

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-44-50

*Абакумов Р.Г., Аль-Сабаети А.К.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: Abakumov.RG@bstu.ru

ОЦЕНКА УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ВАРИАНТОВ УСИЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕРОЯТНОСТИ ИХ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ

Аннотация. Статья посвящена вопросам оценки уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математических моделей вероятности их безотказной работы. Актуальность данного исследования определяется возрастающими требованиями к конструктивной безопасности строительных металлоконструкций, необходимостью применения обоснованных математических расчетов подтверждающих их работоспособность и безопасность с учетом различных вариантов усиления. Содержание статьи основано на платформе теоретического базиса проектирования усиления металлических конструкций и предопределено последующим синтезом инновационных решений в оценке уровня надежности строительных конструкций с учетом использования математического моделирования вероятности безотказности работы. В статье представлен анализ проблемных точек применения вероятностного метода расчета уровня надежности строительных металлоконструкций, что позволило оценить соответствие действующих нагрузок нормативным значениям и гарантировать надежную работу строительных металлических конструкций. Выделены характеристики, влияющие на оценку уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций при использовании математического моделирования. Представлен критический обзор вариантов усиления с позиции применения математических моделей вероятности работы металлической конструкции. Акцентируется внимание на построение оптимизационной математической модели несущей способности металлической конструкции с использованием теории вероятности, ряда Грамма-Шарлье, закона Гумбеля, закона Вейбулла. Описан пример усиления несущей фермы с применением математической модели оценки уровня надежности металлической конструкции. Предлагаемый вариант позволит повысить безопасность, несущую способность конструкции с обеспечением восприятия максимально возможной нагрузки и при этом одновременно позволит снизить стоимость данного вида конструкций в строительстве.

Ключевые слова: оценка уровня надежности, усиление строительных металлоконструкций, математическая модель вероятности, безотказная работа, конструктивная безопасность.

Введение. В связи с быстрым развитием строительной отрасли и ростом числа зданий из металлоконструкций, требования к безопасности и безотказности работы возрастает. Для повышения качества строительства необходимо, чтобы строительные подразделения и проектировщики, строители уделяли внимание научным исследованиям и рационально применяли математический аппарат при обосновании уровня надежности строительной конструкции. Поэтому процессы проектирования и строительства из металлоконструкций должны быть максимально обоснованными, чтобы обеспечить соответствие требованиям строительных нагрузок, а также обеспечить безопасность и стабильность строительных конструкций.

В последние годы число обрушений зданий из металлоконструкций увеличивается. Статистические данные указывают, что большинство аварий происходят из-за критических нагрузок, которые не были учтены при проектировании. При этом тяжесть последствий аварии зависит от степени ответственности конструкции и допу-

щенных просчетах при проектировании и строительстве. Высокая степень обрушения несущих металлических конструкций в возросшем числе строительных аварий доказывает, что актуальной проблемой современного строительства является обеспечение конструктивной безопасности строящегося объекта с использованием вероятностных математических моделей.

Методология. Основной целью статьи является раскрытие и обоснование особенностей метода оценки уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математической модели вероятности их безотказной работы (на примере усиления фермы).

Для оценки уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математической модели вероятности их безотказной работы необходимо использовать традиционный математический аппарат в совокупности с инновационными технологиями в строительной деятельности. Инновационные технологии представляют собой синтез теоретической базы, передовых технологий в

сфере программирования и проектирования, усовершенствованных методов и технологий строительства. Рассмотрение проблем, с которыми сталкиваются проектировщики и строители, позволит отразить состояние инновационных направлений оценки уровня надежности и безотказности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математических моделей.

Надежность – это свойство системы и ее элементов выполнять заданные функции в течение заданного интервала времени. Безотказность – это вероятность безотказной работы за какой-либо промежуток времени. Математическая модель – это эталон массового производства, она позволяет получить математическое представление о реальной конструкции. Для обеспечения надежности строительных металлоконструкций необходимо производить расчет конструкции на безопасность. Это позволит снизить стоимость и оптимально использовать несущую способность строительной конструкции с обеспечением восприятия максимальной нагрузки [1, 3, 7].

Оценка уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математической модели вероятности их безотказной работы производится с помощью следующих групп параметров – параметров прочности и параметров нагрузки. Что позволит рассчитать область допустимых состояний и их границу, а также вероятность отказа и вероятность неразрушимости. Большинство отказов в эксплуатации носит смешанный характер.

Если уровень надежности варианта усиления будет выше необходимого, то повысится расход материала и общая стоимость такой конструкции. При расчетах усиления строительных металлоконструкций встречаются противоречия между габаритами соединений для обеспечения надежности и долговечности при экономичности конструкции.

Основная часть. Расчеты по математической модели вероятности безотказной работы выполняются с использованием специальных формул по методам предельных состояний (нормам) или вероятностным методам. Вероятностный метод позволяет рассчитать вариант усиления с меньшими материальными затратами и обеспечить нужный уровень надежности при этом учитывает воздействие случайных факторов, которые воздействуют на строительные металлоконструкции. Уровень надежности в таком случае оценивается с помощью коэффициентов норм проектирования с учетом изменчивости внешних воздействий и прочности материалов.

Расчеты с использованием математической модели вероятности безотказной работы вариантов усиления строительных металлоконструкций позволят сократить количество ошибок, которые накапливаются и приводят к негативным последствиям. А также выбрать вариант усиления строительных металлоконструкций с требуемым уровнем надежности [2, 3].

Существует несколько вариантов усиления строительных металлоконструкций – усиление ферм, усиление балок, усиление сжатых стоек, усиление соединений или комбинированный способ. Каждый вариант усиления может быть выполнен с разными уровнями надежности, это обосновано выбором материала, площади сечения, способа крепления и др. Все эти параметры влияют на конечный результат и необходимо учитывать их взаимное влияние и взаимосвязь.

Любая строительная металлоконструкция проходит фазы проектирования, производства и эксплуатации. Этап проектирования важен, так как на нем закладываются основы надежности. На этапе проектирования нужно выделить существенные элементы, влияющие на надежность металлоконструкции и выявить тенденции их изменения при эксплуатации.

При использовании математической модели нужно проверять ее экстраполяционную возможность за пределами базового интервала времени и с учетом воздействия разных температур, нагрузжений, коррозионных сред и др. Математическая модель позволит по нужному уровню надежности подобрать допустимые характеристики элементов металлоконструкции.

Показатели надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математической модели вероятности их безотказной работы должен определяться двумя характеристиками: временной T (календарным временем) и вероятностью $P(T)$, с которой эта временная характеристика должна быть обеспечена [4, 6].

Методы расчета индекса надежности, которые используются в современной практике, сложны и требуют наличия статистической информации, которая, чаще всего, отсутствует или недостаточна.

По формуле расчета конструкции на безопасность:

$$S = R - F,$$

где R – обобщенная прочность конструкции; F – обобщенная нагрузка; S – резерв прочности.

На примере усиления несущей фермы покрытия здания, рассмотрим применение математической модели оценки уровня надежности. После расчета необходимо сопоставить с нормати-

вами и задать требуемый коэффициент надежности для строительных металлоконструкций, в зависимости от степени ответственности сооружения (коэффициент надежности может быть пониженный = 0,8; нормальный = 1 и повышенный = 1,1).

По формуле индекса надежности определяется уровень безопасности конструкции. R , F – математические ожидания, $\sigma^2 R - \sigma^2 F$ – дисперсии. Индекс надежности связан с вероятностью отказа P ($S < 0$).

$$\beta = \frac{S}{\sigma_S} = \frac{R-F}{\sqrt{\sigma^2 R - \sigma^2 F}} \quad (1)$$

Для нагрузок, таких как постоянная, полезная, снеговая и ветровая, рассчитываются центральные статистические моменты. Затем рассчитывается закон распределения суммарной обобщенной нагрузки с помощью ряда Грамма-Шарлье и определяется, является ли распределение нормальным. На рис. 1 представлена геометрическая схема работы фермы.

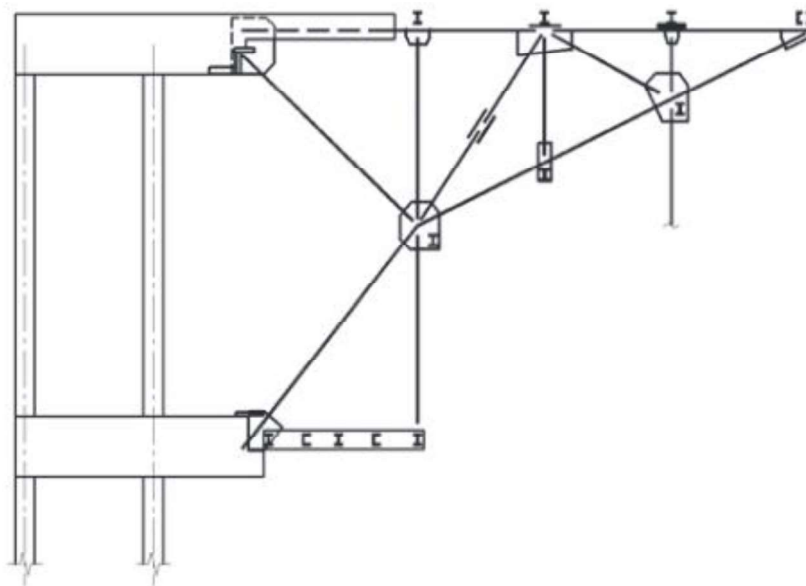


Рис. 1. Геометрическая схема фермы

Для расчета постоянной нагрузки использовался закон нормального распределения. Вычислим математическое ожидание и стандарт постоянной нагрузки: $m_n = 0,674$ кН/м, $D_n = 8,179 \cdot 10^{-4}$ кН²/м², $\sigma_n = 0,029$ кН/м. Для линейных элементов нагрузка на единицу длины $g = p \cdot A$; $p = 78,5$ кН/м³; $f_p = 0,03$.

Для расчета полезной нагрузки вычислим математическое ожидание и дисперсию полезной нагрузки: $m_l = 13,06$ кН/м², $D_l = 6,82$ Н²/М⁴, $\sigma_l = 2,62$ кН/м².

По закону Гумбеля рассчитаем ежегодные максимумы снеговой нагрузки. Норматив веса снегового покрова на 1 м² = 1,0 кПа. Коэффициент вариации $f_g = 0,4$. Математическое ожидание годовых максимумов снега $m_g = 0,604$ кН/м², дисперсия – $D_g = 0,058$ кН²/м⁴, стандарт $\sigma_g = 0,242$ кН/м².

$$\text{Параметры закона Грумеля} \\ a_s = \frac{1,28255}{\sigma_g} = 5,309; m_g = \frac{0,577216}{a_s} = 0,495.$$

Для расчета ветровой нагрузки используем закон Вейбулла. Нормативное значение ветрового давления $w_0 = 0,38$ кН/м². Коэффициент вариации $f_v = 0,37$. Математическое ожидание максимумов ветровой нагрузки $m_v = 0,236$ кН/м²,

дисперсия – $D_v = 7,62 \cdot 10^{-3}$ кН²/м⁴, стандарт $\sigma_v = 0,087$ кН/м². Параметры Вейбулла $\alpha = 0,265$; $\beta = 2,941$, (рис. 2).

Диаграмма статистических моментов нагрузок на ферму показывает математическое ожидание и дисперсию по всем видам нагрузок.

При проектировании строительных металлоконструкций нужно также учитывать условия эксплуатации, влияние окружающей среды, свойства материалов и деградацию их свойств. Расчетный срок службы строительной металлоконструкции должен соответствовать рекомендуемому (например, для временных сооружений – 10 лет, для сооружений в условиях агрессивных сред – не менее 25 лет и др.) [2, 6].

Согласно нормативам, нагрузка на данную конструкцию для обеспечения безотказной работы не должна превышать 15,2 кН/м², коэффициент вариации = 0,1. Таким образом, суммарная нагрузка на несущую ферму не превышает нормативных значений и конструкция является надежной.

Для данной металлоконструкции рекомендуется применять строительную сталь повышенной прочности, например, марки С345 (12Г2С) или С390 (14Г2АФ).

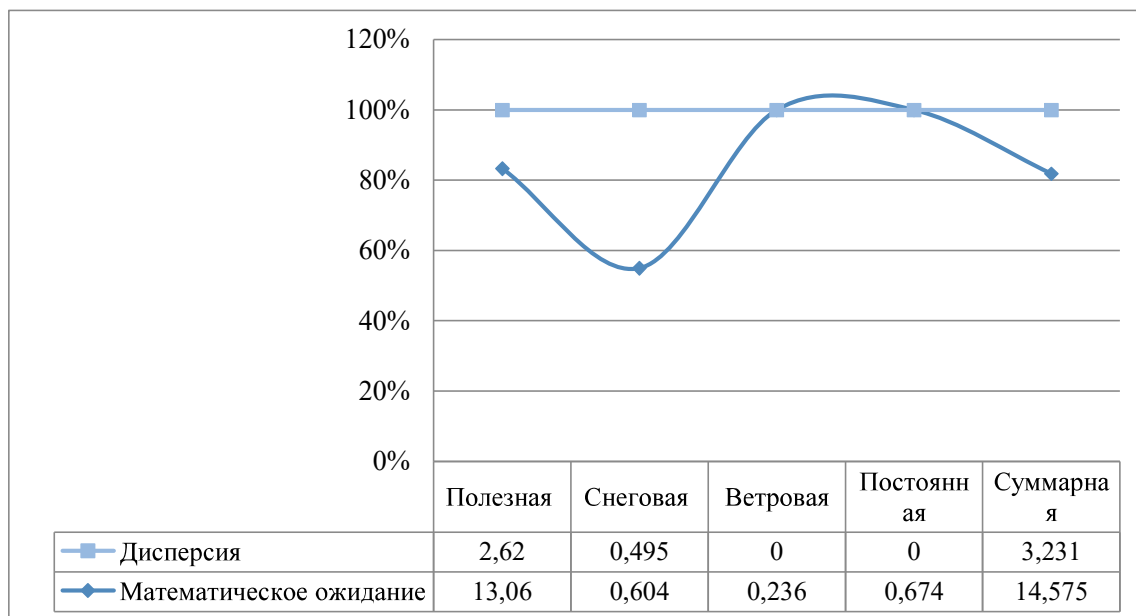


Рис. 2. Диаграмма статистических моментов нагрузок на ферму

Безотказность работы строительных металлоконструкций должна быть обеспечена на протяжении всего срока службы и она закладывается на этапе проектирования. По истечению срока службы строительных металлоконструкций учащаются случаи ремонтов, для проведения которых нужно оценивать остаточный срок службы металлоконструкции и выполнять усиление после выбора оптимального варианта усиления.

При проектировании строительных металлоконструкций нужно обеспечить уровень безопасности исключающий возникновение отказов, которые связаны с угрозой жизни и здоровья людей, экономическим и моральным ущербом, опасностью для окружающей среды.

Нами было рассмотрено применение метода на примере фермы. По аналогичной последовательности метод может быть применен для колонн и балок. Нами планируется разработка особенностей применения данного метода с целью усиления узлов металлоконструкций в дальнейших исследованиях. Приведенные результаты позволят внести вклад в прочность и деформативность усиленных металлоконструкций.

Выводы. Оптимальный вариант усиления строительных металлоконструкций должен быть с требуемым уровнем надежности и, при этом, экономичным. Существуют разные варианты усиления металлоконструкций, их выбор обоснован целью и задачами усиления. Превышение уровня надежности дает перерасход материала и удорожание конструкции, а низкий уровень надежности приводит к быстрому износу и аварийным ситуациям. Оценка уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математической мо-

дели вероятности их безотказной работы позволит принимать решения о выборе оптимального варианта усиления.

По формуле расчета строительных металлоконструкций на безопасность рассчитывается уровень надежности, который связан с вероятностью отказа. Затем рассчитывается закон распределения суммарной обобщенной нагрузки с помощью сведения постоянной, временной длительной, снеговой и ветровой нагрузок к суммарной обобщенной нагрузке. На примере усиления несущей фермы покрытия здания, рассмотрели применение математической модели оценки уровня надежности. Для расчета постоянной нагрузки использовался нормальный закон распределения. Вычислено математическое ожидание и стандарт постоянной нагрузки: $m_n = 0,674$ кН/м, $D_n = 8,179 \cdot 10^{-4}$ кН²/м², $\sigma_n = 0,029$ кН/м. Для линейных элементов нагрузка на единицу длины $g = p \cdot A$; $p = 78,5$ кН/м³; $f_p = 0,03$. Для расчета полезной нагрузки вычислено: $m_l = 13,06$ кН/м², $D_l = 6,82$ Н²/м⁴, $\sigma_l = 2,62$ кН/м². По закону Гумбеля рассчитан ежегодный максимум снеговой нагрузки. Норматив веса снегового покрова на 1 м² = 1,0 кПа. Коэффициент вариации $f_g = 0,4$. Математическое ожидание годовых максимумов снега $m_g = 0,604$ кН/м², дисперсия – $D_g = 0,058$ кН/м⁴, стандарт $\sigma_g = 0,242$ кН/м². Для расчета ветровой нагрузки использован закон Вейбулла. Нормативное значение ветрового давления $w_0 = 0,38$ кН/м². Коэффициент вариации $f_v = 0,37$. Математическое ожидание максимумов ветровой нагрузки $m_v = 0,236$ кН/м², дисперсия – $D_v = 7,62 \cdot 10^{-3}$ кН²/м⁴, стандарт $\sigma_v = 0,087$ кН/м². Параметры Вейбулла $\alpha = 0,265$; $\beta = 2,941$. Суммарная нагрузка, математическое ожидание = 14,575

кН/м², дисперсия 3,231 кН/м². Согласно нормативам нагрузка на данную конструкцию для обеспечения безотказной работы не должна превышать 15,2 кН/м², коэффициент вариации = 0,1. Таким образом, суммарная нагрузка на несущую ферму не превышает нормативных значений и конструкция является надежной.

При проектировании важно учитывать условия эксплуатации, влияние окружающей среды, свойства материалов и деградацию их свойств и рекомендуемый срок службы, в зависимости от назначения сооружения. Должен быть обеспечен контроль на каждом этапе (проектировании, изготовлении конструкций, возведения, эксплуатации и ремонта); при нормальном и повышенном уровне надежности металлоконструкции контроль должен быть независимым, при пониженном – достаточно самопроверки для разработчиков проекта.

Важно соблюдать требования и нормативы при выполнении строительных работ с металлоконструкциями на всех этапах. При соединении марок металла не подменять их более дешевыми без специальных предварительных расчетов. Несоблюдение данных требований приводит к обрушению зданий и иным опасным последствиям.

Описанный метод оценки надежности с применением статистических методов связан с усилением металлоконструкций и позволит на этапе проектирования выбрать оптимальный вариант усиления. Метод оценки, по нашему мнению, является универсальным и может быть применен для колонн и балок. Особенности работы по усилению металлоконструкций на примерах различных способов усиления изучаются нами в настоящее время и в дальнейшем результаты будут отражены в публикациях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Abakumov R.G., Avilova I.P., Ursu I.V., Kapustina E.O. Methodical Toolkit of Managing Reproduction of the Fixed Assets of an Organization //

The Social Sciences. 2015. Vol. 10 (6). P. 1449–1455.

2. Abakumov R.G., Naumov A.E. Building information model: advantages, tools and adoption efficiency // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 11 (6). P. 22001.

3. Калинин А.А. Обследование, расчет и усиление зданий и сооружений. М.: Изд-во АСВ, 2004. 160 с.

4. Колесников В.Д. Методы усиления металлических конструкций уменьшением расчетной длины сжатых элементов // Молодой ученый. 2020. № 21 (311). С. 503–510.

5. Пичугин С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2011. 455 с.

6. Пшеничкина В.А., Строк С.И., Пшеничкина В.А., Дроздов В.В. Анализ влияния жесткости грунтового основания на частоты и формы колебаний сооружений // Строительство и архитектура. 2018. Т. 6. № 2. С. 13–21.

7. Пшеничкина В.А., Глухов А.В., Глухова С.Г. Моделирование вероятностных параметров нагрузок в задачах оценки безопасности и ресурса зданий и сооружений // Строитель Донбасса. 2019. С. 58–63.

8. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 239 с.

9. Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1994. 288 с.

10. Абакумов Р.Г. Совершенствование механизмов привлечения покупателей на рынке жилой недвижимости // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2019. Т. 9. №3. (32). С. 127–135.

11. Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г. Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №5. С. 171–181.

Информация об авторах

Абакумов Роман Григорьевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры экспертизы и управления недвижимостью. E-mail: Abakumov.RG@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Аль-Сабаеи Арафат Касем, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: infobelinvest@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 12.04.2021 г.

© Абакумов Р.Г., Аль-Сабаеи А.К., 2021

*Abakumov R.G., Al-Sabaeei A.K.

Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov

*E-mail: Abakumov.RG@bstu.ru

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY LEVEL OF STRENGTHENING OPTIONS FOR BUILDING STEEL STRUCTURES USING THE MATHEMATICAL MODEL OF THEIR UNINTERRUPTED OPERATION

Abstract. The article is devoted to the issues of assessing the level of reliability of options for strengthening building metal structures using mathematical models of the probability of their uninterrupted operation. The increasing requirements for the structural safety of building metal structures, the need to use justified mathematical calculations confirming their performance and safety, taking into account various reinforcement options determine the relevance of this study. The content of the article is based on the platform of the theoretical basis for the design of reinforcement of metal structures. It is predetermined by the subsequent synthesis of innovative solutions in assessing the level of reliability building structures taking into account the use of mathematical modeling of the probability of uninterrupted operation. The article presents an analysis of the problem points of using the probabilistic method for calculating the level of reliability of building metal structures. This allows to assess the compliance of the existing loads with standard values and guarantee the reliable operation of building metal structures. The characteristics that influence the assessment of the level of reliability of options for strengthening building metal structures using mathematical modeling are highlighted. A critical review of the amplification options from the point of view of the use of mathematical models of the probability of the operation of a metal structure is presented. Attention is focused on the construction of an optimization mathematical model of the bearing capacity of a metal structure using probability theory, Gram-Charlier series, Gumbel's law, Weibull's law. An example of strengthening of a load-bearing truss using a mathematical model for assessing the level of reliability of a metal structure is described. The proposed option will improve the safety, bearing capacity of the structure while ensuring the perception of the maximum possible load and at the same time will reduce the cost of this type of structure in construction.

Keywords: assessment of the level of reliability, strengthening of building metal structures, mathematical model of probability, uninterrupted operation, constructive safety.

REFERENCES

1. Abakumov R.G., Avilova I.P., Ursu I.V., Kapustina E.O. Method of the Fixed Assets of the Organization. The Social Sciences. 2015. Vol. 10 (6). Pp. 1449–1455.
2. Abakumov R.G., Naumov A.E. Building information model: advantages, tools and adoption efficiency // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 11 (6). Pp. 22001.
3. Kalinin A.A. Survey, calculation and strengthening of buildings and structures [Obsledovanie, raschet i usilenie zdaniy i sooruzhenij]. Moscow: Publishing house of the Association of building universities, 2004. 160 p. (rus)
4. Kolesnikov V.D. Methods of strengthening metal structures by reducing the calculated length of compressed elements [Metody usileniya metallicheskikh konstrukcij umen'sheniem raschetnoj dliny szhatyh elementov]. Young scientist. 2020. No. 21 (311). Pp. 503–510. (rus)
5. Pichugin S.F. Reliability of steel structures of industrial buildings [Nadezhnost' stal'nykh konstrukcij proizvodstvennykh zdaniy]. Moscow: Publishing house of the Association of Civil Engineering Universities, 2011. 455 p. (rus)
6. Pshenichkina V.A., Strok S.I., Pshenichkina V.A., Drozdov V.V. Analysis of the influence of the stiffness of the soil base on the frequencies and modes of vibration of structures [Analiz vliyaniya zhyostkosti gruntovogo osnovaniya na chastoty i formy kolebanij sooruzhenij]. Building and architecture. 2018. Vol. 6. No. 2. Pp. 13–21. (rus)
7. Pshenichkina V.A., Pshenichkina V.A., Glukhov A.V., Glukhova S.G., Modeling of probabilistic parameters of loads in the problems of assessing the safety and resource of buildings and structures [Modelirovanie veroyatnostnykh parametrov nagruzok v zadachah ocenki bezopasnosti i resursa zdaniy i sooruzhenij]. 2019. Pp. 58–63. (rus)
8. Rzhanitsyn A.R. The theory of calculating building structures for reliability [Teoriya rascheta stroitel'nykh konstrukcij na nadezhnost']. Moscow: Stroyizdat, 1978. 239 p. (rus)
9. The sleeper is the reliability of carrier structures [Nadezhnost' nesushchih stroitel'nykh konstrukcij]. M.: Stroyizdat, 1994. 288 p. (rus)
10. Abakumov R.G. Improving the mechanisms for attracting buyers in the residential real estate market [Sovershenstvovaniye mekhanizmov privlecheniya pokupateley na rynke zhiloy nedvizhimosti]. Bulletin of the Southwestern State University. Series: Economics. Sociology. Management. 2019. Vol. 9. No. 3 (32). Pp. 127–135. (rus)
11. Abakumov R.G., Naumov A.E., Zobova A.G. Advantages, tools and effectiveness of the implementation of information modeling technologies

in construction [Preimushchestva. instrumenty i effektivnost vnedreniya tekhnologiy informatsionnogo modelirovaniya v stroitelstve]. Bulletin of

BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 5. Pp. 171–181. (rus)

Information about the authors

Abakumov, Roman G. PhD, Assistant professor. E-mail: Abakumov.RG@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Al-Sabaei, Arafat K. Postgraduate student. E-mail: infobelinvest@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 12.04.2021

Для цитирования:

Абакумов Р.Г., Аль-Сабаети А.К. Оценка уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математической модели вероятности их безотказной работы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 44–50. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-44-50

For citation:

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 BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 7. Pp. 44–50. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-44-50