

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ, УСИЛЕННОЙ КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ НА ДЕЙСТВИЕ МНОГОЦИКЛОВОЙ НАГРУЗКИ

Е.М. Шокбаров<sup>(1)</sup>, Г. Темирлиулы<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>к.т.н., управляющий директор, [eshokbarov@kazniisa.kz](mailto:eshokbarov@kazniisa.kz), АО «Казахский Научно-Исследовательский Институт Строительства и Архитектуры» Республика Казахстан, г. Алматы

<sup>(2)</sup>магистр, старший инженер лаборатории, [gtemiraliuly@kazniisa.kz](mailto:gtemiraliuly@kazniisa.kz), АО «Казахский Научно-Исследовательский Институт Строительства И Архитектуры» Республика Казахстан, г. Алматы

**Аннотация:** В статье проведен анализ результатов экспериментальных исследований каменных образцов, усиленных системой внешнего армирования полимерными композитами на основе углеродного волокна при действии многоцикловых нагрузок. Определены механизм работы усиленных образцов и влияние усиления на изменение несущей способности каменной кладки при действии многоцикловых нагрузок.

**Ключевые слова:** система внешнего армирования, образцы каменной кладки, усиление, композиты на основе углеродного волокна, многоцикловые нагрузки.

## EXPERIMENTAL RESEARCH WORKS OF MASONRY, REINFORCED BY COMPOSITE MATERIALS ON THE ACTION OF MULTI-CYCLE LOAD

Е.М. Shokbarov<sup>(1)</sup>, G. Temiraliuly<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Candidate of Engineering Sciences, Managing Director, [eshokbarov@kazniisa.kz](mailto:eshokbarov@kazniisa.kz), JSC “Kazakh Scientific and Research Institute of Construction And Architecture”, Almaty city

<sup>(2)</sup>Master Student, Senior Engineer of Laboratory, [gtemiraliuly@kazniisa.kz](mailto:gtemiraliuly@kazniisa.kz), JSC “Kazakh Scientific and Research Institute of Construction And Architecture”, Almaty city

**Abstract:** The article provides analyzes of the results of experimental studies of masonry samples reinforced by a system of external reinforcement with polymer composites based on carbon fiber under the action of multi-cycle loads. The mechanisms of work of the reinforced samples and the effect of amplification on the change in the load-bearing capacity of masonry under the action of multi-cycle loads are determined.

**Key words:** system of external reinforcement, masonry samples, strengthening, composites based on carbon fiber, multi-cycle loads.

## КӨПЦИКЛДҮҮ ЖҮКТҮН ТААСИРИНЕ КҮЧТӨНДҮРҮЛГӨН КОМПОЗИТ МАТЕРИАЛДАРДАН КЫШ КОЮУЛАРДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫК ИЗИЛДӨӨ

Е.М. Шокбаров<sup>(1)</sup>, Г. Темирлиулы<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>т.и.к., башкаруучу директор, [eshokbarov@kazniisa.kz](mailto:eshokbarov@kazniisa.kz), «Казак Курулуш жана Архитектура Илимий-Изилдөөчүлүк институту» АК, Казахстан Республикасы, Алматы ш.

<sup>(2)</sup>магистр, лабораториянын ага инженери, [gtemiraliuly@kazniisa.kz](mailto:gtemiraliuly@kazniisa.kz), «Казак Курулуш жана Архитектура Илимий-Изилдөөчүлүк институту» АК, Казахстан Республикасы, Алматы ш.

**Кыскача мазмуну:** Макалада көпциклдү жүктөлгөн иш-аракеттер менен көмүртек жипчелерден негизинде тышкы арматуралар полимер композит күчөтүлгөн тек үлгүлөрдүн

эксперименталдык изилдөөлөрдүн жыйынтыктарын талдоо келтирилген. Күчөтүлгөн үлгүлөрүн аныкталган механизми жана көпциклдүү жүктөрдүн таасири астында опалубкаларды көтөрүү өзгөрүүсүнө тийгизген таасири аныкталган.

**Өзөктүү сөздөр:** сырткы ширетүү тутуму, таш коюулардын үлгүлөрү, көмүртек жиптеринин негизинде композиттер, көпциклдүү күчтөр.

В настоящей статье приводятся результаты экспериментальных исследований каменных образцов усиленных композитными материалами на основе углеродного волокна на действие многоциклового нагружки.

Размеры испытываемых образцов определялись с учетом результатов экспериментов, отраженные в работах [1-3]. Усиление опытных образцов выполнялось композитным материалом на основе углеродного волокна, изготовленным в ООО «Нанотехнологический центр композитов». Испытания проводились на образцах 4-х серий из каменной кладки с размерами 1060x1060x250мм (см. таблицу 1).

Для кладки использовался полнотелый кирпич марки М125. При производстве кладки не применялись добавки, повышающие сцепление раствора с кирпичом.

Таблица 1

|   |            |                                                                                                                                                                               |                                                                                       |
|---|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Серия КЭ   | эталонные образцы кирпичной кладки без усиления в количестве 2 шт.;                                                                                                           |   |
| 2 | Серия КУ-1 | образцы кирпичной кладки, усиленные тремя углеродными однонаправленными лентами FibArm Tape 230/300 шириной 300мм, наклеенной с двух сторон в три слоя в количестве 2 шт.     |  |
| 3 | Серия КУ-2 | образцы кирпичной кладки, усиленные с двух сторон углеродной тканью FibArm Tape 450/600 шириной 1000мм в три слоя с четырьмя углеродными анкерными жгутами в количестве 2 шт. |  |

|   |            |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                     |
|---|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 | Серия КУ-3 | экспериментальные образцы кирпичной кладки, усиленные углеродной сеткой FibArm Grid HS 600/1000 на ремонтном составе FibArm Repair FS шириной 1000 мм с двух сторон в один слой в количестве 2 шт. |  |
|---|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

Многоцикловая нагрузка создавалась в стенде реконфигурируемой рамы MTS. Рабочее пространство внутри силовой рамы 5,5 м на 5,5 м и 4 м в высоту. Воспринимаемые вертикальные нагрузки не менее 2 МН в динамике, и не менее 4 МН в статике. Статическое усилие гидроцилиндра равно  $\pm 1000$  кН, а динамическое -  $\pm 800$  кН, с ходом гидроцилиндра: 250 мм ( $\pm 10\%$ ). Для передачи нагрузки на кладку использовались стальные опоры, устанавливаемые в углах диагонали образца на гипсовом растворе. Многоцикловая нагрузка создавалась с помощью одного из гидроцилиндров (см. рис.1.)



*Рисунок 1. Общий вид экспериментальных образцов, смонтированных в силовую раму*

На первом этапе испытаний определялись физико-механические характеристики материалов образцов. Испытания раствора проводились согласно [4]. Марка кирпича определялась испытаниями на изгиб и сжатие согласно [5].

По результатам испытаний было установлено, что прочность кирпича соответствует марки М150.

Нагрузка на образец прикладывалась ступенями по 10% от разрушающей нагрузки на начальной стадии нагружения. После того как нагрузка доводилась до уровня, соответствующей несущей для соответствующего образца, гидроцилиндром создавалась многоцикловая нагрузка. Например, несущая способность эталонных образцов согласно данным испытаний [6] равнялась  $Q = 200$  кН.

Количество циклов нагружения образцов каменных конструкций составляло 1000 циклов с коэффициентом асимметрии 0,5. При данном коэффициенте, нагружения на каждом цикле равны  $F_{\min} = \frac{1}{2} F_{\max}$ . После завершения многоциклового на образец прикладывалась статическая нагрузка шагами уже по 5% и доводилась до разрушения. Усилие выдерживалось на каждой ступени в течение 2 минут с последующей фиксацией деформаций. Проведение испытаний на многоцикловое нагружение, по данным проведенных ранее испытаний [6] аналогичных эталонных образцов на статическую нагрузку, предполагалось проводить при максимальной нагрузке равной  $F_{\max} = 200$  кН и минимальной -  $F_{\min} = 100$  кН. Однако, при проведении испытаний, образец серии КЭ-1 при нагрузке равной 200 кН разрушился, а разрушение образца серии КЭ-2 произошло при нагрузке 145 кН. Разрушение образцов при более низкой, чем планировалось нагрузкой, объясняется прежде всего возможным нарушением технологии выполнения кладки, о чем свидетельствует низкий предел прочности раствора для данных образцов, а также не соосностью приложения нагрузки между верхними и нижними опорами. Учитывая нагрузку при которой разрушились эталонные образцы было решено уменьшить уровень многоциклового нагружения для усиленных образцов КУ-1-1 и КУ-3-1 с максимальной нагрузкой равной  $F_{\max} = 120$  кН и минимальной -  $F_{\min} = 60$  кН. Однако разрушение образца КУ-1-1 произошло при нагрузке 480 кН, а КУ-3-1 при – 360 кН, что значительно превышает разрушающую нагрузку эталонных образцов, поэтому было принято решение о проведении многоцикловых испытаний для оставшихся усиленных образцов при максимальной нагрузке равной  $F_{\max} = 250$  кН и минимальной -  $F_{\min} = 125$  кН.

Было испытано 8 образцов каменной кладки при действии многоциклового нагружения. В качестве приборов, измеряющих деформации, были использованы индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм, на базе 800 мм, установленных вдоль диагоналей. Результаты испытаний раствора, образцов и пересчета разрушающей нагрузки представлены в таблице 2.

Таблица 2.

## Результаты испытаний каменных образцов при действии многоциклового нагружения

| Маркировка образца | Предел прочности раствора на сжатие | Сопротивление главным растягивающим напряжениям | Коэффициент пересчета  | Циклическое нагружение |                      | Разрушающая нагрузка | Приведенная разрушающая нагрузка | Средняя разрушающая нагрузка | Усиление                                                          |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
|                    | $R, \text{Mpa}$                     | $R_{tw} = 0,8R_t$                               | $K_p = R_{tw}/R_{twi}$ | $F_{max}, \text{кН}$   | $F_{min}, \text{кН}$ | $F_{раз}, \text{кН}$ | $F_{раз}, \text{кН}$             | $F_{раз}, \text{кН}$         |                                                                   |
| КЭ-1-1             | 4,76                                | 2,6015                                          | 1,00                   |                        |                      |                      | 300                              | 300                          |                                                                   |
| КЭ-1               | 2,85                                | 2,0258                                          | 1.28                   | -                      | -                    | 200,0                | 256,83                           | 224,61                       |                                                                   |
| КЭ-2               | 2,67                                | 1,9608                                          | 1.33                   | -                      | -                    | 145,0                | 192,38                           |                              |                                                                   |
| КУ-1-1             | 4,10                                | 2,4298                                          | 1.07                   | 120,0                  | 60,0                 | 480,0                | 513,92                           | 490,89                       | FibArm Tape 230/300                                               |
| КУ-1-2             | 3,97                                | 2,3910                                          | 1.09                   | 250,0                  | 125,0                | 430,0                | 467,86                           |                              |                                                                   |
| КУ-2-1             | 4,12                                | 2,4357                                          | 1.07                   | 250,0                  | 125,0                | 500,0                | 534,03                           | 522,84                       | FibArm Tape 450/600                                               |
| КУ-2-2             | 5,63                                | 2,8473                                          | 0.91                   | 250,0                  | 125,0                | 560,0                | 511,65                           |                              |                                                                   |
| КУ-3-1             | 3,40                                | 2,2127                                          | 1.18                   | 120,0                  | 60,0                 | 360,0                | 423,26                           | 422,38                       | FibArm Grid HS 600/1000 [5] на ремонтном составе FibArm Repair FS |
| КУ-3-2             | 3,82                                | 2,3454                                          | 1.11                   | 250,0                  | 125,0                | 380,0                | 421,50                           |                              |                                                                   |

Разрушение образцов серии КЭ происходило по перевязанному сечению кладки вдоль сжатой диагонали с образованием одной трещины, т.е. по достижении каменной кладкой предельных значений по главным растягивающим напряжениям. Механизм разрушения образца – хрупкое разрушение сразу после появления первой диагональной трещины. Среднее значение приведенной разрушающей нагрузки для образцов серии КЭ составило  $R_{разр.ср.} = 224,61$  кН. Результаты разрушающей нагрузки приведены в таблице 3. Повышение несущей способности определено относительно эталонных образцов (серия КЭ).

Таблица 3.

## Результаты приведенной разрушающей нагрузки образцов

| Номер серии | Средняя приведенная разрушающая нагрузка, кН | Увеличение, % | k      | Q, кН  |
|-------------|----------------------------------------------|---------------|--------|--------|
| КЭ          | 224,61                                       | 0%            | -      | 158,50 |
| КУ-1        | 490,89                                       | 118,55%       | 675,66 | 346,40 |
| КУ-2        | 522,84                                       | 132,77%       | 3510   | 368,95 |
| КУ-3        | 422,38                                       | 88,05%        | 721,44 | 298,06 |

Разрушение усиленных образцов из каменной кладки сопровождалось отслоением внешнего армирования и разрушением опорного узла в районе нижней опоры, кроме образцов КУ-1-2, которое разрушилось с отслоением внешнего армирования и вдоль сжатой диагонали с образованием одной трещины, и КУ-3-1, разрушение которого сопровождалось сдвигом внешнего армирования. При разрушении образцов КУ-1 происходил отрыв элемента усиления на основе углеродного волокна вместе с ремонтным составом от поверхности кладки, что указывает на недостаточное сцепление с кладкой, однако хорошее сцепление углеволокна с поверхностью ремонтного состава. В образцах серии КУ-2, усиленных сплошным двухсторонним армированием, произошло разрушение опорного узла в районе нижней опоры.

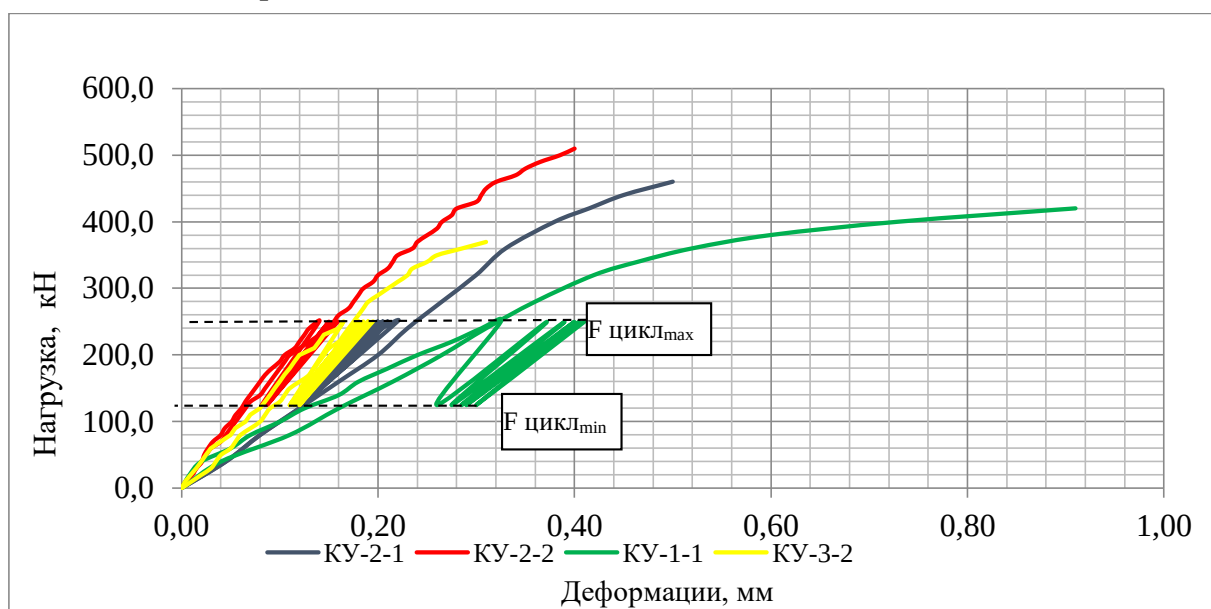


Рис.2 Диаграмма «Нагрузка-деформации: при циклическом нагружении (1000 циклов) и нагружение до разрушения после циклического.



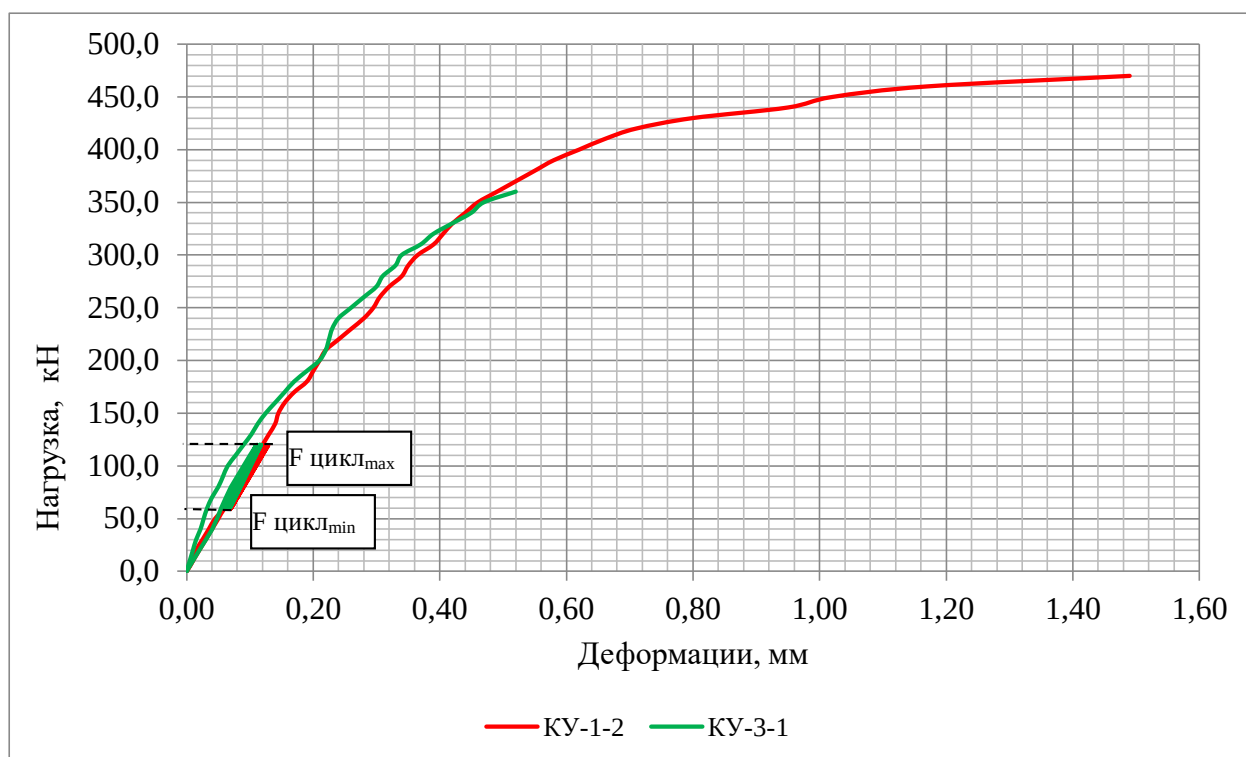


Рис.3 Диаграмма «Нагрузка-деформации: при циклическом нагружении (1000 циклов,  $F_{min}=60$  кН -  $F_{max}=120$  кН) и нагружение до разрушения после циклического

По результатам проведенных испытаний можно заключить, что влияние многоциклового нагружения в количестве 1000 циклов настолько малы, что они практически не влияют на напряженно-деформированное состояние каменной кладки. Жесткость образцов всех серий как до, так и после 1000 циклов нагрузки не менялась для циклических нагрузок  $F_{max}=120$  кН и  $F_{max}=250$  кН. На диаграммах «нагрузка-деформация» видно, что угол наклона кривой деформирования в процессе испытания не менялся (см. Рис. 2, 3).

Таким образом, результаты исследований образцов каменной кладки при действии статических нагрузок могут быть использованы для оценки возможности повышения несущей способности каменной кладки, усиленной углеволокном, при многоцикловых нагрузках.

Анализ результатов экспериментальных исследований позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Использование усиления из композитных материалов на основе углеродного волокна приводит к увеличению несущей способности образцов из каменной кладки – от 88% до 118%.

2. Многоцикловые нагрузки не влияют в целом на несущую способность каменных образцов. Использование результатов исследований образцов каменной кладки при действии статических нагрузок [7] является вполне корректным для оценки

возможности повышения несущей способности каменной кладки, усиленной углеволокном, при многоцикловых нагрузках.

3. Жесткость образцов из каменной кладки, усиленных композитными материалами на основе углеродного волокна как до, так и после действия многоциклового нагрузки в количестве 1000 циклов не менялась. Угол наклона диаграмм деформирования всех образцов в процессе испытаний не менялся.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **С.В. Поляков, В.И. Коноводченко** / Прочность и деформации виброкирпичных панелей при перекосе [Текст] // Сейсмостойкость сборных крупноэлементных зданий. - М., 1963. - С. 131-148.
2. **С.В. Поляков, В.И. Коноводченко** Прочность и деформации квадратных виброкирпичных панелей при перекосе в плоскости стены. Прочность вертикальных стыков [Текст] /. – М.: Госстройиздат, 1962. – С. 149-165.
3. **Садыхов, С.Г.** Исследования прочности и деформаций виброкаменных панелей при сжатии [Текст] // Сейсмостойкость сборных крупноэлементных зданий. – М.: Госстройиздат, 1963. – С. 148-169.
4. **ГОСТ 8462-85** «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе»
5. **ГОСТ 5802-86** «Растворы строительные. Методы испытаний»
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
7. **Г.П Тонких, О.В. Кабанцев, А.В. Грановский, О.А Симаков** / Экспериментальные исследования сейсмоусиления каменной кладки системой внешнего армирования на основе углеволокна // Вестник ТГАСУ. - 2014. - № 6. - С. 57-69.