

ААСИРИ САНЫН КАТМАРЫН КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛДЫН АЛДЫНДАГЫ КҮЧӨТҮҮ ҮЛГҮЛӨРҮН ТАШ КЛАДКИ

ШОКБАРОВ ЕРАЛЫ МЕЙРАМБЕКОВИЧ

к.т.н., управляющий директор по производству

eshokbarov@kazniisa.kz

АО «КАЗАХСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»

050046, г. Алматы, ул. Солодовникова, 21

ТЕМИРАЛИУЛЫ ГАНИ

магистр, ведущий инженер

gtemiraliuly@kazniisa.kz

АО «КАЗАХСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»

Республика Казахстан, 050046, г. Алматы, ул. Солодовникова, 21

***Кыскача мазмуну:** Бул макалада материалдын катмарлардын ар кандай санда көмүр буласынын негизинде курама материалдар менен күчөтүлгөн таш үлгүлөрүн эксперименталдык изилдөөлөрдүн жыйынтыктарына талдоо жүргүзүлгөн. Таш кладка жүктөлгөн кубаттуулугу бир нече катмарлар таасири аныкталды. Бирдей материалдык жана ар кандай катмарларынын саны ар түрдүү окшош изилдөөлөрдүн талдоо жасалган. Сунушталды аналитикалык жараша аныктоо үчүн жогорулатуу сдвигающего күч Q кладки карата эталонго Q_0 . Натыйжаларына таянуу менен салыштыруу ортосундагы сериями жана ортосунда мурда выполненными сыноолор үчүн кыйла объективдүү аныктоо маанидеги дене мүнөздөмөлөрү k киргизүү сунушталууда поправочного коэффициентинин үчүн экинчи жана үчүнчү катмар. Сходимость теориялык маанисин менен экспериментальными маалыматтар түзөт 10% дан 40% га чейин жагына запастагы көтөрүү жөндөмдүүлүгүн экендигин эске алып, бир аз үлгүлөрдүн саны болуп эсептелет толук акталган.*

***Өзөктүү сөздөр:** үлгүлөрү таш кладки күчөтүү, композиты негизинде углеродного була, катмары күчөтүү, салыштырмалуу несущая жөндөмдүүлүгү, ашып.*

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА СЛОЕВ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ УСИЛЕНИИ ОБРАЗЦОВ КАМЕННОЙ КЛАДКИ

ШОКБАРОВ ЕРАЛЫ МЕЙРАМБЕКОВИЧ

к.т.н., управляющий директор по производству

eshokbarov@kazniisa.kz

АО «КАЗАХСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»

050046, г. Алматы, ул. Солодовникова, 21

ТЕМИРАЛИУЛЫ ГАНИ

магистр, ведущий инженер

gtemiraliuly@kazniisa.kz

АО «КАЗАХСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»

Республика Казахстан, 050046, г. Алматы, ул. Солодовникова, 21

***Аннотация:** В статье проведен анализ результатов экспериментальных исследований каменных образцов, усиленных композитными материалами на основе углеродного волокна при различном*

количестве слоев материала. Определено влияние нескольких слоев усиления на несущую способность каменной кладки. Выполнен анализ различных схожих исследований с одинаковым материалом и разным количеством слоев. Предложены аналитические зависимости для определения повышения сдвигающего усилия Q кладки по отношению к эталону Q_0 . Исходя из результатов сравнения между сериями и между ранее выполненными испытаниями, для более объективного определения значения физической характеристики k , предлагается введение поправочного коэффициента для второго и третьего слоя. Сходимость теоретических значений с экспериментальными данными составляет от 10% до 40% в сторону запаса несущей способности, что, учитывая незначительное количество образцов, является вполне оправданным.

Ключевые слова: образцы каменной кладки, усиление, композиты на основе углеродного волокна, слои усиления, относительная несущая способность, превышение.

EFFECT OF NUMBER OF LAYERS OF COMPOSITE MATERIAL IN THE AMPLIFICATION SAMPLES MASONRY

SHOKBAROV YERALY MEIRAMBEKOVICH

c.e.s., managing director of production

eshokbarov@kazniisa.kz

JSC «KAZAKH RESEARCH INSTITUTE OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE»

050046, Almaty city, Solodovnikova Street 21

TEMIRALIULY GANI

master of construction, leading engineer

gtemiraliuly@kazniisa.kz

JSC «KAZAKH RESEARCH INSTITUTE OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE»

Republic of Kazakhstan, 050046, Almaty city, Solodovnikova Street 21

The abstract: *The article analyzes the results of experimental studies of stone samples reinforced with composite materials based on carbon fiber with a different number of layers of the material. The influence of several layers of reinforcement on the bearing capacity of masonry is determined. The analysis of different similar studies with the same material and different number of layers was performed. Analytical dependences are proposed to determine the increase of the shear force Q of the masonry with respect to the standard Q_0 . Based on the results of the comparison between the series and between the previously performed tests, for a more objective determination of the value of the physical characteristic k , the introduction of a correction factor for the second and third layers is proposed. The convergence of theoretical values with experimental data is from 10% to 40% in the direction of the load-bearing capacity, which, given the small number of samples, is justified.*

Keywords: *samples of masonry, reinforcement, composites based on carbon fiber, layers of amplification, the relative load bearing capacity, exceeding.*

УДК 692.214

В настоящей статье приводятся результаты экспериментальных исследований каменных образцов, усиленных композитными материалами на основе углеродного волокна при различном количестве слоев. Также определено влияние нескольких слоев усиления на несущую способность каменной кладки и введены поправочные коэффициенты при нескольких слоях материала усиления.

Для рассмотрения влияния количества слоев на несущую способность были выполнены образцы [6], конструктивное решение усиления которых было такое же, как в ранее выполненных работах [1]. Образцы в работе [1] серий К-II - К-IV были испытаны по такой же методике экспериментальных исследований. Для того чтобы можно было сравнивать результаты испытаний был произведен пересчет нагрузок и она была приведена к единой прочности раствора серии КЭ-1, равной 4,7 МПа. Результаты ранее проведенных испытаний представлены в таблице 1. Сравнительная таблица влияния количества слоев в проведенных испытаниях представлена в таблице 2.

Таблица 1

Приведенные результаты ранее проведенных испытаний

Условный	Условный номер образца	Предел прочности раствора на сжатие R , МПа	Сопrotивление главным растягивающим	Коэффициент пересчета $Kp =$	Разрушающая нагрузка R_d	Приведенная разрушающая нагрузка	Среднее значение разрушающей нагрузки,	Увеличение несущей способности, %
К-II	У-1-230-1	9,98	3.7909	0.69	60.70	41.66	43.07	38.93 %
	У-1-230-2	10,62	3.9106	0.67	65.26	43.41		
	У-1-230-3	11,25	4.0249	0.65	68.30	44.15		
К-III	У-1-530-1	10,06	3.8061	0.68	66.78	45.65	43.07	49.81 %
	У-1-530-2	11,50	4.0694	0.64	74.38	47.55		
	У-1-530-3	8,55	3.5088	0.74	62.22	46.13		
К-IV	У-3-230-1	6,12	2.9686	0.88	43.98	38.54	39.44	27.21 %
	У-3-230-2	6,45	3.0476	0.85	47.02	40.14		
	У-3-230-3	7,05	3.1862	0.82	48.54	39.63		

Таблица 2

Влияние количества слоев на превышение несущей способности

Ранее проведенные испытания				Текущие испытания				
	Условный номер серии	Превышение %	Количество слоев, n	Условный номер серии	Превышение %	Количество слоев, n	Разница между сериями, %	Разница на 1 слой, %
К-II	У-1-230	39,83	1	КУ-2	39,89	3	0,06	0,03
К-III	У-1-530	49,81	1	КУ-3	71,72	2	21,29	21,29
К-IV	У-3-230	27,21	1	КУ-4	38,71	3	11,5	5,75

Следует обратить внимание на повышение несущей способности образцов серии КУ-3 на 21,29% при двойном слое использования материала FibArm Таре 530, и незначительное повышение (до 5%) серии КУ-2 при тройном слое усиления материалом FibArm Таре 230. Для серии КУ-4 повышение составило 11,5%, то есть второй и третий слой FibArm Таре 230 показал повышение по 5,75%.

Относительное повышение получено путем деления значений при двойном и тройном слое на значение при одном слое. Влияние слоев показано на рисунке 1

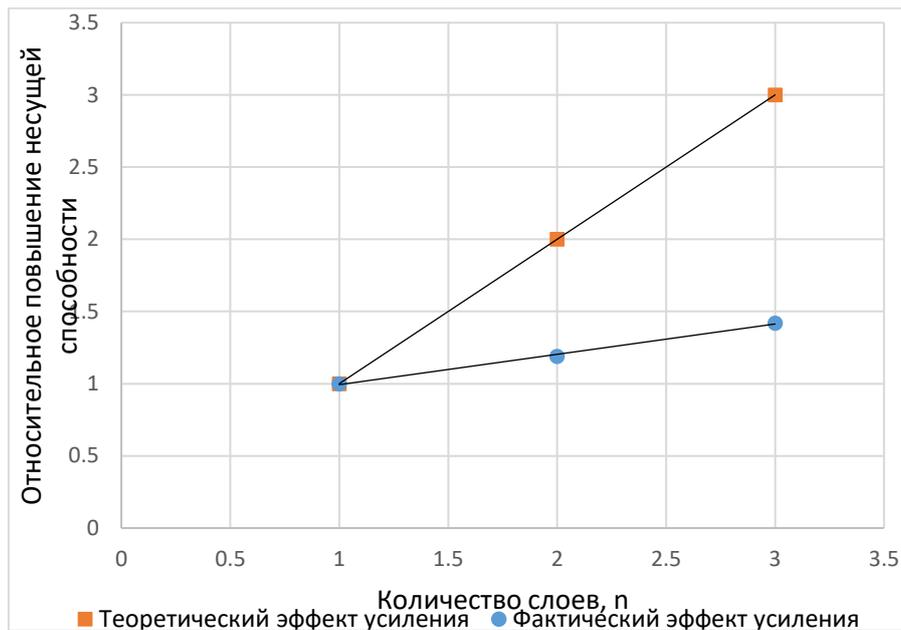


Рисунок 1. Зависимость количества слоев на несущую способность (теоретические и фактические данные) на примере серий КУ-4 и У-3-230

В альбомах усиления для каменных зданий [2] рекомендуют использовать не более 3 слоев композитного материала для усиления каменной кладки стен зданий и сооружений, эксплуатирующихся в сейсмоопасных регионах с сейсмичностью площадки 7-9.

Таким образом, исходя из результатов сравнения между сериями и между ранее выполненными испытаниями, для более объективного определения значения физической характеристики k , предлагается введение поправочного коэффициента для второго и третьего слоя. Поправочный коэффициент для второго слоя предлагается принимать равным 0,2, а для третьего слоя 0,1.

Так для серий КУ-2 и КУ-4 $n = 1+0,2+0,1 = 1,3$;

Для серии КУ-3 $n = 1+0,2 = 1,2$.

Исходя из результатов анализа, испытаний каменной кладки и предлагаемых коэффициентов значения физической характеристики композитного материала будет следующей:

$$k = \frac{A_{a_i}}{A_k} \cdot b_{fib} \cdot \delta_{fib} \cdot R_{fib} \cdot n, \left[\frac{\text{м}^2}{\text{м}^2} \cdot \text{м} \cdot \text{м} \cdot \text{Па} = \text{м}^2 \cdot \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Н} \right] \quad (1)$$

где:

A_{a_i} – площадь аппликации из композитного материала, м²

Для проводимых испытаний площадь усиления составляет:

$$A_{a_2} = 0,4047 \text{ – для серии КУ-1 и КУ-2;}$$

$$A_{a_3} = 0,7041 \text{ – для серии КУ-3;}$$

$$A_{a_4} = 1,1236 \text{ – для серии КУ-4 и КУ-5;}$$

$$A_{a_5} = 2,2472 \text{ – для серии КУ-6 и КУ-7.}$$

A_k – площадь поверхности каменной кладки, м²:

$$A_k = 1,06 \cdot 1,06 = 1,1236;$$

b_{fib} – ширина углеволокна, м:

$$b_{fib} = 0,3 \text{ – для серии КУ-2 и КУ-3;}$$

$$b_{fib} = 0,9 \text{ – для серии КУ-4;}$$

$$b_{fib} = 1,5 \text{ – для серий КУ-6 – КУ-8;}$$

$$b_{fib} = 1,5 \cdot 0,2 \text{ – для серий КУ-5 с учетом того, что}$$

ширина волокна составляет 20% от ширины сетки.

δ_{fib} – толщина ленты одного слоя, м:

$$\delta_{fib} = 0,128 \cdot 10^{-3} \text{ – для серии КУ-2 и КУ-4;}$$

$$\delta_{fib} = 0,445 \cdot 10^{-3} \text{ – для серии КУ-6 и КУ-8;}$$

$$\delta_{fib} = 0,294 \cdot 10^{-3} \text{ – для серии КУ-3;}$$

$$\delta_{fib} = 0,334 \cdot 10^{-3} \text{ – для серии КУ-5;}$$

$$\delta_{fib} = 0,250 \cdot 10^{-3} \text{ – для серии КУ-7;}$$

R_{fib} – среднее значение прочности углеволокна на растяжение, Па:

$$R_{fib} = 3,6 \cdot 10^6;$$

n – количество слоев углеволокна:

при 3-х слоях $n = 1,3$ для серий КУ-2, КУ-4;

при 2-х слоях $n = 1,2$ для серий КУ-3;

при 1-м слое $n = 1$ для серий КУ-5 – КУ-8.

Таким образом уточненная физическая характеристика k равна:

$$\text{Для серии КУ-2 } k = \frac{0.4047}{1.1236} 0.3 \cdot 0.128 \cdot 10^{-3} \cdot 3.6 \cdot 10^6 \cdot 1.3 = 64,74;$$

$$\text{Для серии КУ-3 } k = \frac{0.8094}{1.1236} 0.3 \cdot 0.294 \cdot 10^{-3} \cdot 3.6 \cdot 10^6 \cdot 1.2 = 274,5;$$

$$\text{Для серии КУ-4 } k = \frac{0.7041}{1.1236} 0.9 \cdot 0.128 \cdot 10^{-3} \cdot 3.6 \cdot 10^6 \cdot 1.3 = 337,83;$$

$$\text{Для серии КУ-5 } k = \frac{1.1236}{1.1236} 1.5 \cdot 0.2 \cdot 0.334 \cdot 10^{-3} \cdot 3.6 \cdot 10^6 \cdot 1 = 360,72;$$

$$\text{Для серии КУ-6 } k = \frac{1.1236}{1.1236} 1.5 \cdot 0.445 \cdot 10^{-3} \cdot 3.6 \cdot 10^6 \cdot 1 = 2403,0;$$

$$\text{Для серии КУ-7 } k = \frac{2.2472}{1.1236} 1.5 \cdot 0.250 \cdot 10^{-3} \cdot 3.6 \cdot 10^6 \cdot 1 = 2700,0;$$

$$\text{Для серии КУ-8 } k = \frac{2.2472}{1.1236} 1.5 \cdot 0.445 \cdot 10^{-3} \cdot 3.6 \cdot 10^6 \cdot 1 = 4806,0;$$

При полученных значениях k , теоретическое повышение несущей способности каменных образцов, усиленных композитным материалом на основе углеволокна, составляет от 14% до 73% (см. рисунок 2 и 3).

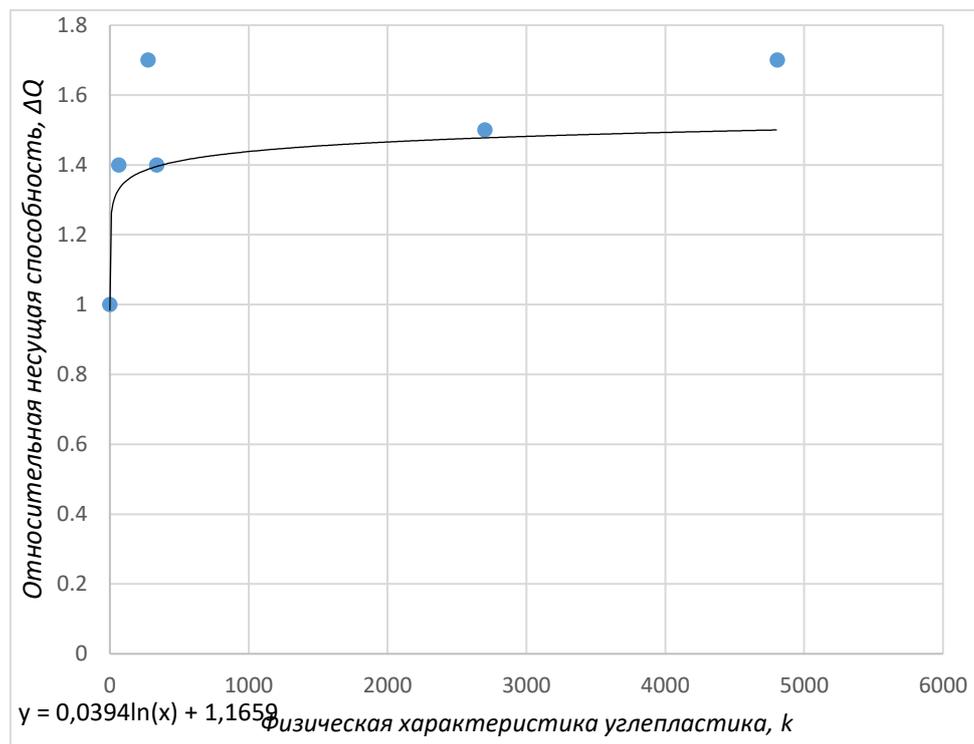


Рисунок 2. Зависимость относительной несущей способности от физической характеристики k

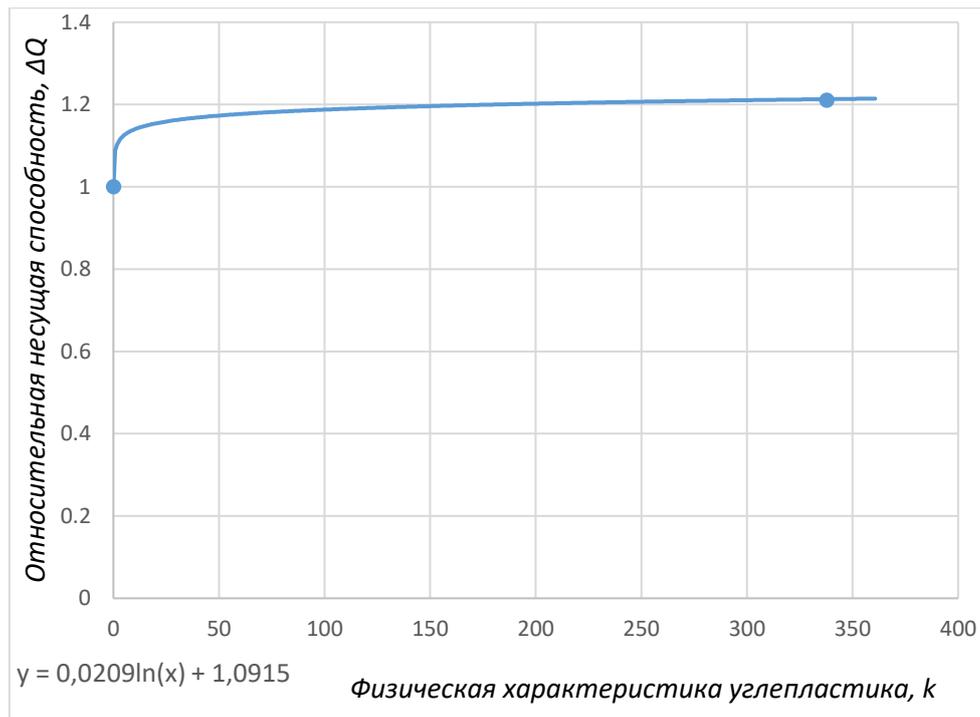


Рисунок 3. Зависимость относительной несущей способности от физической характеристики для серии КУ-5

В результате анализа проведенных испытаний предлагаются следующие аналитические зависимости для определения повышения сдвигающего усилия Q кладки по отношению к эталону Q_0 :

- для усиленной кладки с помощью углеродных лент и тканей несущую способность предлагается определять по зависимости:

$$Q = (0,0394 \ln(k) + 1,1659) \cdot Q_0 , \quad (2)$$

- для усиленной кладки с помощью углеродной сетки несущую способность предлагается определять по зависимости:

$$Q = (0,0209 \ln(k) + 1,0915) \cdot Q_0 , \quad (3)$$

где Q_0 – несущая способность каменной кладки без усиления, принимается равной несущей способности при действии главных растягивающих напряжений.

Для испытанных серий теоретическая несущая способность усиленных образцов составит:

для серии КУ-2 $Q = (0,0394 \cdot \ln(64,74) + 1,1659) \cdot 21170 = 26192,8 \text{ кгс}$;

для серии КУ-3 $Q = (0,0394 \cdot \ln(274,5) + 1,1659) \cdot 21170 = 26716,1 \text{ кгс}$;

для серии КУ-4 $Q = (0,0394 \cdot \ln(337,83) + 1,1659) \cdot 21170 = 26791,3 \text{ кгс}$;

для серии КУ-6 $Q = (0,0394 \cdot \ln \cdot (2403) + 1,1659) \cdot 21170 = 27502 \text{ кгс}$;

для серии КУ-7 $Q = (0,0394 \cdot \ln \cdot (2700) + 1,1659) \cdot 21170 = 27544,2 \text{ кгс}$;

для серии КУ-8 $Q = (0,0394 \cdot \ln \cdot (4806) + 1,1659) \cdot 21170 = 27753,1 \text{ кгс}$.

для серии КУ-5 $Q = (0,0209 \cdot \ln \cdot (360,72) + 1,0915) \cdot 21170 = 24238,5 \text{ кгс}$.

Сходимость теоретических значений с экспериментальными данными составляет от 10% до 40% в сторону запаса несущей способности, что учитывая незначительное количество образцов, является вполне оправданным.

В ранее проведенных исследованиях [1] повышение прочности каменной кладки за счет усиления композитным волокном описывалось зависимостью:

$$Q = (0,35 \ln \cdot (k + 80) - 0,53) \cdot Q_0, \quad (5.12)$$

При этом, повышение прочности кладки достигало 120 %, что объясняется прежде всего разными технологиями, используемыми для приклейки композитного волокна. В текущих испытаниях использовалась усовершенствованная версия клея на эпоксидной основе [3-4]. В работе [1], кроме этого, не использовался выравнивающий слой между кладкой и композитным материалом. В качестве выравнивающего состава для настоящих испытаний применялся ремонтный состав FibArm Repair FS [5], то есть контакт композитного материала с поверхностью каменной кладки осуществлялся через выравнивающий ремонтный состав.

Список литературы

1. Тонких Г.П., Кабанцев О.В., Грановский А.В., Симаков О.А. Экспериментальные исследования сейсмоусиления каменной кладки системой внешнего армирования на основе углеволокна. Вестник ТГАСУ № 6, 2014.
2. Альбом конструктивных решений по сейсмоусилению элементов зданий с несущими стенами из каменной кладки композитными материалами FibARM на основе углеволокна. Москва 2012 г. (Этап 8 договора 74Пр-11 от 28 ноября 2011 г.).
3. ТУ 2257-047-61664530–2014. Эпоксидное двухкомпонентное связующее FibArm Resin 230+ для пропитки систем внешнего армирования FibArm / ЗАО «Препрег-СКМ».
4. ТУ 2257-048-61664530–2014. Эпоксидное двухкомпонентное связующее FibArm Resin 530+ для пропитки систем внешнего армирования FibArm / ЗАО «Препрег-СКМ».
5. Официальный интернет сайт компании ХК «Композит» - <http://www.hccomposite.com/>.
6. Г.П Тонких, П.В. Осипов, Г. Темирлиулы, С.К Федоров / Экспериментальные исследования каменной кладки, усиленной композитными материалами на основе углеродного волокна // Вестник ТГАСУ. - 2017. - № 2.