Адгезия стальных и стеклопластиковых кладочных сеток с бетоном

А.И. Макаров, Е.А. Морина, Г.В. Мартынов, Д.Е. Монастырева,
А.А. Морина, П.А. Шерстобитова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ),
195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

АННОТАЦИЯ

Введение. Для предотвращения образования трещин и последующего разрушения кладочных конструкций на стадии возведения их армируют сетками. Важным параметром для эффективной работы такой конструкции служит совместность работы армирующего материала и основного тела конструкции. Исследуется адгезия (величина силы сцепления) элементов стеклопластиковых и стальных сеток с мелкозернистым бетоном, являющимся связующим отдельных элементов кладки — кирпичей.

Материалы и методы. Для определения величины силы сцепления стержней с бетоном проведены испытания армированных балок на четырехточечный изгиб. Испытуемые образцы балок состоят из двух половинок, соединенных между собой стержнем в нижней (растянутой) и распертых шарниром в верхней (сжатой) зоне. В качестве арматуры балок выступают отдельные элементы стальных и стеклопластиковых сеток с принудительно ограниченной зоной анкеровки в бетоне. Отслеживание проскальзывания стержней в бетоне осуществляется с помощью индикатора микрометра часового типа, неподвижно закрепленного на испытуемых образцах.

Результаты. По итогам испытания определены усилия проскальзывания стержней и вычислены напряжения сцепления элементов стальных и стеклопластиковых сеток с бетоном, построены диаграммы зависимости напряжения сцепления от проскальзывания стержней. Проведен сравнительный анализ величин адгезии стеклопластиковых и стальных стержней с бетоном при различных значениях проскальзывания, и выявлен характер зависимости величины сцепления стержней от проскальзывания.

Выводы. Стеклопластиковые сетки имеют ряд недостатков по сравнению со стальными сетками, однако большое количество положительных характеристик стеклопластиковых сеток, в том числе и большая адгезия с бетоном, делают их конкурентоспособными, а во многих случаях и более предпочтительными к использованию в конструкциях, чем стальные сетки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сцепление арматуры с бетоном, адгезия, кирпичная кладка, армирование конструкций, кладочная сетка, композитные материалы, стальные сетки, композитные сетки, инновации в строительстве

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Макаров А.И., Морина Е.А., Мартынов Г.В., Монастырева Д.Е., Морина А.А., Шерстобитова П.А. Адгезия стальных и стеклопластиковых кладочных сеток с бетоном // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 6. С. 700–712. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.6.700-712

Adhesion of steel and fiberglass meshes with concrete

Aleksey I. Makarov, Elena A. Morina, Gleb V. Martynov,
Daria E. Monastireva, Anna A. Morina, Polina A. Sherstobitova

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU),
29 Polytechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. To prevent the formation of cracks and destruction of masonry structures they are reinforced with meshes at the stage of construction. Compatibility of the reinforcing material and the main body of the structure is an important parameter for the efficient operation of the structure. The article examines the amount of adhesion of fiberglass and steel mesh elements with sand concrete, which is the binding of bricks.

Materials and methods. Reinforced beams are tested for bending. Samples of beams consist of two halves connected by a rod in a stretched zone and uncoupled by a hinge in a compressed zone. Elements of steel and fiberglass grids with limited anchorage zones in concrete act as reinforcement. The values of rod slippage in concrete were fixed by a dial gauge.

Results. According to the results of the test, the slipping forces of the rods were obtained and the cohesive stresses of the elements of steel and fiberglass grids with concrete were calculated, and diagrams were drawn. The value of adhesion with concrete fiberglass rods was greater compared with the adhesion of steel rods for all values of slip.

Conclusions. Fiberglass meshes have a number of drawbacks to steel meshes, however, a large number of positive characteristics of fiberglass meshes, including adhesion with concrete, make them competitive with steel, and in many cases more preferable for use in structures.

KEYWORDS: coupling reinforcement with concrete, adhesion, brickwork, reinforcement of structures, masonry mesh, composite materials, steel mesh, composite mesh, innovation in construction

FOR CITATION: Makarov A.I., Morina E.A., Martynov G.V., Monastyreva D.E., Morina A.A., Sherstobitova P.A. Adhesion of steel and fiberglass meshes with concrete. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14(6):700-712. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.6.700-712

ВВЕДЕНИЕ

Существует большое количество строительных материалов, применяемых при возведении зданий и сооружений. Одни материалы хорошо сопротивляются сжатию и не переносят растяжение, другие, напротив, применяются исключительно при возникновении в конструкциях растягивающих усилий. Путем совместного использования подобных материалов получают уже широко распространенные в строительстве композиты. Наглядным примером данного типа материалов является железобетон, отличающийся высокой сопротивляемостью сжатию благодаря его основному компоненту — бетону, и одновременно способный выдерживать изгибные и растягивающие напряжения, которые воспринимает стальная арматура, определенным образом расположенная в теле бетона. Однако далеко не всегда при возведении зданий и сооружений используют монолитные конструкции, свою высокую позицию занимают конструкции из кладочных материалов, например, кирпича.

Кирпич — один из наиболее популярных материалов для возведения стен. К его существенным достоинствам следует отнести такие параметры, как морозостойкость, огнеупорность, влагостойкость, экологичность, а также правильность геометрической формы и небольшой размер изделия — все это позволяет возводить стены любой конфигурации. Один из самых главных параметров кирпичной стены — высокая сопротивляемость сжатию, что достигается из-за высокой прочности кирпича. В то же время, как и бетон, кирпич плохо противостоит растяжению и изгибу, и во избежание повреждения стен и их преждевременного разрушения, кладку армируют сетками, которые и снимают растягивающие напряжения, а также сглаживают деформации в зонах концентрации напряжений [1–4].

Для армирования кирпичной кладки применяются различные виды сеток. В основном кладку армируют стальными сетками, однако все чаще

применяются альтернативные им стеклопластиковые [5–8]. Стеклопластик прочнее стали при равных диаметрах стержней, что доказывает его экономическую эффективность, имеет меньший вес, а также более долговечен благодаря своей коррозионной и химической стойкости [9–13]. Стальные сетки лучше сопротивляются растяжению и имеют высокую огнестойкость [14–16]. Композитные сетки также широко используются при усилении уже существующих зданий и сооружений, сохраняя их внешний облик и историческую ценность [17–22].

Тем не менее при выборе армирующего материала недостаточно руководствоваться только его физическими свойствами, ведь данный материал будет работать не самостоятельно, а совместно с другим. В связи с этим очень важно сцепление армирующего материала с основным телом конструкции. В случае с кирпичной стеной, ячейки которой связываются цементно-песчаным раствором, важно отсутствие проскальзывания арматуры в затвердевшем растворе [23–28].

Цель данной статьи заключается в определении силы адгезии с цементным раствором сопоставимых по прочности элементов стальных и стеклопластиковых кладочных сеток.

В рамках поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Провести испытания балок, армированных стальными и стеклопластиковыми стержнями (элементами армирующих сеток), на изгиб для определения предела прочности сцепления с бетоном методом изгиба балки по ГОСТ 31938-2012 и определить усилия проскальзывания.

2. Исходя из полученных данных, вычислить предел прочности сцепления элементов сеток с бетоном.

3. Провести сравнительный анализ полученных результатов и сформулировать выводы об эффективности использования данных типов сеток при армировании кирпичных стен.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для определения прочности сцепления композитной арматуры с бетоном устанавливается два вида испытаний: осевое выдергивание арматуры из бетонного куба и испытание балки на изгиб (рис. 1), прописанные в ГОСТ 31938-2012¹. Для определения сцепления стеклопластиковых и стальных стержней с бетоном в работе применяется второй вид испытаний, анализ особенностей, преимуществ и недостатков которого произведен в статье А.А. Зиновкина [28].

Образец для испытания состоит из двух полубалок, соединенных между собой испытываемым стержнем (элементом стальной или стеклопластиковой сетки) в нижней (растянутой) зоне образца. В верхней (сжатой) зоне между полубалками устанавливается шарнир. Контакт стержня с бетоном ограничен — вне зоны сцепления заделанный в бетон стержень защищен от контакта с ним поливинилхлоридной трубкой, диаметр которой соответствует наружному диаметру элемента сетки.

Данный метод испытаний имеет множество преимуществ, однако подготовка образцов для его проведения достаточно трудоемка.

Для реализации метода потребуются:

- 1) армирующие стержни — элементы стальных и стеклопластиковых сеток;
- 2) опалубка для заготовки образцов;
- 3) шарнир — стальной цилиндр;

4) цементно-песчаная смесь с наибольшей крупностью заполнителя 2,5 мм в соответствии с ГОСТ 28013-98²;

5) вода.

В качестве армирующих стержней были приняты сопоставимые по прочности элементы стальной сетки диаметром 3,5 мм и элементы стеклопластиковой сетки диаметром 2,5 мм [20]. Данные элементы в количестве трех штук каждого были отделены от сеток с помощью лобзика, а места сопряжения с поперечно идущими им стержнями были зачищены напильником для образования ровной поверхности стержня и, соответственно, для обеспечения равномерного сцепления стержня с бетоном.

Опалубка для образцов изготавливалась в соответствии с ГОСТ 31938-2012. Для основы опалубки под заливку полубалок был принят прямоугольный ПВХ кабель-канал размером 40 × 25 мм.

Торцы таврового профиля кабель-канала были закрыты соответствующими его размеру тройниками и зафиксированы силиконовым клеем-герметиком. Перегородки между полубалками вырезаны из крышки кабель-канала подходящего размера и установлены в пазы, прорезанные на ширину шарнира-цилиндра. В торцевых стенках опалубки просверлены отверстия равные диаметрам армирующих стержней с выполнением условия обеспечения защитного слоя в размере 5 мм до стенки опалубки. Армирующие стержни установлены у одной стенки опалубки, а шарнир, в качестве которого была использована дверная петля, у другой. Готовая опалубка изображена на рис. 4.

Длина анкеровки стержней была принята равной 25 мм из сопоставления предположитель-

² ГОСТ 28013-98. Растворы строительные.

¹ ГОСТ 31938-2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия.

Рис. 1. Схема балки при испытании на изгиб: 1 — испытываемый стержень; 2 — поливинилхлоридная трубка; l_{an} — зона анкеровки; P — прилагаемая нагрузка

Fig. 1. Beam scheme for bending testing: 1 — tested rod; 2 — PVC tube; l_{an} — anchoring zone; P — applied load

Рис. 2. Армирующие стержни (элементы стальных и стеклопластиковых сеток)

Fig. 2. Reinforcing rods (steel and fiberglass mesh elements)

Рис. 3. Заготовка ПВХ кабель-канала для изготовления опалубки

Fig. 3. PVC cable duct element, a blank for making shuttering

ного сопротивления проскальзыванию стального образца и максимально возможной приложенной нагрузки равной 5000 Н, ограниченной возможностями универсального измерительного комплекса Instron 5965.

Цементный раствор для заливки образцов изготовлен путем смешивания цемента, мелкозернистого песка и воды согласно ГОСТ 28013-98 и реко-

мендациями производителя цемента о необходимых пропорциях для достижения марки по прочности М150. После заливки раствора в опалубку (рис. 5), он был тщательно проштыкован для качественного заполнения формы и уменьшения образования пор.

Подготовленные образцы в возрасте 28 сут испытывались на универсальном измерительном комплексе Instron 5965. Схема установки образца

Рис. 4. Готовая опалубка

Fig. 4. Finished shuttering

Рис. 5. Образцы в процессе твердения в опалубке

Fig. 5. Hardening beam samples in shuttering

отражена на рис. 1, габариты положения образца, обозначенные буквами на рис. 1, представлены в табл. 1.

Табл. 1. Фактические значения параметров, обозначенных на рис. 1

Table 1. Actual values of parameters indicated in Fig. 1

Параметр / Parameter	Значение, мм / Value, mm
a	52
b	33
$l_{ан}$	25

Испытания образцов выполнялись в соответствии с ГОСТ 31938-2012 путем четырехточечного изгиба балки со скоростью приложения нагрузки 250 Н/мин. Измерение проскальзывания осуществлялось с помощью установки на образец индикатора микрометра часового типа, предварительно закрепленного на образец. Способ установки индикатора показан на рис. 6. Образец на испытательном стенде до и после нагружения изображен на рис. 7 и 8.

Показания нагрузки снимались при достижении проскальзывания 0,01; 0,05; 0,10 мм. Нагружение образца продолжалось вплоть до проскальзывания 0,25 мм, либо до разрушения образца.

Рис. 6. Конструкция крепления индикатора часового типа

Fig. 6. Dial indicator attachment

Рис. 7. Образец балки непосредственно перед испытанием

Fig. 7. Beam sample just before testing

Рис. 8. Образец балки после испытания

Fig. 8. Beam sample after testing

По результатам испытаний строят диаграммы «напряжение сцепления – проскальзывание» для каждого образца, а также определяют средние напряжения сцепления, вызывающие проскальзывание свободного конца стержня на 0,01; 0,05; 0,10 и 0,25 мм и максимальное напряжение сцепления, которое вычисляется по формуле:

$$\tau_r = \frac{N_x}{u \cdot l_{ан}},$$

где N_x — осевое усилие в стержне, Н; u — периметр стержня, мм; $l_{ан}$ — длина анкерной (зоны сцепления стержня с бетоном), мм.

Осевое усилие в стержне N_x , Н, в середине балки вычисляют по формуле:

$$N_x = \frac{M}{z},$$

где M — общий момент в сечении, который разделяет балку на половинки, Н·мм; z — плечо внутренней пары в сечении, разделяющее балку на две полови-

ны, равное расстоянию от оси стержня до оси стального цилиндра в сжатой зоне, мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Фактический диаметр образцов стеклопластиковых сеток не соответствовал заявленному значению. Расчет прочности сцепления, а также других параметров стержней производился с учетом фактических значений диаметра. Постоянные параметры образцов, необходимые для проведения расчетов, представлены в табл. 2.

Результаты испытаний образцов балок, армированных элементами стальных и стеклопластиковых сеток, на изгиб представлены в табл. 3.

Образцы под № 1, армированные элементами двух разных сеток, разрушились еще до проскальзывания стержней в бетоне. Разрушение образцов наступило вследствие смятия бетона над опорами и последующего развития наклонных трещин. Предел прочности бетона на сжатие над опорами был

Табл. 2. Постоянные параметры испытываемых стержней

Table 2. Invariable parameters of tested rods

Элемент сетки / Mesh element	Плечо z , мм / Lever z , mm	Диаметр, мм / Diameter, mm	Анкеровка $l_{ан}$, мм / Anchoring $l_{ан}$, mm	Периметр u , мм / Perimeter u , mm
Стальной / Steel	26	3,5	25	11,00
Стеклопластиковой / Fibreglass	26	2,2	25	6,91

Табл. 3. Результаты испытания образцов

Table 3. Sample test results

Образец / Sample	Скольжение, мм / Slip, mm	Нагрузка на балку, Н / Beam load, N	Нагрузка на полубалку P , Н / Half-beam load P , N	Момент в балке M , Н·мм / Beam moment M , N·mm	Усилие в стержне N_x , Н / Rod force N_x , N	Напряжение сцепления τ_p , МПа / Adhesion stress τ_p , MPa
Элемент стальной сетки / Steel mesh element						
1	Разрушение от смятия бетона на опорах при нагрузке 940 Н / Fracture from compression of concrete on supports under load of 940 N					
2	0,01	1820	910	30 030	1155,0	4,202
	0,05	2040	1020	33 660	1294,6	4,710
	0,1	2160	1080	35 640	1370,8	4,987
	Разрушение / Fracture	2290	1145	37 785	1453,3	5,287
3	0,01	1900	950	31 350	1205,8	4,386
	0,05	2170	1085	35 805	1377,1	5,010
	0,1	2250	1125	37 125	1427,9	5,194
	Разрушение / Fracture	2400	1200	39 600	1523,1	5,541
Элемент стеклопластиковой сетки / Fibreglass mesh element						
1	Разрушение от смятия бетона на опорах при нагрузке 1220 Н / Fracture from compression of concrete on supports under load of 1220 N					
2	0,01	1410	705	23 265	894,8	5,179
	0,05	1650	825	27 225	1047,1	6,060
	0,1	1800	900	29 700	1142,3	6,611
	Разрушение / Fracture	1980	990	32 670	1256,5	7,272
3	0,01	1390	695	22 935	882,1	5,105
	0,05	1520	760	25 080	964,6	5,583
	0,1	1630	815	26 895	1034,4	5,987
	Разрушение / Fracture	1720	860	28 380	1091,5	6,317

превышен, причиной чего стала форма неплоских опор с маленьким радиусом скругления поверхности. Площадь контакта бетонных балок с опорой оказалась слишком мала, что привело к возникновению напряжений в бетоне, близким к пределу его прочности на сжатие уже при нагрузке 500 Н на полубалку.

Во избежание преждевременного разрушения образцов 2 и 3 опоры испытательной установки были модифицированы путем использования металлической пластины в качестве проставки между балкой и опорой. Данное решение позволило распределить усилия в пятне контакта балки с опорой и избежать смятия бетона.

У образцов 2 и 3 удалось зафиксировать прикладываемые усилия при перемещении стержней

на необходимые значения, а также приложенные усилия при разрушении образцов, которое происходило также по наклонным трещинам, вследствие отсутствия поперечного армирования, но уже без предварительного смятия над опорами.

Для наглядного сравнения результатов испытания полубалок на проскальзывание стержней составлена диаграмма зависимости напряжения сцепления от проскальзывания стержней в бетоне на основе осредненных результатов по двум экземплярам балок, армированных элементами стальных и стеклопластиковых сеток (рис. 9).

Диаграммы зависимости напряжения сцепления от проскальзывания двух типов образцов схожи, однако величина напряжения сцепления стеклопластиковых стержней с бетоном выше, чем у стали

Рис. 9. Диаграмма зависимости напряжения сцепления от проскальзывания

Fig. 9. Adhesion stress versus slip diagram

Табл. 4. Зависимость напряжения сцепления от проскальзывания

Table 4. Adhesion stress versus slip table

Скольжение, мм / Slip, mm	Среднее напряжение сцепления, МПа / Average adhesion stress, MPa		Разница сцепления, % / Adhesion difference, %
	Сталь / Steel	Стеклопластик / Fibreglass	
0,01	4,3	5,1	19,7
0,05	4,9	5,8	19,8
0,1	5,1	6,3	23,7
Разрушение / Fracture	5,4	6,8	25,5

при всех значениях проскальзывания. Разница в величине сцепления с бетоном стальных и стеклопластиковых стержней при различных величинах проскальзывания представлена в табл. 4.

Можно отметить, что по мере увеличения проскальзывания сцепление элементов кладочных сеток с бетоном монотонно увеличивается и достигает своего максимального значения при разрушении балки. Адгезия с бетоном стеклопластиковых сеток практически на четверть превышает значение адгезии стальной сетки, что является хоть и не существенным, однако значимым преимуществом стеклопластиковых сеток перед стальными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

По итогам проведенных испытаний на изгиб бетонных полубалок, армированных элементами стальных и стеклопластиковых сеток, были зафиксированы усилия проскальзывания стержней и,

исходя из полученных данных, вычислены пределы прочности сцепления элементов сеток с бетоном. Анализ результатов наглядно демонстрирует характер изменения силы сцепления стержней с бетоном от величины проскальзывания стержня. Напряжение сцепления арматуры с бетоном (наиболее важный параметр, характеризующий общую эффективность совместной работы материалов в конструкции) оказалось выше практически на 25 % у стеклопластиковых стержней, чем у стальных.

Композитная стеклопластиковая арматура и в том числе сетки имеют множество преимуществ, но в то же время и ряд недостатков перед стальными. По результатам исследования в список положительных параметров стеклопластика можно занести еще один пункт — отличная адгезия с бетоном. Этот факт делает выбор стеклопластиковой сетки (взамен стальной) для армирования кирпичной кладки более предпочтительным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хаткевич А.М., Гринев В.Д., Гиль А.И. Работа кирпичной кладки с сетчатой арматурой // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F. Строительство. Прикладные науки. 2014. № 16. С. 20–27.
2. Грановский А.В., Джамуев Б.К., Дотмуев А.И. Применение композитной сетки на основе базальтового волокна для усиления каменной кладки // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 5. С. 31–35.
3. Sisti R., Corradi M., Borri A. An experimental study on the influence of composite materials used to reinforce masonry ring beams // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 122. Pp. 231–241. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.120
4. Banerjee S., Nayak S., Das S. Enhancing the flexural behaviour of masonry wallet using PP band and steel wire mesh // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 194. Pp. 179–191. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.001
5. Carozzi F.G., D'Antino T., Poggi C. In-situ experimental tests on masonry panels strengthened with Textile Reinforced Mortar composites // Procedia Structural Integrity. 2018. Vol. 11. Pp. 355–362. DOI: 10.1016/j.prostr.2018.11.046
6. Семенов В.В., Кравец А.И. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях // Молодежный вестник ИрГТУ. 2017. № 2. С. 23.
7. Теплова Ж.С., Куски С.С., Стрижкова Я.Н. Стеклопластиковая арматура для армирования бетонных конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 9 (24). С. 49–70.
8. Bedard C. Composite reinforcing bars: assessing their use in construction // Concrete International. 2012. No. 14. Pp. 55–59.
9. Максимов С.П., Баикова Ю.Б., Вишнев Е.П. Экспериментальные исследования работы стеклопластиковой арматуры при армировании бетонных конструкций // UNIVERSUM: Технические науки. 2015. № 6 (18). С. 11.
10. Какуша В.А., Горбунов И.А. Анализ современного опыта применения композитной арматуры в бетонных конструкциях // Дни студенческой науки : сб. докл. науч.-техн. конф. по итогам научно-исследовательских работ студентов института строительства и архитектуры, 12–16 марта 2018, Москва. М. : Изд-во НИУ МГСУ, 2017. С. 820–823.
11. Tarek E., Hesham H., Awad H., Hassan A. Behavior of slabs reinforced using square gfrp rebars // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 1 (13). С. 78–88.
12. Chao Xu, Ping zhou Cao, Kai Wu, Shi-qi Lin, Ding guo Yang. Experimental investigation of the behavior composite steel-concrete composite beams containing different amounts of steel fibres and conventional reinforcement // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 202. Pp. 23–36. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.01.026
13. Mustafa S.A.A., Hassan H.A. Behavior of concrete beams reinforced with hybrid steel and FRP composites // HBRC Journal. 2018. Vol. 14. Issue 3. Pp. 300–308. DOI: 10.1016/j.hbrcj.2017.01.001
14. Мазуренко Е.М., Вичужанин А.Д. Сравнительный анализ металлической арматуры и арматуры из композитных материалов // Наука и образование: новое время. 2017. № 3 (20). С. 80–89.
15. Макаров А.И., Морина Е.А., Мартынов Г.В., Монастырева Д.Е., Шерстобитова П.А., Бегич Я.Э. и др. Упругие и прочностные характеристики материалов кладочных сеток // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 4 (67). С. 52–61. DOI: 10.18720/CUBS.67.4
16. Fraternali F., Carpentieri G., Modano B., Fabbrocino F., Skelton R.E. A tensegrity approach to the optimal reinforcement of masonry domes and vaults through fiber-reinforced composite materials // Composite Structures. 2015. Vol. 134. Pp. 247–254. DOI: 10.1016/j.compstruct.2015.08.087
17. Witzany J., Zigler R., Kroftova K. Strengthening of compressed brick masonry walls with carbon composites // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 112. Pp. 1066–1079. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.026
18. Carozzi F.G., Poggi C., Bertolesi E., Milani G. Ancient masonry arches and vaults strengthened with TRM, SRG and FRP composites: Experimental evaluation // Composite Structures. 2018. Vol. 187. Pp. 466–480. DOI: 10.1016/j.compstruct.2017.12.075
19. Almeida J.A.P.P., Pereira E.B., Barros J.A.O. Assessment of overlay masonry strengthening system under in-plane monotonic and cyclic loading using the diagonal tensile test // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 94. Pp. 851–865. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.07.040
20. D'Ambrisi A., Mezzi M., Feo L., Berardi V.P. Analysis of masonry structures strengthened with polymeric net reinforced cementitious matrix materials // Composite Structures. 2014. Vol. 113. Pp. 264–271. DOI: 10.1016/j.compstruct.2014.03.032
21. Yan F., Lin Z., Yang M. Bond mechanism and bond strength of GFRP bars to concrete: a review // Composites Part B: Engineering. 2016. Vol. 98. Pp. 56–69. DOI: 10.1016/j.compositesb.2016.04.068
22. Хозин В.Г., Гиздатуллин А.Р. Совместная работа полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном // Актуальные проблемы механики сплошной среды : мат. науч. тр. V Междунар. конф. Ереван : Национальный университет архитектуры и строительства Армении, 2017. С. 137–138.

23. Агафонов В.А., Ярцев В.П. Влияние поверхности композитной арматуры на прочность сцепления с бетоном, сравнение с металлической арматурой // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации : сб. ст. победителей VIII Междунар. науч.-практ. конф. Пенза : Наука и Просвещение, 2017. С. 122–124.

24. Justo J., Paris F. Experimental mechanical characterization of composite-concrete joints // Composites. Part B: Engineering. 2018. Vol. 154. Pp. 148–156. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.08.002

25. Kumar P., Patnaik A., Chaudhary S. Effect of bond layer thickness on behaviour of steel-concrete composite connections // Engineering Structures. 2018. Vol. 177. Pp. 268–282. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.07.054

26. Дронов А.В., Дрокин С.В., Фролов Н.В. Экспериментальное исследование сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 11. С. 80–83.

27. Alhassan M.A., Rousan R.Z.A., Shuqari E.A.A. Bond-slip behavior between fiber reinforced concrete and CFRP composites // Ain Shams Engineering Journal. 2019. DOI: 10.1016/j.asej.2019.03.001

28. Зиновкин А.А. Анализ методики испытания балки на изгиб по определению величины сцепления стеклокомпозитной арматуры с конструкционным керамзитобетоном // Концепции устойчивого развития науки в современных условиях : сб. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. 2017. Вып. 6 (3). С. 50–53.

Поступила в редакцию 20 февраля 2019 г.

Принята в доработанном виде 24 марта 2019 г.

Одобрена для публикации 30 мая 2019 г.

О Б АВТОРАХ: Макаров Алексей Игоревич — студент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, almak17@yandex.ru;

Морина Елена Андреевна — студентка, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, lenusik_ya_ne@mail.ru;

Мартынов Глеб Вадимович — студент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, martynovgleb@rambler.ru;

Монастырева Дарья Евгеньевна — студентка, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, 12dm02@rambler.ru;

Морина Анна Андреевна — студентка, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, anuta_yaya_ne@mail.ru;

Шерстобитова Полина Андреевна — студентка, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, polya-sherstobitova@yandex.ru.

REFERENCES

1. Khatkevich A.M., Grinev V.D., Hil A.I. Strength of masonry with reticular reinforcement. *Vestnik of Polotsk State University. Part F. Constructions. Applied Science*. 2014; 16:20-27. (rus.).

2. Granovsky A.V., Dzhamuev B.K., Dottuev A.I. The use of composite mesh on the basis of basalt fiber for reinforcement of masonry. *Industrial and civil engineering*. 2016; 5:31-35. (rus.).

3. Sisti R., Corradi M., Borri A. An experimental study on the influence of composite materials used to reinforce masonry ring beams. *Construction and Building Materials*. 2016; 122:231-241. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.120

4. Banerjee S., Nayak S., Das S. Enhancing the flexural behaviour of masonry wallet using PP

band and steel wire mesh. *Construction and Building Materials*. 2019; 194:179-191. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.001

5. Carozzi F.G., D'Antino T., Poggi C. In-situ experimental tests on masonry panels strengthened with Textile Reinforced Mortar composites. *Procedia Structural Integrity*. 2018; 11:355-362. DOI: 10.1016/j.prostr.2018.11.046

6. Semenov V.V., Kravec A.I. Application of polymer composite materials in building construction. *ISTU Bulletin of Youth*. 2017; 2:23. (rus.).

7. Teplova Zh.S., Kiski S.S., Strizhkova Y.N. Fiberglass reinforcement for armouring of concrete structures. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014; 9(24):49-70. (rus.).

8. Bedard C. Composite reinforcing bars: assessing their use in construction. *Concrete International*. 2012; 14:55-59.
9. Maksimov S.P., Bashkova Iu.B., Vshivkov E.P. Experimental studies of fiberglass reinforcement's work when reinforcing of concrete structures. *UNIVERSUM: Technical science*. 2015; 6(18):11. (rus.).
10. Kakusha V.A., Gorbunov I.A. Analysis of modern experience in the use of composite reinforcement in concrete structures. *Days of student science : collection of reports of the scientific and technical conference on the results of research works of students of the Institute of Construction and Architecture, 12–16 March 2018, Moscow*. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 2017; 820-823. (rus.).
11. Tarek E., Hesham H., Awad H., Hassan A. Behavior of slabs reinforced using square gfrp rebars. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2010; 1(13):78-88.
12. Chao Xu, Ping zhou Cao, Kai Wu, Shi-qi Lin, Ding guo Yang. Experimental investigation of the behavior composite steel-concrete composite beams containing different amounts of steel fibres and conventional reinforcement. *Construction and Building Materials*. 2019; 202:23-36. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.01.026
13. Mustafa S.A.A., Hassan H.A. Behavior of concrete beams reinforced with hybrid steel and FRP composites. *HBRC Journal*. 2018; 14(3):300-308. DOI: 10.1016/j.hbrej.2017.01.001
14. Mazurenko E.M., Vichuzhanin A.D. Comparative analysis of metal fittings and fittings from composite materials. *Science and education: new time*. 2017; 3(20):80-89. (rus.).
15. Makarov A.I., Morina E.A., Marty`nov G.V., Monastyreva D.E., Sherstobitova P.A., Begich Ia.E. et al. Elastic and strength characteristics of masonry mesh materials. *Construction of unique buildings and structures*. 2018; 4(67):52-61. DOI: 10.18720/CUBS.67.4 (rus.).
16. Fraternali F., Carpentieri G., Modano B., Fabbrocino F., Skelton R.E. A tensegrity approach to the optimal reinforcement of masonry domes and vaults through fiber-reinforced composite materials. *Composite Structures*. 2015; 134:247-254. DOI: 10.1016/j.compstruct.2015.08.087
17. Witzany J., Zigler R., Kroftova K. Strengthening of compressed brick masonry walls with carbon composites. *Construction and Building Materials*. 2016; 112:1066-1079. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.026
18. Carozzi F.G., Poggi C., Bertolesi E., Milani G. Ancient masonry arches and vaults strengthened with TRM, SRG and FRP composites: Experimental evaluation. *Composite Structures*. 2018; 187:466-480. DOI: 10.1016/j.compstruct.2017.12.075
19. Almeida J.A.P.P., Pereira E.B., Barros J.A.O. Assessment of overlay masonry strengthening system under in-plane monotonic and cyclic loading using the diagonal tensile test. *Construction and Building Materials*. 2015; 94:851-865. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.07.040
20. D'Ambrisi A., Mezzi M., Feo L., Berardi V.P. Analysis of masonry structures strengthened with polymeric net reinforced cementitious matrix materials. *Composite Structures*. 2014; 113:264-271. DOI: 10.1016/j.compstruct.2014.03.032
21. Yan F., Lin Z., Yang M. Bond mechanism and bond strength of GFRP bars to concrete: a review. *Composites. Part B: Engineering*. 2016; 98:56-69. DOI: 10.1016/j.compositesb.2016.04.068
22. Hozin V.G., Gizdatullin A.R. Joint work of polymer composite reinforcement with cement concrete. *Actual problems of continuum mechanics : proceedings of the V International Conference*. Yerevan, National University of Architecture and Construction of Armenia Publ., 2017; 137-138. (rus.).
23. Agafonov V.A., Iartcev V.P. Influence of the surface of composite reinforcement on the strength of adhesion to concrete. Steel reinforcement comparison. *Collection of articles of the winners of the VIII International Scientific and Practical Conference*. Penza, Science and Enlightenment Publ., 2017; 122-124. (rus.).
24. Justo J., Paris F. Experimental mechanical characterization of composite-concrete joints. *Composites. Part B: Engineering*. 2018; 154:148-156. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.08.002
25. Kumar P., Patnaik A., Chaudhary S. Effect of bond layer thickness on behaviour of steel-concrete composite connections. *Engineering Structures*. 2018; 177:268-282. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.07.054
26. Dronov A.V., Drokin S.V., Frolov N.V. Experimental investigation of glass-plastic reinforcement-to-concrete bond. *Industrial and civil engineering*. 2016; 11:80-83. (rus.).
27. Alhassan M.A., Rousan R.Z.A., Shuqari E.A.A. Bond-slip behavior between fiber reinforced concrete and CFRP composites. *Ain Shams Engineering Journal*. 2019. DOI: 10.1016/j.asej.2019.03.001
28. Zinovkin A.A. Analysis of the method of testing beams for bending to determine the magnitude of adhesion of glass composite reinforcement with structural claydite-concrete. *Concepts of sustainable development of science in modern conditions : collection of articles on the results of the international scientific-practical conference*. 2017; 6(3):50-53. (rus.).

Received February 20, 2019

Adopted in a modified form March 24, 2019

Approved for publication May 30, 2019

B I O N O T E S : **Aleksey I. Makarov** — undergraduate student, **Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU)**, 29 Polytechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russian Federation, almak17@yandex.ru;

Elena A. Morina — undergraduate student, **Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU)**, 29 Polytechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russian Federation, lenusik_ya_ne@mail.ru;

Gleb V. Martynov — undergraduate student **Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU)**, 29 Polytechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russian Federation, martynovgleb@rambler.ru;

Daria E. Monastyreva — undergraduate student, **Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU)**, 29 Polytechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russian Federation, 12dm02@rambler.ru;

Anna A. Morina — bachelor, **Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU)**, 29 Polytechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russian Federation, anuta_yaya_ne@mail.ru;

Polina A. Sherstobitova — bachelor, **Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU)**, 29 Polytechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russian Federation, polya-sherstobitova@yandex.ru.