



ЦНИИП

ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»
АО «НИЦ «Строительство»
АНО «СРОСЭКСПЕРТИЗА»



МИНСТРОЙ
РОССИИ

**ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕВОЛОКНА В
СЕЙСМОСТОЙКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Акбиев Р.Т., к.т.н.

Гасиев А.А., к.т.н.

**ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»
АНО «СРОСЭКСПЕРТИЗА»**

Грановский А.В. к.т.н.

**ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко»
АО «НИЦ Строительство»**

КТО ЗАНИМАЕТСЯ ИССЛЕДОВАНИЯМИ И ПРОБЛЕМАТИКОЙ НАУЧНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ

АО НИЦ
«Строительство»

ФГБУ «ЦНИИП
Минстроя России»

МГСУ,
ФГБУ ВНИИ ГОЧС



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



**Грановский А.В.
и др.**

**Акбиев Р.Т.
Гасиев А.А.
Манин С.П.
Чубаков М.Ж. и
др.**

**Кабанцев О.В.
Тонких Г.П. и др.**

КТО ЗАНИМАЕТСЯ ИССЛЕДОВАНИЯМИ И
ПРОБЛЕМАТИКОЙ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ

**ЗАО «Триада-
Холдинг»**

**ЗАО ХК
«Композит»**

ОАО «Роснано»

**ООО «Эм-Си
Баухеми»**

**ООО «БАСФ
Строительные
системы»**

ДЛЯ СВЕДЕНИЯ

Согласно международной статистике, объем мирового рынка композитов в 2016 году составил более 82 млрд. долл. США в стоимостном выражении и около 11 млн. тонн в натуральном выражении. В соответствии с экспертными оценками, основными потребителями продукции из композитов в мире являются транспортное машиностроение ~ 28%, строительная индустрия (включая трубы и емкости для жилищно-коммунального хозяйства) ~ 24%, энергетика и электроника, включая ветроэнергетику ~ 23%, нефтегазовая отрасль ~ 10%.

Объем российского рынка композитов в 2016 году, увеличился в 4,5 раза относительно 2011 года и вырос на 20% относительно 2015 года. Однако доля России в общемировом объеме производства в стоимостном выражении по-прежнему незначительна и составляет не более 1%.

Это обусловлено в первую очередь недостаточным спросом на отечественную технически и экономически эффективную продукцию отрасли в приоритетных секторах экономики России, являющихся основными ее потребителями, таких как: транспортное машиностроение, **строительная индустрия**, энергетика и электроника, ЖКХ, нефте- и газодобыча, цветная металлургия, химия и нефтехимия.

АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧИ ОБУСЛОВЛЕНА:

- наличием высокоэффективного материала из углеволокнистой ткани, прочность при растяжении которого существенно выше аналогичной прочности металла при меньшем весе. Исследования сейсмостойкости каменных конструкций, усиленных углеволокнистой тканью, в настоящее время проведены в недостаточном объеме для составления нормативных документов, в которых должны быть представлены как конструктивные решения по усилению каменных конструкций, так и методы их расчета;
- значительным объемом строительных работ по реконструкции, ремонту и усилению зданий и сооружений, возводимых как в обычных, так и в сейсмических районах страны, связанных с реализацией в сейсмических районах РФ Федеральной целевой Программы;
- возможностью повышения сейсмостойкости каменных конструкций зданий на основе использования углеволокнистой ткани как в процессе проектирования новых, так и при реконструкции, ремонте и усилении уже существующих зданий.

КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ



ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

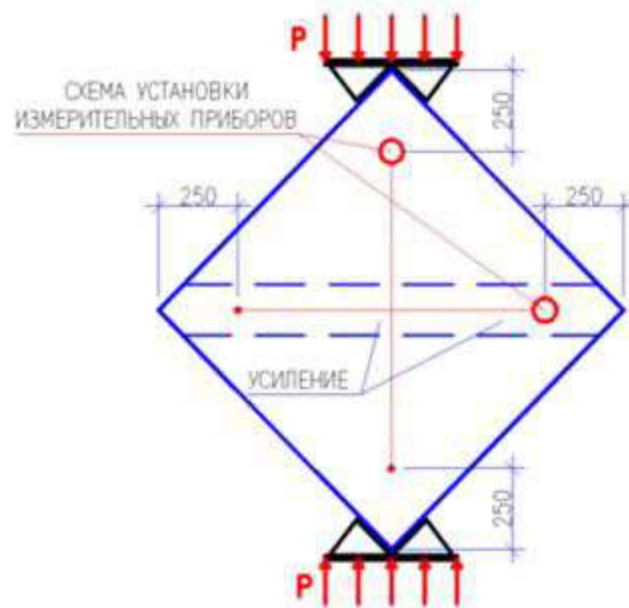
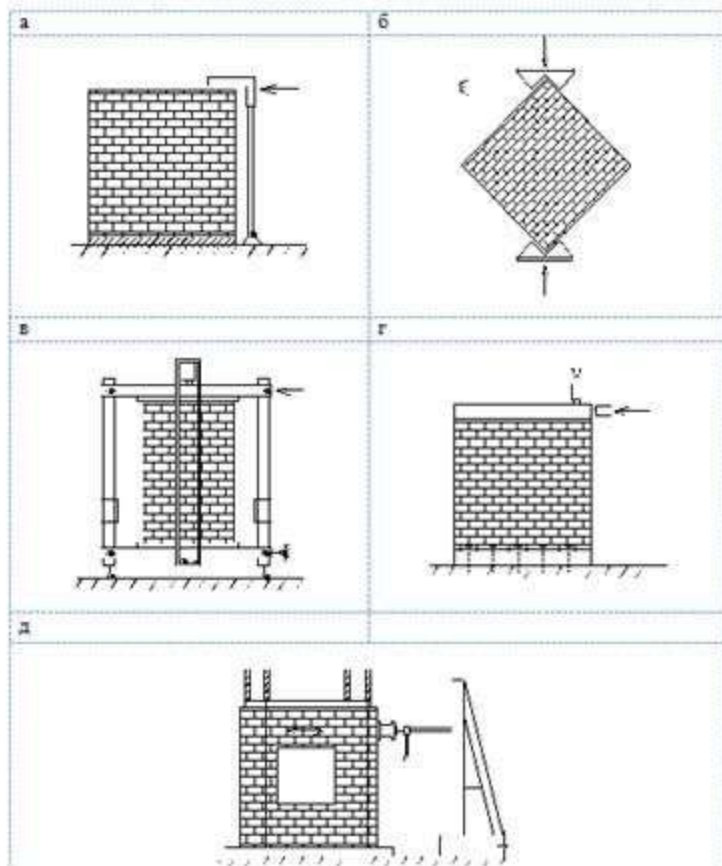
на основе проведенных экспериментальных исследований прочности кирпичных конструкций, усиленных холстами из углеволокнистой ткани, на действие статической и динамической нагрузок, моделирующих сейсмическое воздействие при землетрясениях интенсивностью 7-9 баллов по шкале MSK-64, разработать инженерную методику расчета сейсмостойкости каменных стен, усиленных углеволокном.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ:

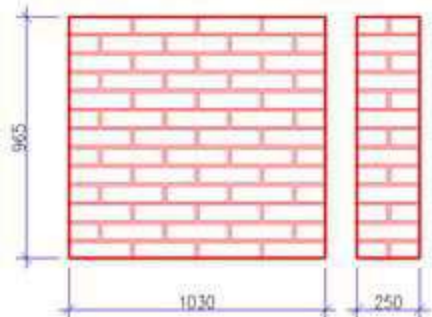
1. На основе анализа существующих методов испытаний каменных стеновых конструкций на действие сдвигающих усилий выбор экспериментальной модели, соответствующей работе конструкции при землетрясении.
2. Исследование влияния холстов из углеволокнутой ткани, используемых в качестве усиления кирпичной кладки, на ее несущую способность при действии статической и динамической нагрузок.
3. Исследование характера напряженно-деформированного состояния кирпичной кладки в зависимости от схемы ее усиления углеволокном.
4. Разработка технических и технологических решений по усилению стен и рекомендаций по их расчету при реальном проектировании.
5. Разработка методов применения холстов из углеволокнутой ткани при проектировании новых зданий в сейсмоопасных регионах.

СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ КАМЕННОЙ КЛАДКИ УСИЛЕННЫХ ХОЛСТАМИ ИЗ УГЛЕВОЛОКНИСТОЙ ТКАНИ, МОДЕЛИРУЮЩИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

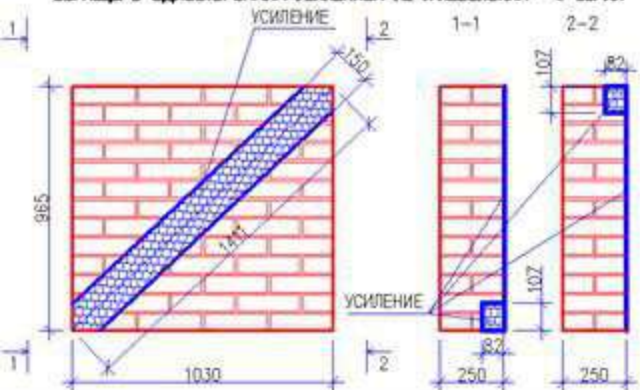


ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОБРАЗЦЫ ДЛЯ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ:



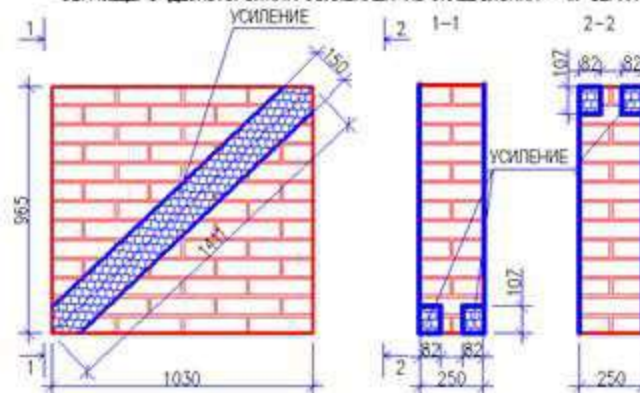
I серия - эталонные образцы: Образцы изготовленные из кирпича средней прочности, марки М125 на растворе М75 с расчетным сопротивлением кладки $R=1.9$ МПа и временным сопротивлением $R_{вр} = 3.8$ МПа

ОБРАЗЦЫ С ОДНОСТОРОННИМ УСИЛЕНИЕМ ИЗ УГЛЕВОЛОКНА – II СЕРИЯ



II серия: образцы аналогичны эталонным образцам при этом, с одной стороны они усилены углеволокном MBRACE FIB CF230/4900.200g/5.100m с шириной полосы 150 мм, волокно наклеено вдоль растянутой диагонали, при этом ткань наклеивается с заведением на вертикальные боковые грани образ.

ОБРАЗЦЫ С ДВУХСТОРОННИМ УСИЛЕНИЕМ ИЗ УГЛЕВОЛОКНА – III СЕРИЯ

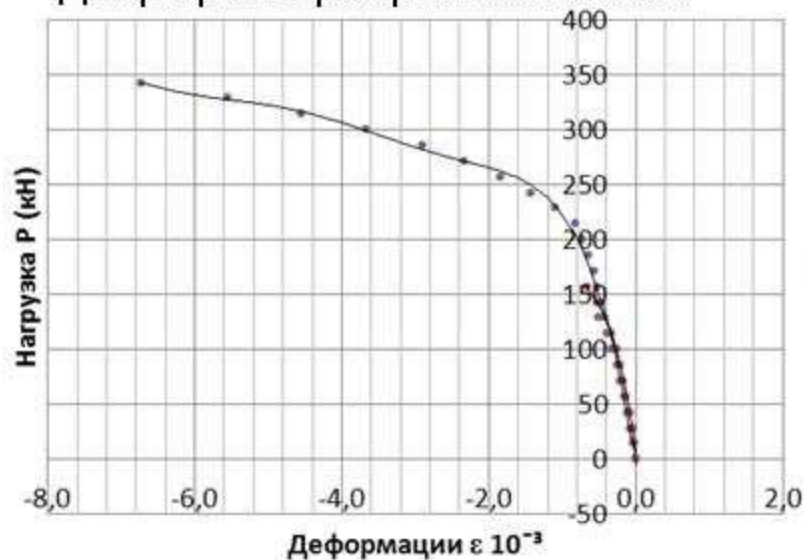


III серия: образцы кирпичной кладки того же состава, что и эталонные, усилены с двух сторон углеволокном MBRACE FIB CF230/4900.200g/5.100m с шириной полосы 150 мм, волокно наклеено аналогично образцам II серии.

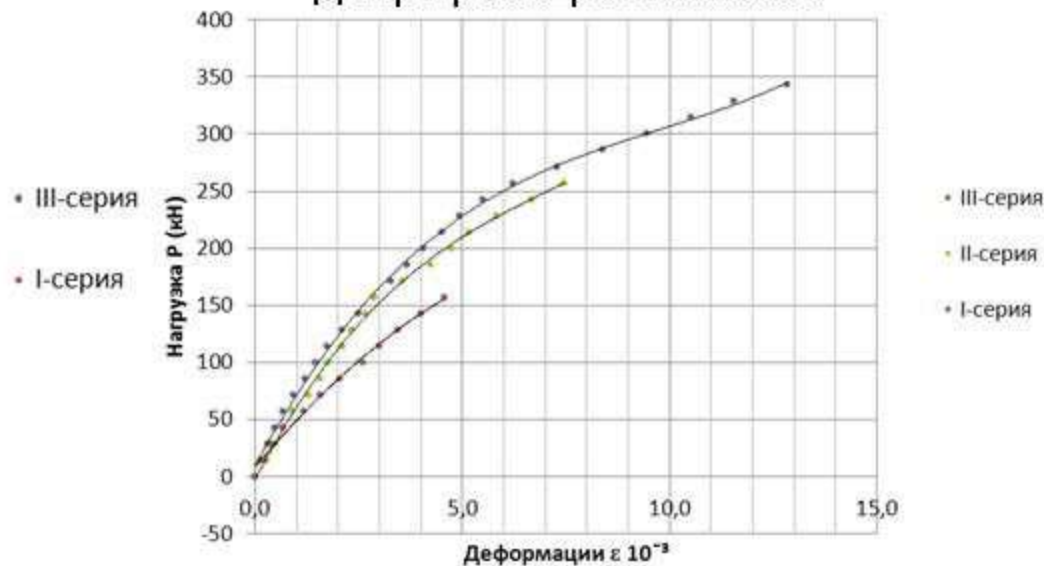
Графики деформирования экспериментальных образцов при

статических испытаниях

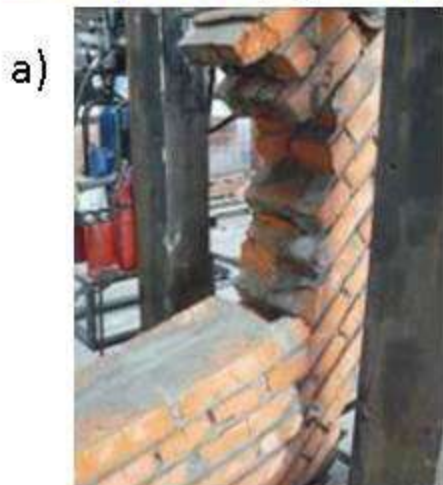
деформации растяжения



деформации сжатия



Общий вид разрушения образцов а, б, в соответственно I, II и III серии



РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ:

№	Наименование серии образцов	Экспериментальное значение разрушающей нагрузки, кН			Расчетное значение горизонтальной разрушающей нагрузки $Q_{разр.р.}$, кН	Предельные относительные деформации при испытаниях				Характер разрушения
		P_i	$P_{ср.}$	$Q_{ср.}$		грань А		грань Б		
						сжати е	растя жение	сжати е	растя жение	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	I серия	185,71	170,7	<u>124,75</u> 116,39	94,9	5,4	1	4,5	0,8	хрупкий
2		157,14				5,0	0,8	4,1	0,6	
3		169,13				5,1	0,9	4,2	0,7	
4	II серия	257,14	252,9	<u>184,88</u> 172,48	164,6	8,4	3,6	6,4	0,4	хрупкий, с частичным отслоением и разрывом материала усиления
5		242,86				7,6	2,9	6,0	0,3	
6	III серия	314,29	327,9	<u>239,70</u> 223,63	218,3	8,9	4,8	13,6	6,1	хрупкий, с частичным отслоением и разрывом материала усиления
7		342,86				14,6	5,9	11,1	7,6	
8		326,58				9,9	5,2	10,6	6,3	

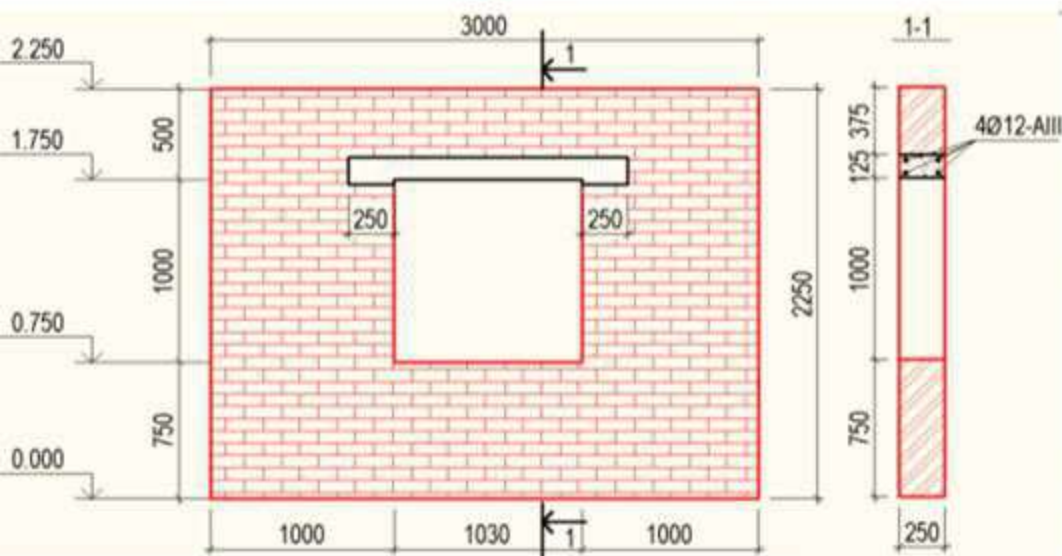
ИСПЫТАНИЕ НА СТАТИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ



ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

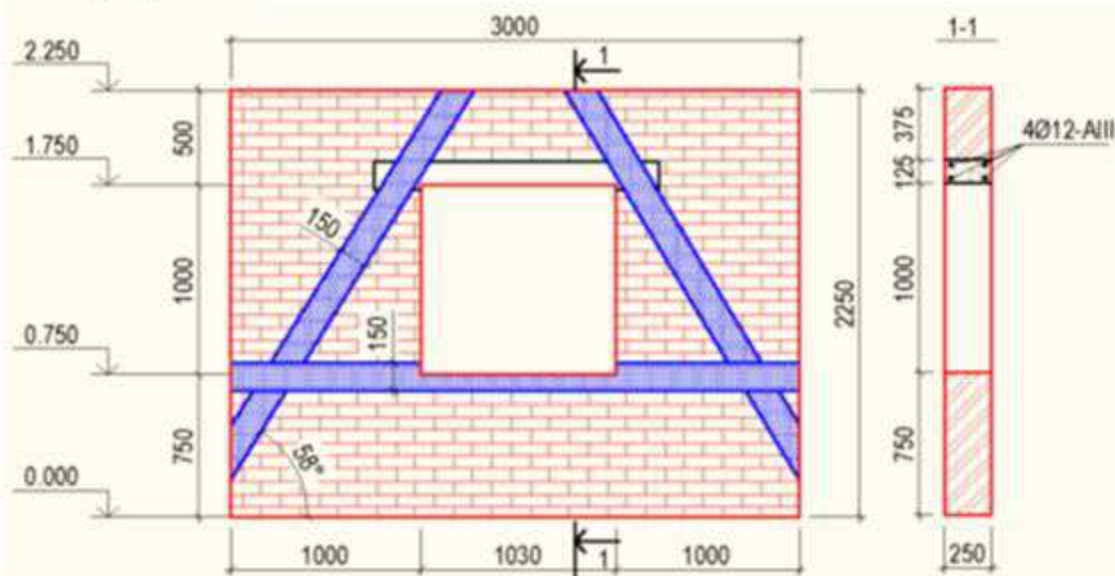
1. Усиление кирпичных стен зданий углеволокнистой тканью с помощью конструктивных схем предложенных в данной работе позволяет повысить их несущую способность при совместном действии на них горизонтальной и вертикальной статической нагрузки (перекосе).
2. Эффект усиления наблюдается как при схеме с одностороннем, так и при двухстороннем усилении образцов стен. Несущая способность образцов стен при одностороннем усилении при перекосе повышается в 1,48 раза, при двухстороннем усилении в 1,92 раза.
3. Предложенные расчетные формулы дают значение разрушающей нагрузки ниже экспериментальных значений.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ



I серия – эталонный образец – представляет собой кирпичную стену длиной 3000 мм, высотой 2250 мм, толщиной 250 мм. Для изготовления образцов были использованы образцы из тех же материалов, что и для статических испытаний. Общие характеристики материала каменной кладки соответствовали параметрам принятым при статических испытаниях.

II серия – фрагмент кирпичной стены имеет такую же конструкцию, что и эталонные образцы, при этом для данных образцов произведено усиление с двух сторон углеволокном MBRACE FIB CF230/4900.300g/5.100m. Ширина полосы составляет 150 мм, механические характеристики и технология наклейки волокна аналогична статическим испытаниям.



МЕТОДИКА ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ



**ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД
КОНСТРУКЦИИ проф, Курзанова А.М.**



**УСТАНОВКА ЭКПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ОБРАЗЦА НА СТЕНД**

Напряжения в кладке в долях от расчетного сопротивления сжатию кладки	Продолжительность этапа нагружения, с						
	40-50						
	Период колебаний, с						
	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
	Значение вертикального обжатия кН						
0,8xR	1140						
0,6xR	855						
0,4xR	570						
0,2xR	205						

СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

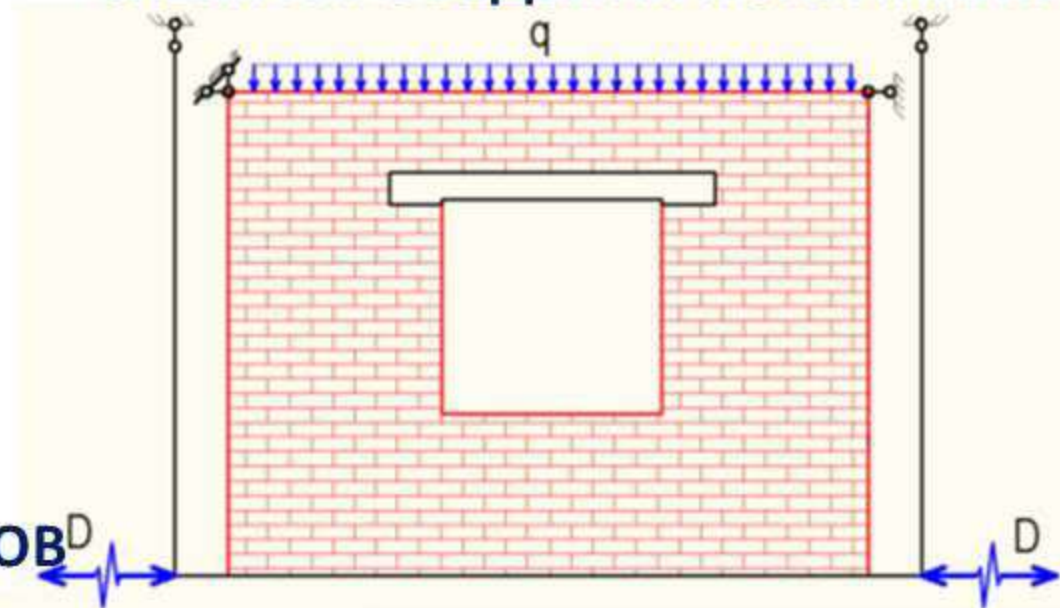
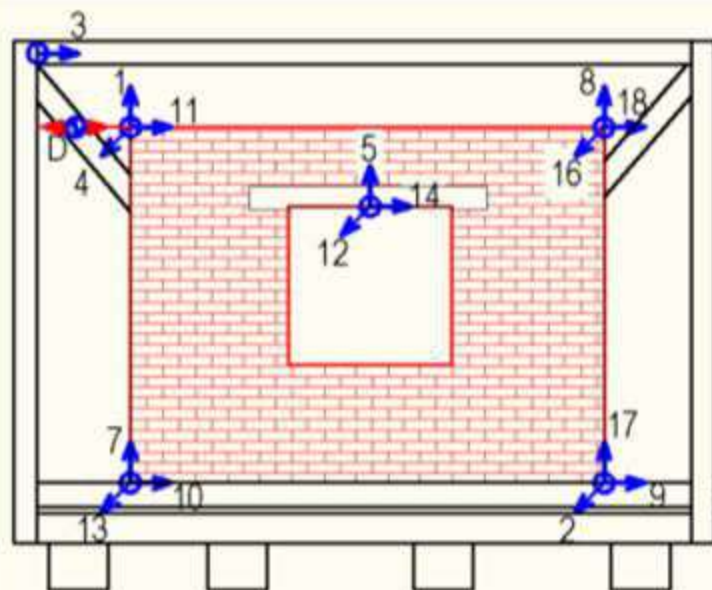


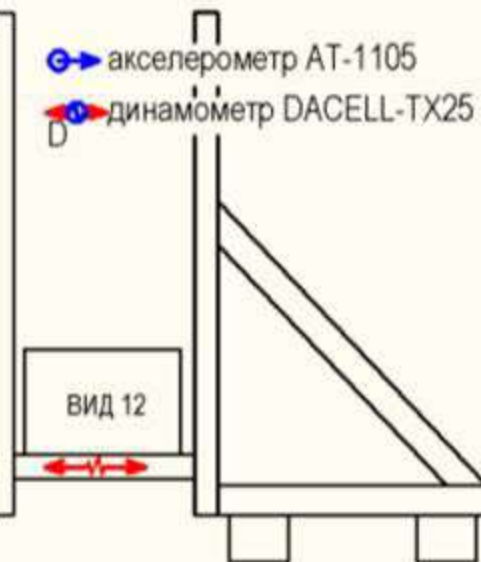


СХЕМА РАССТАНОВКИ ДАТЧИКОВ



-  акселерометр AT-1105
-  динамометр DACELL-TX25



РЕЗУЛЬТАТЫ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ РАЗРУШЕНИЕ ОБРАЗЦОВ I СЕРИИ ПОСЛЕ ИСПЫТАНИЙ



SEISMO

EURO-ASIAN FORUM

Евразийский форум по
сейсмической безопасности
сооружений и городов



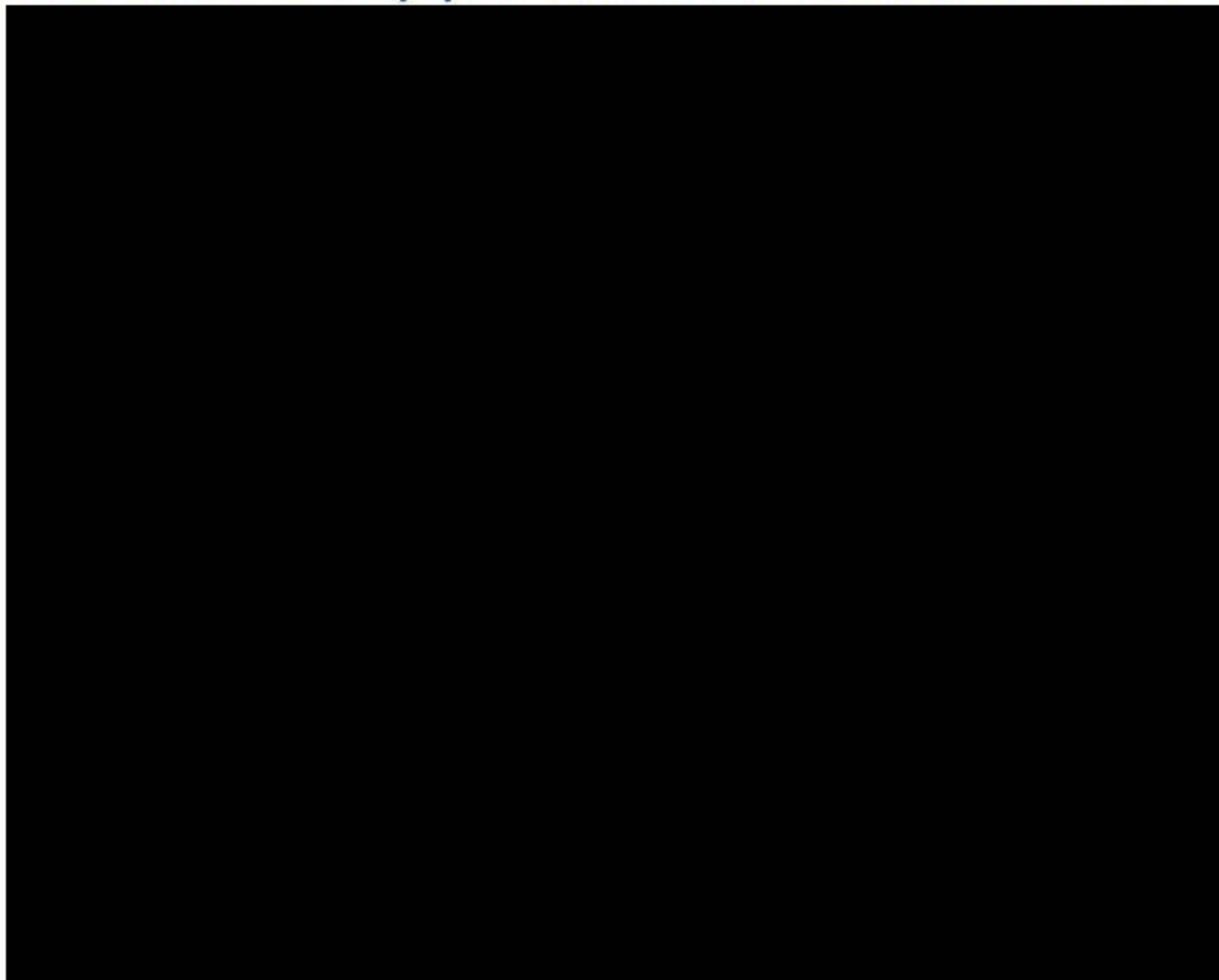
ЦНИИП



МИНСТРОЙ
РОССИИ

2017.seismo.ru
forum@seismo.ru
+7 (499) 705 6712

ИСПЫТАНИЕ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ



ОБЩИЙ ВИД ОБРАЗЦОВ II СЕРИИ ПОСЛЕ ИСПЫТАНИЙ



ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

1. «Эталонный» образец разрушился при динамической нагрузке соответствующей по значениям полученных ускорений землетрясению балльностью 7.62 балла по шкале MSK-64 при уровне вертикального обжатия соответствующего 0.4R. Нагрузка при испытании усиленного по параметру ускорения основания достигала значений соответствующих 9 балльному землетрясению, уровень вертикального обжатия составлял при этом 0.2R. разрушений и повреждений при этом на образце обнаружено не было.
2. Данные полученные при динамических испытаниях соответствуют данным полученным при статических испытаниях и в том и в другом случае применение холстов из углеволокнистой ткани увеличивает значение воспринимаемой образцами предельной разрушающей горизонтальной нагрузки.
3. На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что внешнее армирование из углеволокнистой ткани эффективно для повышения сейсмостойкости как уже существующих зданий, так и для вновь возводимых зданий из каменной кладки.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

1. Проведение обследования с целью определения фактических физико-механических характеристик материалов и наличия дефектных конструктивных элементов, определения фактического уровня сейсмичности площадки.
2. Проведение расчета здания при фактически установленном уровне сейсмичности площадки, с учетом реального состояния несущих конструкций, узлов их соединений, нагрузок и факторов сейсмической опасности. Определяются конструктивные элементы, не обладающие требуемой несущей способностью по критериям восприятия.
3. Назначаются места устройства усиления холстами из углеволоконистой ткани и проводится расчетная проверка усиленной расчетной схемы.
4. Если уровень сейсмостойкости не достиг требуемого, то производится дополнительный анализ элементов с дефицитом несущей способности. Элементы в которых выявлен дефицит несущей способности усиливаются и производится повторный расчет, до удовлетворения требуемых условий по прочности.

РАСЧЕТНАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ СДВИГАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ

$$Q = \frac{R_{sq} h l}{\gamma} + m_c R_c F_c + R_t F_t$$

где: R_{sq} - расчетное сопротивление скалыванию кладки, обжатой расчетной силой N , определяемая с коэффициентом перегрузки 0,9; h - толщина стены; l - длина усиливаемого участка стены; γ - коэффициент неравномерности касательных напряжений в сечении (Для прямоугольных сечений γ допускается принимать 1,15); m_c - коэффициентом условий работы слоя усиления из углеволокнистой ткани (0.6 для одностороннего усиления, 0.45 для двухстороннего усиления); F_c - площадь сечения углеволокна; R_c - расчетное сопротивления растяжению для углеволокна; F_t - площадь сечения материала подготовительного слоя; R_t - прочность на растяжение подготовительного слоя.

№	Наименование серии образцов	Экспериментальное значение горизонтальной разрушающей нагрузки, кН	Повышение несущей способности, %	Расчетное значение горизонтальной нагрузки, $Q_{расч. р.}$ кН	Разница между расчетным и экспериментальным значениями нагрузок, %	Вклад элементов усиления в несущую способность образцов			
						Q_2		Q_3	
						кН	%	кН	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	I серия	124,75		94,9	24	-	-	-	-
2	II серия	184,88	148	164,6	11	44,95	77	13,5	23
3	III серия	239,70	192	218,3	9	67,54	71	27	29

Схема усиления каменной кладки при действии горизонтальной силы в плоскости кладки

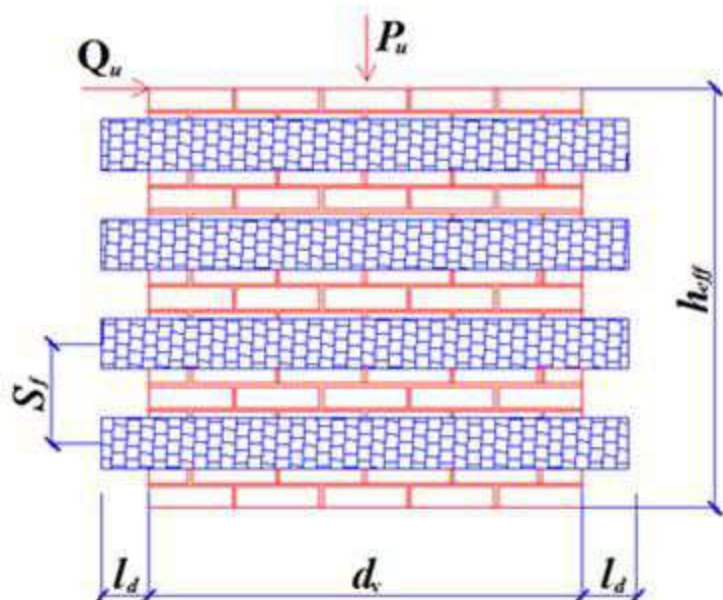


Схема усиления при сдвиге

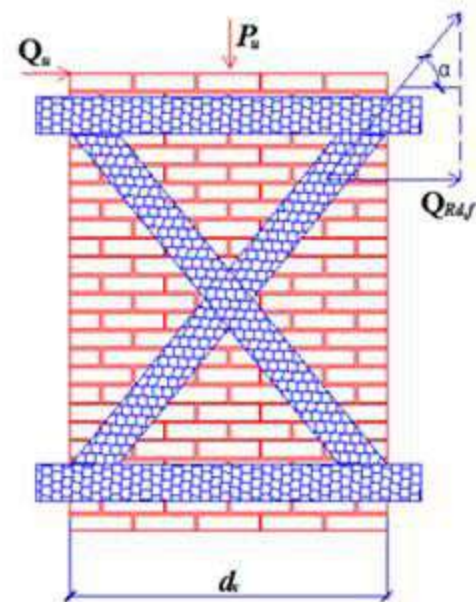


Схема усиления при действии момента в плоскости и из плоскости кладки

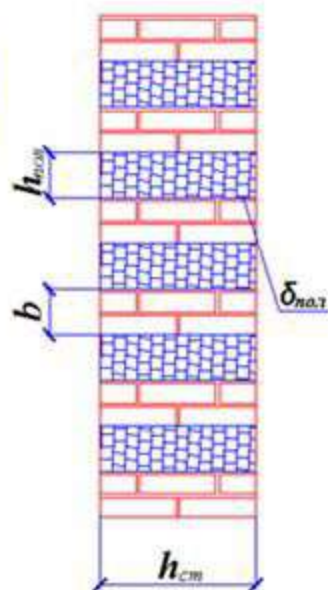
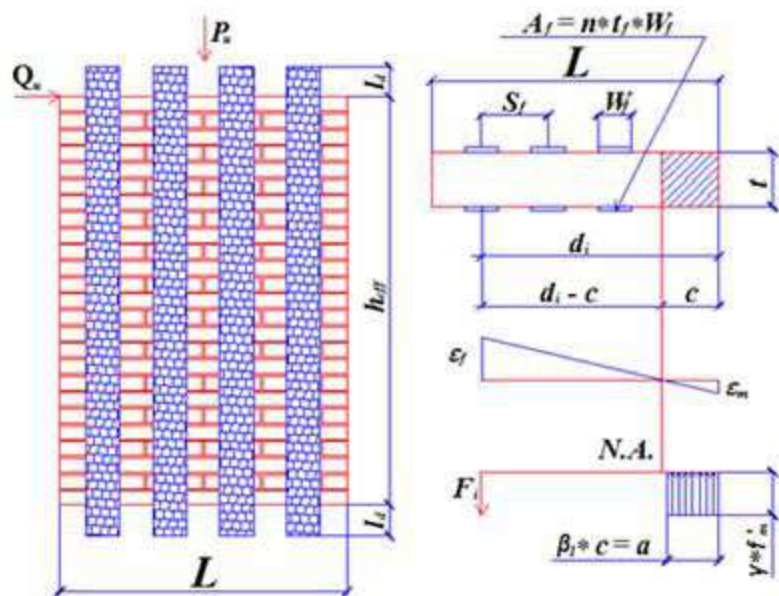


Схема усиления при действии горизонтальной силы и изгибающего момента

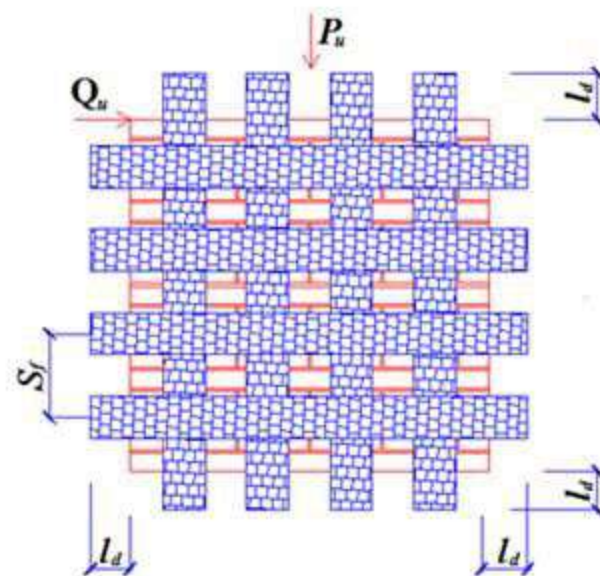


Схема усиления кирпичных столбов при действии вертикальной нагрузки

РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

По результатам проведения технико-экономического сравнения традиционного варианта варианта усиления с применением бетонных рубашек и исследованного варианта с применением холстов из углеволокна, получены следующие выводы:

1. Предварительная экономическая оценка использование углеволокнистой ткани для сейсмоусиления кирпичных стен на основе методики СН 509-78[109] показала, что данный способ выполнения работ имеет положительный экономический эффект.

2. Экономическая эффективность использования данного материала наблюдается как от сокращения сроков выполнения работ, так и от общего снижения их стоимости.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Выполнено комплексное исследование прочности и деформативности кирпичных стен с одно- и двухсторонним усилением холстами из углеволокнистой ткани при действии сдвигающих усилий, моделирующих сейсмическое воздействие на кладку стен при землетрясениях.
2. По результатам экспериментальных исследований прочности и деформативности кирпичных стен при действии сдвигающих усилий (перекос) установлено, что при одностороннем усилении стен углеволокном несущая способность конструктивных элементов из каменной кладки увеличивается по сравнению с неусиленной кладкой на 148%, при двухстороннем внешнем усилении на 192%.
3. Проведенный комплекс экспериментальных и теоретических исследований позволил разработать методику расчета кирпичных стен на действие сейсмических сил при перекосе, в том числе с учетом усиления кладки углеволокном, и предложить эмпирическую зависимость, оценивающую влияние одно и двухстороннего усиления кирпичных стен с использованием холстов из углеволокнистой ткани на прочность кладки при действии сдвиговых усилий в их плоскости.
4. По результатам экспериментальных исследований получены сравнительные данные о поведении кирпичной кладки стен с проемами с усилением на основе использования холстов из углеволокнистой ткани и без усиления при действии динамических нагрузок, моделирующих сейсмическое воздействие, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях стен.
5. Исследовано влияние усиления кирпичной кладки стен с проемами на основе использования холстов из углеволокнистой ткани на ее сейсмостойкость в зависимости от уровня обжатия и характеристик динамического воздействия. Установлено, что неусиленный образец кирпичной стены, выполненный в натуральную величину, не получил повреждений во всем спектре динамических нагрузок при уровне обжатия кладки $(0,2-0,8) \times R$.

Испытана кирпичного фрагмента здания под руководством Тонких Г.П.



Испытана каркасного фрагмента под руководством Тонких Г.П.



Существующие и разрабатываемые нормы

1. **СП 164.1325800.2014** «УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ»
2. **СП XX.1325800.XXXX** «КОНСТРУКЦИИ КАМЕННЫЕ И АРМОКАМЕННЫЕ Правила ремонта и усиления полимерными
3. **СП** «КОНСТРУКЦИИ ДЕРЕВЯННЫЕ Правила ремонта и усиления полимерными композитами» (ПРОЕКТ композитами» (ПРОЕКТ) в общем доступе не обнаружено
4. American Concrete Institute, Reported by ACI Committee 440, «Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures» **ACI 440.2R-08.**
5. American Concrete Institute, 440.7R, «Guide for the Design and Construction of Externally Bonded Fiber-Reinforced Systems for Strengthening Unreinforced Masonry System» **ACI.2010.**

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

**ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»
АО «НИЦ «Строительство»
АНО «СРОСЭКСПЕРТИЗА»**