

Совершенствование методов контроля геометрических параметров арматурных стержней периодического профиля

В.Д. Кудрявцева, Е.Г. Курзина, В.А. Ломакин, Мостафа Даваджи Сара,

Чжао Цзылун

Российский университет транспорта РУТ (МИИТ)

Аннотация: Для реализации эффективного сцепления арматуры с бетоном в последнее время разработано большое количество различных типов периодического профиля арматуры, контроль геометрических параметров которых представляет серьезные трудности и допускает большую вероятность ошибки при измерениях. В работе предложен новый метод проведения измерений геометрических параметров, основанный на снятии реплик с поверхности арматуры в разных сечениях по длине стержня. Анализ отпечатков, представленных в развернутом, плоском виде, производят с помощью отсчетно измерительных приборов, что позволяет значительно повысить точность и сопоставимость производимых измерений, в том числе угловых размеров. Применение современных оптических приборов и программного обеспечения к ним способствует сокращению времени определения и визуализации геометрических параметров, повышению точности измерений, которая измеряется в микронах. Анализ полученных результатов показал увеличение точности измерений методом снятия реплик геометрических параметров образцов на 10-16,5 % по сравнению с традиционными методами контроля. Разработанный метод упрощает процесс измерений, допускает применение альтернативных средств измерений, сочетание расчетных и приборных методов измерений.

Ключевые слова: железобетонные изделия, профили арматурных стержней, способы контроля геометрических параметров, метод снятия реплик, повышение точности, достоверности и сопоставимость производимых измерений.

В настоящее время в России и других странах наблюдается значительный рост объемов многоэтажного жилищного строительства, в том числе высотного, новых промышленных зданий и производственных мощностей, возведение высокоскоростных транспортных магистралей на безбалластном пути, мостах, эстакадах. При этом расширилась география строительных работ, которая распространилась на регионы с различными климатическими и геофизическими условиями, в том числе, сейсмоопасные. В связи с этим серьезно возросли нагрузки на железобетонные конструкции, что потребовало армировать бетон высокопрочными арматурными изделиями, обладающими хорошей сцепляемостью с бетоном.

Для реализации эффективного сцепления разработано большое количество различных типов периодического профиля арматуры, контроль геометрических параметров которых представляет серьезные трудности и допускает большую вероятность ошибки при измерениях.

Так, ряд отечественных авторов считает целесообразным замену «европейского» серповидного профиля, имеющего двухрядное расположение поперечных ребер, на новые виды арматурного проката с многорядным расположением поперечных ребер на поверхности [1-2], что усложняет контроль геометрии профиля.

Отечественными учеными представлен универсальный арматурный стержень периодического профиля для изготовления железобетонных конструкций из бетонов всех классов, который имеет сочетание наклонных продольных ребер и поперечных ребер постоянной высоты [3].

Существуют профили арматурных стержней с поперечными ребрами со сложной геометрией в виде пространственных фигур. Одним из таких является арматурный стержень периодического профиля с формой сердечника в виде укороченной гипоциклоиды с четным числом ветвей и наклонными к продольной оси поперечными ребрами на его поверхности. Такая конфигурация позволяет обеспечить при прокатке максимальное заполнение металлом поперечных ребер с получением, нормируемых значений их высоты и необходимого сцепления арматуры с бетоном [4].

Для железобетонных шпал предложен трехсторонний периодический профиль с плавной конфигурацией вмятин, позволяющий снизить образование концентраций напряжений в металле, т.к. шпалы в процессе эксплуатации воспринимают высокие изгибные циклические нагрузки. При этом, качество сцепления зависит от глубины, шага поперечных ребер и глубины вмятин [5, 6].

В последнее время разработаны варианты проволоки с двухсторонним периодическим профилем и трехсторонним – с овальными вмятинами для уменьшения концентраторов напряжений [7, 8].

Белорусские специалисты для увеличения пластических свойств холоднодеформируемой арматуры 8,0 мм разработали четырехсторонний периодический профиль вместо трехстороннего, который позволяет снизить удельные обжатия на валках [9].

Следует отметить, что на геометрические и механические свойства холоднодеформированной арматуры периодического профиля, в том числе деформативные, влияет технологический процесс нанесения профиля и механической правки [10]. Раскатка арматурных заготовок требует повышенного давления валков, которое периодически ослабевает, причем чаще всего неравномерно по сечению прутка, что ведет к искажению профиля, как по сечению, так и по длине, образованию концентраторов напряжений. Особенно чувствительна к таким концентраторам именно напрягаемая высокопрочная арматура, что способствует ее обрыву даже при предварительном напряжении. В результате выходят из строя зажимные приспособления, и нарушается технологический процесс изготовления железобетонного изделия. Наличие концентраторов способствует излому арматурных стержней в процессе эксплуатации под действием статических изгибных и динамических нагрузок, что приводит к снижению прочности всей конструкции, а при достижении максимально допустимых значений изгибных напряжений угрожает дальнейшей безопасной эксплуатации сооружения [11]. Кроме того, процесс разрушения стального арматурного стержня активируется под воздействием коррозионных процессов [12].

Существующие нормативные документы регламентируют только требования к геометрическим параметрам арматуры, а методы их контроля присутствуют выборочно для отдельных характеристик, а остальные

разрабатывают самостоятельно испытательные лаборатории (центры), исходя из имеющихся у них средств измерений и навыков. Поэтому в основном для контроля параметров профиля применяют штангенглубиномеры, микрометры, индикаторы часового типа и др.

Основными проблемами при измерениях являются сложности существующих многочисленных профилей, учет овальности прутка при линейных измерениях, отсутствие специальных средств измерений, что приводит к достаточно большой погрешности получаемых результатов.

В связи с чем в работе [13] для определения геометрических параметров арматуры периодического профиля предложено использование прибора ребер типа RM 201, принцип действия которого основан на оптическом рассмотрении объекта с помощью видеокамер и вывода информации на монитор компьютера. Однако, применения такого прибора достаточно трудоемко и требует высокой квалификации персонала, т.к. связано с точной настройкой прибора при центрировании образца, недопущения совмещения соседних ребер, впадин, постоянным контролем выбранного прибором положения.

Таким образом, актуальность проблемы обусловлена необходимостью совершенствования методов измерения геометрических размеров арматуры со сложным периодическим профилем с целью увеличения точности результатов по всей длине стержня, возможности измерения углов наклона осей, выступов и вмятин, выявления мест геометрических концентраторов напряжений для обеспечения необходимого качества готового изделия, надежного сцепления арматуры с бетоном, повышения долговечности железобетонных конструкций и изделий.

В связи с этим разработана новая методика измерения геометрических параметров сложного арматурного профиля, значительно повышающая точность и достоверность результатов.

В основу методики положено проведение геометрических измерений на репликах, снятых с поверхности арматуры в разных сечениях. Для этого испытуемый образец арматурного стержня предварительно очищают и покрывают разделительным слоем (например, поливиниловым спиртом). После этого накладывают тонкий слой специально разработанного быстросохнущего силиконового покрытия, обладающего хорошей эластичностью и заполняемостью формы. После затвердевания покрытие снимают, распрямляют и размещают на предметном лабораторном стекле (рис.1).



а)



б)

Рис. 1. - Реплика с поверхности арматурного стержня (б) с трехсторонним периодическим профилем (а)

Снятие геометрических параметров отпечатков, представленных в развернутом, плоском виде, производят с помощью отсчетно измерительных приборов: микроскопа Бринелля, металлографического микроскопа и других измерительных микроскопов. По шкале сетки измерительного прибора определяют размеры изображения отпечатка, видимость которого обеспечивает высококачественная просветленная оптика (рис.2).



Рис. 2. - Цифровое изображение геометрии поверхности арматурного стержня с трехсторонним периодическим профилем

При этом, определение шага и ширины вмятин, расстояния между вершинами вмятин двух смежных рядов производят путем непосредственных измерений.

Глубину вмятин можно определить непосредственным измерением на реплике с помощью индикатора часового типа или расчетным методом.

Приближенно можно считать, что вмятины представляют собой эллиптические сегменты.

Как известно, объем эллипсоида равен:

$$V = 4/3 \cdot \pi \cdot a \cdot b \cdot c \text{ или } V = 1/6 \cdot \pi \cdot A \cdot B \cdot C,$$

где V – объем; A и B – оси эллипса (a и b – полуоси эллипса); C – высота эллипсоида (c – половина высоты эллипсоида); π – число Пи, равно $\sim 3,14$.

Номинальный объем эллипсоида можно определить, подставив в формулу номинальные размеры длины, ширины вмятины и ее глубину. Тогда измеренная глубина вмятины составит:

$$a = (A_n \cdot B_n \cdot a_n) / (A \cdot B),$$

где A_n , B_n , a_n – номинальные размеры длины, ширины и глубины вмятины; A и B – измеренные размеры длины и ширины вмятины.

Глубина вмятин « a » пропорциональна объему эллипсоида.

Углы наклона осей вмятин « α » находят по формуле:

$$\alpha = \arcsin \frac{p}{A}$$

где p – длина перпендикуляра, проведенного из конца вмятины (большой полуоси эллипса) к линии, соединяющей противоположные концы данной вмятины и двух соседних; A – длина вмятины (длина большой полуоси эллипса).

Углы наклона кромок вмятин « φ » находят по формуле:

$$\varphi = \arctg \frac{s}{a}$$

где s – видимая ширина кромки вмятины; a – глубина вмятины.

При наличии совершенных оптических приборов и программного обеспечения к ним процесс определения и визуализация геометрических параметров происходит достаточно быстро, а точность может измеряться в микронах. К тому же представляется возможным воспроизвести все сечение профиля, даже трехстороннего, вычислить углы наклона, ширину и длину вмятин, овальность проволок каната, образующаяся после свивки, и другие параметры. Последующий анализ изображений позволит выявить концентраторы напряжений в арматуре, с высокой точностью вычислить площадь поперечного сечения, используемую при расчете напряжений.

Аналогичным образом можно проводить анализ геометрических параметров арматурных изделий с другим профилем (рис.3).

С целью апробации разработанной методики проведены сравнительные измерения геометрических параметров арматурного проката с периодическим профилем, представленного на рис. 1, с помощью измерительных приборов (приборный метод) и методом снятия реплик.



Рис. 3. – Измерение геометрических параметров арматуры с кольцевыми выступами методом снятия реплик

Анализ полученных результатов (рис. 4-7) показал увеличение точности измерений методом снятия реплик геометрических параметров образцов на 10-16,5 % по сравнению с приборным методом.

Кроме того, при приборном измерении ширины и расстояния между вершинами соседних рядов вмятин невозможно учесть овальность профиля поперечного сечения, что ведет к искажению полученных результатов. Шаг вмятин возможно определить только путем сложения результатов двойного механического измерения: ширины вмятины и расстояния между вмятинами в месте их наибольшей ширины, вследствие ограниченности шкалы оптического прибора (МПБ-2), что ведет к увеличению погрешности измерений.

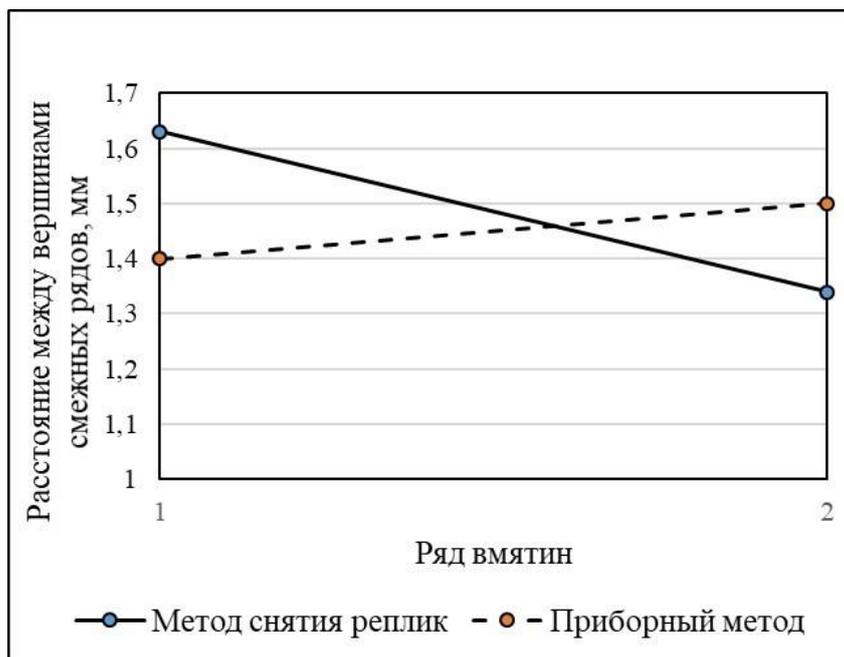


Рис. 4. - Результаты измерений расстояния между вершинами смежных рядов вмятин приборным методом и методом снятия реплик

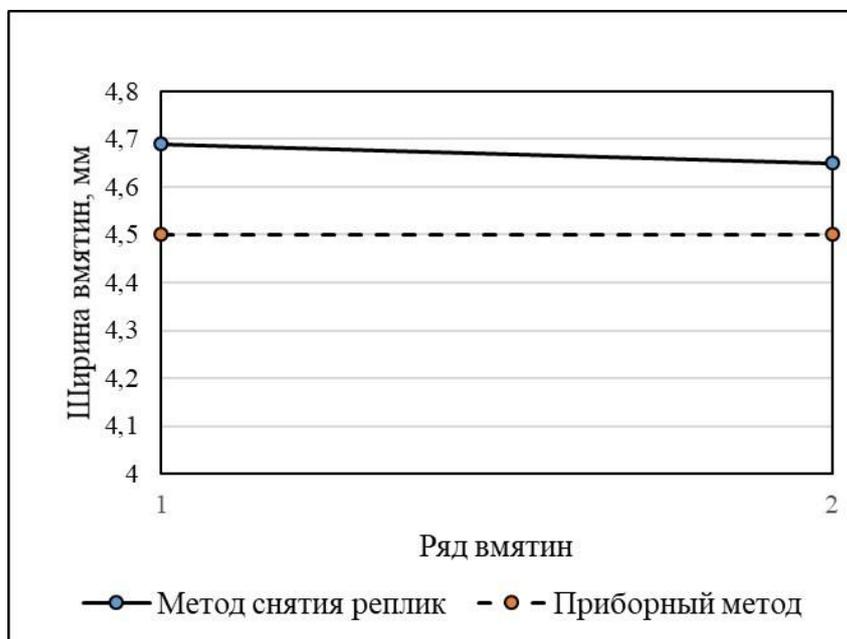


Рис. 5. - Результаты измерений ширины вмятин приборным методом и методом снятия реплик

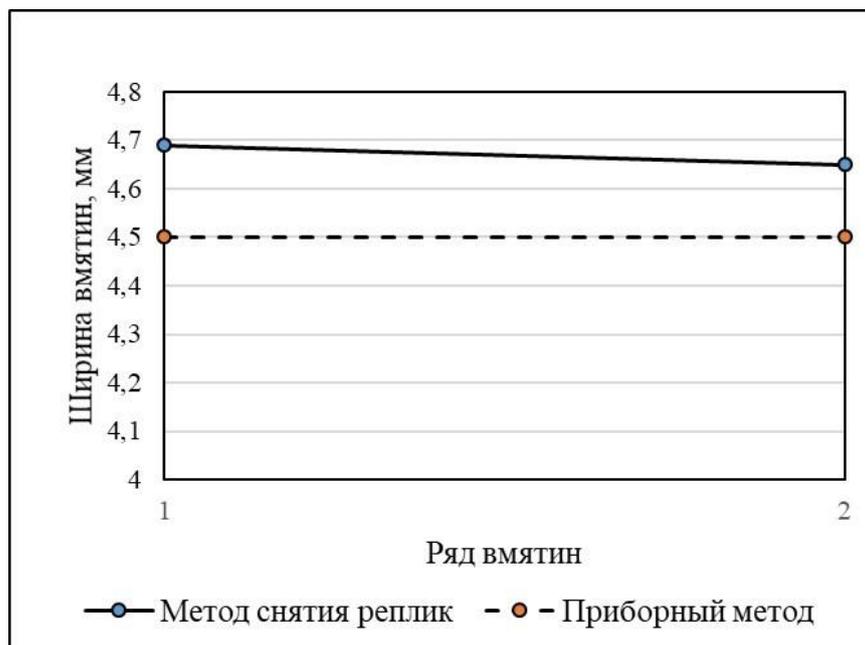


Рис. 6. - Результаты измерений шага вмятин приборным методом и методом снятия реплик

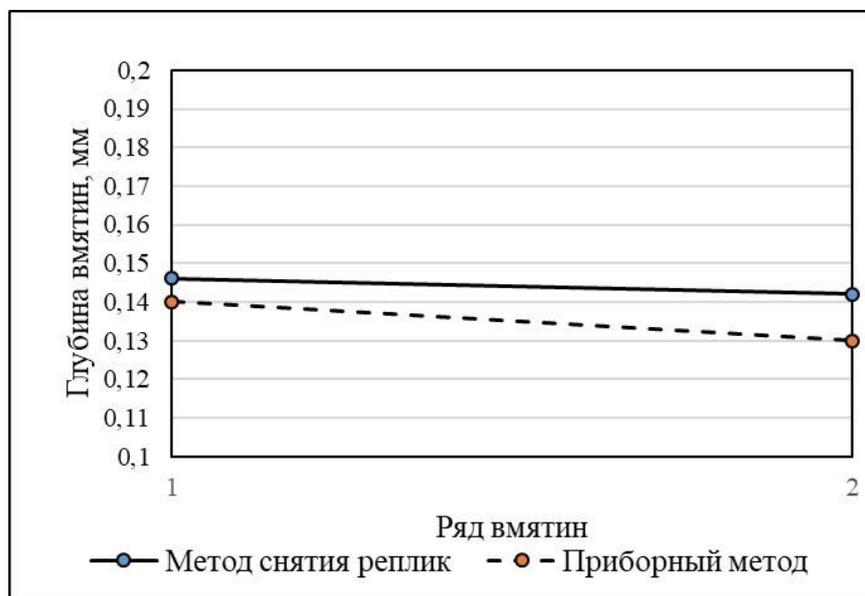


Рис. 7. - Результаты измерений глубины вмятин приборным методом и методом снятия реплик

Метод снятия реплик реализуют на развернутом изображении отпечатка, что позволяет учесть овальность профиля поперечного сечения и повысить точность измерения.

Погрешность измерения глубины вмятин при приборном измерении связана с невозможностью точного центрирования прибора (индикатора часового типа) в месте наибольшей глубины, которая определяется визуально.

Метод снятия реплик допускает определение глубины вмятин как расчётным способом (по соотношению объемов отпечатков вмятин), так и непосредственным измерением. Применение альтернативных методов позволяет значительно повысить качество измерений.

Кроме того, разработанный метод позволяет использовать различные средства измерений, обладающие меньшей погрешностью и возможностью определения каждого показателя (например, шага вмятин) за одно измерение, а также определить угловые параметры периодического профиля.

Заключение

Определение геометрических параметров арматурных стержней с периодическим профилем традиционным способом с помощью измерительных инструментов приводит к снижению точности и несопоставимости результатов измерений, полученных в различных лабораториях.

Разработанный метод (метод снятия реплик) позволяет проводить измерения на развернутом изображении отпечатка, допускает применение альтернативных средств измерений, сочетание расчетных и приборных методов измерений, что значительно повышает точность и сопоставимость производимых измерений, в том числе угловых размеров.

Таким образом, применение нового метода контроля геометрии арматурных стержней способствует своевременному выявлению

концентраторов напряжений, избеганию изломов при натяжении и в процессе эксплуатации, повышению прочности и долговечности всей железобетонной конструкции.

Литература

1. Тихонов И.Н., Копылов И.В. Эффективность производства и применения арматурного проката с новыми видами периодического профиля // Строительные материалы. 2021. № 12. С. 35-47.

2. Мадатян С.А. Свойства арматуры железобетонных конструкций в России на уровне лучших мировых стандартов // Вестник НИЦ Строительство. 2013. № 7-8. С. 101-109.

3. Бедарев В.В., Бедарев Н.В., Бедарев А.В., Звездов А.И. Универсальный арматурный стержень периодического профиля // Патент на изобретение № 2574087 С2 Российская Федерация, МПК E04C 5/03. № 2014115172/03: заявл. 15.04.2014: опубл. 10.02.2016. URL: elibrary.ru/download/elibrary_37830697_21834695.pdf.

4. Тихонов И.Н., Гуменюк В.С. Арматурный стержень периодического профиля // Патент на изобретение № 2283929 С1 Российская Федерация, МПК E04C 5/03: № 2005116893/03: заявл. 02.06.2005: опубл. 20.09.2006. URL: elibrary.ru/download/elibrary_37979286_88377511.pdf.

5. Лебедев В.Н. Опыт освоения производства высокопрочной стабилизированной арматуры для железобетонных шпал нового поколения // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 2. С. 74-76.

6. Lebedev V.N., Chukin M.V., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. Prospects of high-tensile in manufacturing of large diameter wire rod at “MMKMetiz”. — Magnitogorsk Hardware and Sizing Works // CIS Iron and Steel Review. 2011. pp. 18–21.

7. Зайнулин А.И., Харитонов В.А. Состояние и направления развития производства проволоки для армирования бетонных шпал. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. ГИ Носова. 2019. №3(30). С. 23-26.

8. Харитонов В.А., Баймурзина Г.С. Повышение эффективности производства высокопрочной холоднодеформированной арматурной проволоки для армирования предварительно напряженных железобетонных шпал // Современные проблемы и перспективы развития науки, техники и образования. Материалы I Национальной научно-практической конференции: сб. статей. 2020. С. 819-822.

9. Ахметов Т.А., Радкова И.Н., Локтионова Л.В. Современные тенденции в развитии технологии производства холоднодеформированной арматурной стали // Литье и металлургия. 2014. №2. С. 65-67.

10. Локтионова Л.В. Влияние механической правки на геометрические и механические свойства холоднодеформированной арматуры периодического профиля // Литье и металлургия. 2020. № 2. С. 48-52.

11. Бедарев В.В., Бедарев Н.В., Бедарев А.В. Предельные состояния при разрушении прямой анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия. Под редакцией А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы: сб. статей. 2016. С. 41-50.

12. Meet S., Choudhury T., Kwatra N. Investigating the nonlinear performance of corroded reinforced concrete beams // Journal of building engineering. 2021. 44. pp. 102-108.

13. Локтионова Л.В. Опыт использования измерительного прибора ребер типа RM 201 при определении геометрических параметров арматуры периодического профиля // Литье и металлургия. 2018. № 2 (91). С. 82-84.

References

1. Tixonov I.N. Kopylov I.V. Stroitelnye materialy. 2021. № 12. pp. 35-47.
 2. Madatyan S.A. Vestnik NIC Stroitelstvo. 2013. №7-8. pp. 101-109.
 3. Bedarev V.V. Bedarev N.V. Bedarev A.V. Zvezdov A.I. Universalnyj armaturnyj sterzhen periodicheskogo profilya [Universal reinforcing bar of periodic profile] Patent na izobrenie 2574087 C2 Rossijskaya Federaciya MPK E04C 503. 201411517203 zayavl. 15.04.2014 opubl. 10.02.2016. URL: elibrary.ru/download/elibrary_37830697_21834695.pdf.
 4. Tixonov I.N. Gumenyuk V.S. Armaturnyj sterzhen periodicheskogo profilya [Reinforcing bar of periodic profile]. Patent na izobrenie 2283929 C1 Rossijskaya Federaciya MPK E04C 503. 200511689303 zayavl. 02.06.2005 opubl. 20.09.2006. URL: elibrary.ru/download/elibrary_37979286_88377511.pdf.
 5. Lebedev V.N. Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova. 2010. № 2. pp. 74-76.
 6. Lebedev V.N., Chukin M.V., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. Magnitogorsk Hardware and Sizing Works. CIS Iron and Steel Review. 2011. pp. 18–21.
 7. Zajnulin A.I. Xaritonov V.A. Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta im. GI Nosova. 2019. 3(30). pp. 23-26.
 8. Xaritonov V.A. Bajmurzina G.S. Materialy I Nacionalnoj nauchno-prakticheskoy konferencii sb. statej. 2020. pp. 819-822.
 9. Axmetov T.A. Radkova I.N. Loktionova L.V. Lite i metallurgiya. 2014. №2. pp. 65-67.
 10. Loktionova L.V. Lite i metallurgiya. 2020. 2. pp. 48-52.
 11. Bedarev V.V. Bedarev N.V. Bedarev A.V. Sovremennye problemy rascheta zhelezobetonnyx konstrukcij zdaniy i sooruzhenij na avarijnye vozdejstviya. Pod redakciej A.G. Tamrazyana D.G. Kopanicy sb. statej. 2016. pp. 41-50.
-



12. Meet S., Choudhury T., Kwatra N. Journal of building engineering. 2021. №44. pp. 102-108.
13. Loktionova L.V. Litje i metallurgiya. 2018. №2 (91). pp. 82-84.

Дата поступления: 22.04.2024

Дата публикации: 2.06.2024