

Установление браковочных критериев для оттяжек сооружений энергетических объектов

Р. Д. Хусаинов¹, И.Н. Гарькин², Э.Ю. Абдуллазянов¹,

Л.С. Сабитов², М.А. Закирова³

¹ Казанский государственный энергетический университет,

² Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г.Москва

³ Московский государственный строительный университет

Аннотация. В статье выполнены исследования в виде сравнения коэффициентов запаса в оттяжках строительных сооружений, проектируемых по методу предельных состояний и канатах мачтовых сооружений относящихся как к объектам энергетики, приведенных в федеральных нормах и правилах. Продемонстрировано, что применение обоснованных теорией надежности коэффициентов запаса для оттяжек мачтовых сооружений позволяет эффективно решить задачу назначения браковочных критериев оттяжек, можно использовать при разработке рекомендаций по их обследованию, техническому диагностированию, эксплуатации на основе имеющихся известных браковочных критериев, используемых для подъемных сооружений.

Ключевые слова: строительные конструкции, энергетическое строительство, оттяжки, канаты, НДС, несущая способность.

Существуют исследования в виде сравнения коэффициентов запаса в оттяжках строительных сооружений, проектируемых по методу предельных состояний и канатах грузоподъемных машин и оттяжек мачтовых сооружений энергетического строительства, приведенных в федеральных нормах и правилах [1]. Отмечается, более удобная форма методики подбора сечений и оценки несущей способности канатных оттяжек, используемая для грузоподъемных машин для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами технического диагностирования и эксплуатации сооружений с оттяжками. Одним из преимуществ методики, используемой для оценки несущей способности оттяжек с использованием обоснованных теорией надежности коэффициентов запаса является более удобный переход к назначению для канатных оттяжек износных предельно допустимых параметров их сечений, при достижении которых их эксплуатации быть прекращена [2,3]. Обоснованные методики, назначения данных параметров для канатных оттяжек мачтовых и стоечных сооружений энергетических

объектов в настоящее время отсутствуют. Представление предельно допустимых параметров удобно выполнить в форме аналогичной приведенной в приложении федеральных норм и правил для подъемных сооружений, посвященной браковочным критериям канатам грузоподъемных машин, отличающейся большой наглядностью и удобством. При этом мы можем оставить исключить критерии, связанные с износowymi критериями, связанные с трением канатов при их движении в полиспастовой системе кранов и оставить наглядные браковочные критерии, свидетельствующие о наступлении предельного состояния оттяжек, такие как обрыв прядей, повреждения сердечника [4,5].

Рассмотрим пример назначения браковочных критериев для канатных оттяжек с использованием коэффициентов запаса, обоснованных методикой теории надежности. Для 2го ветрового района по СП 20.13330.2016 обоснованные значения коэффициенты запаса приведены в таблице 1.

Таблица 1

Срок эксплуатации	1 год	6 лет	10 лет	30 лет	50 лет
Значение β	4.5	4.8	4.97	5.1	5.2
Значение m_k	2.925	3.1	3.23	3.3	3.39
Значение K_n коэффициента запаса для каната оттяжки для усилия в канате от нормативной нагрузки	1.76	1.86	1.94	1.98	2.0

Где $m_k = m_R/m_F$ - отношение средних значений усилий разрыва каната и усилия в оттяжке от ветровой нагрузки, β – индекс надежности

Значения индекса надежности β определяются по формуле

$$\beta = \frac{m_s}{s_s} = \frac{m_R - m_F}{\sqrt{s_R^2 + s_F^2}} = \frac{m_k - 1}{\sqrt{m_k^2 v_R^2 + v_F^2}}$$

Оценим возможность применения индекса надежности для определения величин предельного износа канатов оттяжек. Под предельным износом будем понимать состояние, когда коэффициент запаса оттяжки станет равным $K_n = 1.0$. Для этого состояния определим индекс надежности β .

$m_k = K_n / 0,6 = 1/0,6 = 1,67$, что соответствуют величине $\beta = 1,9$, что соответствует величине отказа $P_F = 0,029$.

Величина предельно допустимого коррозионного износа сечений канатов может быть определена из отношения коэффициентов запаса

$A_k \text{ пред} / A = 1/1,76 = 0,57$, что соответствует коррозионному износу сечения канатов на 43%. Определим уменьшение диаметра каната, соответствующее предельной величине коррозионного износа 43% по формуле

$D_k / D = 0,75$ при $A_k \text{ пред} / A = 0,57$, что соответствует уменьшению диаметра каната на 25%

Тогда на основании исследований можно предложить следующие браковочные критерии для оттяжек мачтовых и стоечных сооружений [6,7].

Выбор канатов для оттяжек мачтовых и стоечных сооружений можно выполнять по формуле

$$F_0 \geq K_n \cdot S$$

где F_0 — разрывное усилие каната в целом (Н), принимаемое по сертификату (свидетельству об их испытании);

K_n — минимальный коэффициент использования каната (коэффициент запаса прочности), определяемый по табл. 2 в зависимости от планируемого срока эксплуатации сооружения

S — наибольшее натяжение каната (Н), от нормативной ветровой нагрузок

Таблица 2

Планируемый срок эксплуатации	1 год	6 лет	10 лет	30 лет	50 лет
Значение K_p коэффициента запаса для каната оттяжки для усилия в канате от нормативной нагрузки	1.76	1.86	1.94	1.98	2.0

Для оценки безопасности использования канатов применяем следующие критерии:

- а) разрыв пряди;
- б) поверхностный и внутренний износ;
- в) поверхностная и внутренняя коррозия;
- г) местное уменьшение диаметра каната, включая разрыв сердечника;
- д) уменьшение площади поперечного сечения проволок каната (потери внутреннего сечения);
- е) деформация в виде волнистости, корзинообразности, выдавливания проволок и прядей, раздавливания прядей, заломов, перегибов и т.п.;

1. При уменьшении диаметра каната в результате коррозии на 25% и более по сравнению с номинальным диаметром канат подлежит браковке

При уменьшении диаметра каната в результате повреждения сердечника — внутреннего износа, обмятия, разрыва и т.п. (на 25% от номинального диаметра) канат подлежит браковке (рис.1). При уменьшении первоначального диаметра наружных проволок в результате коррозии на 40% и более канат бракуется [8,9].

Определение коррозии проволок по диаметру производится с помощью микрометра или иного инструмента, обеспечивающего аналогичную точность.

2. Для оценки состояния внутренних проволок, т.е. для контроля потери металлической части поперечного сечения каната (потери внутреннего сечения), вызванной обрывами, механическим износом и коррозией проволок внутренних слоев прядей (рис. 2), канат необходимо подвергать дефектоскопии по всей его длине. При регистрации при помощи дефектоскопа потери сечения металла проволок, достигшей 17,5% и более, канат бракуется. Необходимость применения дефектоскопии стальных канатов определяют согласно требованиям нормативной документации по диагностике оттяжек мачт, если такие имеются [10,11].

3. При обнаружении в канате одной или нескольких оборванных прядей канат к дальнейшей работе не допускается.



Рис. 1. Местное уменьшение диаметра каната на месте разрушения органического сердечника

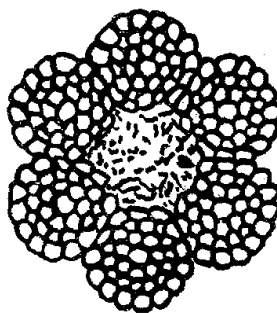


Рис. 2. Уменьшение площади поперечного сечения проволок (интенсивная внутренняя коррозия)

4. Канаты не должны допускаться к дальнейшей работе при обнаружении: корзинообразной деформации (рис. 3); выдавливания сердечника (рис. 4) ; выдавливания или расслоения прядей (рис. 5); местного увеличения диаметра каната (рис. 6); раздавленных участков (рис. 7); перекручиваний (рис. 8); заломов (рис. 9); перегибов (рис. 10); повреждений в результате температурных воздействий или электрического дугового разряда [12,13].



Рис. 3. Корзинообразная деформация

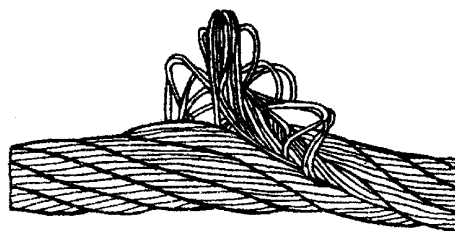
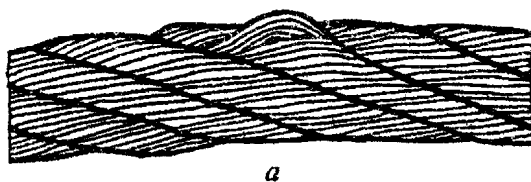


Рис. 4. Выдавливание сердечника



a



б

Рис. 5. Выдавливание проволок прядей: *a* — в одной пряди; *б* — в нескольких прядях



Рис. 6. Местное увеличение диаметра каната



Рис. 7. Раздавливание каната



Рис. 8. Перекручивание каната



Рис. 9. Залом каната

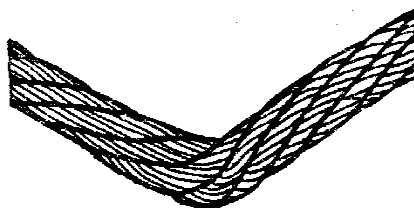


Рис. 10. Перегиб каната



Рис.11 Оттяжки на мачте сотовой связи (фото авторов)

В отличие от браковочных норм для канатов грузоподъемных кранов для оттяжек мачтовых (рис.11) и стоечных сооружений [14]:

В ходе разработки критериев оценки технического состояния и остаточного ресурса оттяжных стальных канатов были использованы

показатели, определяемые на основе индекса надежности, в частности — критерии снижения диаметра каната вследствие эксплуатационного износа, а также его коррозионного повреждения. Данные критерии позволяют объективно оценивать предельное состояние канатов с позиций долговечности и безопасности.

Из комплекса исходных параметров были исключены критерии, связанные с износом, которые оцениваются по числу обрывов проволок. Такая мера обусловлена спецификой работы грузоподъемных кранов, где фреттинг и износ канатных проволок в местах контакта с элементами полиспастной системы и их сопутствующие обрывы имеют значительно иные закономерности по сравнению с оттяжками, и не являются репрезентативными для рассматриваемой задачи.

Рассмотрим необходимый математический аппарат к настоящей работе:

Расчет коэффициента запаса прочности и остаточного ресурса

Для оттяжных канатов ключевым параметром выступает коэффициент запаса прочности K_n , который рассчитывается как отношение разрывного усилия каната к максимально возможному рабочему натяжению от действующих на конструкцию нагрузок (например, нормативная ветровая нагрузка):

$$K_n = \frac{F_0}{S}$$

где

F_0 — разрывное усилие каната по сертификату,

S — максимальное натяжение от расчетной ветровой нагрузки.

2. Связь коэффициента запаса с индексом надежности

Индекс надёжности β связывает требуемый уровень безотказной работы с вероятностью отказа по формуле:

$$P_f = 1 - \Phi(\beta)$$

где $\Phi(\beta)$ — функция Лапласа (интеграл распределения вероятностей для стандартного нормального закона),

P_f — вероятность отказа (допустимая вероятность достижения предельного состояния).

Пример расчета:

Допустим, для 10-летнего срока эксплуатации оттяжки требуется коэффициент запаса

$$K_n = 1,94$$

Если в ходе инспекции обнаружен коррозионный износ (или механическое повреждение), уменьшивший площадь поперечного сечения на ΔA , новый коэффициент запаса определяется как:

$$K_{n \text{ изм}} = \frac{F_0 * (1 - \Delta A / A_0)}{S}$$

где

A_0 — исходная площадь сечения проволок,

ΔA — абсолютная потеря площади.

Если было обнаружено потеря сечения (например, измеренная дефектоскопом или микрометром) в 20% ($\Delta A / A_0 = 0,2$):

$$K_{n \text{ изм}} = K_n (1 - 0,2) = 1,94 \times 0,8 = 1,55$$

Этот коэффициент сравнивается с минимально допустимым по Табл. 2. Если $K_{n \text{ изм}} < K_{\min}$ для соответствующего срока эксплуатации, канат подлежит замене или ремонту.

3. Оценка допустимого коррозионного износа по снижению диаметра

Поскольку площадь круга зависит от квадрата диаметра:

$$\frac{A_{\text{изм}}}{A_0} = \left(\frac{D_{\text{изм}}}{D_0} \right)^2$$

Если допустимая потеря площади составляет 43% ($A_{\text{изм}} / A_0 = 0,57$),
отсюда:

$$\frac{D_{\text{изм}}}{D_0} = \sqrt{0,57} \approx 0,75$$

Это соответствует уменьшению диаметра на 25% ($D_0 - D_{\text{изм}} = 0,25D_0$), что соответствует критерию браковки, принятому в статье.

4. Расчет времени до достижения критического износа

Пусть известна скорость коррозионного износа v_k (например, мм в год или %/год):

$$\Delta A = v_k \cdot t$$

Пороговый срок до браковки:

$$t^* = \frac{(1 - \frac{A^*}{A_0})}{v_k}$$

где A^* — предельно допустимая площадь сечения перед браковкой (например, $A^* = 0,57A_0$).

Пример:

Если скорость износа 2%/год, тогда:

$$t^* = \frac{1 - 0,57}{0,02} = \frac{0,43}{0,02} = 21,5$$

то есть при такой скорости коррозии необходимо ориентироваться на замену каната спустя 21–22 года.

5. Применение индекса надежности для контроля остаточного ресурса

При регулярных обследованиях определяют фактический запас прочности и индекс надежности по измерениям и формуле:

$$\beta = \frac{M(F_0) - S}{\sqrt{D^2(F_0) + D^2(S)}}$$

где $M(F_0)$ — среднее разрывное усилие после учета износа (снижается пропорционально уменьшению сечения),

$D(F_0)$, $D(S)$ — стандартные отклонения разрывного усилия и нагрузки.

Если по расчету β снижается ниже нормативного (например, $\beta < 3.0$) — это сигнал к браковке или внеочередной инспекции.

6. Математическая модель остаточного ресурса

Для прогностической оценки остаточного ресурса каната, например, с помощью дифференциального уравнения износа:

$$\frac{dA}{dt} = -kT^{\alpha}C^{\beta}$$

где k — коэффициент кинетики коррозии, T — температура (или годовая средняя), C — концентрация агрессивных сред, α, β — эмпирические параметры.

В этом случае на основании регулярных измерений $A(t)$ строится экспоненциальная модель и прогнозируется момент времени, когда A достигнет критического значения.

Включение подобных расчетных алгоритмов и формул в процесс диагностики технического состояния канатных оттяжек выводит систему оценки их пригодности на качественно новый уровень. Использование количественных методов обеспечивает не просто формальное соблюдение требований нормативных документов, но и позволяет реализовать принцип индивидуального подхода к оценке каждого объекта на основе его реальных условий эксплуатации и специфики повреждений.

Основная новизна подхода заключается в том, что внедрение математических моделей деградации и оценки остаточного ресурса на основе реальных данных наблюдений позволяет оперативно реагировать на возникающие отклонения технического состояния, прогнозировать развитие дефектов и оптимизировать графики технического обслуживания. Это обеспечивает не только повышение надежности эксплуатации канатных оттяжек, но и предотвращает преждевременный вывод из эксплуатации

полностью работоспособных элементов по формальным критериям, не учитывающим динамику и темп износа в конкретных условиях.

Кроме того, данная методика открывает возможности для создания автоматизированных систем мониторинга и поддержки решений, повышая объективность и воспроизводимость диагностики, снижая влияние субъективного фактора экспертов. Таким образом, система браковочных критериев из набора грубых пороговых значений превращается в гибкий, научно обоснованный инструмент управления техническим состоянием и жизненным циклом канатных оттяжек на всех этапах их эксплуатации.

Реализация подобного подхода способствует внедрению цифровых технологий на транспорте и в строительстве, что соответствует современным тенденциям развития «умных» инфраструктур и отвечает задачам повышения безопасности, эффективности и рентабельности долгосрочной эксплуатации инженерных сооружений. Введение количественной диагностики с использованием расчетных моделей и формул — это шаг в сторону современной инженерии, где принятие решений базируется на точных данных, научных методах и объективных критериях. Для назначения срока службы и оценки остаточного ресурса различают эксплуатационные интервалы, для которых устанавливаются нормативные значения коэффициента запаса

В качестве приоритетных диагностических характеристик были сохранены значения допустимых потерь поперечного сечения внутренних проволок канатов, определяемых с использованием неразрушающих методов контроля, в частности дефектоскопии — индукционных или магнитных методов. Этот подход обеспечивает раннее выявление процессов внутренней деградации и позволяет более точно прогнозировать неизбежное снижение несущей способности, предшествующее видимым внешним проявлениям износа.

В дополнение к вышеперечисленному, сохранены критерии, определяющие недопустимые механические повреждения оттяжных канатов, приобретающие ключевое значение для обеспечения общей надежности конструкции. Под такими повреждениями понимаются надломы, поперечные или продольные деформации, наличие плоских участков, локальных перегибов, протяжённых вмятин или иных дефектов, оказывающих критическое влияние на работоспособность и безопасность стальных канатов. Комплексный анализ этих критериев позволяет обеспечить системный подход к мониторингу и продлению срока службы оттяжных канатов, что особенно актуально для ответственных объектов инфраструктуры.

В данной статье продемонстрировано, что применение обоснованных теорией надежности коэффициентов запаса для оттяжек сооружений позволяет эффективно решить задачу назначения браковочных критериев оттяжек, которую можно использовать при разработке рекомендаций по их обследованию, техническому диагностированию, эксплуатации на основе имеющихся известных браковочных критериев, используемых для подъемных сооружений.

Вопросы повышения надежности и долговечности канатных оттяжек мачтовых и стоечных сооружений остаются предметом обсуждения не только в области технических регламентов, но и в практической эксплуатации объектов энергетики, связи и других критически важных инфраструктур. Разработанные авторами критерии браковки и диагностики позволяют не только своевременно выявлять дефекты, но и создавать научно-обоснованные рекомендации по продлению срока безопасной эксплуатации подобных конструкций на базе анализа технического состояния.

Система мониторинга и диагностики. Интеграция современных методов неразрушающего контроля (дефектоскопия, визуальный и инструментальный контроль, вибродиагностика, периодическое измерение диаметра канатов и анализ остаточного ресурса) в единую систему мониторинга — это необходимый шаг при обслуживании оттяжек. Внедрение автоматизированных систем сбора и анализа данных о состоянии канатов позволит не только повысить скорость обнаружения опасных изменений, но и создать базу для формирования прогностических моделей остаточного ресурса.

Применение обязательного регулярного инструментального контроля по установленным критериям надежности и браковки обеспечивает стандартизированный подход к оценке технического состояния. В перспективе возможно совершенствование нормативной базы с учетом накопленных данных мониторинга и статистики отказов, что приведет к динамическому пересмотру допустимых значений критериев браковки в зависимости от режимов эксплуатации, географических и климатических факторов.

В рамках дальнейшего совершенствования системы эксплуатации рекомендуется разрабатывать и внедрять инвентарные программы замены и регенерации канатных оттяжек, основанные на данных дефектоскопии и регламентированных значениях коэффициентов запаса прочности. Дополнительно возможно применение современных технологий антикоррозионной защиты, ремонтных составов и локального армирования участков с частичным износом или повреждениями, при условии, что такие меры подтверждены экспериментально и нормативно.

Кроме того, актуальным становится внедрение BIM-технологий и цифровых двойников для моделирования нагрузок, оценки сценариев развития дефектов и прогноза поведения оттяжек под действием

экстремальных нагрузок и в условиях длительного старения материала. Это позволит более обоснованно планировать диагностические и ремонтные мероприятия по результатам модельного анализа потенциальных точек отказа.

Рекомендации к нормативно-правовому регулированию. Следуя из выполненного анализа, предлагается включить в действующие федеральные нормы и правила обязательный учет индекса надежности при расчете допустимых параметров износа и дополнять критерии браковки данными дефектоскопии по всей длине каната. Важно регламентировать минимальные периоды между обследованиями в зависимости от условий эксплуатации, а также предусмотреть процедуру внеочередного технического освидетельствования при выявлении признаков экстремальных механических воздействий или аварийных ситуаций.

Межотраслевой обмен статистикой отказов и применяемых мер продления ресурса позволит не только совершенствовать критерии диагностики и браковки, но и формировать единые подходы к вопросам подготовки персонала и аккредитации лабораторий неразрушающего контроля.

В заключение отметим, что установление научно-обоснованных и практических браковочных критериев для оттяжек сооружений энергетических и инфраструктурных объектов является ключевым элементом обеспечения их безопасной и надежной эксплуатации. Системное внедрение комплексных методов диагностики и мониторинга технического состояния, а также формирование нормативной базы с учетом современных подходов к оценке остаточного ресурса и продлению срока службы оттяжек позволят существенно снизить аварийность и обеспечить устойчивую работу критически важных объектов.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на детализацию пороговых параметров, интеграцию новых материалов и технологий усиления, а также совершенствование методов прогноза и диагностики на базе искусственного интеллекта и цифровых технологий контроля технического состояния.

Литература:

1. Сабитов Л. С., Абдуллазянов Э. Ю., Токарева Л. А., Хусаинов Р. Д., Айзатуллин М. М. Оценка несущей способности оттяжек конструкций энергетических объектов и методик подбора их сечений // Строительное производство. 2024. №1. С. 8-13
2. Гарькин И.Н., Агафонкина Н.В. анализ причин обрушения мачты сотовой связи в пензенской области // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2016. № 3. С. 49-55.
3. Краснощёков Ю.В. О совершенствовании метода расчета по предельным состояниям // Строительная механика и расчёт сооружений. 2007. № 6. С. 9 - 12.
4. Баламирзоев А.Г., Муртузов М.М., Селимханов Д.Н., Дибирова З.Г., Абдуллаев А.Р. Нелинейные поперечные колебания составных стержней при действии статически приложенной поперечной нагрузки // Строительные материалы и изделия. 2021. Т. 4. № 2. С. 29 – 37
5. Гучкин И.С., Булавенко В.О. Усиление железобетонной балки стальной затяжкой, накладками и фиброармированным пластиком // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 1. С. 69-74
6. Лампси Б.Б., Лампси Б.Б. Анализ напряженно-деформированного состояния фланцевого соединения водоподъемной колонны по проекту "надземная часть подземного водозабора для технологического обеспечения водой трубопрокатного цеха АО "Выксунский металлургический завод" // Приволжский научный журнал. 2023. № 3 (67). С. 29-33

7. Кузин Н.Я., Багдоев С.Г. Оценка внешних факторов на несущую способность конструкций гражданских зданий // Региональная архитектура и строительство. 2012. №2 С.79-82
8. Волоховский В.Ю., Воронцов А.Н., Жирнов А.В., Рудяк А.Р. Техническое диагностирование оттяжек антенно-мачтовых сооружений // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 10. С. 33-39.
9. Шеина С. Г., Виноградова Е.В., Денисенко Ю.С. Пример применения BIM технологий при обследовании зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2021. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037 № 6.
10. Гарькин И.Н., Сабитов Л.С., Гайдук А.Р., Чиркина М.А. Сохранение архитектурных концепций малых населенных пунктов: консервация объектов культурного наследия Инженерный вестник Дона. 2022. №11:URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8017
11. Garkin I.N., Garkina I.A. System approach to technical expertise construction of building and facilities // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. Vol.8. №5. P.213-217.
12. Евдокимов В.В., Шеляпина Г.Р. Расчетная оценка усталостной долговечности элементов металлоконструкций антенно-мачтовых сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 10. С. 55-59.
13. Петрова И.Ю., Мостовой О.О. Обзор процесса проведения обследований зданий и сооружений. Проблемы и пути их решения. // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. 2013. № 1 (36). С. 12-20.
14. Лобов М.И., Чирва А.С., Переварюха А.Н. Условия обеспечения качества строительства и надежной эксплуатации высотных сооружений

башенного и мачтового типов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2011. № 1 (87). С. 105-111.

References

1. Sabitov L. S., Abdullazyanov E. Yu., Tokareva L. A., Husainov R. D., Ajzatullin M. M. Stroitel'noe proizvodstvo. 2024. №1. pp.8-13.
2. Gar'kin I.N., Agafonkina N.V. Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovacii. 2016. № 3. pp. 49-55.
3. Krasnoshchyokov Yu.V. Stroitel'naya mekhanika i raschyot sooruzhenij. 2007. № 6. pp. 9 - 12.
4. Balamirzoev A.G., Murtuzov M.M., Selimhanov D.N., Dibirova Z.G., Abdullaev A.R. Stroitel'nye materialy i izdeliya. 2021. T. 4. № 2. pp. 29 – 37.
5. Guchkin I.S., Bulavenko V.O. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2012. № 1. pp. 69-74.
6. Lamps B.B., Lamps B.B. Privolzhskij nauchnyj zhurnal. 2023. № 3 (67). pp. 29-33.
7. Kuzin N.Ya., Bagdov S.G. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2012. №2. pp.79-82.
8. Volohovskij V.Yu., Voroncov A.N., Zhirnov A.V., Rudyak A.R. Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2017. № 10. pp. 33-39.
9. Sheina S. G., Vinogradova E.V., Denisenko Yu.S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037
10. Gar'kin I.N., Sabitov L.S., Gajduk A.R., Chirkina M.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8017
11. Garkin I.N., Garkina I.A. Contemporary Engineering Sciences. 2015. Vol.8. №5. pp. 213-217.
12. Evdokimov V.V., Shelyapina G.R. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2020. № 10. pp. 55-59.



13. Petrova I.Yu., Mostovoj O.O. Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspiya: nauchno-tekhnicheskij zhurnal. 2013. № 1 (36). pp. 12-20.

14. Lobov M.I., Chirva A.S., Perevaryuha A.N. Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arhitektury. 2011. № 1 (87). pp. 105-111.

Дата поступления: 1.05.2025

Дата публикации: 25.06.2025