



## Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: [www.unistroy.spbstu.ru](http://www.unistroy.spbstu.ru)



doi: 10.18720/CUBS.67.4

### Упругие и прочностные характеристики материалов кладочных сеток

#### Elastic and strength characteristics of masonry meshes

А.И. Макаров<sup>1\*</sup>, Е.А. Морина<sup>2</sup>, Г.В. Мартынов<sup>3</sup>,  
Д.Е. Монастырева<sup>4</sup>, П.А. Шерстобитова<sup>5</sup>,  
Я.Э. Бегич<sup>6</sup>, А.А. Морина<sup>7</sup>

<sup>1-6</sup>Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого, Россия,  
Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

<sup>7</sup>Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет, Россия,  
Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

A.I. Makarov<sup>1\*</sup>, E.A. Morina<sup>2</sup>, G.V. Martynov<sup>3</sup>,  
D.E. Monastyrva<sup>4</sup>, P.A. Sherstobitova<sup>5</sup>, Y.E. Begich<sup>6</sup>,  
A.A. Morina<sup>7</sup>

<sup>1-6</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29  
Politechnicheskaya St., St. Petersburg, Russia

<sup>7</sup>St. Petersburg State University of Architecture and Civil  
Engineering, 2-nd Krasnoarmeiskaya St. 4,  
St. Petersburg, Russia

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кирпичная кладка;  
армирование конструкций;  
кладочная сетка;  
композитные материалы;  
стальные сетки;  
композитные сетки;  
инновации в строительстве;

#### KEYWORDS

brickwork;  
reinforcement of structures;  
coil mesh;  
composite materials;  
steel net;  
composite mesh;  
innovations in construction;

#### ИСТОРИЯ

Подана в редакцию: 09.04.2018  
Принята: 16.05.2018

#### ARTICLE HISTORY

Submitted: 09.04.2018  
Accepted: 16.05.2018

#### АННОТАЦИЯ

Стены из кирпича считаются одними из самых прочных, однако, и они подвергаются разрушению. Причина возникновения повреждений в кирпичной кладке может быть как эксплуатационной, так и конструктивной. Еще на стадии возведения строительной конструкции стоит задуматься о ее прочности и долговечности. Так, избежать разрушения кладки из кирпича, в том числе образования трещин, а также значительно усилить и продлить срок эксплуатации кладки позволяет ее армирование. В статье рассматривается метод повышения прочности кирпичной кладки путем ее армирования сетками из различных материалов, и проведен анализ эффективности их применения. В ходе работы были проведены испытания элементов стальных, стекло- и базальтопластиковых сеток на растяжение, выполнены расчеты, получены упругие и прочностные характеристики образцов и сформулированы выводы об эффективности армирования кладки из кирпича различными материалами. На основе полученных результатов проведен сравнительный анализ, выявлены достоинства и недостатки применения композитных или стальных кладочных сеток с точки зрения эффективности и в то же время экономичности.

#### ABSTRACT

The walls of brick are considered to be one of the strongest structures, however, they can also collapse. The cause of masonry damage can be both operational and constructive. It is necessary to think about the strength and durability of the structure at the stage of erection. So, to avoid the destruction of brickwork, including the formation of cracks, as well as significantly and extend the life of the masonry allows its reinforcement. The article considers the method of increasing the strength of brickwork by reinforcing it with grids from various materials, and effectiveness of their application was analyzed. In the course of the work, the elements of steel, glass and basalt-plastic grids were tested for tensile stress, calculations were carried out, elastic and strength characteristics of the samples were obtained, and conclusions about the effectiveness of reinforcing brickwork with various materials were drawn. On the basis of the results obtained, a comparative analysis was carried out, advantages and disadvantages of using composite or steel masonry nets were revealed. Also, the performance and cost-effectiveness of the application of these materials was determined.

**Содержание**

1. Введение	53
2. Методика	53
3. Результаты и обсуждение	55
4. Заключение	58

## 1. Введение

Как известно, кирпичная кладка крайне плохо воспринимает растягивающие усилия. Вследствие этого, наиболее частым видом повреждения каменных конструкций является их растрескивание [1, 2]. Безусловно, дополнительную прочность кладки из кирпича можно обеспечить за счет анкеровки или установления деформационных швов, но данные методы оказывают влияние лишь на лицевой слой кладки [3, 4]. Во избежание появления трещин и других дефектов кирпичной кладки в целом еще на стадии возведения ее армируют, т.е. прокладывают арматурную сетку через каждые 3-5 слоев кладки.

В настоящее время для повышения прочности конструкций из кирпича в основном применяется метод армирования кладки сетками, чаще всего стальными. Данный способ эффективен, однако, если рассматривать свойства стали, то можно отметить такие явные недостатки, как значительный вес, подверженность коррозии (при недостаточной изоляции цементным раствором), высокая теплопроводность. Эффективной альтернативой традиционным металлическим сеткам может служить композитная кладочная сетка, которая, в свою очередь, легкая, не подвержена коррозии, имеет низкую теплопроводность [5-8], а также удобна в применении и при транспортировке [9, 10].

Композитные сетки уже нашли свое применение в сфере реставрации зданий из кирпича [11, 12] и доказали свое преимущество перед стальными обоями или решетками [13]. Они используются для наружного армирования уже вступивших в эксплуатацию сооружений, которые начали терять свою несущую способность. Но гораздо выгодней обеспечить прочность конструкции еще у самых истоков ее строительства и, впоследствии, не заниматься ее восстановлением.

С целью уберечь здание от достижения аварийного состояния кирпичную кладку при возведении армируют композитными сетками с некоторым интервалом. Такой способ армирования кирпичной кладки называется поперечным. Уложенные таким образом сетки из композитных материалов «разгружают» растягивающие напряжения, возникающие в кладке при нагрузке, и «сглаживают» деформации в зонах концентрации напряжений, что препятствует возникновению и распространению трещин в конструкции [14-17].

Почему же, глядя на такое количество преимуществ, строительные организации не переходят на применение композитных кладочных сеток? Причина кроется в отсутствии как таковой нормативной базы для композитных сеток [3], позволяющей произвести необходимые предварительные расчеты и подобрать оборудование, в то время как ГОСТы для стальных сеток (ГОСТ Р 57265-2016 «Сетка арматурная для каменной кладки. Технические условия», ГОСТ 23279-2012 «Сетки арматурные сварные для железобетонных конструкций и изделий. Общие технические условия») существуют уже не одно десятилетие. Также строительные компании не обладают достаточной уверенностью в эффективности композитных сеток в связи с отсутствием реальных объектов возрастом более 10-20 лет, в которых применялись данные материалы. Все, чем мы располагаем, это компьютерные модели и экспериментальные данные [18-20].

Цель данной статьи заключается в выявлении эффективности армирования кирпичной кладки различными материалами с точки зрения обеспечения прочности, а также экономичности.

В рамках поставленной цели решаются такие задачи, как:

1. Провести испытания на растяжение стальных, стекло- и базальтопластиковых образцов, а также определить максимальные растягивающие усилия, возникающие в образцах.
2. Исходя из полученных данных, вычислить временное сопротивление (предел прочности) и модуль упругости элементов сетки.
3. Произвести сравнительный анализ полученных результатов и сформулировать выводы об эффективности и экономичности применения в строительстве представленных видов сеток.

## 2. Методика

Главная задача выполняемой работы – определение упругих и прочностных характеристик металлической и композитных (стекло- и базальтопластиковой) сеток, выполнение сравнительного

анализа полученных результатов. Результаты исследования позволяют дать ответ на вопрос: «Какой из методов усиления кирпичной кладки является наиболее рациональным: эффективным и экономичным?»

Упругие и прочностные характеристики как стальной, так и композитных сеток определяются характеристиками элементов их решетки. В данной работе исследуются отдельные элементы сеток, т.е. представлены результаты испытания образцов металлической, стекло- и базальтопластиковой сеток и проведен их анализ. Определив упруго-прочностные характеристики элементов (стержней) сеток, можно судить о прочности состоящих из них сеток [21].

Характеристики исследуемых образцов приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Исследуемые образцы**

№	Тип сетки	Материал, тип связующего	Количество образцов
1	Стальная	Сталь	5
2	Стеклопластиковая	Стекловолокно, эпоксидное	5
3	Базальтопластиковая	Базальтоволокно, эпоксидное	5

Для всех исследуемых образцов были определены основные механические характеристики при растяжении, такие как временное сопротивление и модуль упругости материала, из которого выполнен испытываемый образец.

Испытания проводились на универсальном измерительном комплексе Instron 5965. Система представляет собой блочно-модульную конструкцию, состоящую из основания, на котором закреплена рама с подвижной и неподвижной траверсами, электродвигатель привода, а также из электронного блока управления и компьютера.

Подготовка образцов стекло- и базальтопластиковых сеток к испытанию проводилась с учетом рекомендаций ГОСТ 6943.10-2015 «Материалы текстильные стеклянные. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве», а образцов стальных сеток – согласно ГОСТ 12004-81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение».

Так как элементы стеклопластиковой сетки имеют неровности и проскальзывают в зажимной колодке для круглых образцов, каждый образец был зафиксирован в стальных анкерах с внутренним диаметром 6 мм с помощью клея на эпоксидной основе. Перед испытанием образцы были выдержаны не менее 12 часов для отверждения клеящего состава.

Для подготовки образцов стальной сетки к испытаниям элементы решетки были отделены от сетки с помощью ручной ножовки. Образцы не потребовали дополнительной подготовки зажимных частей, вследствие надежной фиксации в зажимной колодке для круглых образцов клиновых захватов установки Instron.

Подготовленные образцы устанавливались на испытательной системе Instron 5965 и фиксировались с помощью тисочных клиновых зажимов. Испытуемая длина всех образцов составила 200 мм. Скорость деформирования композитных элементов была установлена равной 50 мм/мин, что соответствует рекомендациям [21], а для стальных стержней – 20 мм/мин, равной 10% от рабочей длины образца, в соответствии с рекомендациями [22].

Образцы испытывались в одном направлении, т.к. соответствующие сетки имеют одинаковую структуру в продольном и поперечном направлениях [23]. Вследствие ограничения наибольшей предельной нагрузки испытательной системы Instron 5965 в 5 кН и для обеспечения сопоставимости результатов были проведены испытания образцов композитных сеток меньшего диаметра (2,5 мм) относительно стальных образцов (3,5 мм).

Испытуемые образцы представлены на рисунках 1-3.



**Рисунок 1. Образцы элементов стальной сетки до и после испытания**



**Рисунок 2. Образец элемента стеклопластиковой сетки до и после испытания**



**Рисунок 3. Образец элемента базальтопластиковой сетки до и после испытания**

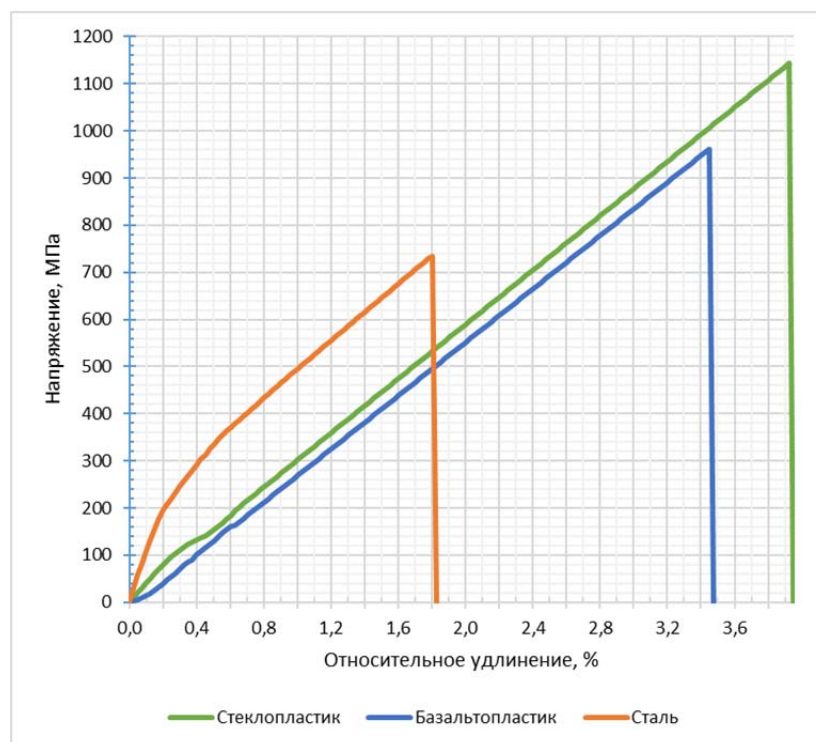
По итогам испытаний образцов на растяжение определялось их удлинение, а также максимальные разрывные усилия, прилагаемые к композитным стержням. Разрывное усилие, прикладываемое к стальным образцам, оказалось более 5 кН, и его не удалось зафиксировать на испытательной системе Instron 5965. Аналогичные стержни в количестве 3-х экземпляров были дополнительно испытаны на разрывной установке с максимальной нагрузкой в 50 кН для определения разрывной нагрузки.

### ***3. Результаты и обсуждение***

Результаты испытаний стальных, стеклопластиковых и базальтопластиковых образцов на растяжение представлены в таблице 2. Измеренный диаметр образцов не соответствовал заявленным производителем, расчет параметров прочности и модуля упругости производился с учетом фактических диаметров. В таблицу занесены средние значения характеристик материалов, вычисленные по итогам результатов испытания пяти образцов из каждого материала.

**Таблица 2. Результаты испытаний элементов стальных, стеклопластиковых и базальтопластиковых сеток**

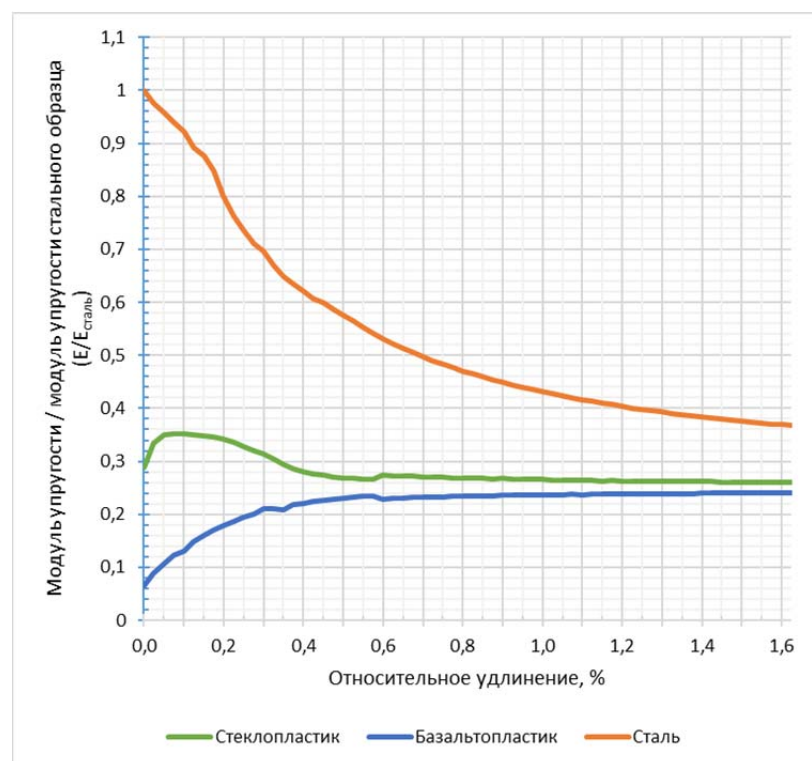
Показатели	Материал		
	Сталь	Стеклопластик	Базальтопластик
Заявленный диаметр, мм	3,5	2,5	2,5
Фактический диаметр, мм	3,45	2,18	2,27
Площадь поперечного сечения образца фактическая, мм <sup>2</sup>	9,35	3,73	4,05
Зажимная длина образца, мм	200	200	200
Длина образца после разрыва, мм	204,6	207,8	206,9
Удлинение образца, %	2,3	3,9	3,45
Наибольшая нагрузка при испытании, Н	6848	4264	3882
Временное сопротивление при растяжении, МПа	732,4	1143,1	958,5
Модуль упругости (начальный)/ модуль упругости стального образца ( $E/E_{\text{сталь}}$ )	1	0,27	0,23



**Рисунок 4. Диаграммы растяжения исследуемых образцов**

Стеклопластиковые и базальтопластиковые образцы показали схожие результаты при испытаниях, однако стеклопластик превзошел базальтопластик, как по параметру временного сопротивления, так и по модулю упругости. Вследствие этого, далее будут сравниваться только 2 материала: сталь и стеклопластик.

Неровности диаграмм растяжения (рисунок 4) композитных стержней на начальном этапе связаны с распрямлением образцов. В результате проведенного исследования поведения образцов при растяжении и анализа значений усилий и деформаций на прямолинейных участках полученных графиков были вычислены значения модуля упругости.

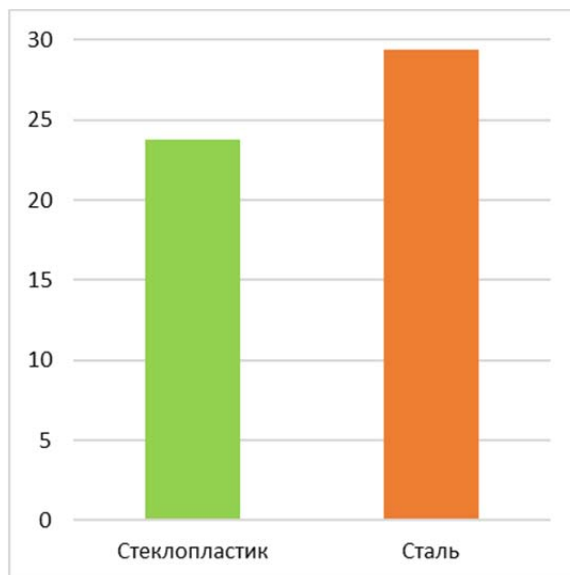


**Рисунок 5. Диаграммы зависимости отношения модуля упругости к модулю упругости (начальному) стального образца от деформации исследуемых образцов**

Можно отметить, что временное сопротивление образцов из стеклопластика более чем на 55% превышает временное сопротивление стальных образцов. Модуль упругости у композита на 70% меньше стального, но это только на начальном участке диаграммы. По мере нагружения стальных стержней, модуль упругости их снижается, закон Гука о пропорциональности приложенной нагрузки к деформации не выполняется даже на начальном этапе (рисунок 4), а производная кривой для стальной сетки на диаграмме зависимости модуля упругости от деформации отрицательна, график устремлен вниз (рисунок 5). У композитных стержней, в свою очередь, показатель модуля упругости является постоянным на протяжении всего процесса нагружения. В пользу стальных стержней можно отметить, что график их растяжения не имеет явных площадок текучести, и это свидетельствует о том, что при разгрузке конструкции остаточные деформации стальной армирующей сетки будут минимальны, однако значительно превосходить остаточные деформации композитных сеток.

Таким образом, свойства стеклопластиковых стержней значительно отличаются от стальных и при этом являются конкурентоспособными по отношению к стальным в критерии физико-механических характеристик. Стеклопластик имеет более низкое значение модуля упругости, чем сталь, однако более высокую прочность при меньшем весе, что также отмечали Полилов А.Н., Татусь Н.А. и другие авторы в своих статьях [24-27]. Армирование кирпичной кладки композитными материалами является эффективной альтернативой классическому армированию стальными сетками [28].

В рамках исследования также были проанализированы рыночные стоимости  $1 \text{ м}^2$  стеклопластиковых и стальных кладочных сеток с одинаковыми структурными параметрами решетки (размер ячейки 50 мм) и определены средние значения. Взяв в расчет временное сопротивление материалов, стоимости сеток за  $1 \text{ м}^2$  были приведены к стоимости за единицу выдерживаемой материалом нагрузки (рисунок 6), которые составили 24 рубля для стеклопластиковой сетки и 29 – для стальной.



**Рисунок 6. Средняя стоимость в рублях 1 кН выдерживаемой нагрузки 1 м<sup>2</sup> стальных и стеклопластиковых сеток с размером ячейки 50 мм**

#### 4. Заключение

По итогам проведенных испытаний на растяжение стальных, стекло- и базальтопластиковых образцов, а также в результате определения максимальных растягивающих усилий, возникающих в образцах, были вычислены упруго-прочностные характеристики композитных и стальных кладочных сеток, которые наглядно демонстрируют преимущества и недостатки композитных материалов по сравнению с классическими стальными сетками.

При аналогичных диаметрах стержней стеклопластиковые сетки будут в полтора раза прочнее стальных, что важно при расчете конструкций по I предельному состоянию, а при использовании сеток с диаметром равнопрочных стальным, их стоимость составит 80-85% от стоимости стальной сетки, что окажет положительное воздействие на общую стоимость кладки стен из кирпича.

Важным параметром при проектировании является расчет по II группе предельных состояний (по деформациям). В режиме работы конструкций, когда напряжения в них не превышают 30% от временного сопротивления армирующего материала, предпочтение стоит отдать стальным сеткам, так при их использовании деформации кладки будут меньше в 3 и более раз по сравнению с аналогичными стенами, армированными сетками из стеклопластика. Однако при работе конструкции в диапазоне напряжений, приближающихся к значению временного сопротивления армирующего материала, более рациональным будет использование композитной сетки, остаточная деформация которой будет минимальна после разгрузки конструкции. Модуль упругости стали в данном диапазоне напряжений приближается к значениям стеклопластика и не превышает его более, чем в полтора раза.

Таким образом, общие преимущества композитной арматуры перед стальной можно сформулировать так:

- Прочность: композитная арматура в 1,5-2 раза прочнее, чем металлическая;
- Экономичность: выгода от 10% при равнозамене по прочности металлической арматуры на композитную;
- Долговечность (благодаря коррозионной и химической стойкости материала);
- Низкий вес: стеклопластиковая сетка имеет плотность в 3-5 раз меньшую, чем металлическая; применение стеклопластика в качестве армирующего материала уменьшает стоимость транспортных и погрузочно-разгрузочных работ, а также облегчает выполнение работ на объекте;
- Низкая теплопроводность: в 80-100 раз ниже, чем у стальной, что значительно снижает теплопотери;
- Диэлектрик (не проводит электрический ток, электробезопасна);
- Радиопрозрачность: не создает никаких радиопомех, в отличие от металлических контуров, создаваемых стальной арматурой;

Преимущества стальной арматуры:

- Высокий модуль упругости материала при незначительных нагрузках, не превышающих 30% от его временного сопротивления;
- Пластичность и жесткость к поперечным нагрузкам, в то время как для стеклопластиковой сетки изменение формы стержня невозможно без нагрева, что создает трудности при изготовлении монтажных петель и закладных деталей;
- Термическая устойчивость, хорошая огнестойкость;
- Наличие широкой нормативной базы, документов и стандартов, регламентирующих применение стальной арматуры, в отличие от композитной;
- Доступность и широкая распространенность материала (можно приобрести в любом городе страны).

#### Литература

- [1]. Орлович Р., Мантегацца Д., Найчук А., Деркач В. Современные способы ремонта и усиление каменных конструкций // Архитектура и строительство. 2010. № 2. С. 86-87.
- [2]. Серикхалиев С.Б., Зимин С.С., Орлович Р.Б. Дефекты защитно-декоративной кирпичной облицовки фасадов каркасных зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 5(20). С. 28-38.
- [3]. Орлович Р.Б., Зимин С.С., Начкина П.А., Трусова А.А. Ремонт кирпичного лицевого слоя в современных каркасно-монолитных домах // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 8(23). С. 136-153.
- [4]. Орлович Р.Б., Рубцов Н.М., Зимин С.С. О работе анкеров в многослойных ограждающих конструкциях с наружным кирпичным слоем // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 1. С. 3-11.
- [5]. Грановский А.В., Джамуев Б.К., Доттуев А.И. Применение композитной сетки на основе базальтового волокна для усиления каменной кладки // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 5. С. 31-35.
- [6]. Старцев С.А., Сундукова А.А. Усиление кирпичной кладки композитными материалами и винтовыми стержнями // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 6(21). С. 17-31.
- [7]. Комохов П.Г., Беленцов Ю.А. Совершенствование методов армирования кирпичной кладки // Строительные материалы. 2004. № 1. С. 33.
- [8]. Амато П., Бахмисов В.А., Куклин В.А., Андреев В.Г., Бахмисов И.А. Способ статического укрепления элементов облицовки композитными системами, состоящими из сетки из высокопрочного волокна и клеящего раствора на основе минерального вяжущего // Труды ЧГУ им. И.Н.Ульянова. Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции. Чебоксары: Изд-во ЧГУ им. И.Н.Ульянова, 2016. С. 226-239.
- [9]. Шилов А.В. Инновационные методы армирования сборных конструкций из железобетона углеволокнистыми сетками // Инженерный вестник Дона. 2016. № 1(40). С. 59.
- [10]. Грановский А.В., Галишникова В.В., Берестенко Е.И. Перспективы применения арматурных сеток на основе базальтового волокна в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 3. С. 59-63.
- [11]. Fraternalia F., Carpentier G., Modanob B., Fabbrocino F., Skeltond R.E. A tensegrity approach to the optimal reinforcement of masonry domes and vaults through fiber-reinforced composite materials. Composite Structures. 2015. No. 134. pp. 247–254.
- [12]. Witzany J., Zigler R., Kroftova K. Strengthening of compressed brick masonry walls with carbon composites. Construction and Building Materials. 2016. No. 112. pp. 1066–1079.
- [13]. Sistia R., Corradib M., Borria A. An experimental study on the influence of composite materials used to reinforce masonry ring beams. Construction and Building Materials. 2016. No. 122. pp. 231–241.

#### References

- [1]. Orlovich R., Mantegazza D., Najchuk A., Derkach V. Sovremennyye sposoby remonta i usileniye kamennykh konstruktсий [Modern methods of repair and reinforcement of stone structures]. Architecture and construction. 2010. No. 2. Pp. 86-87. (rus)
- [2]. Serikhaliev S.B., Zimin S.S., Orlovich R.B. Defekty zashchitno-dekorativnoy kirpichnoy oblitovki fasadov karkasnykh zdaniy [Defects of protective and decorative brick facings of facade buildings]. Construction of unique buildings and structures. 2014. No. 5 (20). Pp. 28-38. (rus)
- [3]. Orlovich R.B., Zimin S.S., Nachkina P.A., Trusova A.A. Remont kirpichnogo litsevoogo sloya v sovremennykh karkasno-monolitnykh domakh [Repair of the brick face layer in modern frame-monolithic houses]. Construction of unique buildings and structures. 2014. No. 8 (23). Pp. 136-153. (rus)
- [4]. Orlovich R.B., Rubtsov N.M., Zimin S.S. O rabote ankerov v mnogosloynnykh ograzhdayushchikh konstruktсийakh s naruzhnym kirpichnym sloyem [On the work of anchors in multi-layered enclosing structures with an outer brick layer]. Engineering and construction magazine. 2013. No. 1. Pp. 3-11. (rus)
- [5]. Granovsky A.V., Dzhamaev B.K., Dottuev A.I. Primeneniye kompozitnoy setki na osnove bazaltovogo volokna dlya usileniya kamennoy kladki [Application of a composite mesh based on basalt fiber for reinforcing masonry]. Industrial and civil construction. 2016. No. 5. Pp. 31-35. (rus)
- [6]. Startsev S.A., Sundukova A.A. Usileniye kirpichnoy kladki kompozitnymi materialami i vintovymi sterzhnyami [Strengthening of brickwork with composite materials and screw rods]. Construction of unique buildings and structures. 2014. No. 6 (21). Pp. 17-31. (rus)
- [7]. Komokhov P.G., Belentsov Yu.A. Sovershenstvovaniye metodov armirovaniya kirpichnoy kladki [Perfection of methods of reinforcement of a brick masonry]. Building materials. 2004. No. 1. Pp. 33. (rus)
- [8]. Amato P., Bakhmsov V.A., Kuklin V.A., Andreev V.G., Bakhmsov I.A. Sposob staticheskogo ukrepleniya elementov oblitovki kompozitnymi sistemami, sostoyashchimi iz setki iz vysokoprochnogo volokna i kleyashchego rastvora na osnove mineralnogo vyazhushchego [The method of static strengthening of cladding elements by composite systems consisting of a grid of high-strength fiber and an adhesive solution based on a mineral binder. Proc. I.N. Ulyanov. New in architecture, design of building structures and reconstruction]. Cheboksary: Publishing house of the Chechen State University. I.N. Ulyanova, 2016. Pp. 226-239. (rus)
- [9]. Shilov A.V. Innovatsionnyye metody armirovaniya sbornykh konstruktсий iz zhelezobetona uglevolokonnymi setkami [Innovative methods of reinforcing prefabricated structures of reinforced concrete with carbon fiber grids]. Engineering Bulletin of the Don. 2016. No. 1 (40). Pp. 59. (rus)
- [10]. Granovsky A.V., Galishnikova V.V., Berestenko E.I. Perspektivy primeniya armaturnykh setok na osnove bazaltovogo volokna v stroitelstve [Prospects of the use of reinforcing nets on the



- [14]. Кузьмин И.С. Арматурные сетки заводского изготовления при армировании перекрытий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 1. С. 53-60.
- [15]. Туманов А.В., Попылькова Я.Д. Совершенствование классификации трещин армокирпичных стен с армированием сетками через четыре ряда // Труды ПГУАС. Актуальные проблемы современного фундаментостроения с учетом энергосберегающих технологий. Пенза: Изд-во ПГУАС, 2014. С. 56-58.
- [16]. Хаткевич А.М., Гринёв В.Д., Гиль А.И. Работа кирпичной кладки с сетчатой арматурой // Строительство. Прикладные науки. 2014. № 16. С. 20-27.
- [17]. Белов В.В., Деркач В.Н. Экспертиза и технология усиления каменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 7. С. 14-20.
- [18]. Hamed E., Rabinovitch O. Masonry walls strengthened with composite materials – dynamic out-of-plane behavior. *European Journal of Mechanics - A/Solids*. 2008. No. 27. Pp. 1037-1059.
- [19]. Castoria G., Borria A., Corradib M. Behavior of thin masonry arches repaired using composite materials. *Composites Part B: Engineering*. 2016. No. 87. Pp. 311–321.
- [20]. Aleccia V., Focaccib F., Roveroa L., Stipoa G., Stefanoa M. Extradados strengthening of brick masonry arches with PBO–FRCM composites: Experimental and analytical investigations. *Composite Structures*. 2016. No. 149. pp. 184–196.
- [21]. ГОСТ 6943.10-2015 Материалы текстильные стеклянные. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве.
- [22]. ГОСТ 12004-81 Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение.
- [23]. Столяров О.Н., Мельников Б.Е., Логинова И.И., Артамонова Д.А. Влияние структуры на вязкоупругие свойства геосинтетических материалов // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 4. С. 11-18.
- [24]. Полилов А.Н., Татусь Н.А. Экспериментальное обоснование критериев прочности волокнистых композитов, проявляющих направленный характер разрушения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2012. № 2. С. 140-166.
- [25]. Джигрин А.В., Махраков И.В. Исследование структуры композита со спирально армированным наполнителем для анкерной крепи // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2012. № 2. С. 38-43.
- [26]. Рогов В.А., Шкарупа М.И., Велис А.К. Классификация композиционных материалов и их роль в современном машиностроении // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2012. № 2. С. 41-49.
- [27]. Беляева Е.А., Шацкая Т.Е., Ананьева Е.С., Осипчик В.С., Васильева А.А., Жирков Е.П. Наномодифицированные эпоксидные матрицы для композиционных материалов на основе органических и минеральных волокон. Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2012. Т. 9. № 1. С. 119-123.
- [28]. Теплова Ж.С., Киски С.С., Стрижкова Я.Н. Стеклопластиковая арматура для армирования бетонных конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 9(24). С. 49-70.
- basis of basalt fiber in construction]. *Industrial and civil construction*. 2015. No. 3. Pp. 59-63. (rus)
- [11]. Fraternalia F., Carpentieria G., Modanob B., Fabbrocinioc F., Skeltond R.E. A tensegrity approach to the optimal reinforcement of masonry domes and vaults through fiber-reinforced composite materials. *Composite Structures*. 2015. No. 134. Pp. 247–254.
- [12]. Witzany J., Zigler R., Kroftova K. Strengthening of compressed brick masonry walls with carbon composites. *Construction and Building Materials*. 2016. No. 112. Pp. 1066–1079.
- [13]. Sista R., Corradib M., Borria A. An experimental study on the influence of composite materials used to reinforce masonry ring beams. *Construction and Building Materials*. 2016. No. 122. Pp. 231–241.
- [14]. Kuzmin I.S. Armaturnyye setki zavodskogo izgotovleniya pri armirovaniy perekrytiy [Prefabricated reinforcement mesh with reinforcement of floors]. *Construction of unique buildings and structures*. 2016. No. 1. Pp. 53-60. (rus)
- [15]. Tumanov A.V., Popilkova Ya.D. Sovershenstvovaniye klassifikatsiy treshchin armokirpichnykh sten s armirovaniyem setkami cherez chetyre ryada [Perfection of the classification of cracks in armo-brick walls with reinforcement by meshes through four rows. *Proceedings of PGUAS. Actual problems of modern foundation engineering taking into account energy-saving technologies*]. Penza: Publishing House of PGUAS, 2014. Pp. 56-58. (rus)
- [16]. Khatkevich A.M., Grinev V.D., Gil A.I. Rabota kirpichnoy kladki s setchatoy armaturoy [Work of brickwork with mesh reinforcement]. *Building. Applied Science*. 2014. No. 16. Pp. 20-27. (rus)
- [17]. Belov V.V., Derkach V.N. Ekspertiza i tekhnologiya usileniya kamennykh konstruksiy [Examination and technology of strengthening stone structures]. *Civil-engineering journal*. 2010. No. 7. Pp. 14-20. (rus)
- [18]. Hamed E., Rabinovitch O. Masonry walls strengthened with composite materials – dynamic out-of-plane behavior. *European Journal of Mechanics - A/Solids*. 2008. No. 27. Pp. 1037-1059.
- [19]. Castoria G., Borria A., Corradib M. Behavior of thin masonry arches repaired using composite materials. *Composites Part B: Engineering*. 2016. No. 87. Pp. 311–321.
- [20]. Aleccia V., Focaccib F., Roveroa L., Stipoa G., Stefanoa M. Extradados strengthening of brick masonry arches with PBO–FRCM composites: Experimental and analytical investigations. *Composite Structures*. 2016. No. 149. Pp. 184–196.
- [21]. Russian State Standard GOST 6943.10-2015 Materialy tekstilnyye steklyannyye. Metod opredeleniya razryvnoy nagruzki i udlineniya pri razryve [Textile glass materials. Method for determining the breaking load and elongation at break]. (rus)
- [22]. Russian State Standard GOST 12004-81 Stal armaturnaya. Metody ispytaniya na rastyazheniye [Reinforcing steel. Tensile Test Methods]. (rus)
- [23]. Stolyarov O.N., Melnikov B.E., Loginova I.I., Artamonova D.A. Vliyaniye struktury na vyazkouprugiye svoystva geosinteticheskikh materialov [Influence of structure on viscoelastic properties of geosynthetic materials]. *Civil-engineering journal*. 2014. No. 4. Pp. 11-18. (rus)
- [24]. Polilov A.N., Tatus N.A. Eksperimentalnoe obosnovanie kriteriev prochnosti voloknistykh kompozitov, proyavlyayuschih napravlenyyiy harakter razrusheniya [Experimental substantiation criteria strength fiber composites exhibiting directional character destruction]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Mehanika [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Mechanics]*. 2012. No. 2. Pp. 140-166. (rus)
- [25]. Dzhigrin A.V., Mahrakov I.V. Issledovanie struktury kompozita so spiralno armirovannyim napolnitelem dlya ankernoy krepki [Investigation of the structure of the composite reinforced with spiral filler for roof bolting]. *Izvestiya vyisshih uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal [News of higher educational*

institutions. Mountain magazine]. 2012. No. 2. Pp. 38-43. (rus)

- [26]. Rogov V.A., Shkarupa M.I., Velis A.K. Klassifikatsiya kompozitsionnykh materialov i ih rol v sovremennom mashinostroenii [Classification of composite materials and their role in modern engineering]. Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernyie issledovaniya [Bulletin of the Russian University of Peoples' Friendship. Series: Engineering studies]. 2012. No. 2. Pp. 41-49. (rus)
- [27]. Belyaeva E.A., Shatskaya T.E., Ananeva E.S., Osipchik V.S., Vasileva A.A., Zhirkov E.P. Nanomodifitsirovannyye epoksidnyie matritsyi dlya kompozitsionnykh materialov na osnove organicheskikh i mineralnykh volokon [Nanomodified epoxy matrix for composite materials based on organic and mineral fibers]. Fundamentalnyie problemyi sovremennogo materialovedeniya [Fundamental problems of modern materials science]. 2012. T. 9. No. 1. Pp. 119-123. (rus)
- [28]. Teplova ZH.S., Kiski S.S., Strizhkova YA.N. Stekloplastikovaya armatura dlya armirovaniya betonnykh konstrukcij [Fiberglass reinforcement for reinforcement of concrete structures]. Construction of unique buildings and structures. 2014. No. 9(24). Pp. 49-70.

**Контактная информация**

**Contact information**

- |   |  |
|---|--|
| 1.* +7(911)8375750, almak17@yandex.ru (Макаров Алексей Игоревич, студент)                 | 1.* +7(911)8375750, almak17@yandex.ru (Alexey Makarov, Student)                  |
| 2. +7(911)8360769, lenusik_ya_ne@mail.ru (Морина Елена Андреевна, студент)                | 2. +7(911)8360769, lenusik_ya_ne@mail.ru (Elena Morina, Student)                 |
| 3. +7(911)7333721, martynovgleb@rambler.ru (Мартынов Глеб Вадимович, студент)             | 3. +7(911)7333721, martynovgleb@rambler.ru (Gleb Martynov, Student)              |
| 4. +7(911)0270212, 12dm02@rambler.ru (Монастырева Дарья Евгеньевна, студент)              | 4. +7(911)0270212, 12dm02@rambler.ru (Daria Monastyreva, Student)                |
| 5. +7(911)2250549, polya-sherstobitova@yandex.ru (Шерстобитова Полина Андреевна, студент) | 5. +7(911)2250549, polya-sherstobitova@yandex.ru (Polina Sherstobitova, Student) |
| 6. +7(981)7030960, yasmin1010@yandex.ru (Бегич Ясмин Эдинович, студент)                   | 6. +7(981)7030960, yasmin1010@yandex.ru (Yasmin Begich, Student)                 |
| 7. +7(911)1313237, anuta_yaya_ne_@mail.ru (Морина Анна Андреевна, студент)                | 7. +7(911)1313237, anuta_yaya_ne_@mail.ru (Anna Morina, Student)                 |

© Макаров А.И., Морина Е.А., Мартынов Г.В., Монастырева Д.Е., Шерстобитова П.А., Бегич Я.Э., Морина А.А., 2018