

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМОУСИЛЕНИЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ НАРУЖНЫМИ БЕТОННЫМИ АППЛИКАЦИЯМИ

Тонких Г.П., д-р техн. наук, Симаков О.А. инженер, Симаков А.Б. инженер (ОАО «26 ЦНИИ»); Кабанцев О.В., канд. техн. наук (МГСУ); Баев С.М. инженер (ЗАО «Служба защиты сооружений); Панфилов П.С., канд. хим.наук. (ООО «Гидрозо»)

Целью данной работы являлось продолжение исследований напряженно-деформированного состояния каменной кладки, усиленной односторонней наружной железобетонной аппликацией, изложенных в [3, 4, 5]. В этих работах толщина аппликации была ограничена исходя из технологии производства монолитных стен и составляла 100 мм. В настоящих исследованиях за счет применения торкрет и набрызг-бетона толщина аппликации была принята 20, 40 и 60 мм, что позволяет существенно повысить эффективность работ по сейсмоусилению и уменьшить дополнительные нагрузки на существующие конструкции.

На данный момент в России отсутствуют в нормативных документах указания, разъясняющие понятия торкрет-бетон и набрызг-бетон, так как указанные термины имеют отношение в большей степени к технологии укладки бетонной смеси, а не к составу бетона и его конечным физико-механическим характеристикам. В связи с этим ниже приводятся определения технологий на основании устоявшейся отечественной и зарубежной практики:

- торкрет-бетон – бетон с максимальной фракцией заполнителя 10-16 мм, наносимый на поверхность за счет энергии сжатого воздуха, которая в момент укладки передается компонентам бетона приводя к динамическому уплотнению с формированием плотной структуры;

- набрызг-бетон – бетон, как правило, модифицированный различными добавками, наносимый на поверхность с минимальной энергией уплотнения (вид механизированных штукатурных работ).

Технология торкретирования, исходя из способа приготовления и транспортирования бетона, делится на два метода:

сухой метод – метод, при котором сухая бетонная смесь за счет энергии сжатого воздуха транспортируется сплошным потоком от торкрет-установки к сопловому блоку в котором происходит смачивание водой и из которого затворенный бетон под давлением наносится на поверхность торкретирования в виде направленного факела.

мокрый метод – метод пневматического нанесения бетона, при котором предварительно затворенная бетонная смесь посредством бетоно-насоса подается к сопловому блоку, из которого бетон под давлением наносится в виде направленного факела.

В настоящей работе исследовались результаты усиления кирпичной кладки выполненные сухим методом торкретирования бетона и набрызг-бетоном модифицированным добавками.

Методика экспериментальных исследований с целью накопления статистических данных была выбрана такая же, как и в ранее проводимых исследованиях [3, 4, 5]. Предварительно были изготовлены образцы кирпичной кладки 105x110x25 см. (ширина x высота x толщина). Размеры образцов были приняты исходя из типовых размеров простенков зданий. Кирпичная кладка выполнялась с цепной системой перевязки швов каменщиком средней квалификации из керамического полнотелого одинарного кирпича пластического формования. При этом горизонтальные и вертикальные швы заполнялись раствором.

Все образцы, за исключением усиленных торкрет-фибробетоном, армировались металлической сеткой Вр-1 Ø4 с ячейкой 50x50 и 100x100 мм. Направление стержней для серий 3-6 и 8-9 было принято параллельно диагоналям образца, а для серии 7 параллельно граням. Крепление сетки осуществлялось 5-ю дюбель-гвоздями, которые фиксировали сетку при нанесении бетона. Нанесение торкрет-бетона осуществлялось ЗАО «Служба защиты сооружений» - организацией, имеющей большой опыт выполнения работ по торкретированию. Этой же организацией, на основании их опыта и последних наработок в данной области, были предложены следующие материалы и их соотношение:

- песок речной фракционированный Мк 1,2 и Мк 2,2 в соотношении 1:1;
- цемент II/A-K(Ш-П) 42,5Н производства ЗАО «Мальцовский портландцемент» (Брянская обл., г.Фокино, ул.Цементников, д.1);
- полипропиленовые фибры ВСМ-11-RO.02-20/12 – ТУ 2272-006-1349727-2007 «Волокно строительное микроармирующее» производства ООО «СИ-Айрлайд», (Челябинск). Диаметр фибр 20 мкм и длина 12 мм, прочность на разрыв 350 МПа, модуль упругости 8000 МПа;
- металлическая (стальная) фибра волнистого очертания с покрытием слоем латуни толщиной 0,2-0,3 мкм на поверхности – ТУ 1221-71968828-2005 «Фибра из стальной проволоки для армирования бетона» челябинского предприятия «Уралкорд». Длина фибр 16 мм, диаметр 0,2...0,3 мм, длина волнистой гофры (шаг) – 0,8 мм, высота гофры 2 мм. Временное сопротивление разрыву проволоки 2200 МПа;

- микрокремнезем МК-80;

Состав сухой смеси торкрет-бетона приведен в табл.1

Таблица 1

Состав сухой смеси торкрет-бетона

№ серии	Марка образца	Сухая смесь		Добавки	Расход полипропиленовой фибры, кг	Расход стальной фибры, кг	Плотность после нанесения, кг/м ³	Прочность, кгс/см ²
		Расход цемента, кг	Расход заполнителя, л					
2	Т-4-Ф	350	1000	Микрокремнезем - 20кг;	-	50	2308	420,45
3	Т-2-5	350	1000	Микрокремнезем - 13,3кг;	0,67	-	2295	400,66
4	Т-4-10							
5	Т-4-5							
6	Т-6-5							
7	Т-4-10 П	700	1000	Beseal POL 5.6кг;	-	-	1883	175,34
8	Н-4-10							
9	НШ-4-10							

Изготовление сухой смеси торкрет-бетона осуществлялось в бетоносмесителе принудительного действия БС-4М. Для получения торкрет-бетона и торкрет-фибробетона использовались установка ALIVA 246.5 и компрессор XAS 186 с рабочим давлением воздуха 5 атм. производительностью 8 м³/мин. Скорость вылета струи материала из сопла составляла 140-170 м/с, что позволило получить наибольшую прочность материала.

Перед торкретированием поверхность образцов была продута сжатым воздухом и промыта напорной струей воды. Продувка и промывка выполнялась непосредственно перед торкретированием при помощи сопла торкрет-установки гидромонитором.

Нанесение торкрет-бетона осуществлялось на образцы, находящиеся в вертикальном положении. Торкретование образцов с толщиной аппликации 20-40 мм выполнялось в один слой, толщиной 60 мм в два слоя. После нанесения торкрет-бетонное покрытие было укрыто полиэтиленовой пленкой. Увлажнение распыленной струей воды осуществлялось через каждые 12ч. в течении 4 суток.

Аппликации образцов серии Н-4-10 и НШ-4-10 были изготовлены набрызг-бетоном, состав которого был разработан ООО «Гидрозо» - официальным представителем концерна DRIZORO в России. Состав включал:

- песок речной просеянный через сито с отверстиями Ø5мм;
- цемент П/А-К(Ш-П) 42,5Н производства ЗАО «Мальцовский портландцемент» (Брянская обл., г.Фокино, ул.Цементников, д.1);
- добавка Beseal POL, производства DRIZORO.

Состав смеси набрызг-бетона приведен в табл.1

Изготовление смеси осуществлялось в бетоносмесителе принудительного действия БС-4М. Для получения набрызг-бетона использовались штукатурная станция Putzmeister SP 11 и компрессор. Нанесение осуществлялось в 4 слоя, временной интервал между слоями составлял 2ч., однако даже с этим бетон аппликации частично оплывал. Уход за образцами после нанесения был аналогичный уходу за торкрет-бетоном.

В процессе проведения настоящих исследований было запланировано изготовление 9 серий образцов по 3 образца в каждой для изучения следующих вопросов:

- влияние толщины аппликации на несущую способность;
- влияние армирования аппликации на несущую способность;
- влияние направления арматуры на несущую способность;
- влияние способа нанесения;
- влияние шпонок;

В ходе планирования эксперимента были изготовлены следующие серии образцов:

Серия 1 (КО) – контрольные образцы кирпичной кладки без усиления.

Серия 2 (Т-4-Ф) – образцы кирпичной кладки усиленные аппликацией толщиной 4 см, выполненной из торкрет-фибро-бетона.

Серия 3 (Т-2-5) – образцы кирпичной кладки усиленные аппликацией из торкрет-бетона толщиной 2 см, армирование выполнено сеткой Вр-I Ø4 мм с ячейкой 50x50 мм.

Серия 4 (Т-4-10) – образцы кирпичной кладки усиленные аппликацией из торкрет-бетона толщиной 4 см, армирование выполнено сеткой Вр-I Ø4 мм с ячейкой 100x100 мм.

Серия 5 (Т-4-5) – образцы кирпичной кладки усиленные аппликацией из торкрет-бетона толщиной 4 см, армирование выполнено сеткой Вр-I Ø4 мм с ячейкой 50x50 мм.

Серия 6 (Т-6-5) – образцы кирпичной кладки усиленные аппликацией из торкрет-бетона толщиной 6 см, армирование выполнено сеткой Вр-I Ø4 мм с ячейкой 50x50 мм.

Серия 7 (Т-4-10П) – образцы кирпичной кладки усиленные аппликацией из торкрет-бетона толщиной 4 см, армирование выполнено сеткой Вр-I Ø4 мм с ячейкой 100x100 мм с расположением стержней параллельно граням образца.

Серия 8 (Н-4-10) – образцы кирпичной кладки усиленные аппликацией из набрызг-бетона толщиной 4 см, армирование выполнено сеткой Вр-I Ø4 мм с ячейкой 100x100 мм.

Серия 9 (НШ-4-10) – образцы кирпичной кладки усиленные аппликацией из набрызг-бетона толщиной 4 см со шпонками Ø100 мм и глубиной 100 мм, расположенными по три

шпонки вдоль диагонали с шагом 500 мм (всего 5 шт.). Армирование выполнено сеткой Вр-I Ø4 мм с ячейкой 100x100 мм.

В ходе эксперимента были получены физико-механические характеристики кирпича, раствора и бетона аппликаций. Марка кирпича и раствора определялись по ГОСТ 8462-85 и ГОСТ 5802-86. Кирпич испытывался на изгиб и сжатие, раствор на сжатие (кубики 70,7x70,7x70,7мм). Прочность бетона аппликаций определялась путем испытания кернов по ГОСТ 28570-90. Керны Ø51мм и высотой 100мм были высверлены из предварительно изготовленных контрольных плит см. ТУ 5745-001-16216892-06 на www.torkretbeton.ru.

Рис.1 Общий вид статических испытаний

Для испытаний кирпичные образцы устанавливали в опорную конструкцию таким образом, что одна из диагоналей принимала вертикальное положение, при этом нагрузка прикладывалась только к кирпичной кладке вдоль этой диагонали. Для равномерной передачи нагрузки в опорных зонах кладки устанавливали металлические траверсы на цементно-песчаном растворе (рис. 1).

Статическая нагрузка создавалась с помощью гидравлической насосной станции ГПК-50/150 и гидравлического домкрата ДГ-50П150. Перед проведением испытаний гидравлический домкрат совместно с насосом и манометром были протарированы. Деформации измерялись в продольном и поперечном направлении индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм, на базе 800 мм, расположенными вдоль диагоналей. Приборы устанавливались как на кирпичной поверхности, так и на бетонной аппликации.

При нагружении образцов вдоль диагонали в кирпичной кладке возникают главные растягивающие напряжения по направлению, перпендикулярному действию нагрузки [4, 5, 7]. Аналогичные условия напряженно-деформированного состояния возникают в простенках каменных зданий при действии горизонтальной сейсмической нагрузке.

Нагрузка на образцы прикладывалась ступенями по 0,04Р на стадии загрузки и по 0,02Р - на стадии близкой к разрушению. Усилие выдерживалось на каждой ступени в течении 2 минут.

Разрушающие нагрузки, полученные при испытаниях кирпичных образцов, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты статических испытаний

Условный номер серии	Разрушающая нагрузка Р _р , кгс	Предел прочности р-ра на сжатие R, кгс	Приведенная нагрузка			Повышение сдвигающего усилия		Энергоемкость, $\frac{W}{V}$
			Р _р , кгс	Р _р средняя, кгс	Сдвиговое усилие Q, кгс	Q, кгс	%	
1	3	3	4	5	6	9	10	11
КО-1	9 817	56,28	9 817	10841	7592	Эталон	Эталон	2,18
КО-2	14 000	88,48	11 166					

КО-3	10 000	42,25	11 542					
Т-4-Ф-1	21 991	51,75	22 933	25090	17570	9978	131	344,7
Т-4-Ф-2	20 420	42,52	23 493					
Т-4-Ф-3	31 416	66,76	28 845					
Т-2-5-1	16 493	74,38	14 347	17215	12055	4463	59	296,4
Т-2-5-2	13 744	46,33	15 148					
Т-2-5-3	24 347	68	22 150					
Т-4-10-1	19 635	46,23	21 664	23761	16639	9047	119	386,5
Т-4-10-2	20 028	51,75	20 886					
Т-4-10-3	32 594	72,43	28 731					
Т-4-5-1	32 594	71,74	28 869	30661	21471	13879	183	464,1
Т-4-5-2	32 201	51,93	33 523					
Т-4-5-3	26 704	45,83	29 592					
Т-6-5-1	25 133	58,58	24 635	25343	17747	10155	134	406,2
Т-6-5-2	23 562	77,12	20 128					
Т-6-5-3	28 274	46,02	31 267					
Т-4-10П-1	25 918	84,28	21 180	22275	15599	8007	105	357,1
Т-4-10П-2	23 562	54,64	23 913					
Т-4-10П-3	28 274	95,25	21 734					
Н-4-10-1	25 133	72,42	22 156	22751	15932	8340	110	294,4
Н-4-10-2	24 347	50,98	25 581					
Н-4-10-3	21 991	64,67	20 515					
НШ-4-10-1	17 850	59,65	21 673	21539	15083	7491	99	310,5
НШ-4-10-2	18 250	52,46	23 628					
НШ-4-10-3	15 250	54,82	19 315					

Ввиду того, что практически невозможно добиться одинаковых показателей прочности кладочного раствора для всех образцов, разрушающая нагрузка была приведена к прочности раствора (сопротивление кладки растяжению по неперевязанному шву) для образца КО-1.

Расчетное сопротивление кладки растяжению по неперевязанному шву определялось по формуле (1) после ее тарировки по результатам испытания образцов троек серии 1. При этом были подобраны значения коэффициентов n , k , W , s по которым определялась величина R_t для образцов других серий.

$$R_t = nkWs \frac{V_n}{V_n + V_c} \sqrt{R_2} \quad (1)$$

где n - зависит от квалификации каменщика, равен 0,6; k - от вида кирпича равен 0,015; W - его влажности, равен 0,75; s - консистенции раствора, равен 8; V_n V_c - объемы песка и цемента в сухой смеси раствора; R_2 - предел прочности (МПа) раствора по испытаниям кубиков, изготовленных и испытанных по стандартной методике.

Коэффициент пересчета нагрузок был определен исходя из расчетного сопротивления кладки главным растягивающим напряжениям, т.к. разрушение образцов происходило от действия этих напряжений. Коэффициент определялся по формуле:

$$k = R_{tw}^1 / R_{tw}^i \quad (2)$$

где R_{tw}^1 - расчетное сопротивление главным растягивающим напряжениям для кладки серии 1; R_{tw}^i - расчетное сопротивление главным растягивающим напряжениям для кладки других серий.

Расчетное сопротивление главным растягивающим напряжениям по швам кладки для сейсмоопасных районов определялось с учетом требований [1] по формуле:

$$R_{tw} = 0.8R_t \quad (3)$$

где R_t - расчетное сопротивление кладки растяжению по неперевязанным швам (нормальное сцепление).

Кроме этого в серии 9 (НШ-4-10) прочность кирпича отличалась от других серий. Для приведения результатов эксперимента к прочности кирпича марки М100 разрушающая нагрузка образцов данной серии была увеличена на коэффициент K , определяемый по формуле:

$$K = \frac{R_{tw}^{100}}{R_{tw}^{75}} \quad (4)$$

где R_{tw}^{75} - расчетное сопротивление кладки главным растягивающим напряжениям для кирпича марки М75; R_{tw}^{100} - расчетное сопротивление кладки главным растягивающим напряжениям для кирпича марки М100, (значения принимались по табл.11 [2]).

Окончательные результаты, с учетом корректировки нагрузок, приведены в табл. 2. Повышение несущей способности для каждой серии определено относительно эталонных образцов (серия 1).

Анализ результатов испытаний осуществлялся по величине сдвигающего усилия Q определяемого как проекция разрушающей нагрузки на грань образца.

Рис.2 Момент появления трещины в образце серии 1

Испытанием образцов контрольной серии 1 (КО) подтвержден установленный в [5] характер разрушения - при достижении максимальной нагрузки происходит хрупкое (практически мгновенное) разрушение образца по одной трещине, проходящей по вертикальной диагонали, с разделением образца на два фрагмента (см. рис.2). При этом момент появления диагональной трещины практически совпадал с моментом разрушения образца. Относительные деформации растяжения при разрушении кладки составляли порядка $\epsilon=22 \times 10^{-5}$.

Характер разрушения образцов, усиленных торкрет-бетоном (серии 2; 4-7), существенно отличался от разрушения образцов контрольной серии, а также результатов, полученных в работе [5]. При достижении нагрузки в пределах 75-95% от максимальной появлялись две симметричные (относительно вертикальной диагонали) трещины (см. рис.3). Образцы при этом продолжали воспринимать нагрузку, а с ростом давления в домкрате трещины продолжали раскрываться. При остановке нагружения рост деформаций прекращался. Когда относительные деформации растяжения составляли порядка $\epsilon=200 \times 10^{-5}$ образцы воспринимали максимальную нагрузку. На этапе дальнейшего нагружения происходило медленное раскрытие трещин и падение нагрузки на 5-10%, после чего рост деформаций прекращался, а нагрузка стабилизировалась. При попытке дальнейшего нагружения образца нагрузка в ряде случаев возрастала примерно на 1-5%, ширина раскрытия трещин продолжала увеличиваться. При выдержке нагрузка снижалась на 5-20% и стабилизировалась, деформации также стабилизировались.

Так происходило до определенного момента, после чего при попытке увеличения давления в домкрате усилие на образце не возрастало, а рост деформаций продолжался. Однако при прекращении повышении давления рост деформаций прекращался, нагрузка передаваемая на образец не снижалась.

Необходимо отметить, что при испытаниях всех образцов, усиленных торкрет-бетоном, после появления и роста раскрытия трещин наблюдался изгиб образцов относительно оси, проходящей по вертикальной диагонали. Деформация образца при изгибе достигала 50-60 мм.



Рис.3 Трещины при испытании образцов с усилением торкрет-бетоном толщиной 4 и более см.

Описанный характер работы образца наблюдался до относительных деформаций порядка $\epsilon=2000 \times 10^{-5}$. Дальнейшее нагружение образцов прекращалось ввиду изменения схемы работы, связанный с потерей устойчивости образца. В связи с этим при дальнейших испытаниях было введено ограничение по деформациям, $\epsilon=2000 \times 10^{-5}$, что в 100 раз превышало деформирование эталонных образцов без усиления.

Анализ элементов образцов, разрушенных в ходе экспериментов, позволил установить механизм разрушения усиленных образцов, который для образцов серий 2, 4-7 происходит с отрывом крайних пластин кирпича от основного тела каменной кладки – т.е. по достижению каменной кладкой расчетного сопротивления на срез по перевязанным швам. Необходимо отметить, что в зоне контакта торкрет-аппликации и каменной кладки разрушение элементов из торкрет-бетона не обнаружено.

Характер разрушения образцов серии 3 (Т-2-5), усиленных торкрет-бетоном толщиной 2 см, отличался от схемы разрушения образцов серий 2; 4-7, усиленных торкрет-бетоном толщиной 4 см и более. Разрушение образцов серии 3 происходило по схеме, схожей со схемой разрушения контрольных образцов: зафиксировано появление одной трещины вдоль сжатой диагонали с последующим ее раскрытием и разрушением образца, т.е. по достижении каменной кладкой предельных значений по главным растягивающим напряжениям.

Характер разрушения образцов серий 2; 4-7, усиленных торкрет-бетоном толщиной 4 и более см, с формированием двух раскрывающихся трещин хорошо коррелируется с результатами численного эксперимента, моделирующего в упругой постановке работу под нагрузкой образца из каменной кладки совместно с железобетонным элементом усиления. В расчетных моделях, сформированных в расчетном комплексе SCAD с использованием различных типов конечных элементов (оболочки, стержни), в центре модели наблюдается вертикальная зона минимальных сдвиговых напряжений (усилий – для стержневых КЭ), соответствующих работе кладки на срез по перевязанному шву. По мере удаления от центральной диагонали в моделях наблюдается рост напряжений (усилий) до значимых величин, соизмеримых с прочностью кладки на срез по перевязанному шву. Площадь указанных зон значимых сдвиговых напряжений (усилий) составляет 10-12 % от площади расчетной модели (см.рис.4).

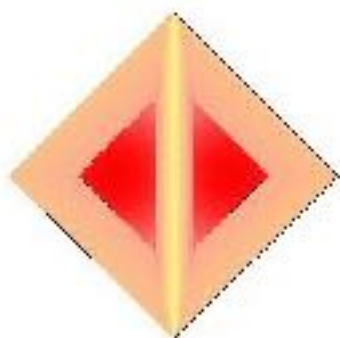


Рис.4. Зона значимых горизонтальных сдвиговых усилий

Образцы с усилением аппликациями из набрызг-бетона серия 8 (Н-4-10) до предельной нагрузки не имели отличий от аналогичных образцов усиленных торкретбетоном – также формировались две трещины в кладке вдоль вертикальной диагонали. Однако при

достижении предельных значений происходило резкое падение нагрузки до 40% с последующей стабилизацией. В дальнейшем характер работы образца полностью соответствовал аналогичным, усиленным торкретом.

Образцы серии 9 (НШ-4-10) в отличие от серии 8 не имели резкого падения нагрузки после достижения предельной величины. Однако ожидаемого эффекта повышения несущей способности шпонки не оказали. Это можно объяснить особенностями технологии устройства шпонок, т.к. при производстве работ смесь вытекала из отверстий и приходилось заполнять шпонки вручную, и как следствие после разрушения оказалось, что отверстия шпонок были заполнены не полностью. Во всех случаях относительная стабилизация нагрузки после её снижения происходила до значений, которые соответствовали несущей способности кладки без усиления.

По результатам статических испытаний были построены диаграммы деформирования образцов каменной кладки по главным растягивающим напряжениям. Деформации были отнесены к базе измерения равной 800 мм, нагрузки – к значению контрольных образцов. Деформации сжатия кладки составляли $\epsilon=500 \times 10^{-5}$, а бетона $\epsilon=50 \times 10^{-5}$, что говорит о его упругой работе

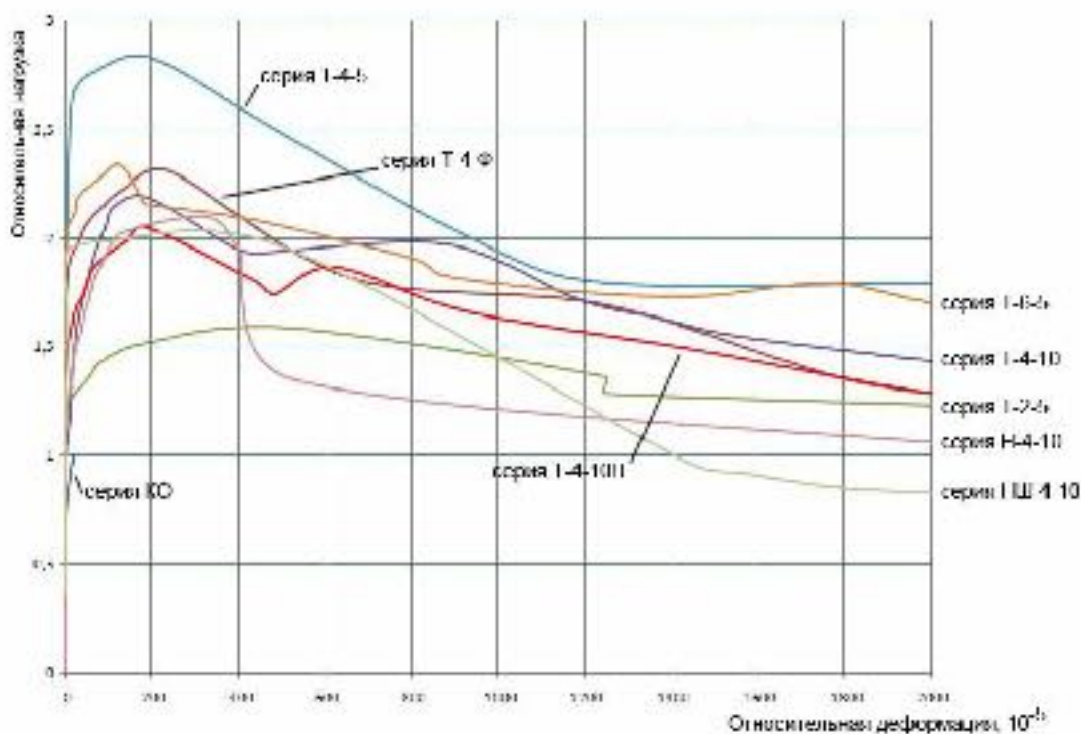


Рис. 5. Графики деформирования экспериментальных образцов

Сопоставив характер деформирования образцов можно сделать вывод о том, что с энергетической точки зрения усиленные аппликациями образцы обладают на несколько порядков большей энергоемкостью по сравнению с контрольными образцами. Данный эффект существенно снижает величины сейсмических реакций усиленных зданий и предотвращает хрупкое разрушение конструктивных элементов из каменной кладки. При этом набрызг-бетон с этой точки зрения серьезно уступает торкрет-бетону (см. табл. 2).

Как показано выше, в результате проведенных экспериментов установлен механизм разрушения усиленных образцов, который для всех серий происходит по достижению каменной кладкой расчетного сопротивления на срез по перевязанным швам. Это позволяет

применить для теоретического анализа несущей способности образцов разработанную в [5] методику.

Каменную кладку без усиления (эталонные образцы) рассчитали на главные растягивающие напряжения в соответствии с указаниями [2], по формуле:

$$Q \leq \frac{R_{tq} hL}{\nu} \quad (5)$$

где Q - расчетная поперечная сила; h – толщина стены; L – длина усиливаемого участка стены; ν - коэффициент неравномерности касательных напряжений в сечении. Для прямоугольных сечений ν допускается принимать 1,5; R_{tq} - расчетное сопротивление скалыванию кладки, обжатой расчетной силой N , определяемая с коэффициентом перегрузки 0,9 по формуле:

$$R_{tq} = \sqrt{R_{tw} (R_{tw} + \sigma_0)} \quad (6)$$

где R_{tw} - расчетное сопротивление главным растягивающим напряжениям определяется по формуле 3; σ_0 - напряжения обжатия силой N , равное:

$$\sigma_0 = \frac{0,9N}{Lh} \quad (7)$$

Полученный аналитический результат расчета несущей способности каменной кладки на главные растягивающие напряжения контрольных образцов расходится на 5,1% с экспериментальными данными (экспериментальное значение 7592 кгс, аналитическое 7999 кгс).

В усиленных торкрет-бетоном и набрызг-бетоном толщиной 4-6 см образцах увеличение несущей способности происходит за счет прочности сцепления кладки и аппликации (Q_{sq}). В соответствии с положениями [5], а также установленному механизму разрушения опытных образцов увеличение несущей способности можно определять по формуле:

$$Q_{sq} = R'_{sq} \cdot A_{ге} \quad (8)$$

где R'_{sq} - расчетное сопротивление кладки срезу по перевязанному шву;

$A_{ге}$ – площадь контакта каменной кладки с аппликацией в которой сдвигающие горизонтальные усилия достигают значимых величин.

По результатам выполненного моделирования в программе SCad были получены значения сдвиговых усилий в месте контакта кирпичная кладка – аппликация (см. рис.4). В ходе анализа было установлено, что зона значимых значений имеет площадь равную 10% от общей площади поверхности образца.

На основании проведенного анализа общую величину несущей способности (Q_f) усиленных образцов предлагается определять как сумму несущей способности образца кладки без усиления Q и несущей способности контакта кладки и аппликации Q_{sq} :

$$Q_f = Q + Q_{sq} \quad (9)$$

Сравнительный анализ проведенных расчетов по предлагаемой методике с экспериментальными данными показан в таблице 3.

Таблица 3

**Сравнительный анализ предлагаемой методики расчета
несущей способности образцов, усиленных железобетонной аппликацией**

Условный номер серии	Данные эксперимента		Расчетное значение повышения несущей способности образца по отношению к эталону	
	Несущая способность образца Q_f , кг	Повышение несущей способности образца по отношению к эталону ΔQ_f , кг	ΔQ_f^a , кг	Расхождение расчетной величины по отношению к эксперименту, %
КО	7592	Эталон	-	-
Т-4-Ф	17570	9978	7029,8	30
Т-2-5	12055	4463	7029,8	-57
Т-4-10	16639	9047	7029,8	22
Т-4-5	21471	13879	7029,8	49
Т-6-5	17747	10155	7029,8	31
Т-4-10П	15599	8007	7029,8	12
Н-4-10	15932	8340	7029,8	16
НШ-4-10	15083	7491	7029,8	6

В результате сравнения полученных результатов можно сделать вывод о том, что предлагаемая формула (8) позволяет с достаточной надежностью определять несущую способность усиленных образцов при толщине аппликации 40-60 мм. При этом существует некоторый запас у экспериментальных образцов который можно объяснить за счет влияния армирования аппликаций, которое в настоящее время не учитывается, и требует проведения дополнительного исследования.

Повышение несущей способности для образцов с торкрет-бетоном толщиной 2 см значительно меньше чем расчетное значение за счет того, что механизм разрушения определяется главными растягивающими напряжениями, что требует проведения дополнительных исследований.

Основные выводы из экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния каменной кладки, усиленной односторонней железобетонной аппликацией, при совместном действии статических горизонтальных и вертикальных нагрузок:

- односторонние аппликации выполненные из торкрет и набрызго-бетона повышают несущую способность каменной кладки в 2÷2,8 раза. При этом полностью исключается хрупкий характер разрушения каменной кладки и в полной мере проявляются пластические свойства, которые позволяют существенно повышать сейсмостойкость и исключать обрушения каменных зданий. Энергоемкость усиленных образцов более чем в 200 раз превышает энергоемкость обычной кладки;

- установлен механизм разрушения образцов усиленных аппликациями из торкрет и набрызг-бетона;

- проведено теоретическое обоснование повышения несущей способности усиленных образцов;
- для практического применения торкрет-бетона и набрызг-бетона при сейсмоусилении существующих зданий рекомендуемая толщина составляет 40-60 мм;
- односторонние аппликации выполняемые из торкрет и набрызг-бетона эффективно включаются в работу образцов за счет высокой адгезии, и не требуют проведения дополнительных конструктивных мероприятий;
- направление армирования не влияет на несущую способность образцов;
- способ нанесения (торкрет и набрызг-бетон) не влияют на предельную нагрузку, однако энергоемкость у торкрет-бетона существенно выше, что сказывается на работе конструкции в пластической стадии;
- применение шпонок не повлияло на несущую способность, но существенно отразилось на характере деформирования. Данное усиление имеет большую энергоемкость и более безопасную работу по сравнению с безшпоночным набрызг-бетоном. Однако технология устройства шпонок требует доработки и более подробного исследования;
- для определения влияния на несущую способность усиленной каменной кладки армирования и толщины аппликации требуется проведение дальнейших исследований.

Аннотация: В статье изложены результаты экспериментальных исследований образцов каменной кладки, усиленных аппликациями из торкрет и набрызг-бетона с различными параметрами толщины, армирования, метода нанесения при действии статических нагрузок. Проведен сравнительный анализ данных, полученных при экспериментах, с теоретическими значениями, по предлагаемой методике.

Литература

1. СНиП II-7-81* “Строительство в сейсмических районах”.
2. СНиП II-22-81 “Каменные и армокаменные конструкции”.
3. Кабанцев О.В., Тонких Г. П. и др. Пособие по оценке сейсмостойкости и сейсмоусилению общевоинских зданий с несущими стенами из каменной кладки. Москва, 26 ЦНИИ МО РФ, 2002 г.
4. Тонких Г. П., Кабанцев О. В., Кошаев В. В. Методика экспериментальных исследований по усилению зданий из каменной кладки железобетонными аппликациями. Журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» №6, 2005 г.
5. Тонких Г. П., Кабанцев О. В., Кошаев В. В. Экспериментальные исследования несущей способности каменной кладки при главных нагрузках. Журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» №6, 2007 г.

Материал хранится в ОАО «26 ЦНИИ» по адресу: 143913, Московская обл., г. Балашиха, мкр. Гагарина, тел. 585-58-96.