

Экспериментальное исследование работы рамных узлов строительных металлоконструкций при их усилении на этапе эксплуатации объекта капитального строительства

А.К. Аль-Сабаеи^{1✉}, В.Э. Абсиметов²

^{1,2}Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия

Аннотация. В условиях динамических нагрузок (сейсмические колебания, вибрации промышленного оборудования, ударные воздействия) рамные узлы металлоконструкций подвергаются повышенному риску деформаций и разрушений, что требует применения эффективных методов усиления. В современных строительных конструкциях стальные балки играют ключевую роль, обеспечивая прочность и устойчивость зданий и сооружений. В исследовании рассматривается повышение несущей способности и долговечности узлов за счет комбинированного использования горизонтальных накладок, уголков и вертикальных ребер, а также анализа влияния высоты катета сварных швов (6 и 8 мм) на их работоспособность. Основной акцент сделан на схеме усиления: предусматривающей установку горизонтальных «рибок», уголков для увеличения длины сварных швов, воспринимающих нагрузки и вертикальных ребер для повышения жесткости уголков усиления. Учитывая вышеизложенное, целью данного исследования является экспериментальное моделирование работы узлов опирания стальных балок на колонны после усиления. Исследование включает в себя создание различных моделей при усилении узлов, испытания их на прочность и анализ поведения под динамическими воздействиями. Исследование подтверждает, что выбор высоты катета сварного шва и рациональная компоновка усиливающих элементов критически важны для обеспечения долговечности рамных узлов в условиях динамических нагрузок. Результаты могут быть использованы для оптимизации проектирования и ремонта металлокаркасов мостов, промышленных цехов и объектов в сейсмически активных регионах.

Ключевые слова: динамическая нагрузка, усиление, экспериментальное исследование, рамные узлы, металлоконструкций, прочность, испытательная машина

Для цитирования: Аль-Сабаеи А.К., Абсиметов В.Э. Экспериментальное исследование работы рамных узлов строительных металлоконструкций при их усилении на этапе эксплуатации объекта капитального строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2026. Т. 16. № 1. С. 72–80. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2026-1-72-80>. EDN: NHLFKR.

Original article

Experimental study of the operation of frame assemblies of building metal structures during their reinforcement during the operation phase of a capital construction facility

Arafat Q. Al-Sabaei^{1✉}, Vladimir E. Absimetov²

^{1,2}Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

Abstract. Under conditions of dynamic loads (seismic vibrations, vibrations of industrial equipment, shock effects), the frame components of metal structures are at increased risk of deformation and destruction, which requires the use of effective reinforcement methods. In modern building structures, steel beams play a key role in ensuring the strength and stability of buildings and structures. The study considers increasing the bearing capacity and durability of nodes due to the combined use of horizontal linings, corners and vertical ribs, as well as analyzing the effect of the height of the weld leg (6 and 8 mm)

on their performance. The main emphasis is placed on the reinforcement scheme: providing for the installation of horizontal ribs, corners to increase the length of welds that accept loads, and vertical ribs to increase the rigidity of the reinforcement corners. Considering the above, the purpose of this study is to experimentally simulate the operation of steel beam support units on columns after reinforcement. The research includes the creation of various models for strengthening nodes, testing them for durability, and analyzing behavior under dynamic influences. The study confirms that the choice of the height of the weld leg and the rational arrangement of reinforcing elements are critically important to ensure the durability of frame assemblies under dynamic loads. The results can be used to optimize the design and repair of metal structures of bridges, industrial workshops and facilities in seismically active regions.

Keywords: dynamic load, reinforcement, experimental study, frame assemblies, metal structures, strength, testing machine

For citation: Al-Sabaei A.Q., Absimetov V.E. Experimental study of the operation of frame assemblies of building metal structures during their reinforcement during the operation phase of a capital construction facility. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2026;16(1):72-80. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2026-1-72-80>. EDN: NHLFKR.

ВВЕДЕНИЕ

Была поставлена задача в ходе эксперимента изучить при различных вариантах усиления рамных узлов влияния внутренних сварочных напряжений на несущую способность узлов при воздействии динамических нагрузок (рис. 1).

При моллировании рамных узлов определены характерные размеры катетов сварных швов для крепления элементов усиления (6 и 8 мм) [1, 2].

С целью оценки надежности сварных швов малых катетов выбран вариант испытаний с использованием динамических нагрузок.

Многоцикловые нагрузки, имитирующие динамические воздействия, требуют особого изучения. Они показывают то, как сварные швы выдерживают многократное нагружение, что особенно важно для конструкций с повторяющимися циклами нагрузки. Динамическое нагружение может вызывать накопление усталости, приводя к разрушению внешне прочного соединения. Чтобы проверить усталостную прочность швов с малыми катетами, необходимы испытания, оценивающие их сопротивление зарождению и росту микротрещин при циклических нагрузках. Это также позволяет оценить их эксплуатационный ресурс [3–5].

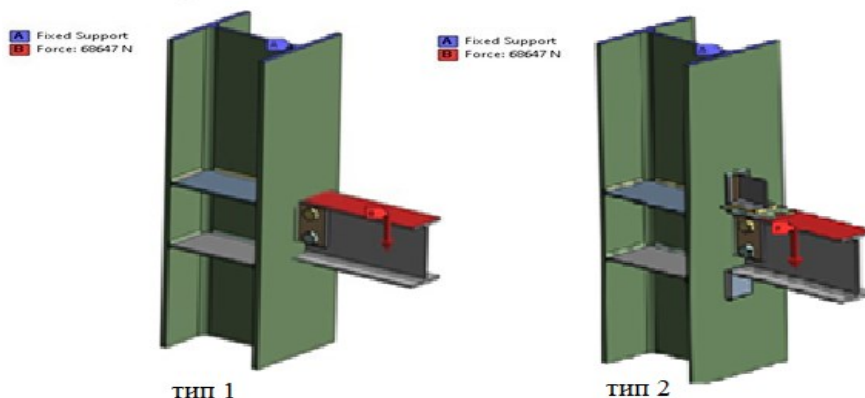


Рис. 1. Конструкция образцов и характер нагружения
Fig. 1. The design of the samples and the nature of the loading

Для получения объективных данных о целесообразности применения сварных швов с малым катетом требуется проведение сравнительных испытаний с альтернативными методами усиления рамных узлов, такими как установка накладок, болтовые соединения или иные типы сварки. Ключевой задачей является определение технологии, обеспечивающей

максимальную несущую способность, устойчивость и наибольший ресурс эксплуатационной надежности конструкций после проведения усиления [6–9]. Это исследование позволит по-новому подойти к проектированию и эксплуатации стальных конструкций. Были получены новые данные о том, как динамические нагрузки влияют на опорные узлы, были разработаны

четкие рекомендации по их усилению. Эти наработки полезны как для ученых, так и для

проектировщиков, а также могут помочь повысить безопасность зданий.

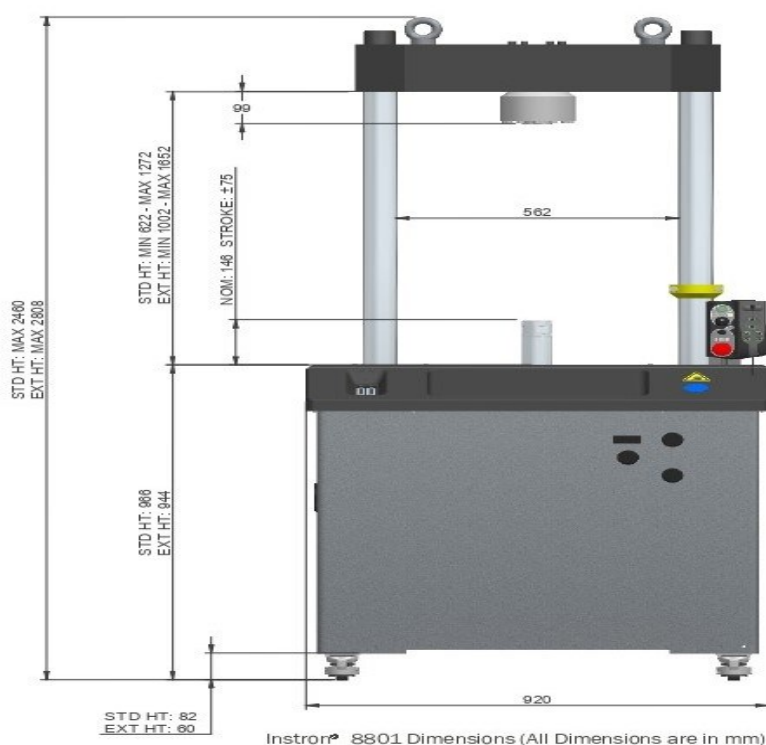


Рис. 2. Испытательная машина INSTRON 8801
Fig. 2. The INSTRON 8801 test machine

МЕТОДЫ

Испытательная машина

На рис. 2 представлена многофункциональная сервогидравлическая испытательная система INSTRON 8801.

INSTRON 8801 представляет собой высокоточную двухстоечную машину, предназначенную для проведения статических и динамических испытаний материалов и конструкций.

Основная область применения – усталостные испытания и исследования в области механики разрушения [10,11].

Основные технические и эксплуатационные характеристики:

1. Диапазон усилий: ± 100 кН.
2. Конструкция – жесткая двухстоечная рама с нижним расположением привода и рабочим ходом 150 мм.
3. Удобство эксплуатации – оснащена системой гидравлической фиксации и регулировки верхней траверсы.
4. Прецизионные измерения – применение датчиков силы Dynacell™ обеспечивает высокую точность данных.
5. Универсальность – возможна комплектация рамой повышенной высоты и выбор конфигурации под конкретные приложения.

6. Надежность – использование приводов с гидростатическими подшипниками повышает устойчивость к боковым нагрузкам.

Система поставляется в комплекте с гидравлическими силовыми агрегатами серии 3520.

В рамках эксперимента было запланировано проведение динамических испытаний. Их суть заключается в циклическом приложении нагрузки к металлоконструкции для моделирования реальных эксплуатационных условий. Данный метод позволяет оценить поведение конструкции под воздействием повторяющихся нагрузок, таких как порывы ветра, вибрация от работающего оборудования, перепады температур и иные внешние факторы [13–17]. Циклическое нагружение в упругопластической области индуцирует в материале эффект наклепа. Это приводит к расширению области упругих деформаций, снижению пластичности и повышению хрупкости стали. Следовательно, разрушение может происходить при напряжениях, значения которых не только ниже временного сопротивления, но и предела текучести. Указанное явление идентифицируется как усталость металлов, а соответствующий тип разрушения – как усталостное разрушение [18, 19].

Для обеспечения корректности проведения испытаний необходимы учет характерных свойств материала, действующих нагрузок и внешних факторов, способных повлиять на результаты эксперимента.

Методика проведения экспериментов

Испытания выполнялись на универсальной испытательной машине INSTRON 8801, оснащенной силоизмерительным датчиком номинальной мощностью 100 кН.

Для обеспечения точности и стабильности измерений датчик был закреплен на подвижной траверсе. В ходе подготовительных работ

было обеспечено безопасное проведение испытаний: выполнена балансировка нагрузки и установлены ограничители по усилию и перемещению траверсы, исключающие перегрузки. На все образцы воздействовала расчетная нагрузка 68 646,55 Н (7 тс). Образцы были разделены на две группы по два образца в зависимости от метода усиления:

1. Неусиленные (2 шт.) – с катетом шва 6 и 8 мм (рис. 3).

2. Усиленные (2 шт.) – с применением накладок, уголков и ребер жесткости при катете шва 6 и 8 мм.



Рис. 3. Образец № 5 с катетом швом 6 мм, образец № 6 с катетом швом 8 мм
Fig. 3. Sample No. 5 with a 6 mm suture catheter, sample No. 6 with an 8 mm suture catheter

Образцы до усиления с катетом шва 6 и 8 мм (2 шт.).

Образец без усиления с катетом шва 6 мм был установлен на стационарной площадке, закрепленной на бетонном основании через траверсу анкерными болтами. Для исключения смещений образец был дополнительно зафиксирован. Испытание началось после подвода нижней траверсы до контакта с образцом. Испытания проводили до появления видимой усталостной трещины. Этот момент считали критическим, так как он соответствует достижению предела выносливости материала. После этого фиксировали число циклов до разрушения для оценки долговечности и надежности конструкции.

Затем образец заменяли на новый с катетом шва 8 мм [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характер разрушения

На рис. 4 можно наблюдать признаки усталостного разрушения в районе установке болтов на сварном соединении с высотой катета 6 мм.

Образец первого типа, катет шва 6 мм, утратил несущую способность при 166 циклах нагружения вследствие формирования усталостной трещины длиной 15 и шириной 0,5 мм. Экспериментальное значение циклов до разрушения согласуется с теоретическим прогнозом для аналогичной конструкции, составляющим 139 циклов [20].

На рис. 5 представлены результаты экспериментальных исследований образцов с катетом шва 8 мм. Первый тип образцов, с высотой катета сварного шва 8 мм, потерял несущую

способность в форме образования усталостной трещины длиной 13 и шириной 0,6 мм, при 94 циклах нагружения, что коррелируется с ре-

зультатом теоретического расчета аналогического узла, для которого количества циклов разрушения составило 80 [20].



Рис. 4. Разрушения на образце с катетом шва 6 мм
Fig. 4. Fracture of the specimen with a 6 mm weld leg



Рис. 5. Разрушения на образце с катетом шва 8 мм
Fig. 5. Fracture of the specimen with an 8 mm weld leg

Результаты испытания долговечности в деталях усиления показывают большее количество циклов нагружения до появления признаков усталостного разрушения, на образцах с малыми катетами, что подчеркивает важность учета тепловых деформаций материала в расчетах на прочность сварных соединений.

Образцы после усиления с помощью накладок, уголков и ребер с катетом шва 6 и 8 мм (2 шт.)

Соединения второй группы образцов были усилены приварными накладками.

Испытания усиленных образцов с применением накладок, уголков и ребер проводились по идентичной методике, что и для неусиленных. Критерием завершения испытания, как и ранее, служило появление видимой трещины,

после чего фиксировалось количество циклов до разрушения.

Характер разрушения

На рис. 6 можно наблюдать признаки усталостного разрушения в районе установки болтов на сварном соединении с высотой катета 6 мм.

Образец второго типа, катет шва 6 мм, утратил несущую способность при 7512 циклах нагружения вследствие формирования усталостной трещины длиной 9 и шириной 0,9 мм. Экспериментальное значение циклов до разрушения согласуется с теоретическим прогнозом для аналогичной конструкции, составляющим 8836 циклов [21]. На рис. 7 представлены результаты экспериментальных исследований образцов с катетом шва 8 мм.



Рис. 6. Разрушения на образце с катетом шва 6 мм
Fig. 6. Fractures on a sample with a 6 mm suture catheter



Рис. 7. Разрушения на образце с катетом шва 8 мм
Fig. 7. Fractures on a sample with an 8 mm suture catheter

Результат экспериментального исследования
 The result is an experimental study

Сечения	Нагрузка, Н	Высота катета шва, мм	Количество циклов до разрушения
Образца до усиления			
18Б1х 25 К1	68 646,55	6	166
18Б1х 25 К1	68 646,55	8	94
Образца после усиления с помощью накладок, уголков и ребер			
18Б1х 25 К1	68 646,55	6	7512
18Б1х 25 К1	68 646,55	8	4419

Второй тип образцов, с высотой катета сварного шва 8 мм, потерял несущую способность в форме образования усталостной трещины длиной 11 и шириной 1,2 мм, при 4419

циклах нагружения, что коррелируется с результатом теоретического расчета аналогичного узла, для которого количества циклов разрушения составило 5062 [2].

Результаты испытания долговечности в деталях усиления показывают большее количество циклов нагружения до появления признаков усталостного разрушения, на образцах с малыми катетами, что также подтверждает вывод о большей несущей способности сварных соединений с малым катетом шва при воздействии динамических нагрузок.

По окончании всех испытаний данные о количестве циклов до разрушения были сведены в таблице для дальнейшего анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов испытаний и сравнении данных теоретических расчетов можно сделать вывод, что остаточные сварочные напряжения оказывают влияние на усталостную прочность узлов при их усилении.

Сравнение данных эксперимента для вариантов узлов с малой массой плавного металла позволяют прогнозировать повышение их усталостной прочности до 30 %.

Повышение надежности усиленных узлов металлоконструкций при снижении массы наплавного металла сварных швов для крепления элементов усиления подтверждает вывод о целесообразности выбора данного способа усиления при проектировании вариантов усиления каркасов объектов капитального строительства.

Данный выбор особенно целесообразен при воздействии на каркасы промзданий значительных динамических нагрузок от кранового оборудования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аль-Сабаеи А.К., Абсиметов В.Э. Оценка надежности усиления рамных узлов строительных металлоконструкций при повторно статических нагружениях // Вестник Белгородского государственного технического университета им. В.Г. Шухова. 2024. № 11. С. 33–41. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2024-9-11-33-41>. EDN: NZCKCO.
2. Гинзбург А.В., Василькин А.А. Постановка задачи оптимального проектирования стальных конструкций // Вестник МГСУ. 2014. № 6. С. 52–62. EDN: SIJYCX.
3. Романов А.Н. Проблемы материала поведения в механике деформирования и разрушения на стадии образования трещин. Часть 14. Связь статических и циклических свойств конструкционных материалов // Вестник научно-технического развития. 2017. № 4. С. 31–43. EDN: WBRRTM.
4. Frigui F., Faye J.P., Martin C., Dalverny O., Peres F., Judenherc S. Global Methodology for Damage Detection and Localization in Civil Engineering Structures // Engineering Structures. 2018. Vol. 171. P. 686–695. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.026>.
5. Gottwalt-Baruth A., Kubaschinski P., Waltz M., Völkl R., Glatzel U., Tetzlaff U. Cyclic Deformation Behavior of Non-Oriented Electrical Steel Sheets // Materials Science and Engineering: A. 2023. Vol. 886. P. 145684. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2023.145684>.
6. Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Зинькова В.А. Структурный синтез стержневых систем // Вестник Белгородского государственного технического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 10. С. 34–40. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-10-34-40>. EDN: ROAQEL.
7. Морозова Д.В., Серова Е.А. Проблематика исследования напряженно-деформированного состояния узлов металлических конструкций // Вестник МГСУ. 2014. № 5. С. 44–50. EDN: SCJURN.
8. Doyle J.F., Phillips J.W. Manual on Experimental Stress Analysis. USA: Society for Experimental Mechanics, 1989. 171 p.
9. Евтушенко С.И., Шутова М.Н., Черныховский Б.А. Опыт обследования повреждений металлических несущих конструкций // Строительство и архитектура. 2021. Т. 9. № 4. С. 16–20. <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2021-9-4-16-20>. EDN: KEUXST.
10. Dimiteșcu A., Babiș C., Nițoi D.F., Radu C. Studies and Research on the Crack Testing for Braze Aluminium Alloys Specimens // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 227. P. 1–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/227/1/012037>.
11. Freddi A., Olmi G., Cristofolini L. Experimental Stress Analysis for Materials and Structures. Stress Analysis Models for Developing Design Methodologies. Switzerland: Springer Cham, 2015. 498 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06086-6>.
12. Yifeng Zhang, Wei Chen, Hanbing Yan, Xuefeng Wang, Hanping Zhang, Shijing Wu The Effect of Atmospheric Chloride Ions on the Corrosion Fatigue of Metal Wire Clips in Power Grids // Atmosphere. 2023. Vol. 14. Iss. 2. P. 1–13. <https://doi.org/10.3390/atmos14020237>.
13. Трощенко В.Т., Хамаза Л.А. Усталость и циклическая неупругость аустенитной стали после длительной эксплуатации при различных режимах нагружения // Проблемы прочности. 2012. № 5. С. 5–14.
14. Divani A., Mohammadi J. Further Development in Modeling Fatigue Failure in Metals with a Multi-Spring Non-Linear Mechanical System // Engineering Structures. 2022. Vol. 257. P. 114044. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114044>.

15. Hasanlou M., Shah-Hosseini R., Seydi S.T., Karimzadeh S., Matsuoka M. Earthquake Damage Region Detection by Multitemporal Coherence Map Analysis of Radar and Multispectral Imagery // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. Iss. 6. P. 1–19. <https://doi.org/10.3390/rs13061195>.
16. Боровский Д.С. Расчет на прочность усиливаемых под нагрузкой стержневых элементов стальных конструкций при многопараметрическом нагружении // *Вестник гражданских инженеров*. 2021. № 2. С. 36–41. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2021-18-2-36-41>. EDN: AWDJXY.
17. Yung-Li Lee *Metal Fatigue Testing and Analysis. Theory and Practice*. Amsterdam: Elsevier, 2025. 544 p.
18. Guo-Qiang Li, Liu-Lian Li, Binhui Jiang, Yong Lu Experimental Study on Progressive Collapse Resistance of Steel Frames Under a Sudden Column Removal Scenario // *Journal of Constructional Steel Research*. 2018. Vol. 147. P. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.03.023>.
19. Rongzhou Yang, Ying Xu, Peiyuan Chen, Jia Wang Experimental Study on Dynamic Mechanics and Energy Evolution of Rubber Concrete under Cyclic Impact Loading and Dynamic Splitting Tension // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 262. P. 120071. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120071>.
20. Аль-Сабаети А.К., Абсиметов В.Э. Экспериментальное исследование моделей образцов узлов строительных металлоконструкций при динамических нагрузках // *Вестник Белгородского государственного технического университета им. В.Г. Шухова*. 2025. № 9. С. 16–23. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2025-10-9-16-23>. EDN: ADQDOW.
21. Аль-Сабаети А.К., Абсиметов В.Э. Расчет напряженно-деформированного состояния и долговечности сварного соединения рамных узлов с учетом остаточных напряжений // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2025. Т. 15. № 1. С. 31–43. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-31-43>. EDN: BOHOQA.

REFERENCES

1. Al' Sabaei A.Q., Absimetov V.E. Assessment of the Reliability of Reinforcing Frame Units of Building Metal Structures under Repeated Static Loads. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*. 2024;11:33-41. (In Russ.). <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2024-9-11-33-41>. EDN: NZCKCO.
2. Ginzburg A.V., Vasilkin A.A. Problem Statement for Optimal Design of Steel Structures. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2014;6:52-62. (In Russ.). EDN: SIJYCX.
3. Romanov A.N. Materials Science Problems in Mechanics of Deformation and Destruction at a Stage of Formation of Cracks. Part 14. Communication of Static and Cyclic Properties of Constructional Material. *Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiya*. 2017;4:31-43. (In Russ.). EDN: WBRRTM.
4. Frigui F., Faye J.P., Martin C., Dalverny O., Peres F., Judenherc S. Global Methodology for Damage Detection and Localization in Civil Engineering Structures. *Engineering Structures*. 2018;171:686-695. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.026>.
5. Gottwalt-Baruth A., Kubaschinski P., Waltz M., Völkl R., Glatzel U., Tetzlaff U. Cyclic Deformation Behavior of Non-Oriented Electrical Steel Sheets. *Materials Science and Engineering: A*. 2023;886:145684. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2023.145684>.
6. Yurev A.G., Panchenko L.A., Zinkova V.A. Constructions Synthesis of Pivotal Systems. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*. 2022;10:34-40. (In Russ.). <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-10-34-40>. EDN: ROAQEL.
7. Morozova D.V., Serova E.A. Problematics of Stress-Strain State Research in Units of Metal Structures. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2014;5:44-50. (In Russ.). EDN: SCJURN.
8. Doyle J.F., Phillips J.W. *Manual on Experimental Stress Analysis*. USA: Society for Experimental Mechanics, 1989. 171 p.
9. Evtushenko S.I., Shutova M.N., Chernykhovsky B.A. Experience of Inspection of Damages of Metal Bearing Structures. *Construction and Architecture*. 2021;9(4):16-20. (In Russ.). <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2021-9-4-16-20>. EDN: KEUXST.
10. Dimiteșcu A., Babiș C., Nițoi D.F., Radu C. Studies and Research on the Crack Testing for Braze Aluminium Alloys Specimens. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017;227:1-7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/227/1/012037>.
11. Freddi A., Olmi G., Cristofolini L. *Experimental Stress Analysis for Materials and Structures. Stress Analysis Models for Developing Design Methodologies*. Switzerland: Springer Cham, 2015. 498 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06086-6>.
12. Yifeng Zhang, Wei Chen, Hanbing Yan, Xuefeng Wang, Hanping Zhang, Shijing Wu The Effect of Atmospheric Chloride Ions on the Corrosion Fatigue of Metal Wire Clips in Power Grids. *Atmosphere*. 2023;14(2):1–13. <https://doi.org/10.3390/atmos14020237>.
13. Troshchenko V.T., Khamaza L.A. Fatigue and Cyclic Inelasticity of Austenitic Steel after Long-Term Operation under Various Loading Conditions. *Problemy prochnosti*. 2012;5:5-14. (In Russ.).

14. Divani A., Mohammadi J. Further Development in Modeling Fatigue Failure in Metals with a Multi-Spring Non-Linear Mechanical System. *Engineering Structures*. 2022;257:114044. <https://doi.org/10.1016/j.eng-struct.2022.114044>.
15. Hasanlou M., Shah-Hosseini R., Seydi S.T., Karimzadeh S., Matsuoka M. Earthquake Damage Region Detection by Multitemporal Coherence Map Analysis of Radar and Multispectral Imagery. *Remote Sensing*. 2021;13(6):1-19. <https://doi.org/10.3390/rs13061195>.
16. Borovskii D.S. Strength Calculation of Reinforced under Load Steel Rod Structures Elements with Multi-Parameter Loading. *Bulletin of Civil Engineers*. 2021;2:36-41. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2021-18-2-36-41>. EDN: AWDJXY.
17. Yung-Li Lee *Metal Fatigue Testing and Analysis. Theory and Practice*. Amsterdam: Elsevier, 2025. 544 p.
18. Guo-Qiang Li, Liu-Lian Li, Binhui Jiang, Yong Lu Experimental Study on Progressive Collapse Resistance of Steel Frames Under a Sudden Column Removal Scenario. *Journal of Constructional Steel Research*. 2018;147:1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.03.023>.
19. Rongzhou Yang, Ying Xu, Peiyuan Chen, Jia Wang Experimental Study on Dynamic Mechanics and Energy Evolution of Rubber Concrete under Cyclic Impact Loading and Dynamic Splitting Tension. *Construction and Building Materials*. 2020;262:120071. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120071>.
20. Al' Sabaei A.Q., Absimetov V.E. Experimental Study of Models of Building Metal Structures Un-Der Dynamic Loads. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*. 2025;9:16-23. (In Russ.). <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2025-10-9-16-23>. EDN: ADQDOW.
21. Al-Sabaei A.Q., Absimetov V.E. Calculation of Stress-Strain State and Durability of Welded Joints of Frame Assemblies with Regard to Residual Stresses. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1):31-43. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-31-43>. EDN: BOHOQA.

Информация об авторах

Аль-Сабаети Арафат Касем,
ассистент кафедры
строительства и городского хозяйств,
Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова,
308012, Белгород, ул. Костюкова, 46, Россия,
✉e-mail: kacem90@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0001-4474-1893>

Абсиметов Владимир Эскендерович,
д.т.н., профессор кафедры
строительства и городского хозяйств,
Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова,
308012, Белгород, ул. Костюкова, 46, Россия,
e-mail: absimetov57@mail.ru

Information about the authors

Arafat Q. Al-Sabaei,
Assistant of the Department Urban
Construction and Economy,
Belgorod State Technological University
named after V.G. Shukhov,
46 Kostyukova St., Belgorod 308012, Russia,
✉e-mail: kacem90@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0001-4474-1893>

Vladimir E. Absimetov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor of Urban
Construction and Economy,
Belgorod State Technological University
named after V.G. Shukhov,
46 Kostyukova St., Belgorod 308012, Russia,
e-mail: absimetov57@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 08.12.2025.
Одобрена после рецензирования 29.12.2025.
Принята к публикации 14.01.2026.

Information about the article

The article was submitted 08.12.2025.
Approved after reviewing 29.12.2025.
Accepted for publication 14.01.2026.