрицательное – деформации «растяжение».

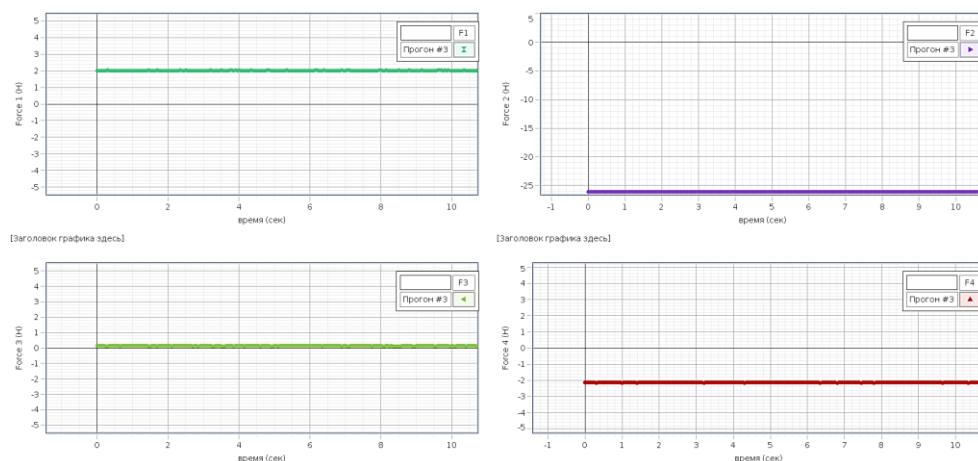


Рис. 3. Диаграммы «усилие – время» при проведении опыта № 2

Fig. 3. Force-time diagrams of the structure loading

Результаты измерений усилий для всех пяти опытов представлены в табл. 1. В табл. 2 показаны результаты расчета перераспределения усилий в стержнях по сравнению со статической нагрузкой при различных вариантах неравномерной осадки фундамента.

Таблица 1

### Результаты измерений при неравномерной осадке основания

Table 1

#### Measurement results for nonuniform foundation settlement

Вид воздействия	Показания датчиков, Н			
	Датчик d1	Датчик d2	Датчик d3	Датчик d4
Статическое нагружение грузами	2,9	2,2	0,0	-3,0
Нагрузка + осадка (удаление) опоры A	2,0	-26	0,0	-2,0
Нагрузка + одновременная осадка (удаление) опор A и B	1,6	-27	0,2	-1,8
Нагрузка + осадка (удаление) опоры C	2,7	3,0	0,0	-2,7
Нагрузка + одновременная осадка (удаление) опор C и D	2,7	3,0	0,0	-2,7
Нагрузка + одновременная осадка (удаление) опор A и E	1,9	-28	0,1	-2,0

Таблица 2

Определение дополнительных усилий при неравномерной осадке основания

Table 2

**Additional forces during nonuniform foundation settlement**

Вид осадки основания	Приращение продольной силы, Н			
	Стойка	Раскос	Верхний 1	Верхний 2
Осадка опоры <i>A</i>	+1,9	+23,8	0,0	+1,0
Осадка опор <i>A</i> и <i>B</i>	+1,3	+24,8	-0,2	+1,2
Осадка опоры <i>C</i>	+0,2	-0,8	0,0	+0,3
Осадка опор <i>C</i> и <i>D</i>	+0,2	-0,8	0,0	+0,3
Осадка опор <i>A</i> и <i>E</i>	+1,1	+25,8	-0,1	+1,0

С учетом коэффициента подобия по массе в реальной конструкции усилия будут в 364 раза больше. Видно, что максимальная перегрузка в элементах конструкции наблюдается при осадке угловой опоры (на рис. 2 это опора *A*). При таком воздействии угловые панели испытывают сдвиговую деформацию, поэтому наибольшая перегрузка  $n = \frac{|N_i|}{|N_{ст}|} = 11,7$  наблюдается в раскосе.

**Динамическое воздействие**

Динамическое воздействие на здание при строительстве моделировалось падением груза массой 0,2 кг с высоты 5 см. Это соответствует энергии удара  $U = mgh = 0,2 \cdot 9,81 \cdot 0,05 = 0,098$  Дж или в пересчете на реальную конструкцию – удару в 35,7 Дж. Такой удар, например, может произойти при строительстве, ремонте или эксплуатации реальной конструкции, что соответствует падению груза массой 50 кг с высоты 7 см. На рис. 4 представлены схема расположения датчиков и положение падающего груза. На рис. 5 показаны диаграммы динамического процесса в четырех исследуемых стержнях. В табл. 3 даны результаты обработки данных диаграмм.

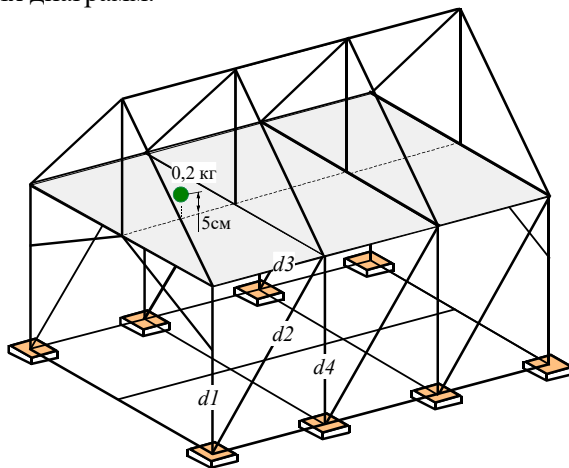


Рис. 4. Расположение датчиков и схема падения груза  
Fig. 4. Arrangement of sensors and weight drop

На рис. 5 представлены диаграммы нагруженности в исследуемых элементах конструкции. В момент удара наблюдается всплеск показаний и дальнейшие затухающие колебания конструкции. По данным показаниям был проведен расчет динамического коэффициента по следующей формуле [15]:

$$k_{\text{дин}} = 1 + \mu = 1 + \frac{A_{\text{дин}}}{|N_{\text{ст}}|}, \quad (1)$$

где  $A_{\text{дин}}$  – максимальная амплитуда колебаний;  $N_{\text{ст}}$  – статическая составляющая усилий;  $\mu = A_{\text{дин}}/N_{\text{ст}}$  – динамическая добавка.

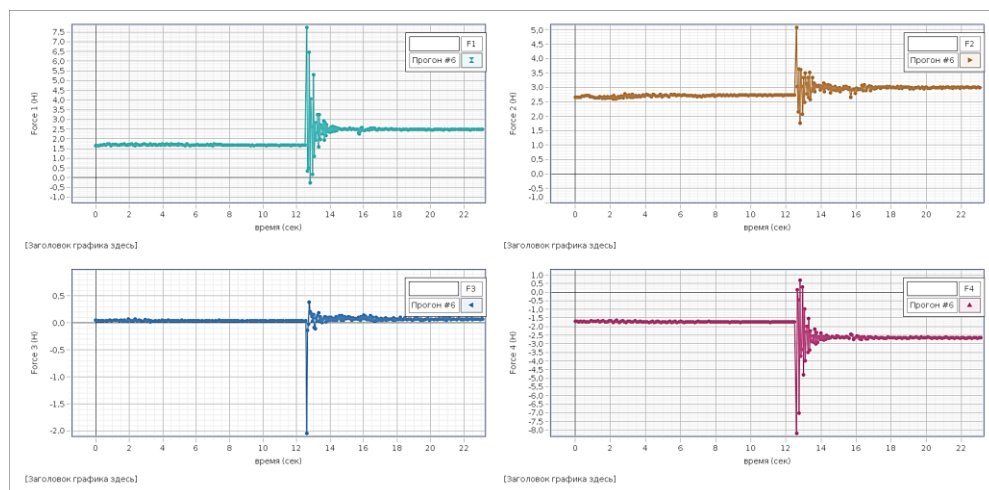


Рис. 5. Диаграммы при динамическом воздействии  
Fig. 5. Diagrams of the dynamic impact

Результаты обработки диаграмм при ударном воздействии показаны в табл. 3.

Таблица 3

### Результаты динамического воздействия

Table 3

#### Dynamic impact parameters

Номера стержней	Статическое усилие $ N_{\text{ст}} $ , Н	Максимальное усилие $ N_{\text{дин}} $ , Н	Амплитуда $A_{\text{дин}}$ , Н	$k_{\text{дин}}$
1	1,7	7,8	4,1	3,4
2	2,7	5,1	3,4	2,3
3	0,1	2,1	1,2	12
4	1,7	8,2	4,5	3,6

При вертикальном ударе ожидаемо максимальные динамические усилия были зафиксированы в стойках (стержни 1 и 4), где отмечен максимальный динамический коэффициент. Большое значение динамического коэффициента для горизонтального элемента каркаса  $k_{\text{дин}} = 12$  получено в малости статического усилия.

### Выводы

По результатам проведенных экспериментальных исследований каркасного сооружения при неравномерной осадке его фундамента и ударного динамического воздействия можно сделать следующие основные выводы:

1. Было проведено исследование перераспределения продольных усилий на модели каркасного сооружения при неравномерной осадке фундамента. Наиболее опасным является исключение из работы угловых опор по сравнению с осадкой внутренних, т. к. при таком воздействии угловые панели на здании будут испытывать более значимую сдвиговую деформацию, чем внутренние ячейки каркаса. По этой причине максимальная перегрузка была зафиксирована в раскосе крайней ячейки при осадке крайней опоры  $n = 11,7$ , а элементы верхнего пояса каркаса при этом оказываются менее чувствительны к такому воздействию. В связи с этим, чтобы выровнять значения перегрузок в элементах фермы при осадке основания, необходимо применять фундаменты в виде связанных контуров (ленточные или монолитные).

2. Осуществлено исследование распределения усилий при динамическом воздействии на примере падения груза.

3. Анализ нагруженности элементов различного рода конструкций с помощью метода физического моделирования можно применять для проверки результатов численного моделирования, а также доработки конечно-элементных моделей конструкций, особенно при динамических воздействиях.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рыбаков В.А., Гамаюнова О.С. Напряженно-деформированное состояние элементов каркасных сооружений из тонкостенных стержней // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 7 (12). С. 79–123.
2. Подшивалов И.И. Анализ несущей способности и устойчивости железобетонного безригельного каркаса экспериментального здания на различной стадии его работы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. № 26 (2). С. 104–112. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-2-104-112. EDN: HOISNK
3. Алейникова М.А., Сойтун Н.Ю. Особенности расчета надежности поврежденных стальных конструкций // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2024. № 1. С. 58–65. DOI: 10.25686/2542-114X.2024.1.58
4. Миронова Ю.В., Сулейманов А.М. Конструктивное решение стыка колонн с перекрытием в сборно-монолитном каркасе для повышения сопротивляемости прогрессирующему разрушению // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. № 3 (65). С. 135–144. DOI: 10.52409/20731523\_2023\_3\_135
5. Baza T.T., Rynkovskaya M.I., Dereje L.S., Dabi G.M., Ali Y.M. The effect of joint deformation on the seismic performance of exterior RC beam column joint // Modern Construction and Architecture. 2025. № 1 (56). DOI: 10.60797/mca.2025.56.1
6. Кондрашов В.В., Положнов А.В., Кондрашова И.В. Моделирование локальных разрушений сетчатых конструкций с учетом деформации поперечного сдвига // Экономика строительства. 2024. № 12. С. 315–318.
7. Qiu D., Chen J., Fu H. Research on the comprehensive evaluating index of seismic performance of underground large-scale frame structures // Structures. 2022. V. 37. P. 645–660. DOI: 10.1016/j.istruc.2022.01.032
8. Великанов П.Г., Артюхин Ю.П. Исследование по динамике рамных конструкций // Гео-системы переходных зон. 2023. Т. 7. № 2. С. 180–195. DOI: 10.30730/gtrz.2023.7.2.180-195
9. Радченков А.В., Аксенов В.Н. Методы расчета каркасных сооружений из монолитного железобетона на прогрессирующее обрушение на примере 17-этажного жилого дома // Инженерный вестник Дона. 2016. № 4. С. 1–12.

10. Герасимов С.И., Тихомиров В.М., Бахтин С.А. Экспериментальная оценка перераспределения усилий в элементах модели пролетного строения моста, получившего повреждение при временной нагрузке от подвижного состава // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 4. С. 220–229. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-4-220-229
11. Ren G., Xue J., Ding Y. Experimental and numerical research on the lateral behavior of glued timber frame structures with and without X-type diagonal bracing // Structures. 2023. V. 58. Article 105626. DOI: 10.1016/j.istruc.2023.105626
12. Tsai M.-H., Lee Y.-C. Practical Structural Design and Construction of an Innovative Composite Plastic Greenhouse // Agriculture. 2021. V. 11. № 11. Article 1051. DOI: 10.3390/agriculture11111051
13. Turdiyev Sh.R. The need for the implementation of PASCO digital laboratories, which provides the possibility of digitalization of STEAM sciences // American Journal of Pedagogical and Educational Research. 2023. № 19. P. 161–164.
14. Dmitrieva T.L., Podshivalova K.A. Experimental and theoretical studies of dynamic characteristics of wooden frame buildings // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2023. V. 19. № 2. P. 136–149. DOI: 10.22337/2587-9618-2023-19-2-136-49
15. Бондарь Г.М., Козьмин З.Г., Ройтбурд В.П. Взаимодействие железнодорожных мостов с подвижным составом. Москва : Транспорт, 1984. 272 с.

## REFERENCES

1. Rybakov V.A., Gamayunova O.S. Stress-strain state of elements of frame structures made of thin-walled rods. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2013; (7 (12)): 79–123. (In Russian)
2. Podshivalov I.I. Bearing Capacity and Stability of Reinforced Concrete Composite Frame Without Collar Beams at Different Stages of Material Operation. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2024; 26 (2): 104–112. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-2-104-112 (In Russian)
3. Aleinikova M.A., Soitu N.Yu. Reliability Assessment of Damaged Steel Structures. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Materialy. Konstruktsii. Tekhnologii*. 2024; (1): 58–65. DOI: 10.25686/2542-114X.2024.1.58 (In Russian)
4. Mironova Yu.V., Suleimanov A.M. Constructive Solution for Connecting Columns with Cross-Bracing in a Composite-Monolithic Frame for Improvement of Progressive Collapse Resistance. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2023; (3 (65)): 135–144. DOI: 10.52409/20731523\_2023\_3\_135 (In Russian)
5. Baza T.T., Rynkovskaya M.I., Dereje L.S., Dabi G.M., Ali Y.M. The Effect of Joint Deformation on the Seismic Performance of Exterior RC Beam Column Joint. *Modern Construction and Architecture*. 2025; (1 (56)). DOI: 10.60797/mca.2025.56.1
6. Kondrashov V.V., Polozhnov A.V., Kondrashova I.V. Modelirovanie lokal'nykh razrusheniy setchatykh konstruktsii s uchetom deformatsii poperechnogo sdviga. *Ekonomika stroitel'stva*. 2024; (12): 315–318. (In Russian)
7. Qiu D., Chen J., Fu H. Research on the comprehensive evaluating index of seismic performance of underground large-scale frame structures. *Structures*. 2022; 37: 645–660. DOI: 10.1016/j.istruc.2022.01.032.
8. Velikanov P.G., Artyukhin Yu.P. Dynamics of Framed Structures. *Geosistemy perekhodnykh zon*. 2023; 7 (2): 180–195. DOI: 10.30730/gtr.2023.7.2.180-195 (In Russian)
9. Radchenkov A.V., Aksenov V.N. Strength Analysis of Monolithic Reinforced Concrete Structures for Progressive Collapse of a 17-Story Residential Building. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2016; (4): 1–12. (In Russian)
10. Gerasimov S.I., Tikhomirov V.M., Bakhtin S.A. Experimental Assessment of Force Redistribution in Elements of Damaged Bridge Model Under Temporary Load from Rolling Stock. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2024; 26 (4): 220–229. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-4-220-229 (In Russian)
11. Ren G., Xue J., Ding Y. Experimental and Numerical Research on the Lateral Behavior of Glued Timber Frame Structures with and without X-Type Diagonal Bracing. *Structures*. 2023; 58: 105626. DOI: 10.1016/j.istruc.2023.105626

12. Tsai M.-H., Lee Y.-C. Practical Structural Design and Construction of an Innovative Composite Plastic Greenhouse. *Agriculture*. 2021; 11 (11): 1051. DOI: 10.3390/agriculture11111051
13. Turdiyev Sh.R. The need for the implementation of PASCO digital laboratories, which provides the possibility of digitalization of STEAM sciences. *American Journal of Pedagogical and Educational Research*. 2023; (19): 161–164.
14. Dmitrieva T.L., Podshivalova K.A. Experimental and Theoretical Studies of Dynamic Characteristics of Wooden Frame Buildings. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2023; 19 (2): 136–149. DOI: 10.22337/2587-9618-2023-19-2-136-49
15. Bondar' G.M., Koz'min Z.G., Roitburd V.P. Interaction of railway bridges with rolling stock. Moscow: Transport, 1984. 272 p. (In Russian)

#### Сведения об авторах

Герасимов Сергей Иванович, докт. техн. наук, профессор, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, 912267@mail.ru

Тихомиров Виктор Михайлович, докт. техн. наук, доцент, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, twm@stu.ru

Попов Анатолий Михайлович, докт. техн. наук, профессор, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, 47604@mail.ru

Егорова Арина Владимировна, студентка, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, 912267@mail.ru

Спирidonov Александр Александрович, студент, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, 912267@mail.ru

#### Authors Details

Sergei I. Gerasimov, DSc, Professor, Siberian State Transport University, 191, Dusi Kovalchuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, 912267@mail.ru

Viktor M. Tikhomirov, DSc, A/Professor, Siberian State Transport University, 191, Dusi Kovalchuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, twm@stu.ru

Anatoly M. Popov, DSc, Professor, Siberian State Transport University, 191, Dusi Kovalchuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, 47604@mail.ru

Arina V. Egorova, Student, Siberian State Transport University, 191, Dusi Kovalchuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, 912267@mail.ru

Aleksandr A. Spiridonov, Student, Siberian State Transport University, 191, Dusi Kovalchuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, 912267@mail.ru

#### Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Authors contributions

The authors contributed equally to this article.  
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 02.12.2025  
Одобрена после рецензирования 12.02.2026  
Принята к публикации 12.02.2026

Submitted for publication 02.12.2025  
Approved after review 12.02.2026  
Accepted for publication 12.02.2026