

УДК 691.175

© В. Д. Староверов, канд. техн. наук, доцент

© Р. В. Бароев, студент

© А. А. Цурупа, студент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

© А. К. Кришталевиц, инженер по конструкциям
(SWECO Finland)

E-mail: tsmm@spbgasu.ru, alexey.krishtalevich@gmail.com

© V. D. Staroverov, PhD in Sci. Tech, Associate Professor

© R. V. Baroev, student

© A. A. Tsurupa, student

(Saint-Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

© A. K. Krishtalevich, structural engineer
(SWECO Finland)

E-mail: tsmm@spbgasu.ru, alexey.krishtalevich@gmail.com

КОМПОЗИТНАЯ АРМАТУРА: ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ

FIBER-REINFORCED POLYMER REINFORCEMENT: THE PROBLEMS OF APPLICATION

Рассмотрена полимеркомпозитная арматура (ПКА). Даны определения и представлена информация о типах ПКА, используемых на территории РФ. Проанализированы свойства ПКА, ее достоинства и недостатки, особенности совместной работы с бетоном. Сделан обзор российской и зарубежной нормативной литературы. Проведен анализ и сравнение цен на полимеркомпозитную и стальную арматуру. Рассмотрены механические и физические характеристики ПКА: предел прочности, модуль упругости, средняя плотность, термостойкость. Даны рекомендации по применению ПКА.

Ключевые слова: полимеркомпозитная арматура, композитная арматура, ПКА, стеклопластиковая арматура, базальтопластиковая арматура, стальная арматура, предел прочности, расчетное сопротивление, модуль упругости, Еврокоды.

The paper presents survey of polymer composite reinforcement (PCR) solutions for concrete. General information of PCR types used in Russian Federation is given including definitions. Properties and unique features of the joint action with concrete are evaluated. A review of international and RF standards and regulations in regard to PCR is provided. An overview of advantages and disadvantages of PCR technologies is presented. Cost analysis and price comparison for PCR solution and steel reinforcement is made. Mechanical and physical characteristics, such as critical stress, modulus of elasticity, own weight and temperature resistance, are examined. Practice guidance and recommendations in regard of the PCR application are given.

Keywords: fiber-reinforced polymer bar, polymer composite reinforcement, composite reinforcement, PCR, fiberglass reinforcement, basalt fiber reinforcement, steel reinforcement, critical stress, modulus of elasticity, Eurocodes.

Случайно созданный в середине XIX в. материал, в котором были объединены сталь и бетон, принципиальным образом изменил развитие строительной науки и техники. К первой трети XX в. железобетон завоевал лидирующие позиции в строительстве и до сих пор остается основным современным конструкционным материалом, без которого крайне трудно будет обойтись даже в обозримом будущем.

Огромное количество теоретических и практических исследований, множество возведенных зданий и сооружений, — все это свидетельства высокой эффективности совместной работы

стали и бетона, обусловленной близкими значениями коэффициентов линейного термического расширения и значительными силами сцепления, возникающими при твердении бетона и дополнительном обжатии вследствие контракции цементного камня. В результате два разнородных материала работают в железобетонных элементах как единое целое. Кроме того, доказано, что бетон на основе цемента — мощнейший коррозионный пассиватор металла арматуры, обеспечивающий также дополнительную ее защиту от огня [1–3].

Строительная практика показала, что железобетон обладает рядом недостатков, вызванных

некоторыми особенностями арматурной стали (низкой коррозионной стойкостью; большим собственным весом; весьма низкой прочностью в сравнении со средней плотностью), которые ограничивают срок службы и удобство применения железобетона. В связи с этим в настоящее время ведутся исследования по разработке нового материала, не имеющего недостатков арматурной стали, но обладающего всеми ее преимуществами. Альтернативой стальной арматуре, как заявляют изобретатели, должна стать композитная (полимеркомпозитная) арматура.

Полимеркомпозитная арматура (ПКА) — материал сравнительно новый, хотя первые упоминания о нем относятся ко второй половине XX в., а исследования по созданию высокопрочной неметаллической арматуры, изучению ее свойств и рациональной области использования были начаты в СССР и США еще в 1960-х гг. Позже в ряде других стран (Япония, ФРГ, Великобритания, Канада) ПКА довольно успешно была внедрена на некоторых объектах нового строительства, однако широкого применения до сих пор не нашла из-за некоторых сдерживающих факторов, которые и будут рассмотрены в настоящей статье.

На строительном рынке России сегодня работает более 50 производителей ПКА, ведущих довольно агрессивные рекламные кампании, которые дают свой эффект: даже в среде профессионалов-строителей возникает сомнение в обоснованности использования проверенной временем стальной арматуры. При этом немаловажно, что конкретной информации о физико-механических свойствах ПКА крайне мало, а по запросу «композитная арматура» интернет-поисковик выдает несколько тысяч ссылок с рекламой и общей информацией о материале и производителях. Производители заявляют, что ПКА прочнее, надежнее и дешевле, чем стальная арматура. Действительно ли ПКА идеально подходит для изготовления армированных изделий и конструкций на основе бетона? Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Композитная арматура (англ. — fibre-reinforced plastic rebar, fiber-reinforced polymer bars, FRP rebar) представляет собой полимерную матрицу, объединяющую армирующие волокна в виде неметаллических стержней из стеклянных,

базальтовых, углеродных, арамидных (ароматических полиамидных) и других материалов.

Матричный материал — различные полимеры: *термореактивные* (в процессе изготовления ПКА структурируются и необратимо переходят в твердое состояние) и *термопластичные* (при нагревании обратимо переходят в вязкотекучее состояние, пропитывая армирующие волокна). Реже применяются так называемые *гибридные* полимеры — сочетание термореактивных и термопластичных.

Классификация ПКА по типу непрерывного армирующего волокна:

- стеклокомпозитная (АСК);
- базальтокомпозитная (АБК);
- углекомпозитная (АУК);
- арамидокомпозитная (ААК);
- комбинированная композитная (АКК).

В практике российского производства в силу экономических особенностей наиболее популярны:

- стеклопластиковая арматура (АСП или АСК) — композитная арматура из стекловолокна, придающего прочность, и смол, выступающих как связующее;
- базальтопластиковая арматура (АБП или АБК) — композитная арматура из базальтового волокна и смол, отличающаяся от АСП большей прочностью и щелочестойкостью.

Реже всего встречаются арматура из стеклоармированного полиэтилентерефталата (изготавливаемая из стекловолокна и термопластичного полимера по технологии пултрузии — протяжкой ровинга) и ПКА на основе углеродистых волокон.

Рассмотрим более подробно некоторые аспекты совместной работы бетона и композитной арматуры.

Надежная совместная работа стержней стальной арматуры и бетона обеспечивается за счет [1–3]:

- механического сцепления, вызванного особенностями геометрии стержней;
- сил трения, возникающих при обжатии в результате усадки бетона;
- возможного развития химических реакций на поверхности раздела фаз и формирования дополнительных сил адгезионного сцепления.

Механическое сцепление арматуры и бетона возникает при развитии сопротивления бе-

тона усилиям смятия и среза, обусловленным специально сформированными выступами и шероховатостью поверхности стержней, препятствующей проскальзыванию до тех пор, пока не преодолено сопротивление бетона срезу. При использовании стальной арматуры периодического профиля механическое сцепление обеспечивает порядка 75 % от суммарной величины сцепления.

Кроме того, одно из основных условий надежной совместной работы бетона и стальной арматуры в железобетонных конструкциях — примерное равенство коэффициентов линейного термического расширения ($K_{\text{ЛТР}}$): для бетона $\alpha = (7...14,5) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; для стальной арматуры $\alpha = (11,5...15) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. У ПКА $K_{\text{ЛТР}}$ относительно близок к этим значениям: $\alpha = (8,5...12,5) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$.

Сцепление композитной арматуры с бетоном обеспечивается:

- механическими силами сцепления, возникающими от обмотки тела стержня стекловолокном, базальтовым волокном или за счет песчаного напыления (если таковое имеется);
- усадочными деформациями бетона, в результате которых происходит дополнительное обжатие стержней ПКА.

В силу близости значений модулей упругости ПКА и бетона, ПКА сравнительно легко деформируется от усилий, развивающихся при усадочных деформациях бетона, что обеспечивает более высокое сцепление по сравнению со стальной арматурой.

Однако в силу химической инертности ПКА по отношению к бетонной матрице невозможно развитие обменных реакций на границе раздела фаз, поэтому так называемый электрохимический вклад в суммарный эффект сцепления не вносится [2, 4].

Обращает на себя внимание тот факт, что реальные значения сил сцепления арматуры (как стальной, так и композитной) с бетоном оценить сложно из-за невозможности натурных испытаний. В этом случае принято проводить лабораторные испытания по выдергиванию отдельных стержней из образцов сравнительно малых размеров (с ребром от 100 до 200 мм) [4, 7]. Однако это не дает точного представления о работе арматуры в конструкции, поэтому нормируемая ГОСТ 31398–2012 величина предела прочности

сцепления ПКА с бетоном в 12 МПа и выше вызывает справедливое удивление.

Необходимо отметить, что до 2013 г. в России отсутствовала какая-либо нормативная документация, касающаяся композитной арматуры. Но за последнее время было введено в действие несколько документов, перечень которых приведен в табл. 1.

Документы, непосредственно регламентирующие процесс проектирования конструкций с применением ПКА, отсутствуют, поэтому попытка производителей убедить потребителей в наличии необходимого фонда нормативной документации — это откровенное введение в заблуждение.

Остановимся более подробно на прочностных характеристиках ПКА. Как заявляют изготовители, ее прочность превышает прочность стальной арматуры в три раза. Действительно, предел прочности ПКА при растяжении, в зависимости от ее вида, составляет от 800 МПа и выше (у стальной арматуры, в зависимости от класса, — 373 МПа и выше). Однако основная прочностная характеристика арматуры, согласно СП 63.13330.2012, — нормативное значение сопротивления растяжению $R_{s,n}$, в зависимости от класса арматуры принимаемое равным от 240 до 1700 МПа. Эта величина соответствует гарантированному значению физического предела текучести или условного предела, соответствующего остаточному удлинению (укорочению) и равного 0,2 % физического с обеспеченностью не менее 0,95. При этом расчетное сопротивление стальной арматуры R_s определяется делением нормативного значения сопротивления на коэффициент надежности по арматуре (1,15 — для расчетов по I группе предельных состояний; 1,0 — по II группе). Из-за отсутствия у ПКА, как у хрупкого материала, пластических деформаций (то есть предела текучести у нее нет), сравнивать ее со стальной арматурой по показателю временного сопротивления разрыву недопустимо.

Сказанное выше относится к прочности арматуры при работе на растяжение. При работе на сжатие предел прочности композитной арматуры — 300 МПа, стальной — 600 МПа. Очевидно, что декларируемые ГОСТ 31938–2012 для ПКА показатели не связаны с расчетными вели-

Таблица 1

Нормативные документы на ПКА

Номер НД	Наименование	Область применения	Дата введения	Аналог ИСО
ГОСТ 31938–2012	Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия	Стандарт устанавливает общие технические условия и распространяется на ПКА периодического профиля	С 1 января 2014 г.	ISO 10406-1:2008
ГОСТ 32486–2013	Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определений характеристик долговечности	Стандарт устанавливает порядок определения и испытаний структурных и термомеханических характеристик ПКА	С 1 января 2015 г.	ISO 11359-2:1999
ГОСТ 32487–2013	Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения характеристик стойкости к агрессивным средам	Стандарт устанавливает порядок определения и испытаний коррозионной стойкости композитной арматуры в агрессивных средах	С 1 января 2015 г.	ISO 10406-1:2008
ГОСТ 32492–2013	Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик	Стандарт устанавливает методы определения следующих физико-механических характеристик: номинального диаметра; предела прочности при растяжении, сжатии, поперечном срезе; предела прочности сцепления с бетоном	С 1 января 2015 г.	ISO 10406-1:2008
СТО НОСТРОЙ 2.6.90-2013	Применение в строительных бетонных и геотехнических конструкциях неметаллической композитной арматуры	Стандарт устанавливает требования к применению ПКА в бетонных, каменных и геотехнических конструкциях при строительстве жилых и общественных зданий, транспортных сооружений	С 15 марта 2013 г.	—

чинами и их нельзя напрямую использовать при проектировании бетонных конструкций с композитной арматурой. Тем более что проведенные в некоторых строительных вузах исследования показали существенную зависимость прочности композитной арматуры от диаметра стержня.

В целом, наиболее значительный фактор, ограничивающий применение ПКА в отечественном строительстве, — это отсутствие необходимой нормативной базы, вызванное малой изученностью эксплуатационных свойств ПКА. Однако основная проблема применения ПКА обусловлена, в первую очередь, низким модулем упругости ($E_f = 50\,000$ МПа) и меньшей жесткостью

по сравнению со стальной арматурой (модуль упругости стальной арматуры $E_s = 200\,000$ МПа). На практике это означает, что при равных нагрузках для обеспечения нормативных требований по II группе предельных состояний площадь сечения ПКА несущих изгибаемых элементов должна значительно превышать площадь сечения стальной арматуры.

Приведем пример расчета по II группе предельных состояний, включающий расчеты по ширине раскрытия трещины и по деформациям.

1. Расчет ширины раскрытия трещин

Ширина раскрытия трещин в железобетонных элементах вычисляется по СП 63.13330.2012:

$$a_{crc} = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} l_s \quad (1)$$

Предположим (хотя это допущение не совсем корректно), что по той же формуле можно рассчитать ширину раскрытия трещин и в конструкциях с композитной арматурой. Тогда, если в железобетонной конструкции $a_{crc} = 0,2$ мм, в конструкции с ПКА при той же площади армирования

$$a_{crc} = 0,2 \frac{E_s}{E_f} \approx 0,8 \text{ мм.} \quad (2)$$

Но $a_{crc} = 0,8$ мм не соответствует не только положениям СП 63.13330.2012, но и эстетическим требованиям, даже при непродолжительном раскрытии трещин.

2. Расчет по деформации

Кривизну для изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного сечения на участках с трещинами допускается определять по формуле [6]

$$\frac{1}{r} = \frac{M - \varphi_2 b h^2 R_{bt,ser}}{\varphi_1 E_s A_s h_0^2} \quad (3)$$

Для свободно опертых железобетонных элементов прогиб определяется по выражению [6]

$$f = S l^2 \left(\frac{1}{r} \right) \quad (4)$$

Снова допустим, что по тем же формулам можно рассчитать кривизну и прогиб в конструкциях с композитной арматурой. Рассмотрим плиту перекрытия размерами $1 \times 5,6 \times 0,2$ м. Тогда если в железобетонной конструкции прогиб $f = 30$ мм, то в конструкции с ПКА при той же площади армирования прогиб составит:

$$f = 30 \frac{E_s}{E_f} \approx 120 \text{ мм.} \quad (5)$$

Величина $f = 120$ мм не отвечает требованиям СП 20.13330.2011 и эстетическим требованиям при заданной геометрии плиты.

Приведенный пример показывает, что для достижения требований СП 63.13330.2012 однозначно необходимо повышать расход ПКА. Но при этом увеличение сечения ПКА приводит к уменьшению модулей упругости и прочности. Это объясняется тем, что волокна арматуры воспринимают усилия неравномерно. Крайние волокна вступают в работу раньше, затем усилие передается на внутренние волокна. Именно

поэтому использование ПКА с большим сечением невыгодно — наружные волокна могут разрушиться раньше, чем начнут работать внутренние. Поэтому чем меньше диаметр стержня, тем равномернее распределены по сечению напряжения [7].

Еще один немаловажный фактор, сдерживающий применение ПКА, — требования противопожарной безопасности. Так, ГОСТ 31938–2012 определяет предельную температуру эксплуатации ПКА «не менее 60 °С» (формулировка взята из ГОСТ и еще раз подчеркивает несовершенство современных нормативных документов). Фактически, в силу низкой температуры плавления матрицы, при температурах выше 200 °С ПКА теряет свои эксплуатационные свойства. Поэтому, учитывая требования по огнестойкости конструкций в Российской Федерации, использовать ПКА в несущих конструкциях практически невозможно. Бетонная конструкция, армированная композитными стержнями, не может даже обеспечить предел огнестойкости REI 15 или EI 15 (для сравнения: при нагреве стальной арматуры А400 до 600 °С потери эксплуатационных свойств не наблюдаются).

Что касается низкой стоимости ПКА по сравнению со стальной арматурой, краткий обзор рынка строительных материалов по состоянию на 31.03.2015 показал незначительную экономическую выгоду (табл. 2, 3).

При проведении сравнительного экономического анализа можно руководствоваться предположением, что осуществляется замена стальной

Таблица 2

Средняя стоимость ПКА

Тип арматуры	Диаметр d , мм	Средняя цена за пог. м, руб.
АСП*	8	15,22
	10	21,05
	12	29,68
АБП**	8	20,42
	10	29,57
	12	40,49

* По данным <http://www.mcena.ru/article/listing/12238.html>

** Средняя цена по данным фирм «Татстрой» (г. Казань), «МэйкВэллКомпозит» (Нижний Новгород), ЛТД-ПЛАСТ (Москва).

арматуры (например, диаметром 10 или 12 мм) на равнопрочную композитную (диаметром 8 или 10 мм). Тогда использование стеклопластиковой арматуры дает экономическую выгоду. Однако необходимо дополнительно учесть характер соединения стержней. При использовании ПКА (в отличие от стальной арматуры) сварка стыковых соединений невозможна, поэтому требуется армирование «внахлест» или специальные соединительные муфты, что сразу же увеличивает стоимость армирования. А так как композитная арматура — хрупкое изделие со сравнительно малым модулем упругости, стержням невозможно придать резкий изгиб непосредственно на строительной площадке, поэтому гнутые элементы из ПКА должны выполняться только в заводских условиях под конкретный заказ, что приводит к удорожанию конечного продукта.

Необходимо обратить внимание и на то, что при анализе цен в расчет принималась арматура класса А400 и А500С, которая наиболее часто используется при главном продольном армировании. При этом, чтобы разница в цене выглядела еще более эффектно, производители и дистрибьюторы ПКА зачастую сравнивают ее цену с ценой на стальную арматуру класса А240, которая чаще всего используется при поперечном или вспомогательном армировании.

С другой стороны, средняя плотность композитной арматуры — 1900 кг/м³, а стальной — 7850 кг/м³. На практике это означает, что доставка стальной арматуры обходится дороже (тем более что ПКА диаметром до 10 мм можно транспортировать скрученной в бухты). Но в целом

масса железобетонной конструкции принципиально не изменится (при типовом армировании, как правило, вес снижается не более чем на 4 %). Хотя не во всех случаях снижение собственного веса конструкций — положительный фактор. Снижение веса конструктивных элементов (особенно тонкостенных или отдельно стоящих) может привести к снижению местной устойчивости и вызвать прогрессирующее разрушение конструкции.

Теперь обратимся к европейскому опыту применения ПКА. Известно, что почти все страны Европы приняли Еврокоды — правила для расчета несущих конструкций строительных сооружений и защиты конструкций от воздействия огня. Зачастую Еврокоды вводятся на безальтернативной основе с использованием национальных приложений [5]. Так, согласно требованию п. 3.2.1 EN 1992-1-1 Еврокод 2 «Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий» в железобетонных конструкциях допускается применение только стальной арматуры. Причем это положение невозможно изменить даже в национальных приложениях. Анализ нормативной базы ЕС показал, что на сегодня отсутствует действующий нормативный документ, регламентирующий расчет и проектирование конструкций с использованием ПКА.

Например, Главный Финский национальный свод правил по железобетонным конструкциям BY 50 Betoninormit 2012 наравне с Еврокодом EN 1992 допускает использование арматуры только из стали. При этом финские специалисты подтверждают, что композитная арматура в Финляндии не используется и не производится.

Необходимо сказать, что существуют стандарты ISO, на основе которых и были разработаны отечественные документы, но ни ISO, ни ГОСТ не регламентируют процесс проектирования.

В заключение остановимся на некоторых аспектах сравнения ПКА и стальной арматуры.

Известно, что композитная арматура обладает низким коэффициентом теплопроводности, что должно обеспечить сокращение тепловых потерь через так называемые «мостики холода» в армированных конструкциях. В действительности ПКА не оказывает сколько-нибудь значительного влияния на термическое сопротивление

Таблица 3

Средняя стоимость стальной арматуры

Класс арматуры	Диаметр d , мм	Средняя цена за пог. м, руб.
А400*	8	12,10
	10	18,75
	12	25,91
А500С*	8	12,11
	10	17,97
	12	25,15

* По данным <http://www.mcena.ru/article/listing/10.html>

** По данным <http://www.mcena.ru/article/listing/37>

ограждающих элементов, ввиду того, что основным проводником тепла является бетон, объем которого несоизмеримо превышает объем армокаркасов.

Композитная арматура не проводит электрический ток, что исключает замыкания электропроводки внутри бетонных конструкций. Но в действительности токопроводящие элементы монтируются таким образом, чтобы избежать прямого контакта с металлической арматурой. При этом электропроводность стальной арматуры зачастую является преимуществом (при применении для устройства заземлений и при тепловой обработке в зимний период). Однако, в силу того что ПКА не проводит электрический ток и не накапливает статической энергии, исключается возможность возникновения в конструкции блуждающих токов, что повышает ее коррозионную стойкость.

То есть единственное существенное преимущество ПКА перед стальной арматурой — высокая коррозионная стойкость.

Выводы

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о целесообразности применения ПКА в следующих случаях:

- армирование слабонагруженных ненесущих конструкций;
- армирование ненесущей кладки;
- армирование конструкций на упругом основании (при благоприятных инженерно-геологических условиях, когда конструкция не будет работать как консоль);
- армирование ненесущих конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных сред (там, где это оправдано).

ПКА можно использовать в конструкциях, для которых требования по II группе предельных состояний не являются определяющими. Именно в этом случае можно получить экономическую выгоду.

Так как ПКА — материал хрупкий, с относительно малым модулем упругости, не рекомендуется использовать ее в пролетных конструкциях, но предлагается применять при изготовлении самонапряженных конструкций [8].

Применение композитной арматуры возможно только в соответствии с регламентирующими нормативными документами, которые должны

быть разработаны на основе всесторонних исследований.

Библиографический список

1. Байков В. Н., Сигалов Э. Е. Железобетонные конструкции: общий курс: учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1991.
2. Бондаренко В. М., Суворкин Д. Г. Железобетонные и каменные конструкции: учебник для студентов вузов. М.: Высшая школа, 1987.
3. Железобетонные и каменные конструкции / В. М. Бондаренко [и др.]. М.: Высшая школа, 2010.
4. Кустикова Ю. О. Исследование свойств базальтопластиковой арматуры и ее сцепления с бетоном // Строительство: наука и образование. 2014. № 1. URL: <http://www.nso-journal.ru>
5. Пухаренко Ю. В., Аубакирова И. У., Староверов В. Д., Кришталевиц А. К. Перспективы внедрения Еврокодов в Российской Федерации // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 2(49). С. 107–115.
6. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-102-2003). М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2005.
7. Сцепление полимерцементной арматуры с цементным бетоном / В. Г. Хозин [и др.] // Известия КГАСУ. 2013. № 1(23). С. 214–220.
8. Тур В. В., Семенюк О. С. Применение базальтопластиковой арматуры при изготовлении самонапряженных конструкций // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. 2013. № 1(79). С. 99–103.

References

1. Baykov V. N., Sigalov Eh. E. *Zhelezobetonnye konstruksii: obshchiy kurs. Uchebnik dlya vuzov* [Ferroconcrete designs: general course. Textbook for higher education institutions]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1991.
2. Bondarenko V. M., Suvorkin D. G. *Zhelezobetonnye i kamennye konstruksii. Uchebnik dlya studentov vuzov* [Ferroconcrete and stone designs. Textbook for students of higher education institutions]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1987.
3. Bondarenko V. M., et al. *Zhelezobetonnye i kamennye konstruksii* [Ferroconcrete and stone designs]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2010.
4. Kustikova Yu. O. *Issledovanie svoystv bazaltoplastikovoy armatury i ee stsepleniya s betonom* [Research of properties of basalt fiber reinforcement and its coupling with concrete]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie – Construction: science and education*, 2014, no. 1. Available at: <http://www.nso-journal.ru>

5. Pukhareno Yu. V., Aubakirova I. U., Staroverov V. D., Krishtalevich A. K. *Perspektivy vnedreniya Evrokodov v Rossiyskoy Federatsii* [Prospects of Euro codes' implementation in the Russian Federation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no. 2(49), pp. 107–115.

6. *Posobie po proektirovaniyu betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiy iz tyazhelogo betona bez predvaritel'nogo napryazheniya armatury (k SP 52-102-2003)* [Teaching manual on design of concrete and ferroconcrete structures from heavy concrete without the preliminary tension of fittings (to SP 52-102-2003)]. Moscow, JSC "TsNIIPromzdaniy", 2005.

7. Khozin V. G., et al. *Stseplenie polimertsementnoy armatury s tsementnym betonom* [Coupling of polymer cement fittings with cement concrete]. *Izvestiya KGASU – KSASU News*, 2013, no. 1(23), pp. 214–220.

8. Tur V. V., Semenyuk O. S. *Primenenie bazal'toplastikovoy armatury pri izgotovlenii samonapryazhennykh konstruktsiy* [Basalt fiber reinforcement application at production of self-stressed designs]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura – Bulletin of the Brest state technical university. Construction and architecture*, 2013, no. 1(79), pp. 99–103.