



Расчет напряженно-деформированного состояния и долговечности сварного соединения рамных узлов с учетом остаточных напряжений

А.К. Аль-Сабаеи^{1✉}, В.Э. Абсиметов²

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

Аннотация. Внутренние напряжения могут возникать при любом технологическом процессе изготовления конструкций. Наибольший интерес к ним возник в 30-е гг. в связи с применением сварки как одного из основных видов соединения. Исследование вопросов прочности сварных соединений потребовало изучения механизма возникновения и развития сварочных напряжений и деформаций. Эксплуатация промышленных зданий с усиленными металлоконструкциями показала, что при воздействии преимущественно статических нагрузок случаи разрушения узлов рамных элементов редки. При длительном воздействии динамических нагрузок чаще всего выходят из строя сварные соединения, фиксирующие элементы усиления. Остаточные напряжения, возникающие после различных воздействий на деформируемое тело, играют важную роль в определении долговечности и точности размеров изделий. В металле с остаточными напряжениями существуют зоны упругих деформаций противоположных знаков. При разрезании изделия или удалении поверхностного слоя происходит упругое снятие макронапряжений. Определение остаточных напряжений механическим методом основано на измерении вызванных этим деформаций, что позволяет вычислить их величину и знак. В рамках исследования было изучено влияние остаточных сварочных напряжений на срок службы усиленных рамных узлов при динамических нагрузках. Анализ проводился с использованием численного моделирования в программной среде Ansys.

Ключевые слова: металлические конструкции, рамные узлы, долговечность, динамическая нагрузка, остаточные напряжения, усиления

Для цитирования: Аль-Сабаеи 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://orcid.org/10.21285/2227-2917-2025-1-31-43>. EDN: ВОНОQA.

Original article

Calculation of stress-strain state and durability of welded joints of frame assemblies with regard to residual stresses

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

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

Abstract. Internal stresses may occur in any technological process of manufacturing structures. In the 1930s, when welding became the major type of jointing, interest in studying these stresses intensified. Research into the strength of welded joints required elucidation of the mechanism of occurrence and development of welding stresses and deformations. The operation of industrial buildings with reinforced steel structures has shown that static loads in isolation rarely cause destruction of frame element assemblies. However, in case of prolonged exposure to dynamic loads, it is the welded joints fixing reinforcement elements that break most frequently. Residual stresses arising after various impacts on the deformed body have a significant role in determining the durability and dimensional accuracy of products. Metal with residual stresses contains areas of elastic deformations of opposite signs. When the product

is cut or the surface layer is removed, macro stresses are elastically removed. The determination of residual stresses by a mechanical method is based on the measurement of the as-caused strains, which allows their magnitude and sign to be calculated. In this work, we investigate the effect of residual welding stresses on the service life of reinforced frame assemblies under dynamic loads. The analysis was carried out using numerical simulation in the Ansys software environment.

Keywords: metal structures, frame assemblies, durability, dynamic load, residual stresses, reinforcements

For citation: 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://orcid.org/10.21285/2227-2917-2025-1-31-43>. EDN: BOHOQA.

ВВЕДЕНИЕ

Практическое применение усиленных металлических конструкций показало, что их разрушение часто связано с явлением усталости материала [1–4,11]. Одним из наиболее распространенных критериев оценки устойчивости к усталостным повреждениям является вибрационная прочность. Одним из факторов, влияющим на усталостную прочность материала, являются остаточные сварочные напряжения, возникающих при устройстве или усилении узлов сопряжения балок в рамных каркасах зданий.

В данном исследовании проводится анализ вибрационной прочности узлов рамных конструкций [5, 6, 14, 15]. Для оценки срока службы этих узлов использовался метод численного моделирования, основанный на разработке конечно-элементной модели с использованием программного обеспечения Ansys, что позволило выполнить точное моделирование и углубленный анализ [7,8].

МЕТОДЫ

Необходимо было выполнить расчеты с учетом остаточных напряжений в деталях со-

единения, обусловленных локальным нагревом при сварке. Сначала проводился тепловой анализ для определения распределения температуры в элементах конструкции после завершения сварки, при этом предполагается, что швы формируются мгновенно. Полученные температурные данные затем передаются в прочностной расчет. На первом этапе моделирования эти температуры используются в качестве нагрузок, что приводит к возникновению пластических деформаций в области сварных швов.

На следующем этапе температурная нагрузка убирается, и к конструкции прикладывается основная эксплуатационная нагрузка для оценки ее поведения [9, 10,12]. Для материала деталей был задан закон билинейного изотропного упрочнения. Начальная температура сварных швов принята равной температуре ликвидуса материала, для расчетов выбрано значение 1400 °С (рис. 1).

Для наружных поверхностей деталей соединения задавалось конвективное граничное условие с коэффициентом конвекции, который зависит от температуры (рис. 2).

Temperature: 1400, °C

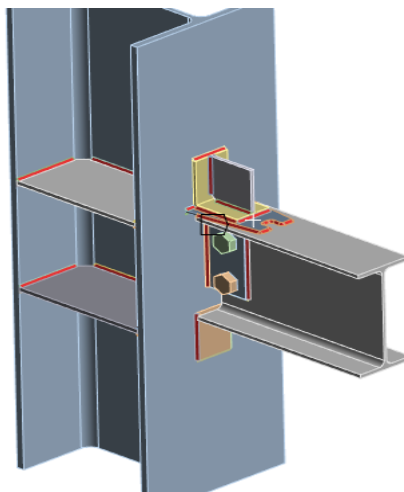
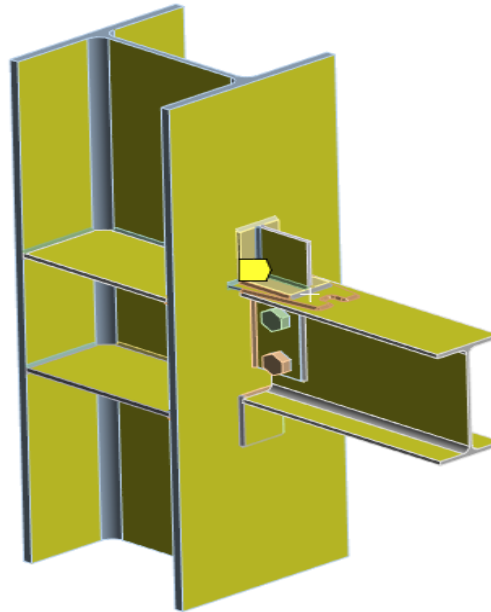


Рис. 1. Граничное условие – температура сварных швов
Fig. 1. Boundary condition – temperature of welds

B: Steady-State Thermal

Convection
Time: 1, s

Convection: 22, °C, 3,784e-006 W/mm²·°C



0,00

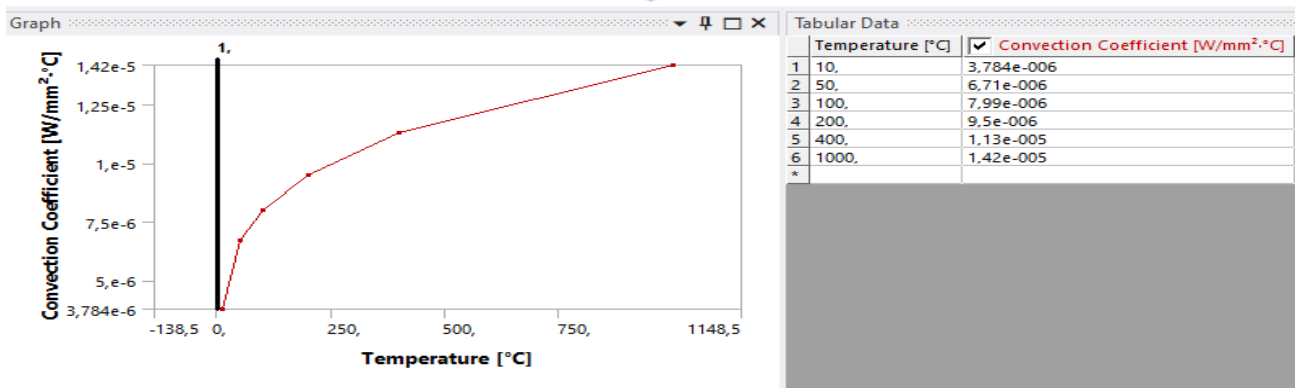


Рис. 2. Граничное условие – конвекция в неподвижный воздух
Fig. 2. Boundary condition – convection into still air

По данной схеме рассчитано сварное соединение для профиля 18×25 мм и сварных швов с катетами 6 и 8 мм.

В модели используется нелинейный материал, поэтому для ускорения расчетов было

уменьшено количество конечных элементов. Поле температуры взято через время 5 с. после укладки швов, уменьшение температуры самих швов было задано по экспоненциальному закону (рис. 3).

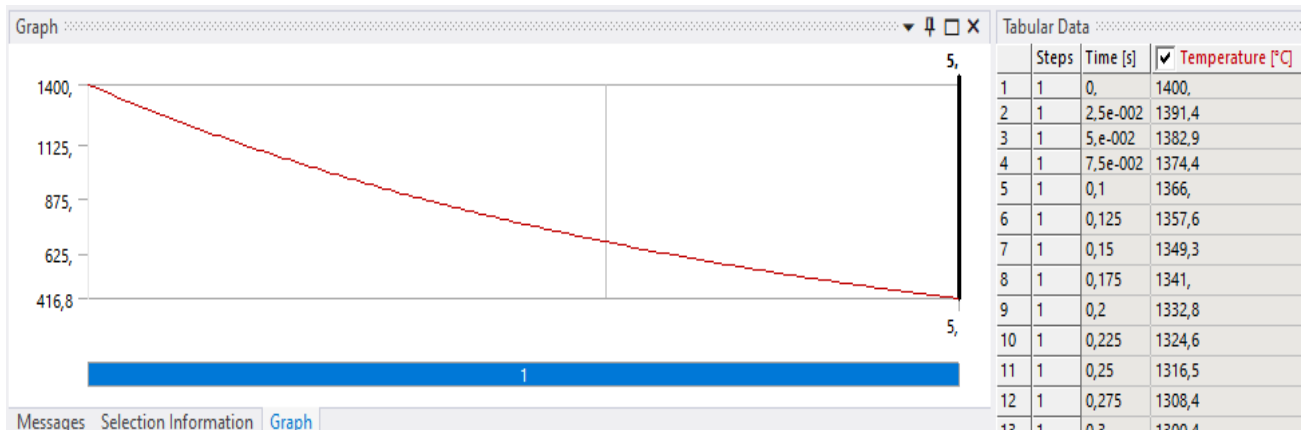


Рис. 3. График изменения температуры сварных швов
Fig. 3. Graph of temperature changes in welds

Моделирование образцов до усиления с катетами 6 мм

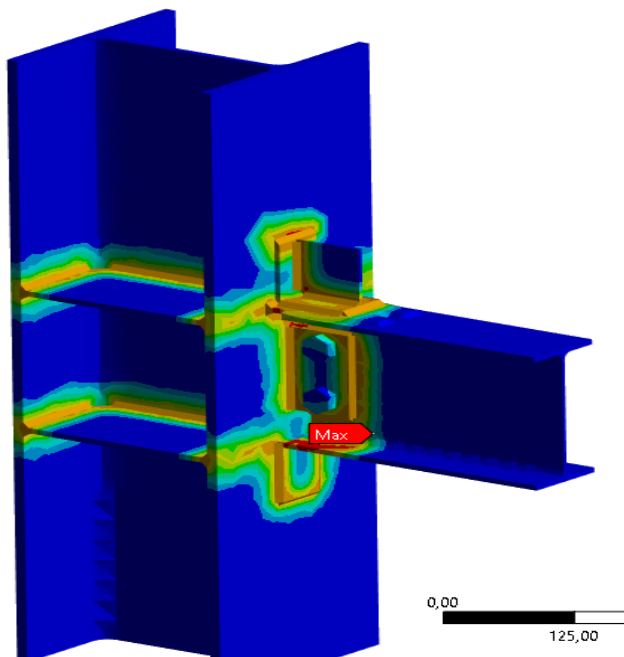
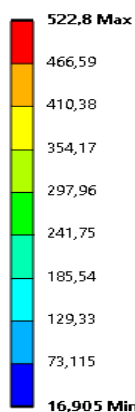
На рис. с 4 по 6 представлено моделирование образцов до усиления с катетами 6 мм. Тепловые деформации материала вблизи сварных швов превосходят деформации на пределе текучести (0,2 %) и составляют около от 0,4 до 0,5 % (деформации представлены в направлении одной оси).

Таким образом, в этих зонах возникают локальные пластические деформации, которые

обуславливают появление остаточных напряжений после полного остывания деталей.

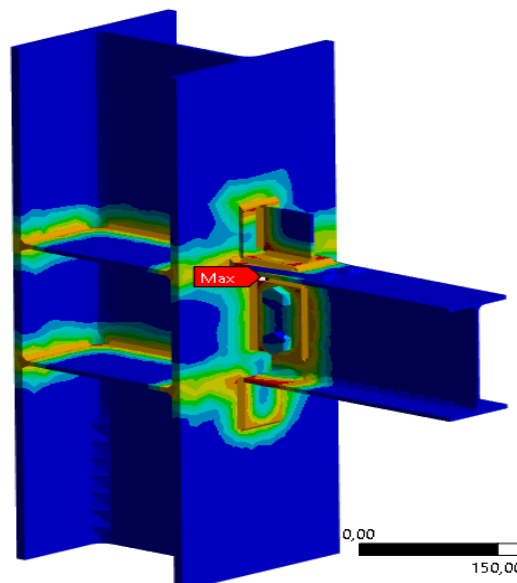
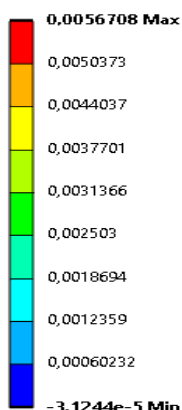
Результаты расчета долговечности в деталях усиления без учета остаточных напряжений после сварки (рис. 6b) показывают количество циклов до появления признаков усталостного разрушения почти в два раза больше, что подчеркивает важность учета тепловых деформаций материала в расчетах на прочность сварных соединений [7, 14, 15, 16, 17].

B: Transient Thermal
Temperature
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 5 s



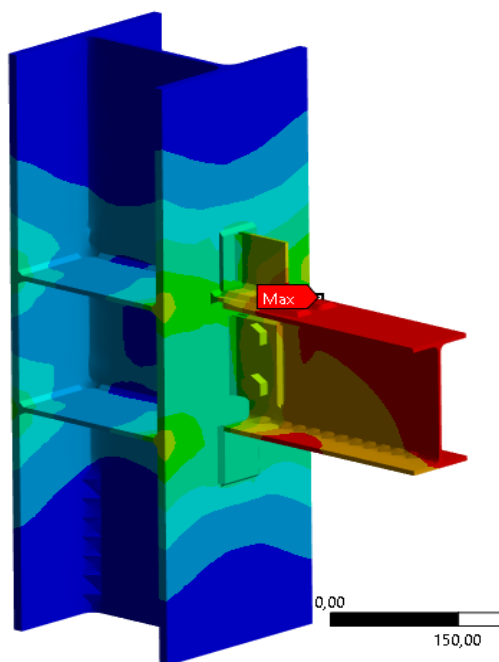
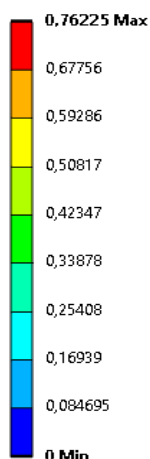
a

C: Static Structural
Thermal Strain
Type: Thermal Strain(X Axis)
Unit: mm/mm
Global Coordinate System
Time: 1 s



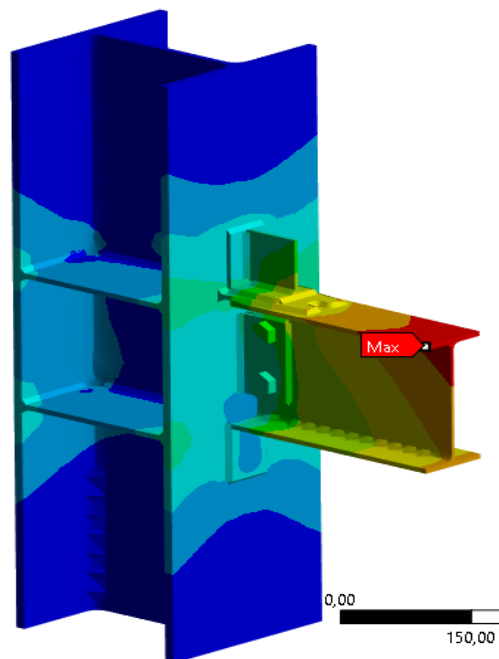
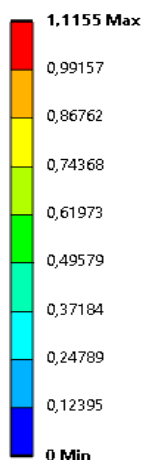
b

C: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s



c

C: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 2 s



d

Рис. 4. Результаты моделирования образцов сечением 18×25 после усиления (катет шва 6 мм): а – поле температур, b – тепловые деформации, c – перемещения в модели (после сварки), d – перемещения в модели (после приложения нагрузки)

Fig. 4. The results of modeling samples with a cross section of 18×25 (6 mm suture catheter): a – temperature field, b – thermal deformations (in the X-axis direction), c – movements in the model (after welding), d – movements in the model (after applying the load)

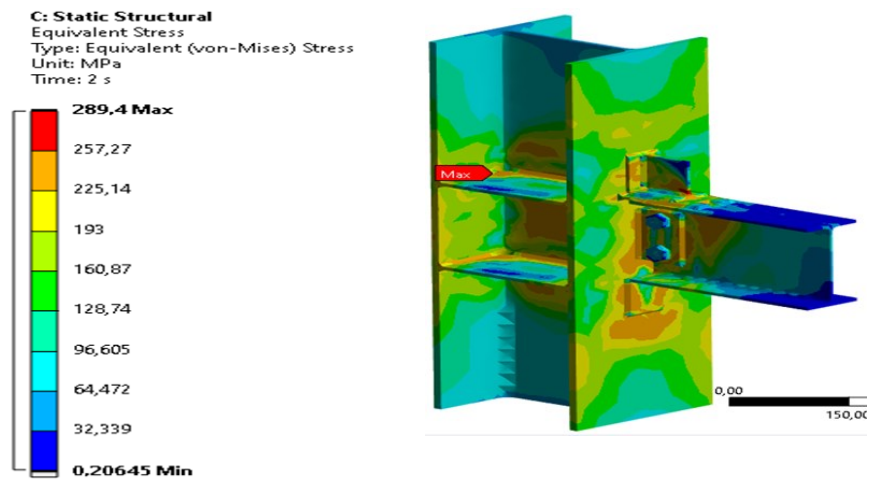


Рис. 5. Эквивалентные напряжения (после приложения нагрузки)
Fig. 5. Equivalent voltages (after application of load)

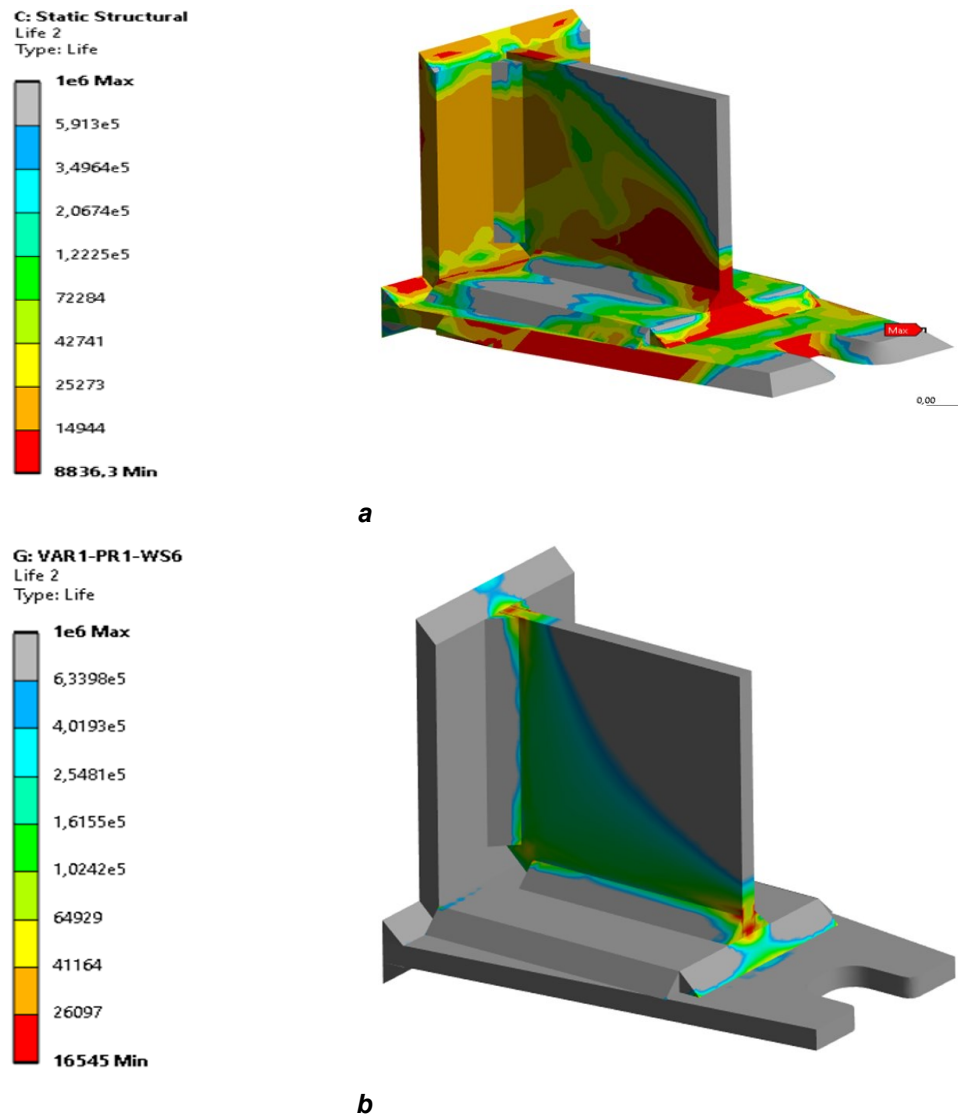


Рис. 6. Расчетная долговечность в сварных зонах деталей усиления:
а – с учетом остаточных напряжений, б – без учета остаточных напряжений
Fig. 6. Estimated durability in welded areas of reinforcement parts:
a – taking into account residual stresses, b – without taking into account residual stresses

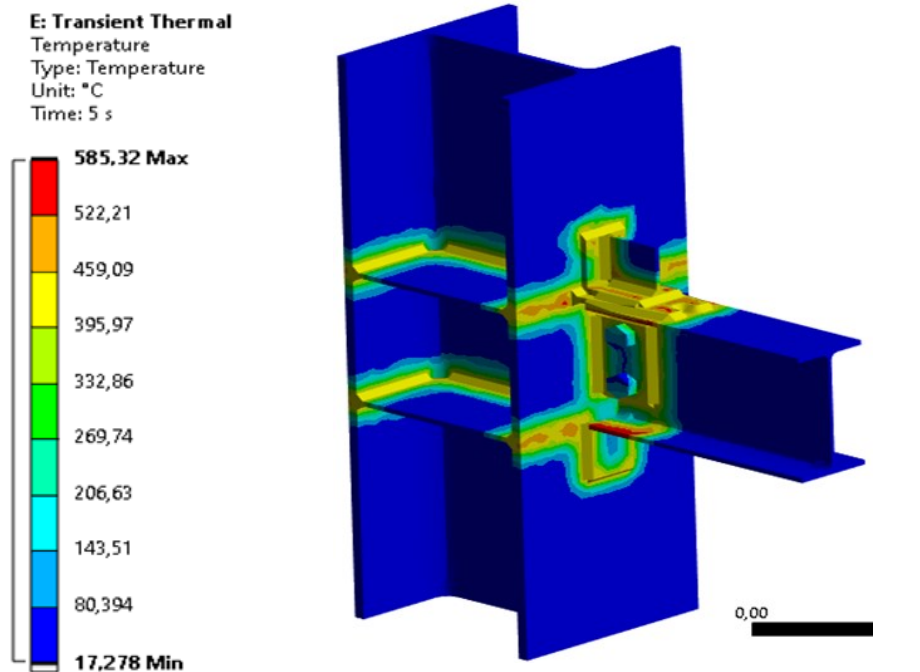
Моделирование образцов после усиления с катетами 8 мм

Размер профиля составляет 18×25 мм, катет сварного шва – 8 мм, усиление производится с применением накладок, уголков и ребер (рис. 7–9).

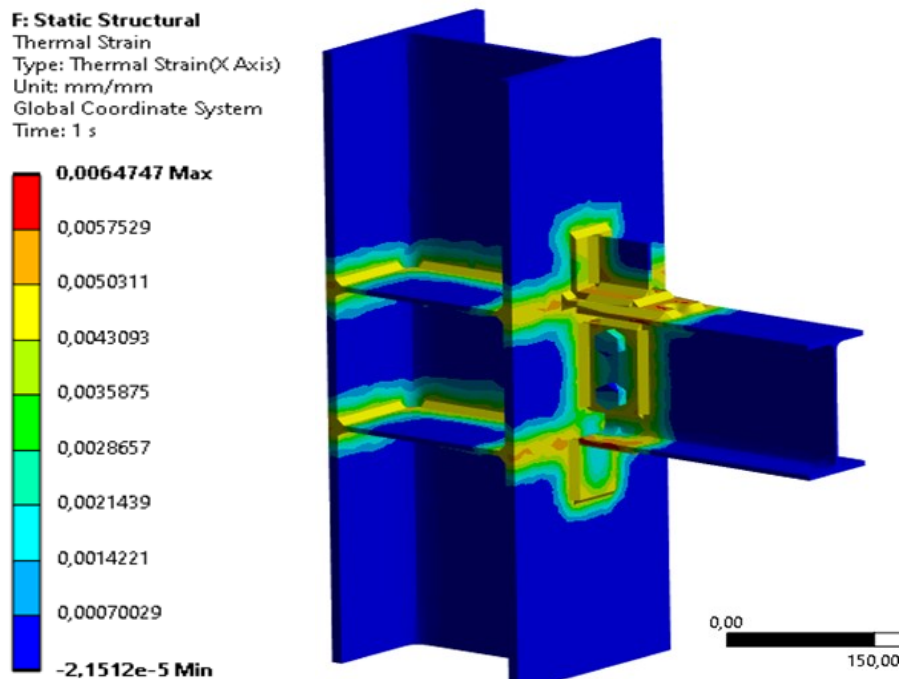
Тепловые деформации материала вблизи сварных швов превосходят деформации на

пределе текучести (0,2 %) и составляют около 0,4–0,5 % (деформации представлены в направлении одной оси).

Таким образом, в этих зонах возникают локальные пластические деформации, которые обуславливают появление остаточных напряжений после полного остывания деталей [18,19].



a



b

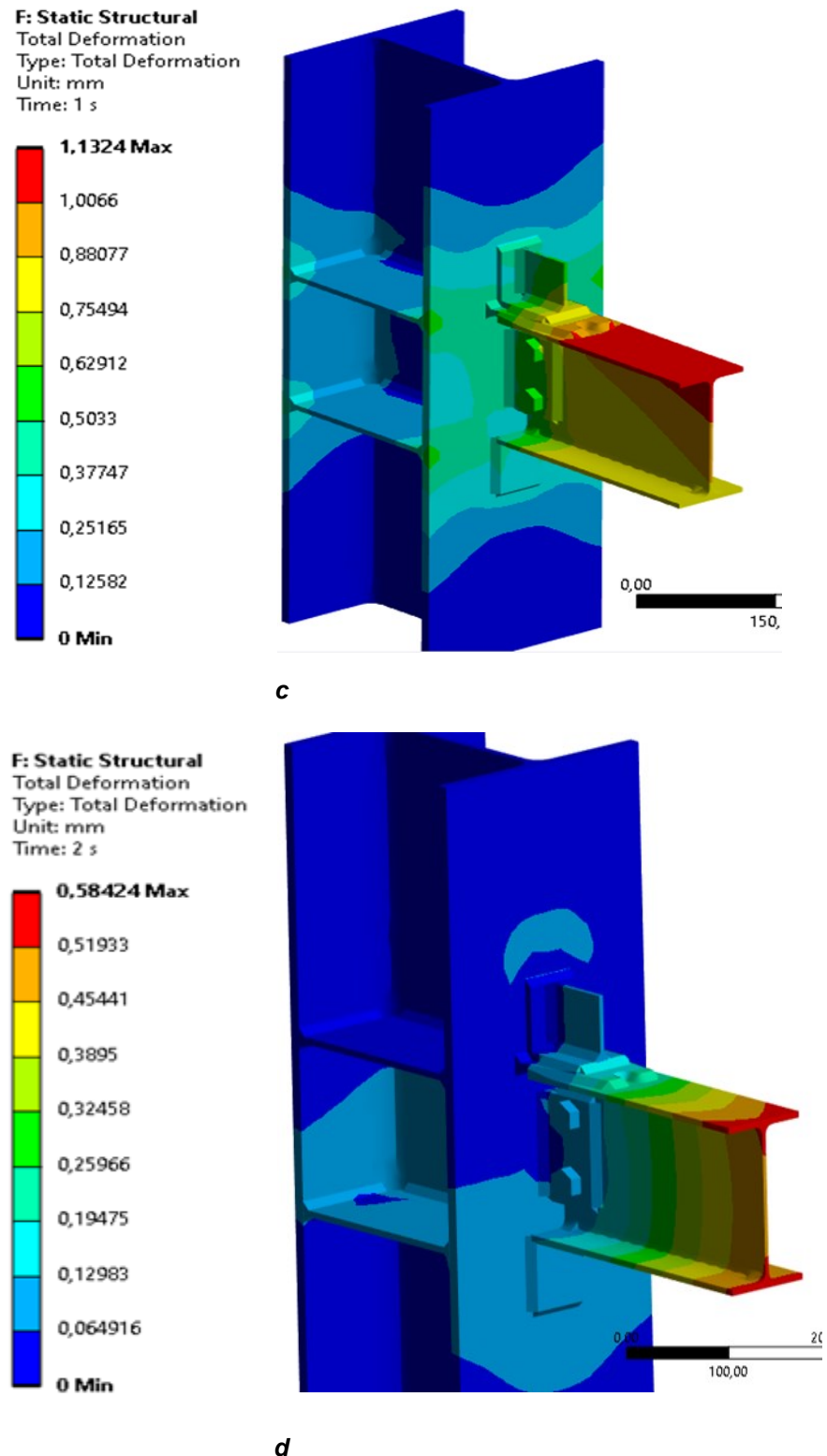


Рис. 7. Результаты моделирования образцов сечением 18×25 после усиления (катет шва 8 мм): а – поле температур, б – тепловые деформации, с – перемещения в модели (после сварки), d – перемещения в модели (после приложения нагрузки)
Fig. 7. The results of modeling samples with a cross section of 18×25 (8 mm suture catheter): a – temperature field, b – thermal deformations, c – movements in the model (after welding), d – movements in the model (after applying the load)

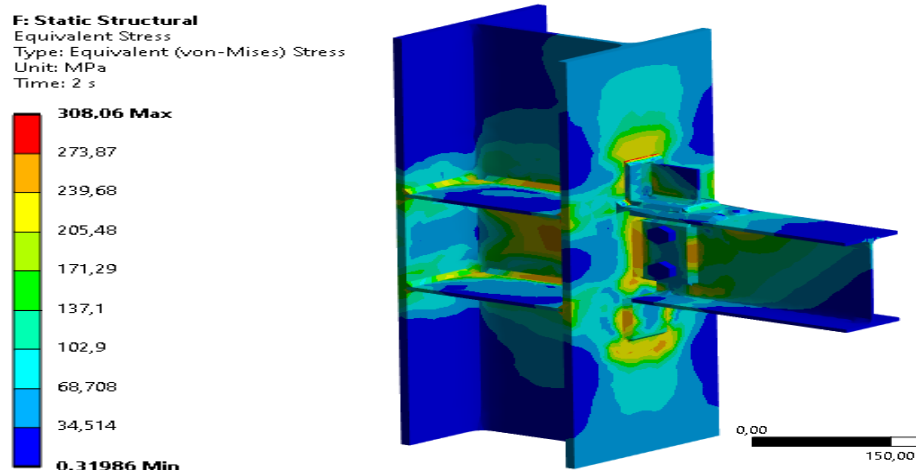
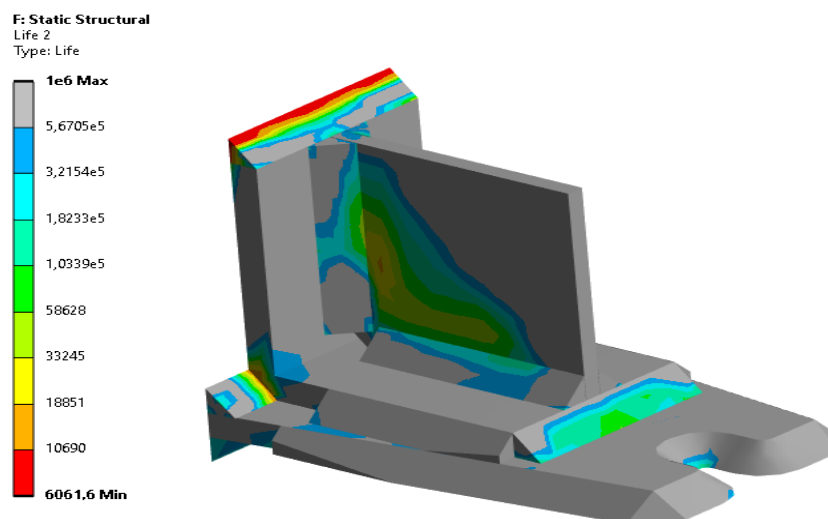
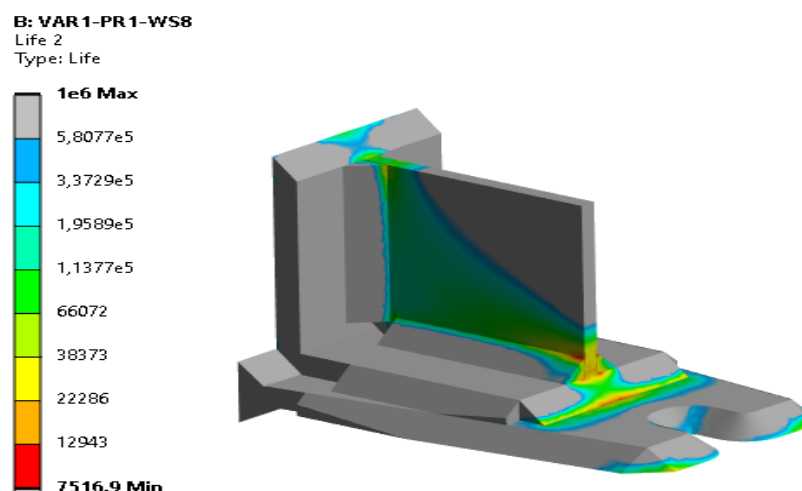


Рис. 8. Эквивалентные напряжения (после приложения нагрузки)
Fig. 8. Equivalent voltages (after application of load)



a



b

Рис. 9. Расчетный ресурс сварных соединений в усиливающих деталях:
a – с учетом остаточных напряжений, b – без учета остаточных напряжений
Fig. 9. Approximate longevity in welded regions of reinforcement components:
a – considering residual stresses, b – disregarding residual stresses

Результаты расчета долговечности в деталях усиления без учета остаточных напряжений после сварки показывают завышенное количество циклов до появления признаков уста-

лостного разрушения, что подчеркивает важность учета тепловых деформаций материала в расчетах на прочность сварных соединений (рис. 9b).

Общий анализ результатов моделирования после усиления General analysis of the simulation results after reinforcement

Сечения	Нагрузка, Н	Катет шва, мм	Количество циклов до разрушения (без учета остаточных напряжений)	Количество циклов до разрушения (с учетом остаточных напряжений)
Усиления с помощью накладок, уголков и ребер				
18Б1×25 К1	68646,55	6	16 545	8836
		8	7517	5062

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Анализ результатов расчетов показывает, что образцы с меньшими размерами катетов сварных швов обладают большей сопротивляемостью к разрушению и выдерживают больше циклов нагрузки [20–23].

2. Размер катетов и вызванные ими остаточные напряжения играют ключевую роль в обеспечении усталостной прочности усиленных элементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базе подробного анализа итогов моделирования удалось определить, что усталостная прочность соединений обуславливается

высотой катета швов, что подтверждает влияние остаточных сварочных напряжений на прочность соединений при динамических нагрузках. Это также подтверждается числом циклов до разрушения. Стоит отметить, что при проектировании можно использовать размеры катетов сварных швов минимально допустимые по действующим нормам СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции», актуализированная редакция СНиП II-23-81. Кроме того, используя метод усиления металлоконструкции при помощи наращивания сечений, рекомендуется использовать сварные швы малых катетов, а при недостаточной площади сварного соединения при уменьшении катетов увеличивать длину сварных швов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Серенко А.Н. Оценка степени влияния остаточных напряжений на выносливость сварных конструкций. Часть 1. // Вестник Приазовского государственного технического университета. 2005. № 15. С. 134–138.
2. Винокуров В.А. Сварочные деформации и напряжения. М.: Машиностроение, 1968. 236 с.
3. Абсиметов В.Э. Дефекты монтажа, методы устранения надежности и долговечность строительных конструкций: монография. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. 222 с.
4. Пичугин С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий. М.: Ассоциация строительных вузов, 2011. 455 с.
5. Аль-Сабаеи А.К., Абсиметов В.Э. Проблемы оценки надежности металлических конструкций // Наука и инновации в строительстве. Сб. докладов VI Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 50-летию кафедры строительства и городского хозяйства (г. Белгород, 14 апреля – 14 февраля 2022 г.). Белгород, 2022. С. 9–14. EDN: JAMVYL.
6. Аль-Сабаеи А.К. Усиление узлов опирания и сопряжения строительных металлоконструкции // V Междунар. студенческий строительный форум-2020. Сб. докладов (г. Белгород, 26 ноября 2020 г.). Белгород, 2020. С. 23–30. EDN: BIGXLH.
7. Huei-Huang Lee Finite Element Simulations with ANSYS Workbench. Theory, Applications, Case Studies. Browse Books: SDC Publications, 2023. 600 p.
8. Belen'kii D.M., Vernezi N.L., Cherpakov A.V. Changes in The Mechanical Properties of Butt Welded Joints in Elastoplastic Deformation // Welding International. 2004. Vol. 18. Iss. 3. P. 213–215. <https://doi.org/10.1533/wint.2004.3268>.

9. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 239 с.
10. Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций / пер. с нем. О.О. Андреев. М.: Стройиздат, 1994. 288 с.
11. Абсиметов В.Э. Проектирование стальных конструкций с применением Еврокодов [EN 1993] примеры расчета: монография. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. 142 с. EDN: LXWUEK.
12. Абакумов Р.Г., Аль-Сабаеи А.К. Оценка уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математической модели вероятности их безотказной работы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 44–50. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-7-44-50>. EDN: ONUORF.
13. Солодов Н.В., Водяхин Н.В., Кочерженко В.В. Напряженно-деформированное состояние при реализации смятия и сдвига в болтосварном соединении // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 12. С. 18–27. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-12-18-27>. EDN: FDIPMX.
14. Аль-Сабаеи А.К. Обоснование методов усиления строительных металлоконструкций при повторно-статических нагрузках // Проектирование и строительство. Сб. науч. трудов 5-й Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров (г. Курск, 12 марта 2021 г.). Курск, 2021. С. 16–21. EDN: OUOMLH.
15. Аль-Сабаеи А.К., Абсиметов В.Э. Расчет НДС рамным узлам строительных металлоконструкций при их усилении // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2024. № 4. С. 26–35. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2024-9-4-26-35>. EDN: IKFGMA.
16. Sadat A.B., Bailey J.A. Residual Stresses in Turned AISI 4340 Steel // *Experimental Mechanics*. 1987. Vol. 27. P. 80–85. <https://doi.org/10.1007/BF02318868>.
17. Liu C.R., Barash M.M. Variables Governing Patterns of Mechanical Residual Stress in a Machined Surface // *Journal of Engineering for Industry*. 1982. Vol. 104. Iss. 3. P. 257–264. <https://doi.org/10.1115/1.3185828>.
18. Сидоров М.М., Голиков Н.И. Остаточные сварочные напряжения монтажных соединений трубопроводов из низколегированных сталей, эксплуатирующихся в северных регионах // Сварка и диагностика. 2022. № 5. С. 49–52. https://doi.org/10.52177/2071-5234_2022_05_49. EDN: CYAWAH.
19. Jiang Guo, Haiyang Fu, Bo Pan, Renke Kang Recent Progress of Residual Stress Measurement Methods: A Review // *Chinese Journal of Aeronautics*. 2021. Vol. 34. Iss. 2. P. 54–78. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.10.010>.
20. Мазеин П.Г., Прусаков Д.В., Цунин А.В. Моделирование остаточных напряжений и деформаций, возникающих при дорновании // Известия Челябинского научного центра УРО РАН. 2001. № 1. С. 101–110. EDN: BJIIPX.
21. Красильников Л.А. Остаточные напряжения и циклическая прочность холоднотянутой и отпущенной стальной проволоки // *Сталь*. 1956. № 6. С. 562–565.
22. Спицин В.И., Троицкий О.А. Электропластическая деформация металлов. М.: Наука, 1985. 160 с.
23. Биргер И.А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. 232 с.

REFERENCES

1. Serenko A.N. Evaluation of The Influence of Residual Stresses On the Fatigue Life of Welded Structures. Part 1. *Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2005;15:134-138. (In Russ.).
2. Vinokurov V.A. *Welding Deformations and Stresses*. Moscow: Mechanical Engineering, 1968. 236 p. (In Russ.).
3. Absimetov V.E. *Installation Defects, Methods of Elimination, Reliability and Durability of Building Structures: Monograph*. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2021. 222 p. (In Russ.).
4. Pichugin S.F. *Reliability of Industrial Building Steel Structures*. Moscow: Association of Construction Universities, 2011. 455 p. (In Russ.).
5. Al-Sabaei A.K., Absimetov V.E. Problems of Assessing the Reliability of Metal Structures. In: *Nauka i innovatsii v stroitel'stve. Sbornik dokladov VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 50-letiyu kafedry stroitel'stva i gorodskogo khozyaistva = Science and Innovation in Construction. Collection of Reports of The VI International Scientific and Practical Conference Dedicated to The 50th Anniversary of The Department of Construction and Urban Economy*. 14 April – 14 February 2022, Belgorod. Belgorod; 2022. p. 9–14. (In Russ.). EDN: JAMVYL.

6. Al-Sabaei A.K. Strengthening of Support and Connection Nodes of Building Metal Structures. In: *V Mezhdunarodnyi studencheskii stroitel'nyi forum-2020. Sbornik dokladov = V International Student Construction Forum-2020. Collection of Reports*. 26 November 2020, Belgorod. Belgorod; 2020. p. 23–30. (In Russ.). EDN: BIGXLH.
7. Huei-Huang Lee *Finite Element Simulations with ANSYS Workbench. Theory, Applications, Case Studies*. Browse Books: SDC Publications, 2023. 600 p.
8. Belen'kii D.M., Vernezi N.L., Cherpakov A.V. Changes in The Mechanical Properties of Butt Welded Joints in Elastoplastic Deformation. *Welding International*. 2004;18(3):213-215. <https://doi.org/10.1533/wint.2004.3268>.
9. Rzhantsyn A.R. *Theory of Calculation of Building Structures for Reliability*. Moscow: Stroyizdat, 1978. 239 p. (In Russ.).
10. Shpete G. Reliability of Load-Bearing Building Structures, 1994. 288 p. (Russ. ed.: *Nadezhnost' nesushchikh stroitel'nykh konstruktov*. Moscow: Stroyizdat, 1994. 288 p.).
11. Absimetov V.E. *Design of Steel Structures Using Eurocodes [EN 1993] Calculation Examples: Monograph*. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2023. 142 p. (In Russ.). EDN: LXWUEK.
12. Abakumov R.G., Al-Sabaei A.K. Assessment of The Reliability Level of Strengthening Options for Building Steel Structures Using the Mathematical Model of Their Uninterrupted Operation. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*. 2021;7:44-50. (In Russ.). <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-7-44-50>. EDN: OHUORF.
13. Solodov N.V., Vodyahin N.V., Kocherzhenko V.V. Stress-Strain State as The Implementation of Collapse and Shear in A Bolted-Welded Joint. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*. 2022;12:18-27. (In Russ.). <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-12-18-27>. EDN: FDIPMX.
14. Al-Sabaei A.K. Justification of Methods for Strengthening Building Metal Structures Under Repeated Static Loading. In: *Proektirovanie i stroitel'stvo. Sbornik nauchnykh trudov 5-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov, magistriv i bakalavrov = Design and Construction. Collection of Scientific Papers of The 5th International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Postgraduates, Masters and Bachelors*. 12 March 2021, Kursk. Kursk; 2021. p. 16–21. (In Russ.). EDN: OUOMLH.
15. Al-Sabaei A.K., Absimetov V.E. Calculation of Stress-Strain State (SSS) For Frame Assemblies of Building Metal Structures When They Are Reinforced. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*. 2024;4:26-35. (In Russ.). <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2024-9-4-26-35>. EDN: IKFGMA.
16. Sadat A.B., Bailey J.A. Residual Stresses in Turned AISI 4340 Steel. *Experimental Mechanics*. 1987;27:80-85. <https://doi.org/10.1007/BF02318868>.
17. Liu C.R., Barash M.M. Variables Governing Patterns of Mechanical Residual Stress in a Machined Surface. *Journal of Engineering for Industry*. 1982;104(3):257-264. <https://doi.org/10.1115/1.3185828>.
18. Sidorov M.M., Golikov N.I. Residual Welding Stresses of Mounting Joints of Low-Alloy Steel Pipelines Operated in The Northern Regions. *Svarka i diagnostika*. 2022;5:49-52. (In Russ.). https://doi.org/10.52177/2071-5234_2022_05_49. EDN: CYAWAH.
19. Jiang Guo, Haiyang Fu, Bo Pan, Renke Kang Recent Progress of Residual Stress Measurement Methods: A Review. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2021;34(2):54-78. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.10.010>.
20. Mazein P.G., Prusakov D.V., Tsunin A.V. Modeling of Residual Stresses and Deformations Arising During Mandrel Boring. *Izvestiya Chelyabinskogo nauchnogo tsentra URO RAN*. 2001;1:101-110. (In Russ.). EDN: BJIPX.
21. Krasilnikov L.A. Residual Stresses and Cyclic Strength of Cold Drawn and Tempered Steel Wire. *Stal*. 1956;6:562-565. (In Russ.).
22. Spitsin V.I., Troitskii O.A. *Electroplastic Deformation of Metals*. Moscow: Nauka, 1985. 160 p. (In Russ.).
23. Birger I.A. *Residual Stresses*. Moscow: Mashgiz, 1963. 232 p. (In Russ.).

Информация об авторах

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

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>

Абсиметов Владимир Эскендерович,
д.т.н., профессор кафедры
строительства и городского хозяйств,
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, Россия,
e-mail: absimetov57@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-4474-1893>

Vladimir E. Absimetov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department Urban
Construction and Economy,
Belgorod State Technological University
named after V.G. Shukhov,
46 Kostyukova St., Belgorod 308012, Russia,
e-mail: absimetov57@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-4474-1893>

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.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 21.11.2024.
Одобрена после рецензирования 02.12.2024.
Принята к публикации 04.12.2024.

Information about the article

The article was submitted 21.11.2024.
Approved after reviewing 02.12.2024.
Accepted for publication 04.12.2024.