

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 3. С. 170–182.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (3): 170–182.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 539.387.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-170-182

EDN: ZNQACW

ВЛИЯНИЕ ИЗГИБА АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ С ПОСЛЕДУЮЩИМ РАЗГИБОМ НА ИХ ПРОЧНОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

**Андрей Сергеевич Пляскин, Андрей Вадимович Матвеев,
Анна Игоревна Бабарыкина, Виолетта Николаевна Коньшева**
*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. Рассматривается влияние начального изгиба и последующего разгиба арматурных стержней на механические характеристики стали.

Актуальность. Данная проблема актуальна в практике строительства монолитных железобетонных конструкций, т. к. при производстве работ часто возникают ситуации, в которых отдельные арматурные стержни каркасов получают начальный изгиб, и возникает вопрос о возможности их дальнейшего использования.

Цель исследования. Определение возможности применения арматурных стержней с начальным изгибом и последующим разгибом для железобетонных конструкций при варьировании параметрами начального изгиба.

Результаты. По результатам экспериментальных исследований приведен сравнительный анализ механических характеристик образцов арматурных стержней, испытанных на растяжение на разрывной машине при варьировании начального диаметра загиба. Результаты испытаний позволяют сделать вывод о возможности дальнейшего использования арматурных стержней, подверженных однократному изгибу и обратному разгибу без снижения прочностных характеристик стали.

Ключевые слова: арматурные стержни, железобетонные конструкции, начальный изгиб, прочность на растяжение, повторное применение

Для цитирования: Пляскин А.С., Матвеев А.В., Бабарыкина А.И., Коньшева В.Н. Влияние изгиба арматурных стержней с последующим разгибом на их прочность при растяжении // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 3. С. 170–182. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-170-182. EDN: ZNQACW

ORIGINAL ARTICLE

TENSILE STRENGTH OF REINFORCING BARS AFTER BENDING-UNBENDING

Andrei S. Plyaskin, Andrei V. Matveev,
Anna I. Babarykina, Violetta N. Konysheva

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract: The article studies the influence of bending and unbending of reinforcing bars on the mechanical properties of steel bars. This problem is relevant in the practice of constructing monolithic reinforced concrete structures, since reinforcing bars are often subjected to initial bending. The question arises about their further use. Based on the results obtained, a comparative analysis of the mechanical properties is presented for reinforcing bars after tensile strength testing with varying the initial bend diameter. According to this testing, it is possible to further use these reinforcing bars after single and reverse bending without reducing the strength properties of the steel.

Keywords: reinforcing bars, reinforced concrete structures, initial bending, tensile strength, reuse

For citation: Plyaskin A.S., Matveev A.V., Babarykina A.I., Konysheva V.N. Tensile strength of reinforcing bars after bending-unbending. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2024; 26 (3): 170–182. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-170-182. EDN: ZNQACW

Введение

В практике производства железобетонных конструкций часто возникают случаи появления начального изгиба как отдельных арматурных стержней, так и групп стержней, составляющих арматурный каркас.

Появление начального изгиба, как правило, связано с нарушением технологии производства строительно-монтажных работ (СМР), ошибками в проектно-сметной документации (ПСД), несоблюдением условий транспортировки, хранения и в связи с влиянием прочих неучтенных факторов. Кроме того, необходимость повторного использования арматуры обусловлена потребностью в сохранении основных ресурсов и энергии при изготовлении или переработке стальной арматуры. В большинстве случаев повторного применения арматуры будут иметь место начальные деформации.

Современные методы правки арматурных стержней [1] не способны вернуть им первоначальную геометрию, что приводит к отклонениям механических характеристик арматуры от стандартных значений. Поэтому надежность строительных конструкций зданий и сооружений, изготовленных с применением изначально изогнутой или повторно используемой выпрямленной арматуры, остаётся под сомнением. Фактические механические характеристики такой арматуры не изучены в полной мере, позволяющей сделать окончательный вывод о возможности ее повторного применения.

Обзор исследований в области влияния изгиба арматурных стержней на их механические характеристики

Анализ базы современных отечественных нормативно-технических документов показал, что в существующих технических регламентах присутству-

ет только информация о возможности использования согнутой арматуры для изготовления арматурных каркасов. При этом устанавливается только ограничение на минимальные радиусы изгиба в зависимости от диаметра арматурных стержней. Влияние сгиба с последующим разгибом (выпрямлением) арматурных стержней на механические характеристики стали в технических регламентах не оговорено, а также не стандартизированы пределы допустимых параметров изгиба и разгиба.

В зарубежной практике известны случаи повторного применения арматурных стержней, сопряженного с технологическими операциями по их чистке и правке, поэтому проведен тщательный поиск научных статей по данной тематике в зарубежных источниках. Приведем основные положения и результаты этих исследований.

Исследователи из корейского института провели испытания стальных стержней, которые показали, что в результате изгиба и последующего разгиба арматуры прочность стержней увеличивается, при этом наблюдается снижение предела текучести [2].

Индонезийскими учёными были проведены экспериментальные исследования возможности повторного применения арматурных стержней диаметром от 16 до 32 мм с углом сгиба в 180° [3]. Визуальным осмотром установлено отсутствие трещин или сколов после испытаний. Однако в процессе изгиба и последующего разгиба выявлены изменения в материале, влияющие на прочностные характеристики арматурных стержней. Испытания в несколько циклов изгиба и обратного выгиба стержней диаметром 8, 10 и 12 мм показали, что с увеличением диаметра арматуры влияние разгиба возрастает. В частности, относительное удлинение с каждым циклом изгиба-разгиба уменьшается, а прочность на растяжение снижается, и для больших диаметров момент полного разрушения наступает раньше. Для арматуры диаметром 8 мм было установлено значение в четыре цикла, а для диаметров в 10 и 12 мм – три цикла, после которых образец полностью разрушался. Тем не менее значение предела прочности стали, установленное после одного цикла, показало незначительное снижение (от 1 до 3 %) по сравнению с эталонными (недеформированными) образцами [4]. Вывод о незначительном снижении предела прочности стержней сделали и учёные из Кении [5].

Транспортный центр штата Вашингтон (TRAC) представил результаты экспериментальных исследований [6] для арматуры различных диаметров при «холодном» и «горячем» изгибе, на основании которых даны рекомендации для допустимого выгиба арматуры в полевых условиях. Так, если диаметр арматуры превышает 14 мм, то выгиб арматуры в полевых условиях не допускается.

Результат выпрямления арматуры зависит не только от её диаметра, но также и от химического состава материала, диаметра изгиба, температуры при изгибе и выпрямлении. Кроме того, при случайном повреждении арматуры её изгиб может произойти в любом направлении. Поэтому при проведении экспериментальных исследований необходимо учитывать ось изгиба арматуры. В зарубежных источниках выделяют две оси арматуры: слабую – с продольным ребром на нейтральной оси стержня и сильную – с продольным ребром по краям стержня при изгибе. Так, исследование, опубликованное Concrete

Reinforcing Steel Institute (CRSI) в 1982 г. [7], показало, что арматура диаметром 5 и 8 мм может быть изогнута, а затем выпрямлена при комнатной температуре без значительного снижения прочности и появления трещин. Для большего диаметра, равного 11 мм, критичным является изгиб вокруг сильной оси, при котором возрастает вероятность разрушения образца.

Экспериментальные исследования возможности повторного применения арматурных стержней после демонтажа железобетонных конструкций приведены в работе [8]. Исследование показало, что арматурные стержни, извлеченные при демонтаже железобетонных конструкций, после очистки и правки обеспечили необходимое усилие сцепления арматуры с бетоном и могут быть повторно использованы в качестве рабочей арматуры. Арматурные стержни диаметром до 24 мм могут быть успешно изогнуты и обратно выгнуты в полевых условиях, но прутки большего диаметра будут сохранять свои свойства только при гибке с применением нагрева.

Для достижения экономического эффекта, при использовании транспортными средствами ограниченных габаритов, за счет загиба и уменьшения длины арматурных стержней были проведены исследования о влиянии угла загиба арматурного стержня на показатели пределов прочности, текучести и пластичности [9]. В результате испытаний было выявлено, что после изгиба прочность стержней возросла, при этом пластичность арматуры снизилась. Изгиб стержня на 180° привёл к увеличению предела текучести на 14 % и предела прочности на 7 %.

Экспериментальные исследования возможности повторного применения демонтированной арматуры затрагивают также надежность сцепления с бетоном. В испытаниях, проведенных зарубежными исследователями, использовали очищенную и выпрямленную арматуру диаметром 12, 14 и 16 мм и бетон прочностью на сжатие 20 и 35 МПа. В результате испытаний на отрыв повторно используемая арматура показала достаточность усилия сцепления с бетоном, поэтому она может быть повторно применяться в несущих конструкциях [10].

По данным сайта [statista.com](https://www.statista.com), в период с 2011 по 2022 г. мировое производство стали выросло на 20 %: 2012 г. – 1563 млн т за год, 2022 г. – 1885 млн т. В связи с таким интенсивным ростом потребности стали все чаще ставится вопрос о повторном применении арматуры в целях экономии природных ресурсов и снижения негативного воздействия на окружающую среду [11, 12, 13, 14].

Цель и задачи проведенных исследований

В проведенных исследованиях, отраженных в настоящей статье, поставлена следующая цель: определение возможности применения арматурных стержней с начальным изгибом и последующим разгибом для железобетонных конструкций при варьировании параметрами начального изгиба. Основными задачами исследования являются:

- подготовка образцов арматурных стержней с начальным изгибом при варьировании радиуса начального изгиба;
- проведение механических испытаний этих образцов на растяжение после разгиба;

- проведение механических испытаний эталонных (недеформированных) образцов арматурных стержней;
- выполнение сопоставительного анализа механических характеристик арматурных стержней с начальным изгибом и последующим разгибом с механическими характеристиками эталонных стержней.

Описание проведенных исследований и полученных результатов

Параметры начального изгиба арматурных стержней были установлены на основании реальной ситуации, произошедшей при изготовлении арматурного каркаса на одной строительной площадке Томской области. Подготовленный для бетонирования железобетонной несущей конструкции арматурный каркас деформировало вследствие воздействия неучтенного ураганного ветра и недостаточного раскрепления арматурного каркаса при монтаже. Проведено первичное визуальное обследование деформированного каркаса, которое показало потерю устойчивости двух параллельных продольных граней каркаса относительно продольной и поперечной осей. Общий вид полученных деформаций каркаса представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид деформации арматурного каркаса:

a – по продольной оси; *б* – по поперечной оси

Fig. 1. General view of of reinforcement bar deformation:

a – along the longitudinal axis; *b* – along the transverse axis

Визуальный осмотр бетона у основания арматурного каркаса на участках анкеровки арматурных стержней не выявил никаких дефектов, трещины в бетоне, вспучивания и другие признаки нарушения целостности бетонного

массива отсутствовали. Это позволило сделать вывод о целостности анкеровки арматуры в теле бетона. Визуальная и приборная дефектоскопия мест загибов арматурных выпусков также не обнаружила трещин и переломов арматуры. Оставалось решить вопрос о возможности использования погнутых арматурных выпусков при замене каркаса на новый. Для этого выполнены подробные инструментальные обмеры геометрии выпусков арматуры в деформированном состоянии.

Измерение углов и радиусов загиба арматурных выпусков в узлах анкеровки показало, что в большинстве случаев рабочие стержни арматуры имеют незначительные загибы, не превышающие нормативные значения угла и диаметра оправки (рис. 2). В соответствии с п. 8.3.30 СП 52-101–2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры» разрешается применение гнутой арматуры (отгибы, загибы концов стержней) минимальным диаметром оправки $d_{оп}$ для стержней периодического профиля $d_{оп} = 8d_s$ при $d_s \geq 20$ мм. Следует отметить, что в действующей нормативно-технической документации отсутствуют требования и ограничения относительно параметров начального изгиба с последующим выгибом, которые могли бы предъявляться к арматуре для железобетонных конструкций.



Рис. 2. Определение угла загиба арматурного выпуска:

a – по цифровой оси; *б* – по буквенной оси

Fig. 2. Detection of the bend angle of the protruding bar:

a – along the numerical axis; *b* – along the letter axis

Максимальные деформации выявлены у двух арматурных выпусков, у которых угол загиба составил 135° , а радиусы загиба – 49 и 52 мм (рис. 3).

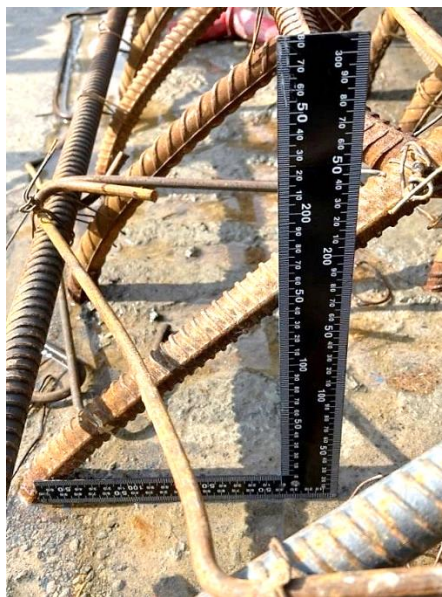


Рис. 3. Арматурный выпуск с углом загиба 135° и радиусом загиба 49 мм

Fig. 3. Protruding bar with a 135° bend angle and 49 mm bend radius

Для оценки влияния обратного выгиба на механические характеристики арматурных стержней диаметром 25 мм класса А400 проведены лабораторные исследования трех серий стержней с углами загиба 130 – 138° и радиусами загиба 20, 40, 90 мм. Опытные образцы серий с радиусами загиба 20, 40 и 90 мм и соответствующими углами загиба представлены на рис. 4–6, всего было испытано девять опытных образцов. Помимо этого, для сопоставительного анализа и выявления возможного ухудшения механических характеристик стали исследуемых образцов были выполнены испытания трех эталонных (недеформированных) образцов.

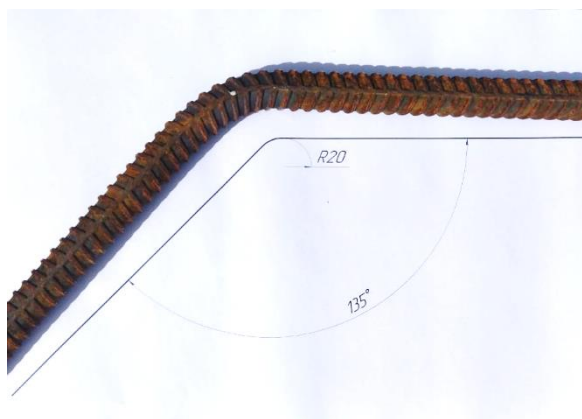


Рис. 4. Опытный образец с радиусом загиба 20 мм и углом загиба 135°

Fig. 4. A sample with 20 mm bend radius and 135° bend angle

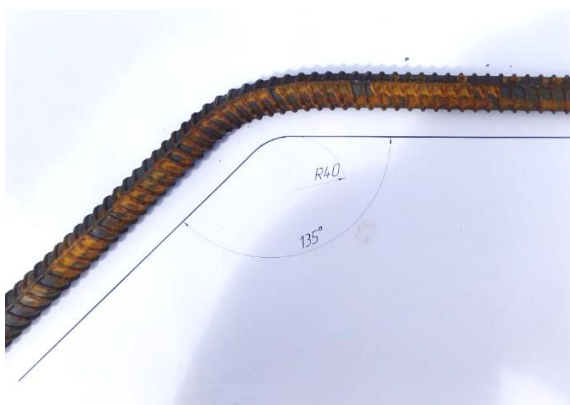


Рис. 5. Опытный образец с радиусом загиба 40 мм и углом загиба 135°

Fig. 5. A sample with 40 mm bend radius and 135° bend angle

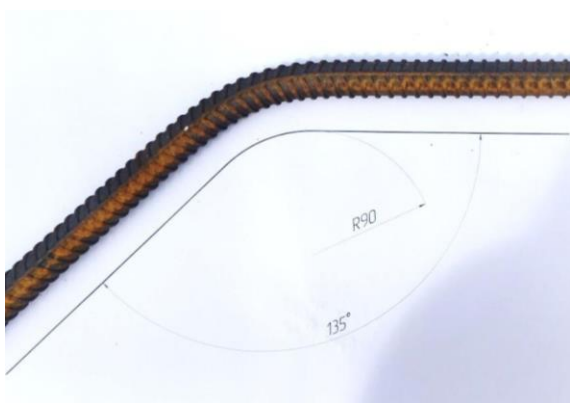


Рис. 6. Опытный образец с радиусом загиба 90 мм и углом загиба 135°

Fig. 6. A sample with 90 mm bend radius and 135° bend angle

После загиба опытных арматурных стержней выполнялся обратный выгиб без использования предварительного нагрева и без последующей правки. Далее была проведена визуальная диагностика на соблюдение требований п. 5.7.4 ГОСТ 34028–2016, в котором указано, что после испытаний проката на изгиб с разгибом на образцах не должно быть трещин и разрывов, видимых без применения увеличительных приборов. По результатам диагностики было констатировано, что указанные дефекты отсутствуют полностью.

В зарубежных технических регламентах следует отметить наличие требований к арматуре относительно параметров начального изгиба с последующим выпрямлением. Согласно п. 17.2.3.1 Австралийского стандарта железобетонных конструкций AS 3600, арматура, которая была согнута, а затем выпрямлена или согнута в обратном направлении, не должна снова изгибаться в пределах 20 диаметров стержня от предыдущего изгиба. Данное требование должно исключить возможность деформационного упрочнения стержня и последующей потери пластичности. Также вводится требование на недопустимость перегиба стержней сверх исходного изгиба, не более 90°. Кроме того,

если рассматривается возможность обратного выгиба стержней, залитых в бетон, то в первую очередь арматуру следует очистить [15].

Испытания серий опытных арматурных стержней проведены в соответствии с ГОСТ 12004–81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение». Общий вид образцов после обратного выгиба показан на рис. 7.

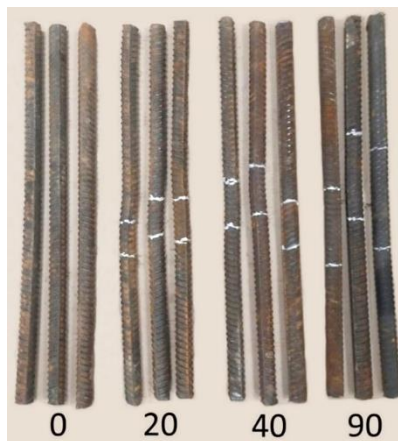


Рис. 7. Общий вид опытных образцов после обратного выгиба (цифрами обозначен радиус загиба, 0 – эталонные стержни)

Fig. 7. General view of samples after unbending (numbers indicate bending radius, 0 – reference rods)

Основные значения механических характеристик, полученные по результатам проведенных испытаний опытных стержней на растяжение, приведены в таблице. Общий вид арматурных стержней после испытаний представлен на рис. 8. По визуальным признакам характер разрушения опытных образцов всех трех серий соответствует характеру разрушения эталонных опытных образцов.



Рис. 8. Общий вид образцов после испытаний

Fig. 8. General view of samples after testing

Механические характеристики, полученные по результатам проведенных испытаний опытных стержней на растяжение

Mechanical properties after tensile strength testing

Образец №	Радиус загиба, мм	Угол загиба, град	Разрывное усилие, Н	Временное сопротивление σ_b , Н/мм ² ГОСТ 34028–2016	Фактическое временное сопротивление σ_b , Н/мм ²
1	–	–	328 980	590	670
2	–	–	317 580	590	650
3	–	–	316 750	590	650
4	20	135	333 020	590	680
5	20	130	309 980	590	630
6	20	133	327 670	590	670
7	40	135	337 850	590	690
8	40	134	313 460	590	640
9	40	135	316 060	590	640
10	90	138	325 020	590	660
11	90	135	322 200	590	660
12	90	132	303 320	590	620

Согласно п. 5.6.1 ГОСТ 34028–2016, механические свойства проката при температуре испытания (20^{+15}_{-10}) °С и стандартной категории пластичности должны соответствовать нормам, указанным в табл. 5 ГОСТ 34028–2016.

Для сопоставления данных в вышеприведенной таблице указано нормативное значение временного сопротивления σ_b (из табл. 5 ГОСТ 34028–2016), которое для испытанной арматуры класса А400 составляет 590 МПа. Проанализировав данные составленной таблицы, заключаем, что фактические значения временного сопротивления трех серий опытных образцов и эталонных (недеформированных) образцов не ниже нормативных значений. Превышение фактического значения временного сопротивления относительного нормативного значения для эталонных образцов в среднем составляет 11,3 %. Для опытных образцов с начальным изгибом и последующим обратным выгибом превышение фактического значения временного сопротивления находится в диапазоне от 5,1 до 17 %. Остальные механические характеристики, такие как предел текучести и относительное удлинение, для всех испытанных образцов оказались не ниже нормативных значений. Соответственно, полученные опытным путем механические характеристики испытанных образцов удовлетворяют требованиям ГОСТ 34028–2016.

Сравнение частных значений временного сопротивления эталонных образцов и образцов трех серий показывает их незначительное расхождение, которое составляет от 3,6 % в сторону понижения, до 5,6 % в сторону повышения.

Выводы

Проведенные испытания показали, что разрушающая нагрузка при растяжении для всех арматурных стержней не превысила нормативное значение.

Прочность при растяжении арматурных стержней А400 диаметром 25 мм с начальным изгибом и последующим обратным выгибом для радиусов загиба от 20 до 90° с углом загиба 135° удовлетворяет требованиям ГОСТ 34028–2016. Для вышеописанного случая деформации арматурных каркасов на основании результатов экспериментальных исследований было выдано положительное заключение о возможности дальнейшего использования арматурных выпусков после правки стержней в проектное положение.

Кроме того, следует отметить необходимость соблюдения требований технических регламентов при правке погнутых стержней. Например, изгиб или повторный изгиб арматурных стержней следует выполнять с помощью специальных гибочных инструментов. Не допускается применение молотков и не рекомендуется применять трубы для гибки арматуры, т. к. это может привести к получению неконтролируемого диаметра изгиба или повреждению стержня. Однако трубы диаметром не менее $2d_b$ могут быть использованы для выпрямления ранее согнутого стержня при условии, что они имеют длину не менее 1,2 м. Требуемое усилие прикладывается равномерно вдоль стержня, а изгиб выполняется одним плавным непрерывным действием.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Deepu S., Vishnu R.S., Harish M., Bhavani R. An Experimental Study of Force Involved in Manual Rebar Bending Process // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2018. V. 310. № 1. P. 012050. DOI: 10.1088/1757-899X/310/1/012050
2. Chun S., Tak S., Ha T. Mechanical Properties and Stress-Strain Model of Re-Bars Coldly Bent and Straightened // Journal of The Korea Concrete Institute. 2012. V. 24. № 2. P. 195–204. DOI: 10.4334/JKCI.2012.24.2.195
3. Warsianto H., Narayudha M. Bending of reinforcing bars testing method and influence on structures // Teknik. 2012. V. 30. № 2. P. 79–82.
4. Domski J., Katzer J., Zakrzewski M. Mechanical characteristics of used bent rebars as a factor limiting their reuse. Koszalin University of Technology, Poland, 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/305327344_Mechanical_characteristics_of_used_bent_rebars_as_a_factor_limiting_their_reuse/references
5. Mwero J., Ochieng S.A. Residual Strength of Reworked Steel Reinforcement Bars // International journal of scientific and research publications. 2018. V. 8. № 6. DOI: 10.29322/IJSRP.8.6.2018.P7811
6. Babaei K., Hawkins N.M. Development of standard specifications for bending/straightening concrete reinforcing steel // Washington State Department of Transportation. Technical Report № WA-RD 216.1, 1991. URL: <https://depts.washington.edu/trac/bulldisk/pdf/216.1.pdf>
7. Stecich J., Hanson J.M., Rice P.F. Bending and Straightening of Grade 60 Reinforcing Bars // Concrete International: Design & Construction. 2008. V. 7. № 3. P. 14–23.
8. Bsisu K.A.-D., Salem Z.A. Recycling of Steel Bars from Demolished Structures // International Journal of Engineering Research and Technology. 2020. V. 13. № 1. P. 94–99.
9. Ikhwan K.S., Dalil M. Effect of Bending and Straightening to the Strength of Reinforcement Steel Bar // Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace. Science and Engineering. 2015. V. 15. P. 12–17.
10. Khair Al-Deen Bsisu, Zaydoun Abu Salem. Recycling of Steel Bars from Demolished Structures // International Journal of Engineering Research and Technology. 2020. V. 13. № 1. P. 94–99.
11. Molina-Moreno F., Marti J., Yepas V., Ciroth A. Environmental impact shares of a reinforced concrete earthretaining-wall with buttresses // Proceedings of International Structural Engineering and Construction. 2017. V. 4. № 1. DOI: 10.14455/ISEC.res.2017.78

12. Олейник С.П. Строительные отходы при реконструкции зданий и сооружений // Отходы и ресурсы : интернет-журнал. 2016. Т. 3. № 2. DOI: 10.15862/02RRO216
13. Kim S., Kim. S.-A. Framework for Designing Sustainable Structures through Steel Beam Re-use // Sustainability (Multidisciplinary Digital Publishing Institute). 2020. V. 12. № 22. P. 9494. DOI: 10.3390/su12229494
14. Lapko A., Grygo R. Effectiveness of the use of recycling aggregate concrete for sustainable building structures // Rocznik Ochrona Srodowiska. 2014. V. 16. P. 627–638.
15. Bending Reinforcement On Site. Steel reinforcement institute of Australia. Concrete in Australia. 2016. V. 42. № 4. URL: <https://www.sria.com.au/publication-concrete-in-australia>

REFERENCES

1. Deepu S., Vishnu R.S., Harish M., Bhavani R. An experimental study of force involved in manual rebar bending process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 310 (1): 012050. DOI: 10.1088/1757-899X/310/1/012050
2. Chun S., Tak S., Ha T. Mechanical properties and stress-strain model of re-bars coldly bent and straightened. *Journal of The Korea Concrete Institute*. 2012; 24 (2): 195-204. DOI: 10.4334/JKCI.2012.24.2.195
3. Warsianto H., Narayudha M. Bending of reinforcing bars testing method and influence on structures. *Teknik*. 2012; 30 (2): 79–82.
4. Domski J., Katzer J., Zakrzewski M. Mechanical characteristics of used bent rebars as a factor limiting their reuse. Koszalin University of Technology. Poland, 2016. Available: www.researchgate.net/publication/305327344_Mechanical_characteristics_of_used_bent_rebars_as_a_factor_limiting_their_reuse/references
5. Mwero J., Ochieng S.A. Residual strength of reworked steel reinforcement bars. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2018; 8 (6). DOI: 10.29322/IJSRP.8.6.2018.P7811
6. Babaei K., Hawkins N.M. Development of standard specifications for bending/straightening concrete reinforcing steel. Washington State Department of Transportation. Technical Report No. WA-RD 216.1, 1991. Available: <https://depts.washington.edu/trac/bulkdisk/pdf/216.1.pdf>
7. Stecich J., Hanson J.M., Rice P.F. Bending and straightening of grade 60 reinforcing bars. *Concrete International: Design and Construction*. 2008; 7 (3): 14–23.
8. Bsisu K.A-D., Salem Z.A. Recycling of steel bars from demolished structures. *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2020; 13 (1): 94–99.
9. Ikhwan K.S., Dalil M. Effect of bending and straightening to the strength of reinforcement steel bar. *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace. Science and Engineering*. 2015; 15: 12–17.
10. Khair Al-Deen Bsisu, Zaydoun Abu Salem. Recycling of steel bars from demolished structures. *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2020; 13 (1): 94–99.
11. Molina-Moreno F., Marti J., Yepas V., Ciroth A. Environmental impact shares of a reinforced concrete earth retaining-wall with buttresses. *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*. 2017; 4 (1). DOI: 10.14455/ISEC.res.2017.78
12. Oleinik S.P. Construction waste during the reconstruction of buildings and structures. *Otkhody i resursy*. 2016; 3 (2). DOI: 10.15862/02RRO216 (In Russian)
13. Kim S., Kim. S.-A. Framework for designing sustainable structures through steel beam reuse. *Sustainability (Multidisciplinary Digital Publishing Institute)*. 2020; 12 (22): 9494. DOI: 10.3390/su12229494
14. Lapko A., Grygo R. Effectiveness of the use of recycling aggregate concrete for sustainable building structures. *Rocznik Ochrona Srodowiska*. 2014; 16: 627–638.
15. Bending Reinforcement on Site. Steel reinforcement institute of Australia. Concrete in Australia V42 N4. 2016. Available: www.sria.com.au/publication-concrete-in-australia

Сведения об авторах

Пляскин Андрей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, plyaskinandrei@mail.ru

Матвеев Андрей Вадимович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, andrsv2000@rambler.ru

Бабарыкина Анна Игоревна, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, babarykina.anna.i@yandex.ru

Коньшева Виолетта Николаевна, студентка, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, konysheva03@bk.ru

Authors Details

Andrei S. Plyaskin, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, plyaskinandrei@mail.ru

Andrei V. Matveev, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, andrsv2000@rambler.ru

Anna I. Babarykina, Graduate Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, babarykina.anna.i@yandex.ru

Violetta N. Konysheva, Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, konysheva03@bk.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 18.04.2024
Одобрена после рецензирования 26.04.2024
Принята к публикации 29.04.2024

Submitted for publication 18.04.2024
Approved after review 26.04.2024
Accepted for publication 29.04.2024