



Федеральное агентство по управлению  
государственным имуществом  
**Открытое акционерное общество**  
**"Научно-исследовательский центр "Строительство"**  
**(ОАО "НИЦ "Строительство")**  
«Центральный научно-исследовательский институт  
строительных конструкций имени В.А. Кучеренко»

**ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко**

**УТВЕРЖДАЮ:**

Директор  
ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко  
доктор технических наук



**И.И.Ведяков**

2010г.

## **НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ**

по теме: «Провести экспериментальные исследования прочности и деформативности кирпичных стен и стен из ячеистобетонных блоков, усиленных с помощью материалов фирмы «BASF» и разработать рекомендации по их применению при строительстве в районах РФ с сейсмичностью 7-9 баллов»

**Том 1**

по договору №974/24-53-10/ск от 24.06.2010г.

Руководитель Центром Исследований  
Сейсмостойкости Сооружений (ЦИСС)  
кандидат технических наук

**В.И.Смирнов**

Заведующий Лабораторией,  
кандидат технических наук

**А.В.Грановский**

Научн. сотрудник

**Б.К.Джамуев**

Москва 2010 г.

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

*от ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко*

1. Грановский А.В. – Руководитель работ, Зав. Лабораторией, канд. техн. наук
2. Джамуев Б.К. – Ответственный исполнитель, научный сотрудник
3. Гасиев А.А. – Ответственный исполнитель, инженер

### *Технические консультанты*

1. Хандаев В.И. – Зам. министра по строительству и модернизации жилищно-коммунального комплекса Республики Бурятия
2. Донской Б.Г. – Зам. главного инженера проекта ОАО «Бурятгражданпроект»

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
1. Введение	6
2. Программа экспериментальных исследований	7
3. Описание материала опытных образцов	9
4. Экспериментальные исследования прочности и деформативности фрагментов стен на действие сдвигающих усилий – переко	19
4.1. Описание опытных образцов	19
4.2. Результаты испытаний опытных образцов фрагментов стен на переко и их анализ	25
4.2.1. Эталонные образцы (I серия)	25
4.2.2. Опытные образцы II серии, усиленные с одной стороны в один слой тремя холстами из углеволокна	30
4.2.3. Опытные образцы III серии, усиленные с 2-х сторон в один слой тремя холстами из углеволокна	34
4.2.4. Опытные образцы IV серии, усиленные с одной стороны в один слой одним холстом из углеволокна	38
4.2.5. Опытные образцы V серии, усиленные с двух сторон в один слой одним холстом из углеволокна	41
4.2.6. Опытные образцы VI серии, усиленные с одной стороны набетонкой из сухой смеси с металлической фиброй	44
4.2.7. Опытные образцы VII серии, усиленные с двух сторон набетонкой из сухой смеси с металлической фиброй	47
5. Экспериментальные исследования прочности и деформативности простенков при центральном и внецентренном сжатии	50
5.1. Описание опытных образцов	50
5.2. Результаты испытаний опытных образцов фрагментов стен на действие центральной и внецентральной нагрузки и их анализ	54
5.2.1. Эталонные образцы (I серия)	54
5.2.2. Опытные образцы II серии, усиленные бандажом из углеволокнистых холстов	59
5.2.3. Эталонные образцы (III серия)	62
5.2.4. Опытные образцы IV серии, усиленные с одной стороны холстами из углеволокна	67
6. Экспериментальные исследования прочности и деформативности изгибаемых балок (перемычек)	70
6.1. Описание опытных образцов	70
6.2. Результаты испытаний опытных образцов балок (перемычек) на изгиб и их анализ	72
6.2.1. Эталонные образцы (I серия)	72
6.2.2. Опытные образцы II серии, усиленные холстами из углеволокна	76

7. Экспериментально-теоретические исследования прочности и деформативности кирпичных столбов и простенков, усиленных бандажами из углеволокнистой ткани	79
7.1. Описание опытных образцов	79
7.2. Результаты испытаний экспериментальных образцов кирпичных столбов усиленных углеволокном и их анализ	82
7.2.1. Эталонные образцы и образцы I серии	82
7.2.2. Опытные образцы II серии	88
7.2.3. Опытные образцы III серии	93
7.2.4. Опытные образцы IV серии	97
7.2.5. Опытные образцы V серии	101
7.3. Методика определения и сравнительный анализ результатов испытаний прочности кирпичной кладки столбов и простенков, усиленных углеволокном	106
8. Экспериментальные исследования прочности и деформативности фрагментов кирпичных стен на действие сдвигающих усилий – перекося	109
8.1. Описание опытных образцов	109
8.2. Результаты испытаний опытных образцов фрагментов стен на перекося и их анализ	115
8.2.1. Эталонные образцы (I серия)	115
8.2.2. Опытные образцы II серии, усиленные с одной стороны набетонкой толщиной 2 см из сухой смеси с металлической фиброй	119
8.2.3. Опытные образцы III серии, усиленные с одной стороны набетонкой толщиной 4 см из сухой смеси с металлической фиброй	122
8.2.4. Опытные образцы IV серии, усиленные с одной стороны холстом из углеволокна	125
8.2.5. Опытные образцы V серии, усиленные с двух сторон набетонкой толщиной 2 см из сухой смеси с металлической фиброй	128
8.2.6. Опытные образцы VI серии, усиленные с двух сторон набетонкой толщиной 4 см из сухой смеси с металлической фиброй	131
8.2.7. Опытные образцы VII серии, усиленные с двух сторон холстом из углеволокна	134
9. Динамические испытания кирпичной стены, усиленной полосами из углеволокна	137
9.1. Методика испытаний	137
9.2. Описание опытных образцов	139
9.3. Результаты динамических испытаний	142
10. Экспериментальные исследования прочности и деформативности железобетонных колонн, усиленных бандажами из углеволокнистой ткани	152

10.1. Описание опытных образцов	152
10.2. Результаты испытаний экспериментальных образцов фрагментов железобетонных колонн, усиленных угле- и стекловолокном и их анализ	159
10.2.1. Эталонные образцы	159
10.2.2. Опытные образцы I серии	165
10.2.3. Опытные образцы II серии	170
10.2.4. Опытные образцы III серии	175
11. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Выводы и рекомендации	180

## 1. Введение

Настоящий научно-технический отчет составлен по результатам проведенных экспериментальных исследований прочности и деформативности стен и колонн, выполненных из ячеистобетонных блоков, керамического кирпича и железобетона, усиленных с помощью следующих материалов фирмы «BASF»:

- тканью из углеволокна марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m;
- сухой смесью с металлическими хром-никелевыми фибрами марки BASF Emaco S170 CFR.

### **Цель работы:**

- оценка эффективности применения материалов фирмы «BASF» для повышения прочности и жесткости несущих и ограждающих конструкций зданий (стен, колонн, простенков и т.д.), запроектированных из монолитного железобетона, ячеистобетонных блоков и керамического кирпича, и возводимых как в обычных, так и в сейсмоопасных районах;
- оценка эффективности усиления центрально- и внецентренно сжатых кирпичных и железобетонных колонн на основе использования холстов из углеволокна фирмы «BASF»;
- разработка методики расчета центрально- и внецентренно сжатых железобетонных колонн и кирпичных столбов (простенков) при усилении их холстами из углеволокна фирмы «BASF».

Экспериментальные исследования проводились в Лаборатории сейсмостойкости конструкций Центра исследований сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко (ОАО «НИЦ «Строительство»).

Экспериментальные образцы фрагментов стен, колонн и балок изготавливались как в заводских условиях (ОАО «ДСК-2»), так и в лабораторных условиях Центра исследований сейсмостойкости сооружений.

## 2. Программа экспериментальных исследований

Программа экспериментальных исследований включала в себя следующие этапы:

**I этап – испытания конструкций из ячеистобетонных блоков YTONG производства фирмы ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» на клеевом растворе марки «YTONG-эконом» и фирмы ЗАО «АэроБел» на клеевом растворе марки «Евро-Л».**

- экспериментальные исследования прочности и деформативности фрагментов стен на действие сдвигающих усилий – перекос (моделирование горизонтальных сейсмических воздействий в плоскости стен), усиленных:
  - набетонкой на основе сухой смеси Emaco S170 CFR;
  - холстами из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m.
- экспериментальные исследования прочности и деформативности простенков при центральном и внецентренном сжатии, усиленных холстами из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m;
- экспериментальные исследования прочности и деформативности изгибаемых балок (перемычек), смонтированных из ячеистобетонных блоков на клеевом растворе марки «YTONG-эконом», усиленных холстами из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m

## **II этап – испытания конструкций из керамического кирпича на цементном растворе.**

- экспериментально-теоретические исследования прочности и деформативности кирпичных столбов и простенков, усиленных бандажами из углеволокнистых холстов M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m;
- экспериментальные исследования прочности и деформативности фрагментов кирпичных стен на действие сдвигающих усилий – перекося (моделирование горизонтальных статических воздействий в плоскости стены), усиленных:
  - набетонкой толщиной 2 см и 4 см на основе сухой смеси Emaco S170 CFR (одно- и двухсторонняя набетонка);
  - холстами из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m.
- динамические испытания на специальном стенде, возбуждение колебаний которого осуществляется в помощью вибромашины ВИД-12, закрепленной на маятниковой платформе, кирпичной стены с проемом в натуральную величину, усиленной холстами из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m

## **III этап – испытания конструкций из монолитного железобетона.**

- экспериментальные исследования прочности и деформативности железобетонных колонн, усиленных бандажами из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m;

### **3. Описание материала опытных образцов**

На I этапе экспериментальных исследований для изготовления опытных образцов использовались ячеистобетонные блоки YTONG производства фирмы ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» на клеевом растворе марки «YTONG-эконом» и фирмы ЗАО «АэроБел» на клеевом растворе марки «Евро-Л».

В таблице 3.1 приведены результаты испытаний кубов, выпиленных из ячеистобетонных блоков YTONG. По результатам испытаний кубов установлено, что при плотности ячеистого бетона D600 по прочности на сжатие бетон ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» соответствует классу B3.5.

В таблице 3.2. приведены результаты испытаний кубов, выпиленных из ячеистобетонных блоков производства ЗАО «АэроБел». По результатам испытаний кубов установлено, что при плотности ячеистого бетона D600 по прочности на сжатие ячеистый бетон соответствует классу B4.0.

Для оценки прочности нормального сцепления кладки на клеевом растворе марки «YTONG-эконом» по неперевязанному шву были изготовлены и испытаны на осевое растяжение образцы из 2-х кубов (рис. 3.1, 3.2), выпиленных из блоков и склеенных между собой. Результаты испытаний приведены в таблице 3.3.

В таблице 3.4. приведены результаты испытаний по оценке прочности нормального сцепления образцов из 2-х кубов, выпиленных из ячеистобетонных блоков производства ЗАО «АэроБел» и смонтированных на клеевом растворе марки «Евро-Л».

Опытные образцы фрагментов кирпичных стен изготавливались из кирпича марки M100 на растворе марки M75. Марка кирпича и раствора определялась по результатам испытаний кирпича на сжатие и изгиб (по ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе») и растворных кубов на сжатие (по ГОСТ 5802-86. «Растворы строительные. Методы испытаний»)

Таблица 3.1.

Результаты испытаний кубов из ячеистого бетона производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» на сжатие

№ п.п.	Наименов. блока	Размеры кубов b*d*h (см)	Масса (кг)	Марка бетона (кг/м <sup>3</sup> ) по средней плотности (данные испытаний)	Средняя влажность, %	N <sub>разр.</sub> (Н)	Кoeff. α (табл.5*)	Кoeff.k <sub>w</sub> (табл.6*)	Прочность на сжатие, R <sub>i</sub> (МПа)	Средняя прочность, (МПа)
1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12
1	YTONG D500	10×10×10	0,625	610÷620	20%	36690	0,95	1,1	3,94	3,8
2			0,61			36886			3,60	
3			0,625			34335			3,68	
4			0,61			37376			4,01	
5			0,625			38651			4,15	
6			0,62			34933			3,75	
7			0,61			35316			3,79	
8			0,615			34041			3,65	
9			0,61			36199			3,88	
10			0,625			37083			3,98	

Таблица 3.1. (продолжение)

№ п.п.	Наименов. блока	Размеры кубов b*d*h (см)	Масса (кг)	Марка бетона (кг/м <sup>3</sup> ) по средней плотности (данные испытаний)	Средняя влажность, %	N <sub>разр.</sub> (Н)	Коэфф. α (табл.5*)	Коэфф.k <sub>w</sub> (табл.6*)	Прочность на сжатие, R <sub>i</sub> (МПа)	Средняя прочность, (МПа)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11	YTONG D500	10×10×10	0,62	610÷620	20%	31883	0,95	1,1	3,42	<b>3,8</b>
12			0,605			40123			4,30	
13			0,625			35120			3,77	
14			0,62			38553			4,13	
15			0,625			27174			2,91	
16			0,615			35316			3,79	
17			0,62			39534			4,24	

\* коэффициенты приняты из таблиц ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Таблица 3.2.

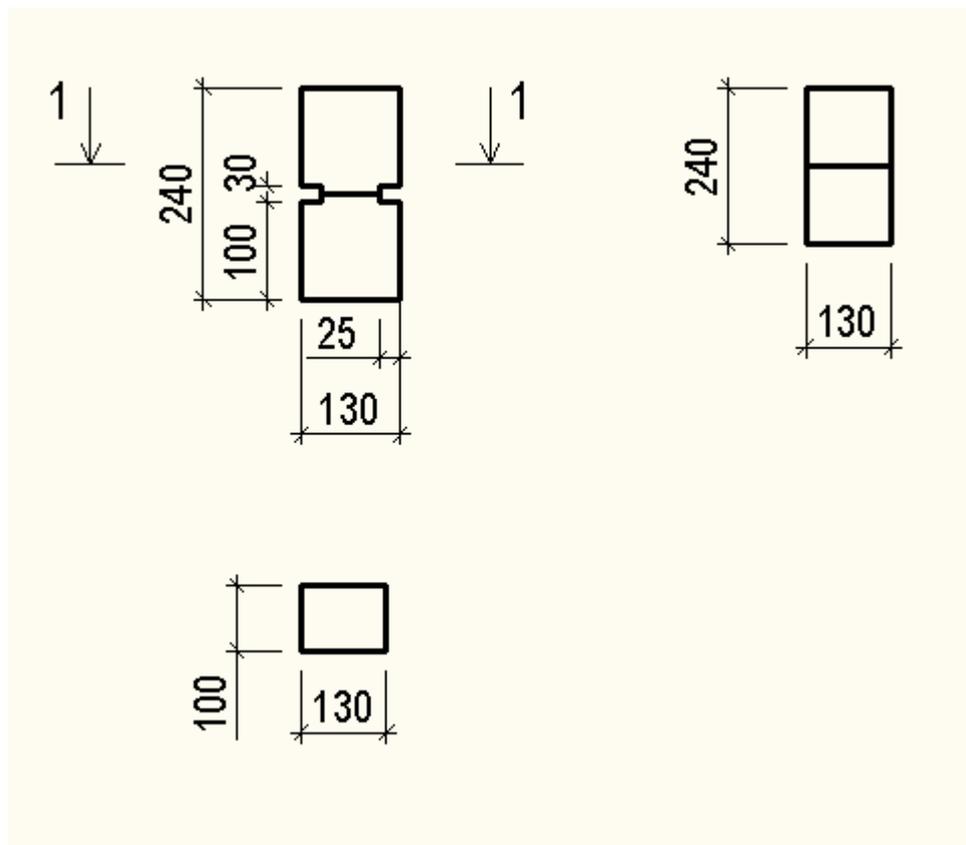
## Результаты испытаний кубов из ячеистого бетона на сжатие

№ п.п.	Наименов. блока	Размеры кубов b*d*h (см)	Масса (кг)	Марка бетона (кг/м <sup>3</sup> )		Средняя влаж-ность, %	N <sub>разр.</sub> (Н)	Коэфф. α (табл.5*)	Коэфф.k <sub>w</sub> (табл.6*)	Прочность на сжатие, R <sub>i</sub> (МПа)	Средняя прочность, (МПа)
				по средней плотности (данные завода)	по результатам испытаний						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	АэроБел D600	12×13×10	0,89	600	588,9	10%	61600	0,975	1,0	3,97	4,51
2			0,915		580,7		74000			4,63	
3			0,94		604,5		71600			4,40	
4			0,89		572,8		56800			3,64	
5			0,96		619,2		70400			4,47	
6			0,935		627,9		85600			5,44	
7			0,97		631,9		79600			5,06	
8			0,98		651,4		79200			5,03	
9			0,86		581,0		49600			3,20	
10			0,955		612,6		73200			4,58	

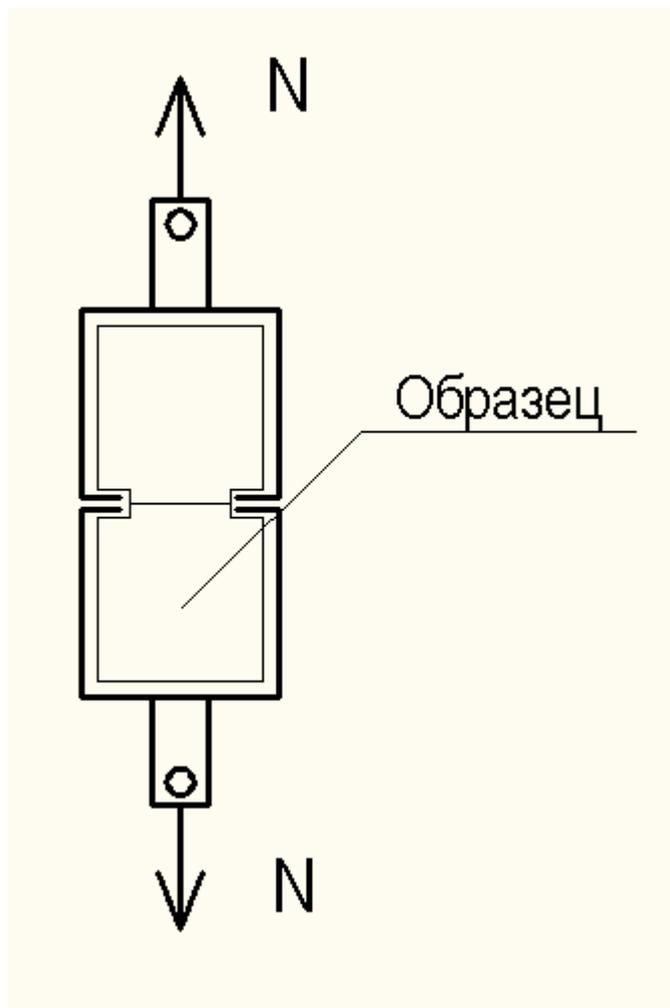
Таблица 3.2. (продолжение)

№ п.п.	Наименов. блока	Размеры кубов b*d*h (см)	Масса (кг)	Марка бетона (кг/м <sup>3</sup> )		Средняя влажн- ость, %	N <sub>разр.</sub> (Н)	Коэфф. α (табл.5*)	Коэфф.k <sub>w</sub> (табл.6*)	Прочность на сжатие, R <sub>i</sub> (МПа)	Средняя прочность, (МПа)
				по средней плотности (данные завода)	по результатам испытаний						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	АэроБел D600	12×13×10	0,98	600	632,1	10%	78800	0,975	1,0	5,00	<b>4,51</b>
2			0,98		638,4		70800			4,50	
3			0,99		630,3		78000			4,84	
4			1,01		647,4		93200			5,83	
5			0,865		568,8		48800			3,10	

\* коэффициенты приняты из таблиц ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».



**Рис. 3.1. Размеры образцов из ячеистого бетона для испытаний на осевое растяжение**



**Рис. 3.2. Схема испытания опытных образцов из ячеистого бетона на осевое растяжение (нормальное сцепление)**

Табл. 3.3.

Результаты испытаний опытных образцов из ячеистого бетона производства  
ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» на осевое растяжение (нормальное сцепление)

№ п.п.	Тип раствора в шве	Марка образца	Возраст образца, дн.	Размеры шва b*d, (см)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>сц</sub> , (МПа)	R <sub>сц,ср</sub> , (МПа)
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
1	клеевой состав	К-СЦ	17	12,9*9,6	2890	0,23	<b>0,20</b>
2				13,0*9,4	1500	0,12	
3				13,1*9,6	3220	0,26	
4				13,1*9,1	3200	0,27	
5				13,0*8,9	1580	0,14	

Табл. 3.4.

Результаты испытаний опытных образцов из ячеистого бетона производства  
 ЗАО «АэроБел» на осевое растяжение (нормальное сцепление)

№ п.п.	Тип раствора в шве	Марка образца	Возраст образца, дн.	Размеры шва b*d, (см)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>сц</sub> , (МПа)	R <sub>сц,ср</sub> , (МПа)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	клеевой состав «Евро-Л»	АК-СЦ	51	9,6*9,4	3340	0,37	<b>0,34</b>
2				10,0*8,6	3040	0,35	
3				9,9*9,0	3320	0,37	
4				10,0*8,6	2340	0,27	
5				9,8*8,5	2720	0,33	

Для усиления конструкций использовались следующие материалы фирмы «BASF»:

- быстротвердеющий состав для выравнивания поверхности Emaco Fast Tixo;
- грунтовочный состав для улучшения сцепления M-Brace Primer;
- клеевой состав M-Brace Saturant;
- холсты из углеволокнутой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m. имеющей следующие характеристики:
  - прочность волокна на растяжение – 4900МПа;
  - модуль упругости волокна – 230000 МПа;
  - удельный вес – 200 г/м<sup>2</sup>;
  - толщина волокна – 0,11 мм.
- бетон из сухой смеси с металлической фиброй марки Emaco S170 CFR

Механические свойства материала, получаемого из смеси Emaco S170 CFR

Табл.3.5.

Показатель	Значение
Прочность на растяжение при изгибе	
через 24 часа	не менее 10
через 28 суток	не менее 15
Прочность на сжатие	
через 24 часа	не менее 30
через 28 суток	не менее 60
Прочность сцепления с бетоном через 28	2,5 МПа
Модуль упругости	25000 МПа

## **4. Экспериментальные исследования прочности и деформативности фрагментов стен на действие сдвигающих усилий – перекося**

### **4.1. Описание опытных образцов**

Опытные образцы представляют собой фрагменты стен размерами 1250x1250x300 (Н) мм из ячеистобетонных блоков, смонтированных на клеевом растворе. Толщина клеевого шва - 1÷3 мм.

Для оценки влияния эффекта усиления фрагментов стен с использованием материалов фирмы «BASF»: холстов из углеволокнистой ткани и набетонки из сухой смеси, были испытаны 7 серий образцов стен по 3 образца-близнеца в каждой серии.

Ниже приводится описание образцов указанных семи серий.

**I серия – эталонные образцы** – фрагменты стен из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса B3.5 (по данным эксперимента) производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», смонтированные на клеевом составе марки «YTONG-эконом» (см. рис.4.1) и из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса B4.0. (по данным эксперимента) производства ЗАО «АэроБел», смонтированные на клеевом составе марки «Евро-Л».

**II серия** – фрагменты стен из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса B3.5 (по данным эксперимента) производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», смонтированные на клеевом составе марки «YTONG-эконом» и из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса B4.0 (по данным эксперимента) производства ЗАО «АэроБел», смонтированные на клеевом составе марки «Евро-Л» и усиленные с одной стороны в один слой 3-мя холстами из углеволокна (см. схему на рис. 4.2).

**III серия** – фрагменты стен из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса B3.5 (по данным эксперимента) производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», смонтированные на клеевом составе марки «YTONG-эконом» и из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса B4.0 (по

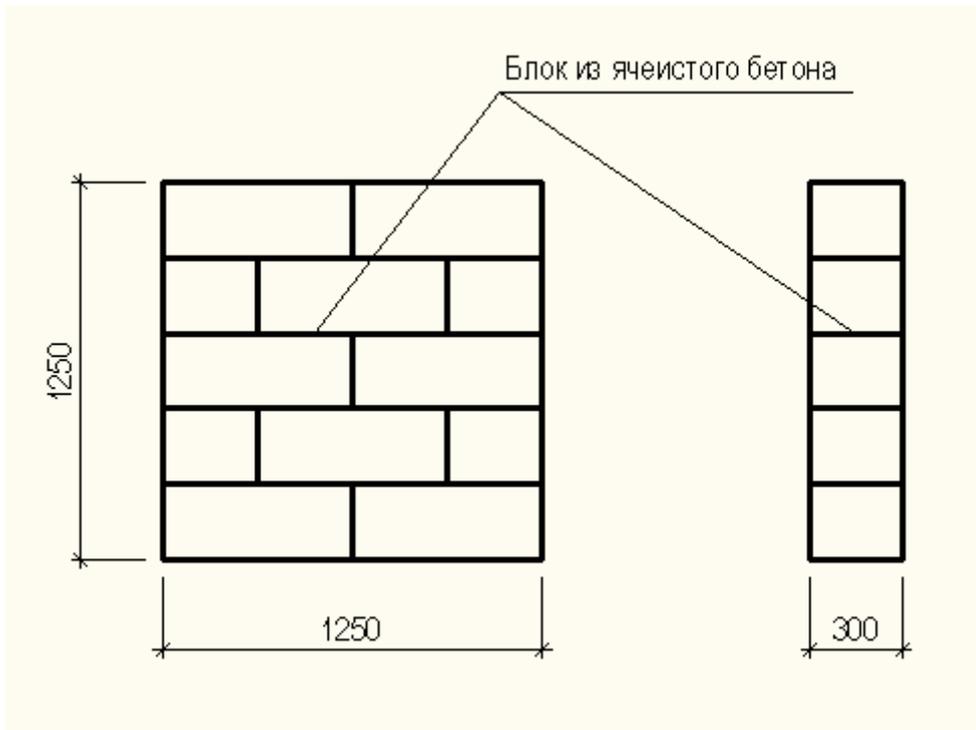
данным эксперимента) производства ЗАО «АэроБел», смонтированные на клеевом составе марки «Евро-Л» и усиленные с двух сторон в один слой 3-мя холстами из углеволокна (см. схему на рис. 4.3).

**IV серия** – фрагменты стен из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса B4.0 (по данным эксперимента) производства ЗАО «АэроБел», смонтированные на клеевом составе марки «Евро-Л» и усиленные с одной стороны в один слой одним холстом из углеволокна (см. схему на рис. 4.4).

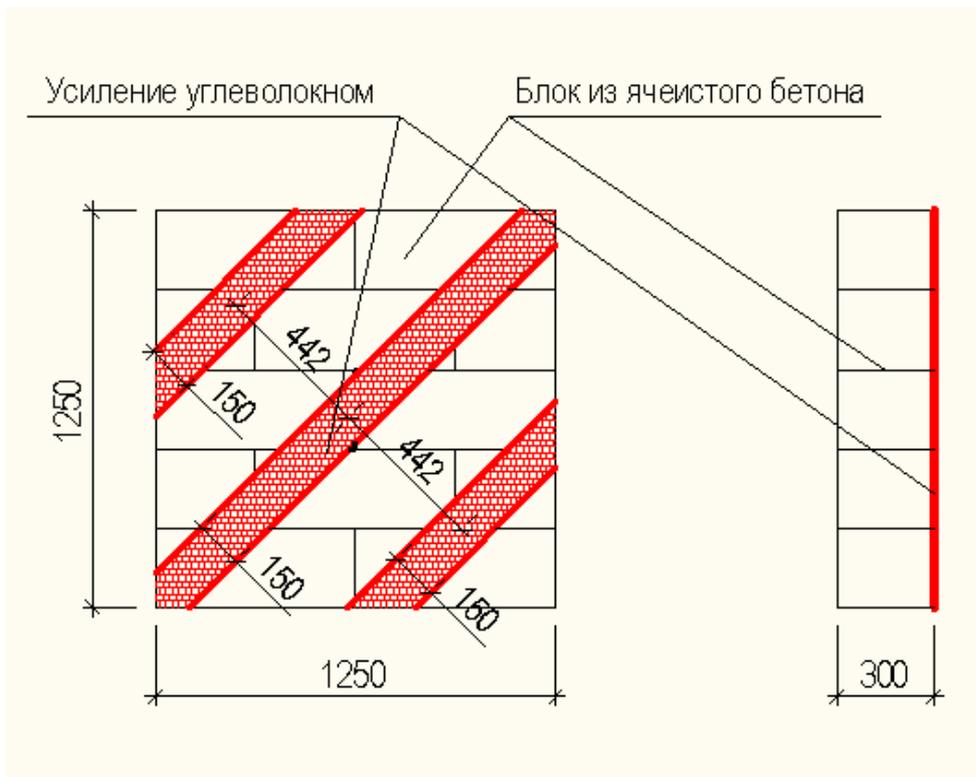
**V серия** – фрагменты стен из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса B4.0 (по данным эксперимента) производства ЗАО «АэроБел», смонтированные на клеевом составе марки «Евро-Л» и усиленные с двух сторон в один слой одним холстом из углеволокна (см. схему на рис. 4.5).

**VI серия** – фрагменты стен из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса B4.0 (по данным эксперимента) производства ЗАО «АэроБел», смонтированные на клеевом составе марки «Евро-Л» и усиленных с одной стороны сухой смесью с металлической фиброй марки Emaco S170 CFR (см. схему на рис. 4.6).

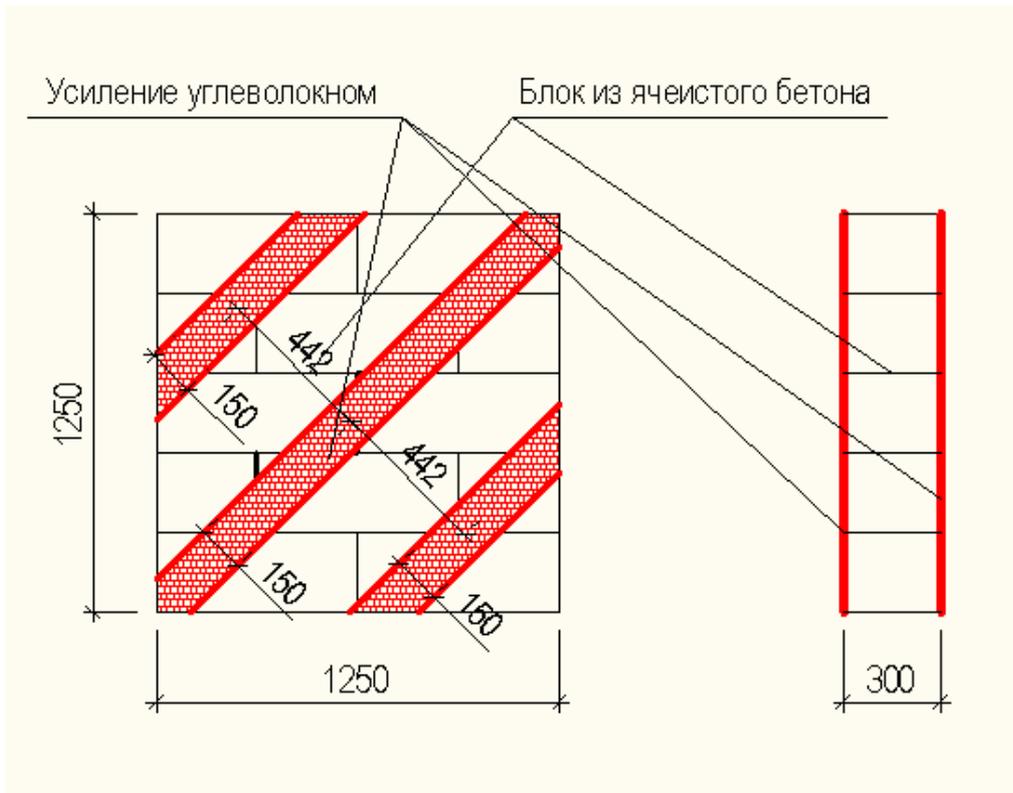
**VII серия** – фрагменты стен из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса B4.0 (по данным эксперимента) производства ЗАО «АэроБел», смонтированные на клеевом составе марки «Евро-Л» и усиленных с двух сторон сухой смесью с металлической фиброй марки Emaco S170 CFR (см. схему на рис. 4.7).



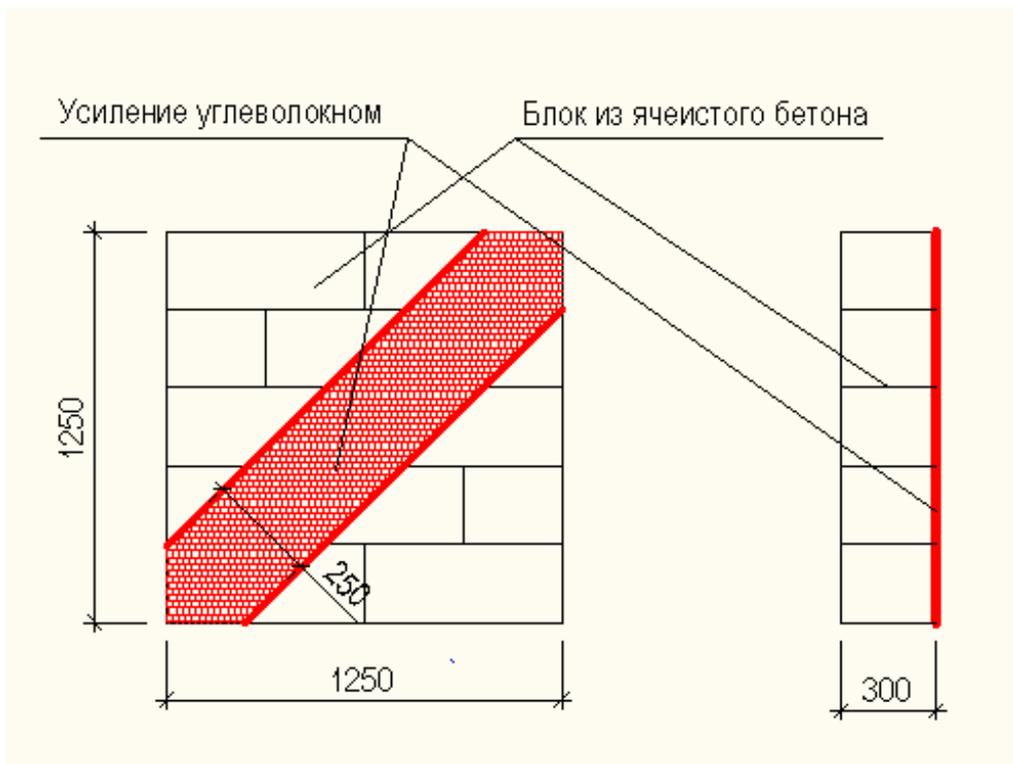
**Рис. 4.1. Общий вид образцов I серии**



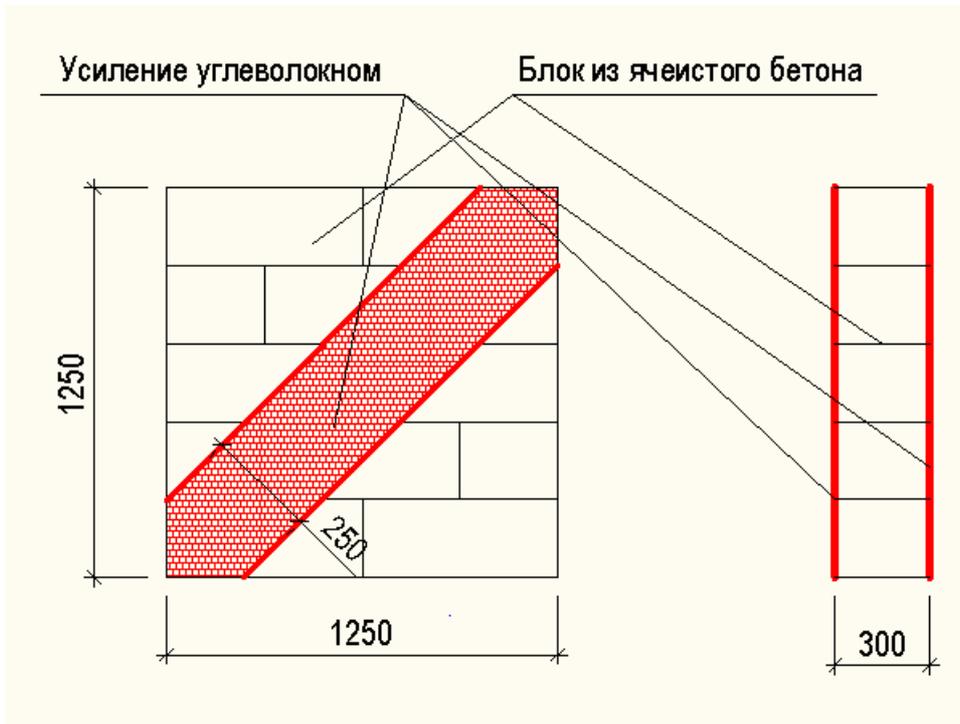
**Рис. 4.2. Общий вид образцов II серии**



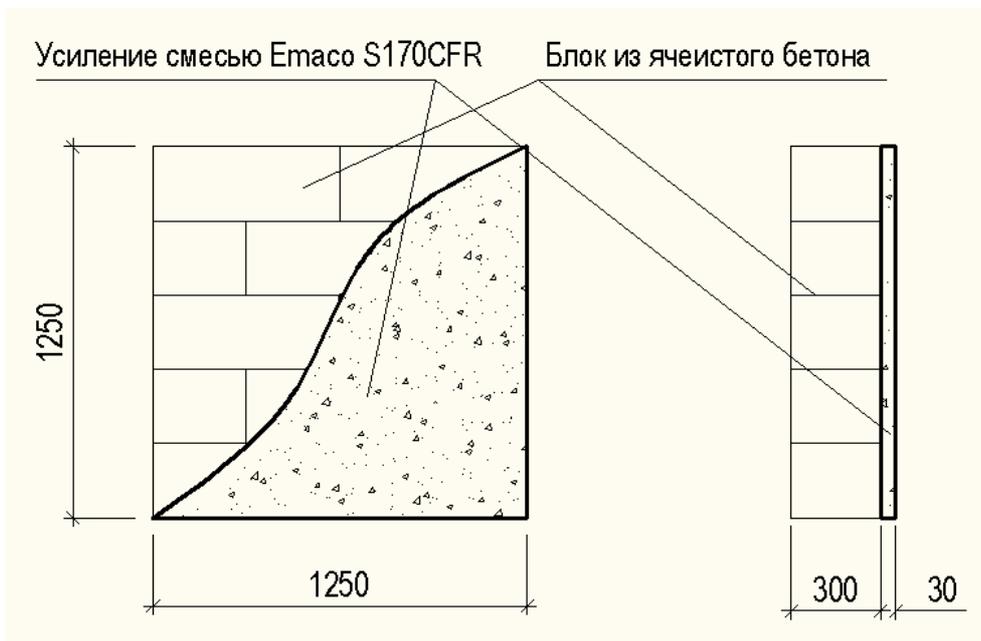
**Рис. 4.3. Общий вид образцов III серии**



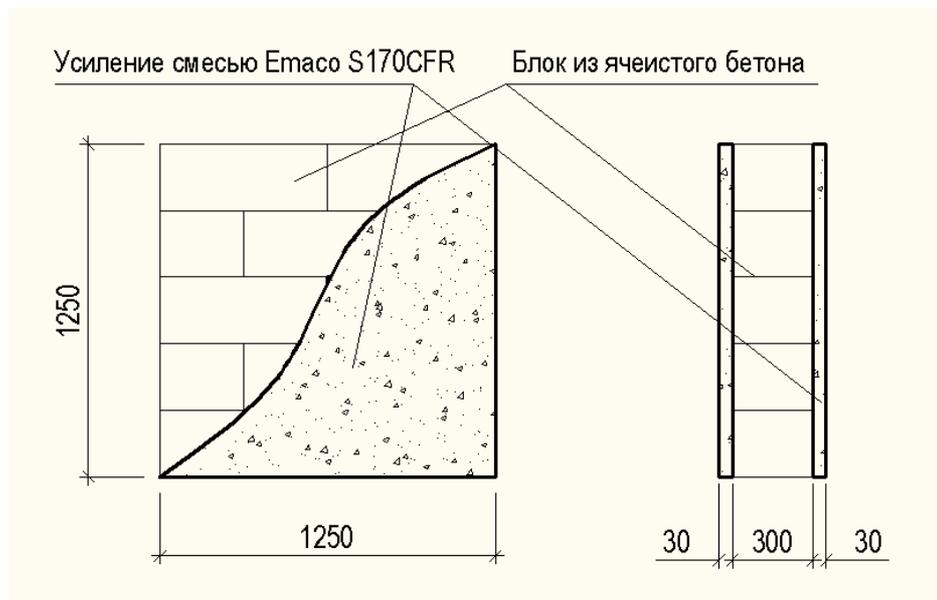
**Рис. 4.4. Общий вид образцов IV серии**



**Рис. 4.5. Общий вид образцов V серии**



**Рис. 4.6. Общий вид образцов VI серии**



**Рис. 4.7. Общий вид образцов VII серии**

## 4.2. Результаты испытаний опытных образцов фрагментов стен на перекося и их анализ

### 4.2.1. Эталонные образцы (I серия)

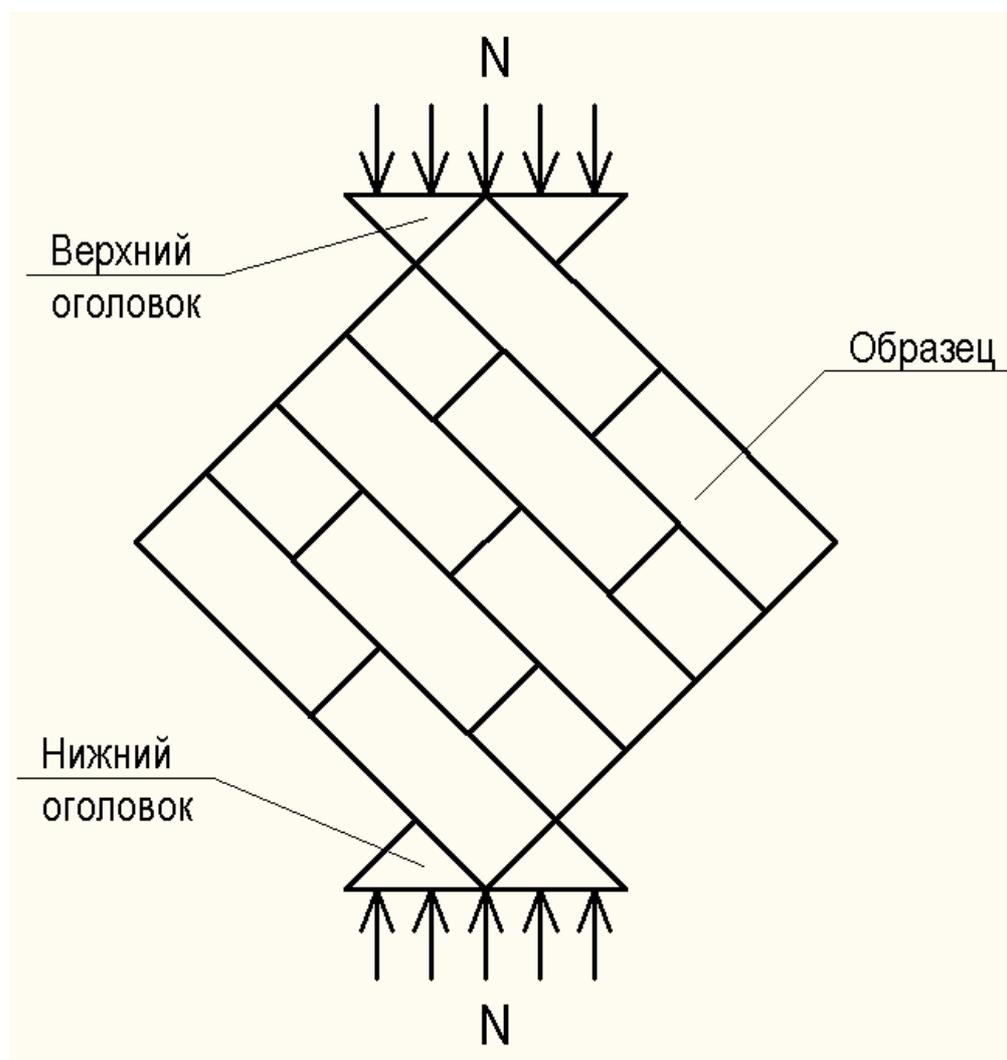
Испытания фрагментов стен на перекося проводились по схеме, показанной на рис. 4.8. Общий вид эталонных образцов в прессе до и после испытаний показан на фото рис. 4.9 и 4.10. В таблице 4.1. приведены результаты испытаний фрагментов стен из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии YTONG фирмами ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» и ЗАО «Аэробел».

Анализ результатов испытаний кладки из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии YTONG фирмой ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» и ЗАО «Аэробел», позволяет отметить следующее.

1. Приведенные в табл. 4.1 показатели прочности кладки при действии сдвигающих усилий (перекося) позволяют отметить, что в случае использования клеевого состава прочность кладки примерно в 2 раза выше, чем в случае использования для кладки цементных растворов.

2. Эффективность применения клеевого состава марки «YTONG-эконом» для кладки стен из ячеистобетонных блоков подтверждается на основе сравнения принятого в СНиП II-22-81 значения  $R_{\text{срез}}$  по перевязанному сечению для кладки из сплошных камней на цементных растворах:

$$R_{\text{срез}}^{\text{СНиП}} = 2,25 * 0,16 = 0,36 \text{ МПа} \ll R_{\text{срез}}^{\text{YTONG}} = 0,67 \text{ МПа}$$



**Рис. 4.8.** Схема испытания опытных образцов на перекос

а)



б)



**Рис. 4.9. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) эталонных образцов (I серия) (ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр»)**

а)



б)



**Рис. 4.10. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) эталонных образцов (I серия) (ЗАО «АэроБел»)**

Табл. 4.1.

## Результаты испытаний эталонных образцов на перекос

№ п.п.	№ серии	№ образца	Марка бетона	Тип раствора в шве	Тип усиления	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр.</sub> (Н)	R <sub>срез.</sub> (МПа)	R <sub>срез.ср.</sub> (МПа)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	I	1	<u>B3.5</u> D600	клеевой состав «Ytong»	-	К-П-Эт	1250*1250*300	161000	0,61	<b>0,67</b>	
2		2						182500	0,70		
3		3						180200	0,69		
4		I	1	<u>B4.0</u> D600	клеевой состав «Евро-Л»	-	АК-П-Эт	1250*1250*300	200000	0,76	<b>0,59</b>
5			2						128600	0,49	
6			3						157100	0,60	
7			4						128600	0,49	

\* - величина предела прочности кладки при срезе по неперевязанному сечению (столбец 10) R<sub>срез</sub> определялась по формуле:

$$R_{срез} = \frac{N_{разр.}}{1.4 \times a \times d}$$

где R<sub>срез</sub> - предел прочности кладки при срезе по перевязанному шву, Па;

N<sub>разр.</sub> - расчетная величина горизонтальной силы, Н;

a - половина длины образца, м;

d - толщина образца, м

#### **4.2.2. Опытные образцы II серии, усиленные с одной стороны в один слой тремя холстами из углеволокна**

Усиление кладки фрагментов стен холстами из углеволокнистой ткани осуществлялось по следующей схеме:

- на увлажненную поверхность основания в местах укладки холста для выравнивания поверхности наносится быстротвердеющий состав Emaco Fast Tixo слоем 10 мм;
- по истечении 7 суток, после подготовки основания поверхность обрабатывается грунтовочным составом M-Brace PRIMER с целью улучшения сцепления;
- в интервале 12-24 часа после покрытия усиливаемого основания праймером наносится первый слой клея M-Brace adesivo saturant, толщина нанесения 0,8-1,0 мм;
- холст укладывается на поверхность, без складок и лишнего натяжения. после укладки более двух раз с силой прокатать холст в направлении волокон с применением резинового катка для пропитки холста и удаления воздуха;
- через 30 минут на поверхность холста наносят второй слой 700 – 800 г/м<sup>2</sup> клея марки M-Brace adesivo saturant, завершающий формирование системы.

Общий вид образцов II серии в прессе до и после испытаний показан на рис. 4.11 и 4.12. В таблице 4.2 приведены для сравнения результаты испытаний на перекося эталонных образцов и образцов II серии, усиленных холстами из углеволокна.

Анализ результатов испытаний кладки из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии YTONG фирмой ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» и ЗАО «Аэробел» и усиленной с помощью холстов из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m. позволяет отметить следующее:

- прочность кладки при действии сдвигающих усилий (перекося) из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии YTONG фирмой ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», усиленной холстами из углеволокнистой ткани по схеме показанной на рис.4.2, в 1,5 раза выше, чем неусиленной кладки. Указанный фактор особенно важен при проектировании новых и усилении старых конструкций, эксплуатируемых в сейсмических районах.

а)



б)



**Рис. 4.11. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) опытных образцов (II серия) (ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр»)**

а)



б)



**Рис. 4.12. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) опытных образцов (II серия) (ЗАО «АэроБел»)**

Табл. 4.2.

## Результаты испытаний опытных образцов I и II серий на перекус

№ п.п.	№ серии	№ образца	Марка бетона	Тип раствора в шве	Тип усиления	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>срез</sub> , (МПа)	R <sub>срез.ср</sub> , (МПа)	Относит. прочность, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	I	1	<u>B3.5</u> D600	клеевой состав «Ytong»	-	К-П-Эт	1250*1250*300	161000	0,61	<b>0,67</b>	<b>100%</b>	
2		2						182500	0,70			
3		3						180200	0,69			
4		I	1	<u>B4.0</u> D600	клеевой состав «Евро- Л»	-	АК-П- Эт	1250*1250*300	200000	0,76	<b>0,59</b>	<b>100%</b>
5			2						128600	0,49		
6			3						157100	0,60		
7			4						128600	0,49		
8	II	1	<u>B3.5</u> D600	клеевой состав «Ytong»	3-и холста с одной стороны	К-П-У	1250*1250*300	271400	1,03	<b>0,99</b>	<b>148%</b>	
9		2						257100	0,98			
10		3						254000	0,97			
11		II	1	<u>B4.0</u> D600	клеевой состав «Евро-Л»	3-и холста с одной стороны	АК-П- У	1250*1250*300	171400	0,65	<b>0,65</b>	<b>110%</b>
12			2						171400	0,65		
13			3						168000	0,64		

### **4.2.3. Опытные образцы III серии, усиленные с 2-х сторон в один слой тремя холстами из углеволокна**

На рис. 4.13 и 4.14 показан общий вид образцов III серии в прессе до и после испытаний. В таблице 4.3. приведены для сравнения результаты испытаний на перекос эталонных образцов и образцов III серии, усиленных с двух сторон тремя холстами из углеволокна.

Анализ результатов испытаний кладки из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии YTONG фирмой ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» и ЗАО «АэроБел» и усиленной с помощью холстов из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m. позволяет отметить следующее:

– прочность кладки, усиленной холстами из углеволокнистой ткани по схеме на рис.4.3, при действии сдвигающих усилий (перекос) выше, чем неусиленной кладки:

- в 1,93 раза при использовании в кладке ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии YTONG фирмой ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» и смонтированных с использованием клеевого раствора «YTONG-эконом»
- в 1,85 раза при использовании в кладке ячеистобетонных блоков, изготовленных фирмой ЗАО «АэроБел» и смонтированных с использованием клеевого раствора «Евро-Л»

Предложенная схема усиления может быть использована при разработке проектов с использованием стен из ячеистобетонных блоков в зданиях, эксплуатируемых в сейсмических районах.

а)



б)



**Рис. 4.13. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) опытных образцов (III серия) (ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр»)**

а)



б)



**Рис. 4.14. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) опытных образцов (III серия) (ЗАО «АэроБел»)**

Табл. 4.3.

## Результаты испытаний опытных образцов на перекокс

№ п.п.	№ серии	№ образца	Марка бетона	Тип раствора в шве	Тип усиления	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>срез</sub> , (МПа)	R <sub>срез.ср</sub> , (МПа)	Относит. прочность, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	I	1	<u>B3.5</u> D600	клеевой состав «Ytong»	-	К-П-Эт	1250*1250*300	161000	0,61	<b>0,67</b>	<b>100%</b>	
2		2						182500	0,70			
3		3						180200	0,69			
4		I	1	<u>B4.0</u> D600	клеевой состав «Евро- Л»	-	АК-П- Эт	1250*1250*300	200000	0,76	<b>0,59</b>	<b>100%</b>
5			2						128600	0,49		
6			3						157100	0,60		
7			4						128600	0,49		
8	III	1	<u>B3.5</u> D600	клеевой состав «Ytong»	3-и холста с двух сторон	К-П-2У	1250*1250*300	348200	1,33	<b>1,29</b>	<b>193%</b>	
9		2						335700	1,28			
10		3						331100	1,26			
11		III	1	<u>B4.0</u> D600	клеевой состав «Евро-Л»	3-и холста с двух сторон	АК-П- 2У	1250*1250*300	285700	1,09	<b>1,09</b>	<b>185%</b>
12			2						285700	1,09		
13			3						283400	1,08		

#### **4.2.4. Опытные образцы IV серии, усиленные с одной стороны в один слой одним холстом из углеволокна**

На рис. 4.4 показана схема усиления образца одним холстом на основе углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m. На рис. 4.15 показан общий вид образцов IV серии в прессе до и после испытаний. В таблице 4.4. приведены для сравнения результаты испытаний на перекося эталонных образцов и образцов IV серии, усиленные с одной стороны одним холстом из углеволокна.

Анализ результатов испытаний кладки из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии ЗАО «АэроБел» и усиленной с помощью холстов из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m. позволяет отметить, что рассмотренная схема усиления не дает эффекта в части изменения прочности конструкций.

а)



б)



**Рис. 4.15. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) опытных образцов (IV серия) (ЗАО «АэроБел»)**

Табл. 4.4.

## Результаты испытаний опытных образцов на перекоп

№ п.п.	№ серии	№ образца	Марка бетона	Тип раствора в шве	Тип усиления	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>срез</sub> , (МПа)	R <sub>срез.ср</sub> , (МПа)	Относит. прочность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	I	1	B4.0 D600	клеевой состав «Евро-Л»	-	АК-П-Эт	1250*1250*300	200000	0,76	<b>0,59</b>	<b>100%</b>
2		128600						0,49			
3		157100						0,60			
4		128600						0,49			
5	IV	1	B4.0 D600	клеевой состав «Евро-Л»	1-н холст с одной стороны	АК-П-у*	1250*1250*300	171400	0,65	<b>0,59</b>	<b>100%</b>
6		142900						0,54			
7		152600						0,58			

\* - величина предела прочности кладки при срезе по неперевязанному сечению (столбец 10) R<sub>срез</sub> определялась по формуле:

$$R_{срез} = \frac{N_{разр.}}{1.4 \times a \times d}$$

где R<sub>срез</sub> - предел прочности кладки при срезе по перевязанному шву, Па;

N<sub>разр.</sub> - расчетная величина горизонтальной силы, Н;

a - половина длины образца, м;

d - толщина образца, м

#### **4.2.5. Опытные образцы V серии, усиленные с двух сторон в один слой одним холстом из углеволокна**

На рис. 4.5 показана схема усиления образца одним холстом на основе углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m. На рис. 4.16 показан общий вид образцов V серии в прессе до и после испытаний. В таблице 4.5. приведены для сравнения результаты испытаний на перекося эталонных образцов и образцов V серии, усиленных с двух сторон одним холстом из углеволокна.

Анализ результатов испытаний кладки из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии ЗАО «АэроБел» и усиленной с помощью холстов из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m. позволяет отметить, что прочность кладки из ячеистобетонных блоков, усиленной холстами из углеволокнистой ткани, при действии сдвигающих усилий (перекося) в 1,34 раза выше, чем неусиленной кладки. Предложенная схема усиления может быть использована при разработке проектов стен зданий из ячеистобетонных блоков, возводимых в сейсмических районах.

a)



б)



**Рис. 4.16. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) опытных образцов (V серия) (ЗАО «АэроБел»)**

Табл. 4.5.

## Результаты испытаний опытных образцов на перекоп

№ п.п.	№ серии	№ образца	Марка бетона	Тип раствора в шве	Тип усиления	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>срез</sub> , (МПа)	R <sub>срез.ср</sub> , (МПа)	Относит. прочность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	I	1	B4.0 D600	клеевой состав «Евро- Л»	-	АК-П- Эт	1250*1250*300	200000	0,76	<b>0,59</b>	<b>100%</b>
2		2						128600	0,49		
3		3						157100	0,60		
4		4						128600	0,49		
5	V	1	B4.0 D600	клеевой состав «Евро-Л»	1-н холст с двух сторон	АК-П- 2У*	1250*1250*300	200000	0,76	<b>0,79</b>	<b>134%</b>
6		2						214300	0,82		
7		3						204700	0,78		

\* - величина предела прочности кладки при срезе по неперевязанному сечению (столбец 10) R<sub>срез</sub> определялась по формуле:

$$R_{срез} = \frac{N_{разр.}}{1.4 \times a \times d}$$

где R<sub>срез</sub> - предел прочности кладки при срезе по перевязанному шву, Па;

N<sub>разр.</sub> - расчетная величина горизонтальной силы, Н;

a - половина длины образца, м;

d - толщина образца, м

#### **4.2.6. Опытные образцы VI серии, усиленные с одной стороны набетонкой из сухой смеси с металлической фиброй**

На рис. 4.6 показана схема усиления образца путем односторонней набетонки на основе сухой смеси BASF Emaco S170 CFR, толщиной 30 мм. На рис. 4.17 показан общий вид образцов VI серии в прессе до и после испытаний. В таблице 4.6. приведены для сравнения результаты испытаний на перекос эталонных образцов и образцов VI серии, усиленные с одной стороны сухой смесью с металлической фиброй.

Анализ результатов испытаний кладки из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии ЗАО «АэроБел» и усиленной с помощью набетонки на основе сухой смеси BASF Emaco S170 CFR позволяет отметить, что наличие односторонней жесткой набетонки приводит к смещению геометрического центра тяжести фрагмента стены и, как следствие этого, изменению эксцентриситета приложения нагрузки. В связи с этим, несущая способность стены из-за появления эксцентриситета приложения нагрузки относительно центра тяжести элемента, несмотря на выполненное усиление, снижается на 27%.

а)



б)



**Рис. 4.17. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) опытных образцов (VI серия) (ЗАО «АэроБел»)**

Табл. 4.6.

## Результаты испытаний опытных образцов на перекоп

№ п.п.	№ серии	№ образца	Марка бетона	Тип раствора в шве	Тип усиления	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>срез</sub> , (МПа)	R <sub>срез.ср</sub> , (МПа)	Относит. прочность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	I	1	B4.0 D600	клеевой состав «Евро- Л»	-	АК-П- Эт	1250*1250*300	200000	0,76	<b>0,59</b>	<b>100%</b>
2		2						128600	0,49		
3		3						157100	0,60		
4		4						128600	0,49		
5	VI	1	B4.0 D600	клеевой состав «Евро-Л»	сухая смесь с одной стороны	АК-П- УЕ	1250*1250*360	142900	0,46	<b>0,43</b>	<b>72%</b>
6		2						128600	0,41		
7		3						131600	0,42		

\* - величина предела прочности кладки при срезе по неперевязанному сечению (столбец 10) R<sub>срез</sub> определялась по формуле:

$$R_{срез} = \frac{N_{разр.}}{1.4 \times a \times d}$$

где R<sub>срез</sub> - предел прочности кладки при срезе по перевязанному шву, Па;

N<sub>разр.</sub> - расчетная величина горизонтальной силы, Н;

a - половина длины образца, м;

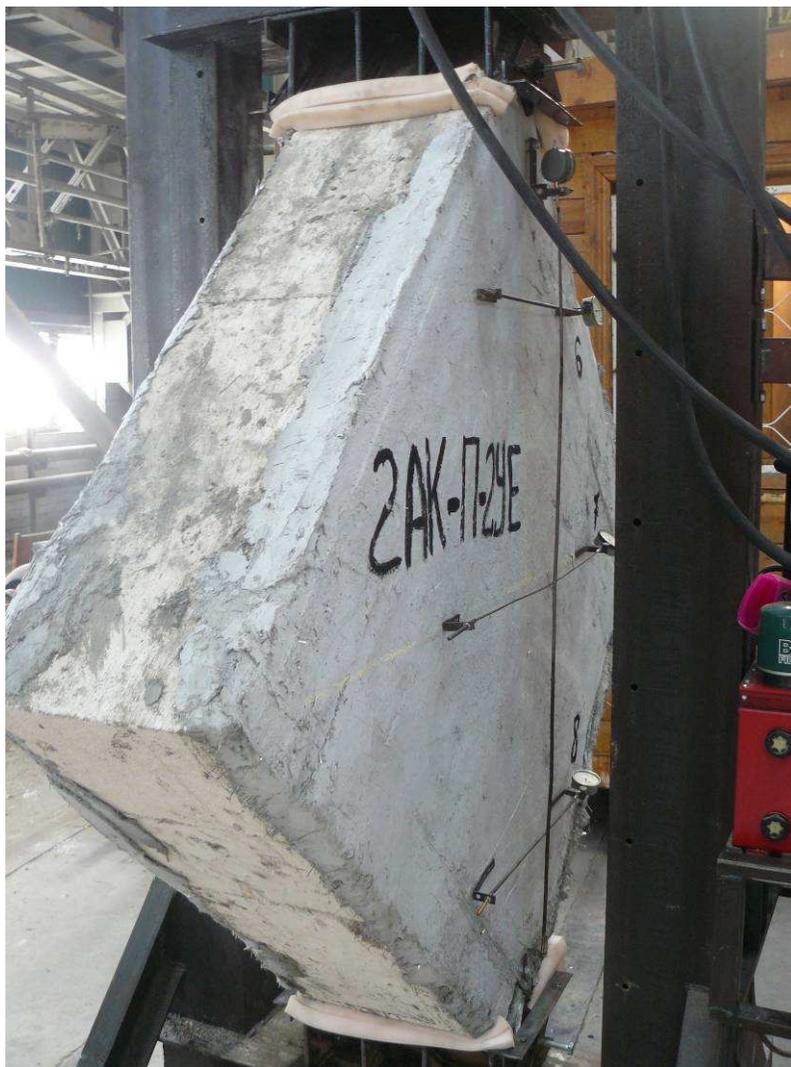
d - толщина образца, м

#### **4.2.7. Опытные образцы VII серии, усиленные с двух сторон набетонкой из сухой смеси с металлической фиброй**

На рис. 4.7 показана схема усиления образца путем двухсторонней набетонки на основе сухой смеси BASF Emaco S170 CFR. На рис. 4.18 показан общий вид образцов VII серии в прессе до и после испытаний. В таблице 4.7. приведены для сравнения результаты испытаний на перекося эталонных образцов и образцов VII серии, усиленные с двух сторон набетонкой толщиной 30 мм из сухой смеси с металлической фиброй.

Анализ результатов испытаний кладки из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии ЗАО «АэроБел» и усиленной с помощью набетонки на основе сухой смеси BASF Emaco S170 CFR позволяет отметить, что прочность кладки при действии сдвигающих усилий (перекося) из ячеистобетонных блоков, усиленной с помощью набетонки на основе сухой смеси по схеме показанной на рис.4.7 в 1,25 раза выше, чем неусиленной кладки. Данная схема усиления может быть рекомендована при проектировании стеновых конструкций из ячеистобетонных блоков, а также в случае проведения ремонтных работ и работ по усилению стен.

а)



б)



**Рис. 4.18. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) опытных образцов (VII серия) (ЗАО «Аэробел»)**

Табл. 4.7.

## Результаты испытаний опытных образцов на перекоп

№ п.п.	№ серии	№ образца	Марка бетона	Тип раствора в шве	Тип усиления	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>срез</sub> , (МПа)	R <sub>срез.ср</sub> , (МПа)	Относит. прочность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	I	1	В4.0 D600	клеевой состав «Евро- Л»	-	АК-П- Эт	1250*1250*300	200000	0,76	<b>0,59</b>	<b>100%</b>
2		2						128600	0,49		
3		3						157100	0,60		
4		4						128600	0,49		
5	VI	1	В4.0 D600	клеевой состав «Евро-Л»	сухая смесь с двух сторон	АК-П- 2УЕ	1250*1250*360	228600	0,73	<b>0,74</b>	<b>125%</b>
6		2						242800	0,77		
7		3						230100	0,73		

\* - величина предела прочности кладки при срезе по неперевязанному сечению (столбец 10) R<sub>срез</sub> определялась по формуле:

$$R_{срез} = \frac{N_{разр.}}{1.4 \times a \times d}$$

где R<sub>срез</sub> - предел прочности кладки при срезе по перевязанному шву, Па;

N<sub>разр.</sub> - расчетная величина горизонтальной силы, Н;

a - половина длины образца, м;

d - толщина образца, м

## **5. Экспериментальные исследования прочности и деформативности простенков при центральном и внецентренном сжатии**

### **5.1. Описание опытных образцов**

Для оценки прочности кладки стен при центральном и внецентренном сжатии были изготовлены опытные образцы размером 1250x300x1250 (Н) мм и 625x175x2000 (Н) мм из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса В3.5 (по данным эксперимента) производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», смонтированные на клеевом составе марки «YTONG-эконом». Кладка фрагментов стеновых панелей была выполнена на клеевом составе при толщине швов 1÷3 мм. На рис. 5.1 – 5.4 показана схемы опытных образцов с указанием их геометрических размеров.

Для оценки влияния эффекта усиления фрагментов стен с использованием материалов фирмы «BASF» - холстов из углеволокнистой ткани, были испытаны 4 серии образцов стен по 3 образца-близнеца в каждой серии.

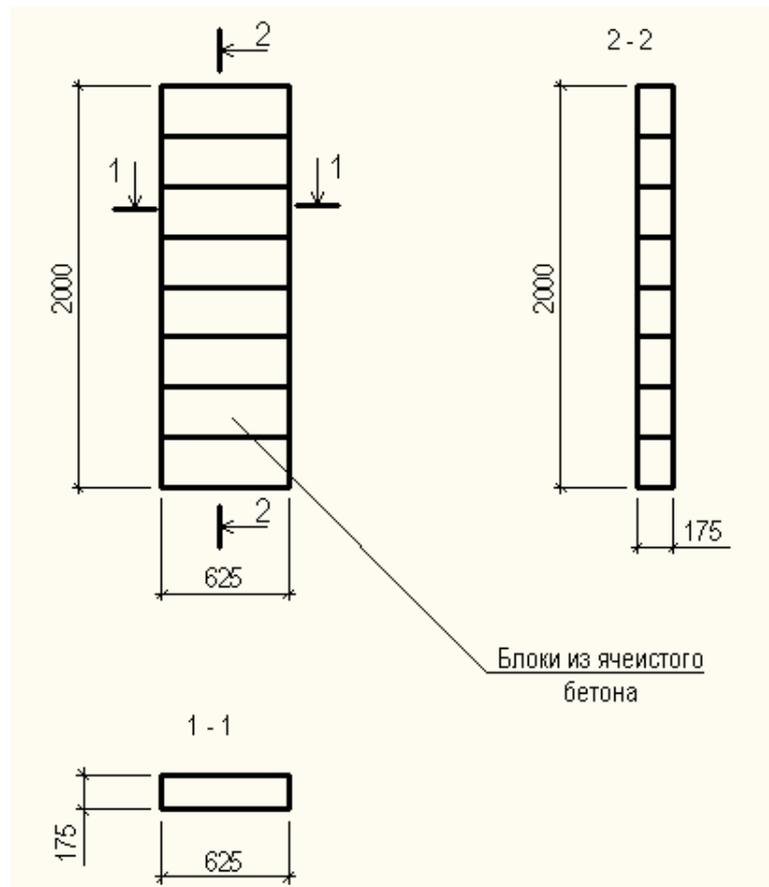
Ниже приводится описание образцов указанных четырех серий.

**I серия – эталонные образцы** – фрагменты стен размером 625x175x2000 (Н) мм из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса В3.5 (по данным эксперимента) производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», смонтированные на клеевом составе марки «YTONG-эконом» (см. рис.5.1). В эталонных образцах I серии гибкость стенок составляет  $\lambda=11,4$ .

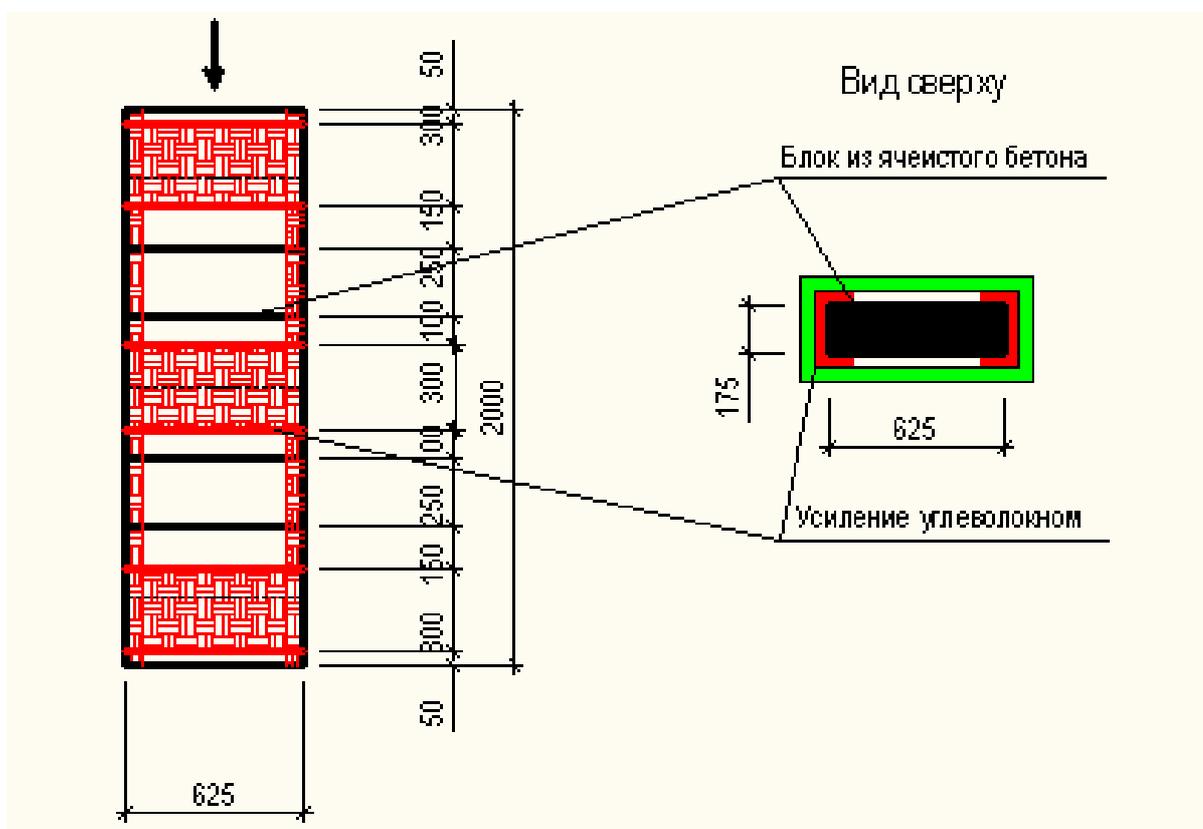
**II серия** – фрагменты стен размером 625x175x2000 (Н) мм из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса В3.5 (по данным эксперимента) производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», смонтированные на клеевом составе марки «YTONG-эконом» и усиленные бандажом из углеволокнистых холстов (см. схему на рис. 5.2).

**III серия** – эталонные образцы – фрагменты стен размером 1250x300x1250 (Н) мм из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса B3.5 (по данным эксперимента) производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», смонтированные на клеевом составе марки «YTONG-эконом» (см.рис.5.3). В эталонных образцах III серии гибкость стенок составляет  $\lambda=4,1$ .

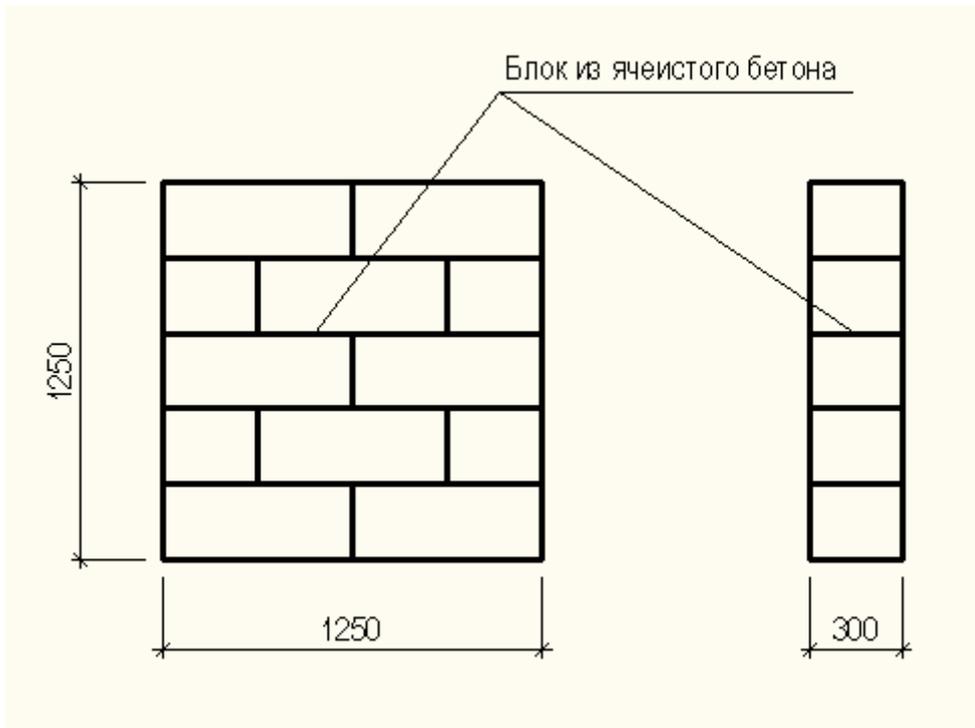
**IV серия** – фрагменты стен размером 1250x300x1250 (Н) мм из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса B3.5 (по данным эксперимента) производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», смонтированные на клеевом составе марки «YTONG-эконом» и усиленные с одной стороны холстами из углеволокна (см. схему на рис. 5.4).



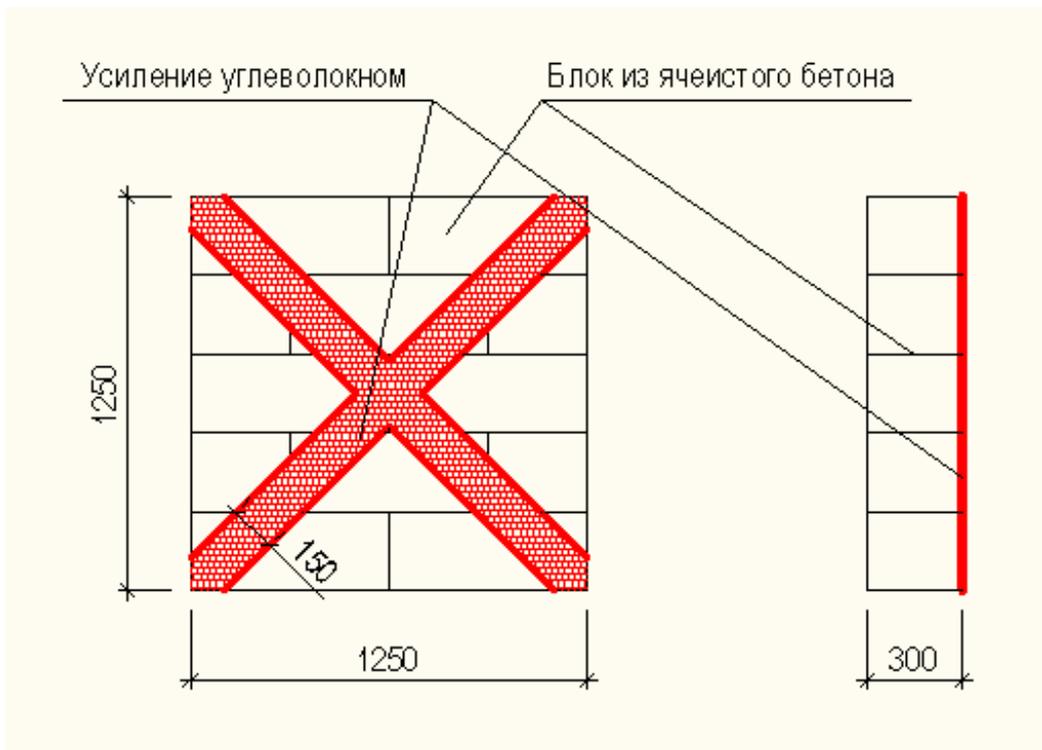
**Рис. 5.1. Общий вид образцов I серии**



**Рис. 5.2. Общий вид образцов II серии**



**Рис. 5.3. Общий вид образцов III серии**



**Рис. 5.4. Общий вид образцов IV серии**

## 5.2. Результаты испытаний опытных образцов фрагментов стен на действие центральной и внецентренной нагрузки и их анализ

### 5.2.1. Эталонные образцы (I серия)

Испытания фрагментов стен на действие центральной и внецентренной нагрузки проводились по схеме указанной на рис. 5.5. Общий вид эталонных образцов в прессе до и после испытаний показан на фото рис. 5.6. В таблице 5.1 приведены результаты испытаний фрагментов стен из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии YTONG производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» смонтированные на клеевом составе марки «YTONG-эконом».

Анализ результатов испытаний кладки из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии YTONG фирмой ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», позволяет отметить следующее.

1. Как видно из табл. 5.1 в столбце 10 приведены величины напряжений в кладке с учетом приведения их к центральному сжатию по формулам:

$$R = \frac{N}{m_g \times \varphi_1 \times A_c \times \omega}$$

где  $A_c$  - площадь сжатой части сечения при прямоугольной эпюре напряжений. Вычисляется по следующей формуле:

$$A_c = A \left( 1 - \frac{2e_0}{h} \right)$$

$$\varphi_1 = \frac{\varphi + \varphi_c}{2}$$

где  $A$  - площадь сечения элемента;

$h$  - высота сечения в плоскости;

$e_0$  - эксцентриситет расчетной силы относительно центра тяжести сечения;

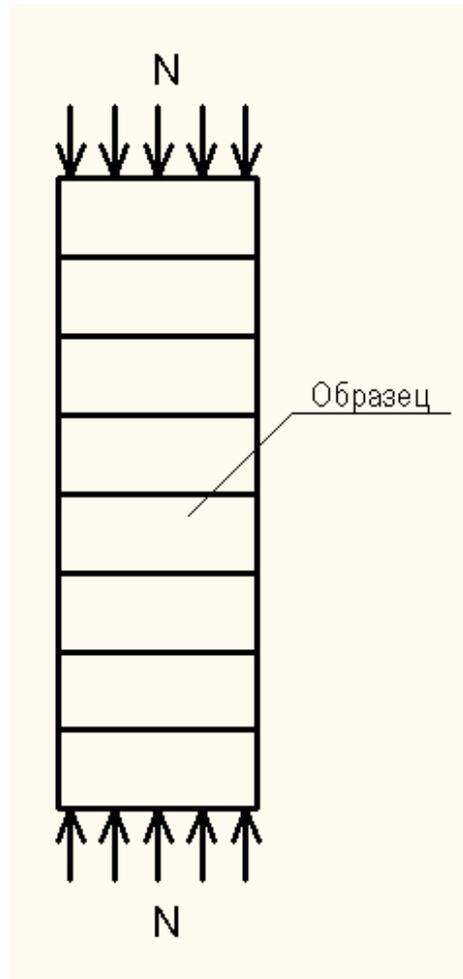
$\varphi$  - коэффициент продольного изгиба для всего сечения в плоскости действия изгибающего момента;

$\varphi_1$  - коэффициент продольного изгиба для сжатой части сечения в плоскости действия изгибающего момента

$\omega$  - коэффициент, определяемый по таблице 19 СНиП II-22-81 [6] равный = 1,0;

$m_g$  - коэффициент равный = 1,0.

2. Разрушение опытных образцов кладки стен из ячеистобетонных блоков на клеевом составе произошло при напряжении в кладке 3,04 МПа. Таким образом, применение клевого состава при кладке стен из ячеистобетонных блоков ведет к более полному использованию прочности при сжатии ячеистобетонных блоков. При кубиковой прочности ячеистого бетона 3,8 МПа и разрушении стенок при напряжении в кладке 3,04 МПа прочность кладки из ячеистобетонных блоков при сжатии составляет 80% от марочной прочности. По нормам для кладки из блоков марки М50 на растворе марки М50 временное сопротивление  $R$  составляет  $1,3 \cdot 2,25 = 2,93$  МПа, что составляет  $\approx 60\%$  от марочной прочности ячеистого бетона.



**Рис. 5.5. Схема испытания опытных образцов I серии на центральное и внецентренное сжатие**

а)



б)

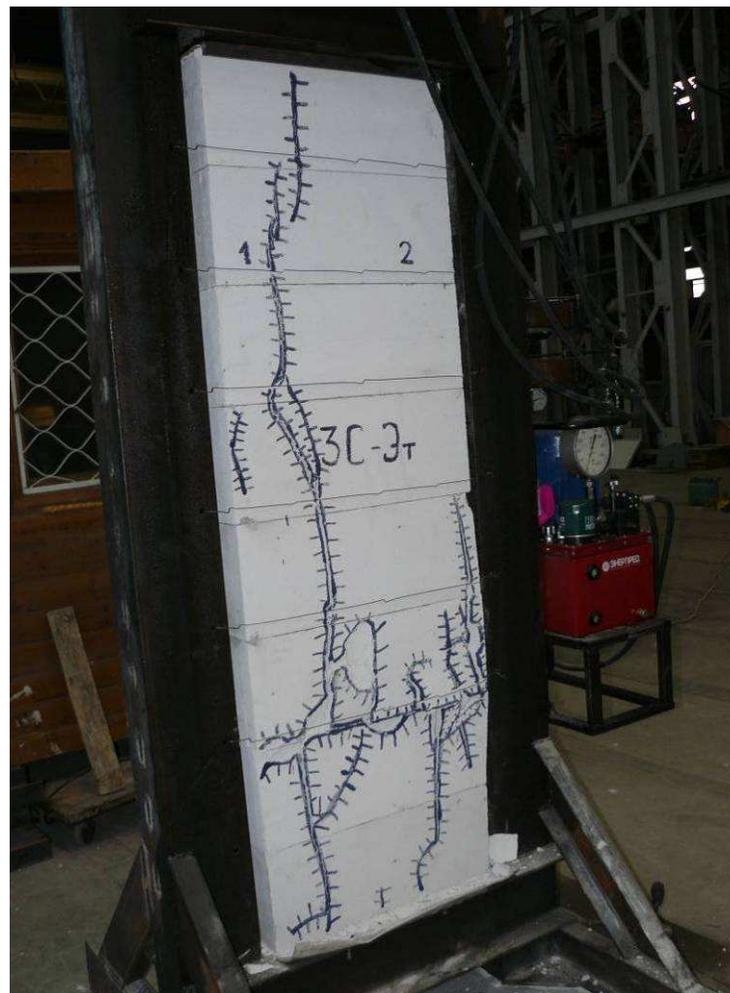


Рис. 5.6. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) образцов I серии

Табл. 5.1.

## Результаты испытаний опытных образцов I серии на центральное и внецентренное сжатие

№ п.п.	Тип раствора в шве	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>сж</sub> , (МПа)	коэфф. продольного изгиба φ	Эксцентриситете приложения нагрузки e <sub>0</sub> (см)	1- 2e <sub>0</sub> /h	R <sub>сж</sub> <sup>пр</sup> , * (МПа)	(R <sub>сж</sub> <sup>пр</sup> ) <sub>среднее</sub> , (МПа)
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
1	клеевой состав	С-Эт	625*175*2000	185700*	<b>1,69</b>	0,9	4,0	0,54	<b>3,12</b>	<b>3,04</b>
2				228600*	<b>2,09</b>		2,9	0,67	<b>3,12</b>	
3				314300	<b>2,87</b>		0-1	1	<b>2,87</b>	

\* - Величина прочности образца при сжатии приведенная к случаю центрального сжатия

### 5.2.2. Опытные образцы II серии, усиленные бандажом из углеволокнистых холстов

На рис. 5.2 показана схема усиления образца бандажом на основе углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m. На рис. 5.7 показан общий вид образцов II серии в прессе до и после испытаний. В таблице 5.2. приведены для сравнения результаты испытаний на действие центральной и внецентренной нагрузки эталонных образцов и образцов II серии, усиленных бандажом из углеволокнистых холстов.

Анализ результатов испытаний кладки стен из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии YTONG производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» и смонтированные на клеевом составе марки «YTONG-эконом», усиленных с помощью бандажа из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m. позволяет отметить следующее.

1. Принятая схема усиления стен из ячеистобетонных блоков с использованием бандажей из углеволокнистой ткани с расположением ее по высоте образца согласно схеме на рис. 5.2 позволяет увеличить несущую способность кладки на 35% по сравнению с эталонными неусиленными образцами.

2. Разрушение кладки стен, усиленной обоями в виде бандажей из углеволокнистой ткани, дискретно расположенных по высоте образца, произошло при напряжении в кладке  $R_{сж}^{пр} = 4,1$  МПа, т.е прочность бетона блоков при сжатии используется полностью. Некоторое превышение значения предела прочности при сжатии  $R_{сж}^{пр}$  образцов I серии над эталонными образцами связано с тем, что при наличии обоймы бетон блоков работает в условиях сложного напряженного состояния.



**Рис. 5.7. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) образцов II серии**

Табл. 5.2.

## Результаты испытаний опытных образцов II серии на центральное и внецентренное сжатие

№ п.п.	Тип раствора в шве	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>сж</sub> , (МПа)	коэфф. продольного изгиба φ	Эксцентр. приложения нагрузки e <sub>0</sub> (см)	1-2e <sub>0</sub> /h	R <sub>сж</sub> <sup>пр</sup> , * (МПа)	(R <sub>сж</sub> <sup>пр</sup> ) <sub>среднее</sub> , (МПа)	Относит. прочность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	клеевой состав	С-Эт	625*175*2000	185700*	<b>1,69</b>	0,9	4,0	0,54	<b>3,12</b>	<b>3,04</b>	<b>100%</b>
2				228600*	<b>2,09</b>		2,9	0,67	<b>3,12</b>		
3				314300	<b>2,87</b>		0-1	1	<b>2,87</b>		
4		С-У		342820*	<b>3,13</b>		2,0	0,77	<b>4,06</b>	<b>4,1</b>	
5				285680*	<b>2,61</b>		3,0	0,67	<b>3,90</b>		
6				257110*	<b>2,35</b>		4,0	0,54	<b>4,35</b>		

\* - Величина прочности образца при сжатии приведенная к случаю центрального сжатия

### 5.2.3. Эталонные образцы (III серия)

Испытания фрагментов стен на действие центральной и внецентренной нагрузки проводились по схеме указанной на рис. 5.8. Геометрические размеры образцов III серии указаны на рис. 5.3. Общий вид эталонных образцов в прессе до и после испытаний показан на фото рис. 5.9. В таблице 5.3 приведены результаты испытаний фрагментов стен из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии YTONG производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» смонтированные на клеевом составе марки «YTONG-эконом».

Анализ результатов испытаний кладки из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии YTONG фирмой ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», позволяет отметить следующее.

1. Как видно из табл. 5.3 в столбце 10 приведены величины напряжений в кладке с учетом приведения их к центральному сжатию по формулам:

$$R = \frac{N}{m_g \times \varphi_1 \times A_c \times \omega}$$

где  $A_c$  - площадь сжатой части сечения при прямоугольной эпюре напряжений. Вычисляется по следующей формуле:

$$A_c = A \left( 1 - \frac{2e_0}{h} \right)$$

$$\varphi_1 = \frac{\varphi + \varphi_c}{2}$$

где  $A$  - площадь сечения элемента;

$h$  - высота сечения в плоскости;

$e_0$  - эксцентриситет расчетной силы относительно центра тяжести сечения;

$\varphi$  - коэффициент продольного изгиба для всего сечения в плоскости действия изгибающего момента;

$\varphi_1$  - коэффициент продольного изгиба для сжатой части сечения в плоскости действия изгибающего момента

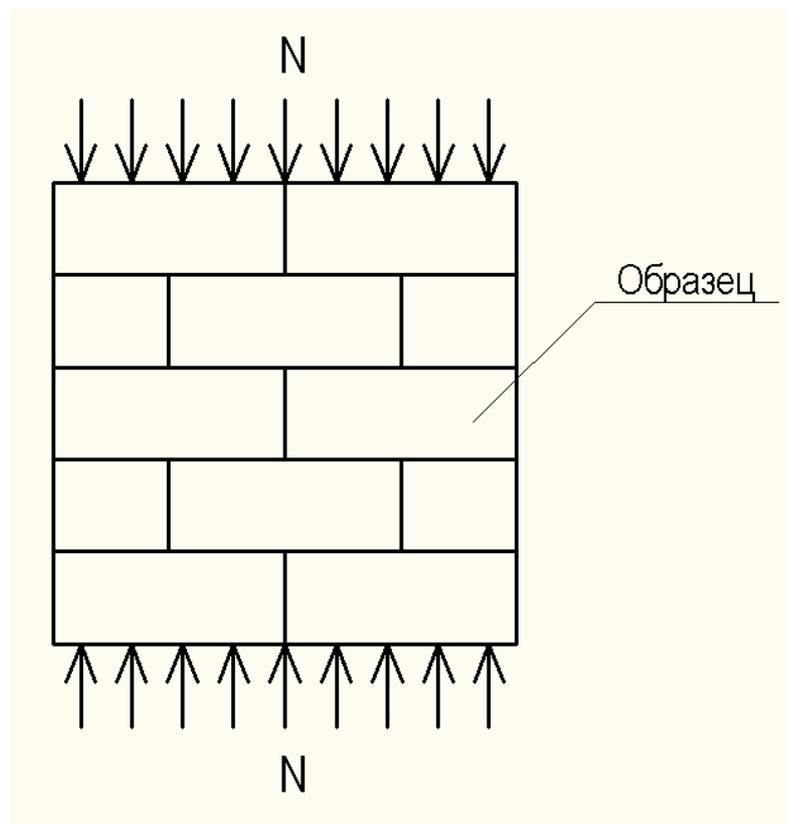
$\omega$  - коэффициент, определяемый по таблице 19 СНиП II-22-81 [6] равный = 1,0;

$m_g$  - коэффициент равный = 1,0.

2. Разрушение опытных образцов кладки стен из ячеистобетонных блоков на клеевом составе происходит при напряжении в кладке 3,04 МПа.

3. В соответствии с «Рекомендациями по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов» расчетное сопротивление сжатию кладки из ячеистобетонных блоков (автоклавного твердения) класса В3.5 при растворе марке М50 составляет 1,3 МПа. Временное сопротивление кладки сжатию определяемое по формуле (3) СНиП II-22-81 [6] составляет:

$$R_{сж}^{СНиП} = 2,25 * 1,3 = 2,93 \text{ МПа} < R_{сж}^{YTONG} = 2,97 \text{ МПа}$$



**Рис. 5.8. Схема испытания опытных образцов I серии на центральное и внецентренное сжатие**

а)



б)



Рис. 5.9. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) образцов III серии

Табл. 5.3.

## Результаты испытаний опытных образцов III серии на центральное и внецентренное сжатие

№ п.п.	Тип раствора в шве	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр.</sub> (Н)	R <sub>сж.</sub> (МПа)	коэфф. продольного изгиба φ	Эксцентриситете приложения нагрузки e <sub>0</sub> (см)	1- 2e <sub>0</sub> /h	R <sub>сж</sub> <sup>пр</sup> , * (МПа)	(R <sub>сж</sub> <sup>пр</sup> ) <sub>среднее</sub> , (МПа)
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
1	клеевой состав	ВнС-Эт	1250*300*1250	837000	<b>2,23</b>	0,9	4,0	0,73	<b>3,05</b>	<b>2,97</b>
2				1012000	<b>2,69</b>		1,0	0,93	<b>2,89</b>	

\* - Величина прочности образца при сжатии приведенная к случаю центрального сжатия

#### **5.2.4. Опытные образцы IV серии, усиленные с одной стороны холстами из углеволокна**

На рис. 5.4 показана схема усиления холстами на основе углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m. На рис. 5.10 показан общий вид образцов IV серии в прессе до и после испытаний. В таблице 5.4. приведены для сравнения результаты испытаний на действие центральной и внецентренной нагрузки эталонных образцов и образцов IV серии, усиленных холстами из углеволокнистой ткани.

Анализ результатов испытаний кладки из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии YTONG производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» и смонтированные на клеевом составе марки «YTONG-эконом» и усиленной с помощью холстов из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m. позволяет отметить следующее:

– одностороннее усиление стен из ячеистобетонных блоков с использованием холстов из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m, приклеенных в один слой с одной стороны образца по крестовой схеме, не влияет на прочность стен.

а)



б)



Рис. 5.10. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) образцов IV серии

Табл. 5.4.

**Результаты испытаний опытных образцов IV серии на центральное и внецентренное сжатие**

№ п.п.	Тип раствора в шве	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>сж</sub> , (МПа)	коэфф. продольного изгиба φ	Эксцентр. приложения нагрузки e <sub>0</sub> (см)	1-2e <sub>0</sub> /h	R <sub>сж</sub> <sup>пр</sup> , * (МПа)	(R <sub>сж</sub> <sup>пр</sup> ) <sub>среднее</sub> , (МПа)	Относит. прочность, %
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	
1	клеевой состав	ВнС-Эт	1250*300*1250	837000	<b>2,23</b>	0,9	4,0	0,73	<b>3,05</b>	<b>2,97</b>	<b>100%</b>
2				1012000	<b>2,69</b>		1,0	0,93	<b>2,89</b>		
4		ВнС-У		672000	<b>1,79</b>		6,0	0,6	<b>2,98</b>	<b>3,13</b>	<b>105%</b>
5				742000	<b>1,97</b>		6,0	0,6	<b>3,28</b>		

\* - Величина прочности образца при сжатии приведенная к случаю центрального сжатия

## **6. Экспериментальные исследования прочности и деформативности изгибаемых балок (перемычек)**

### **6.1. Описание опытных образцов**

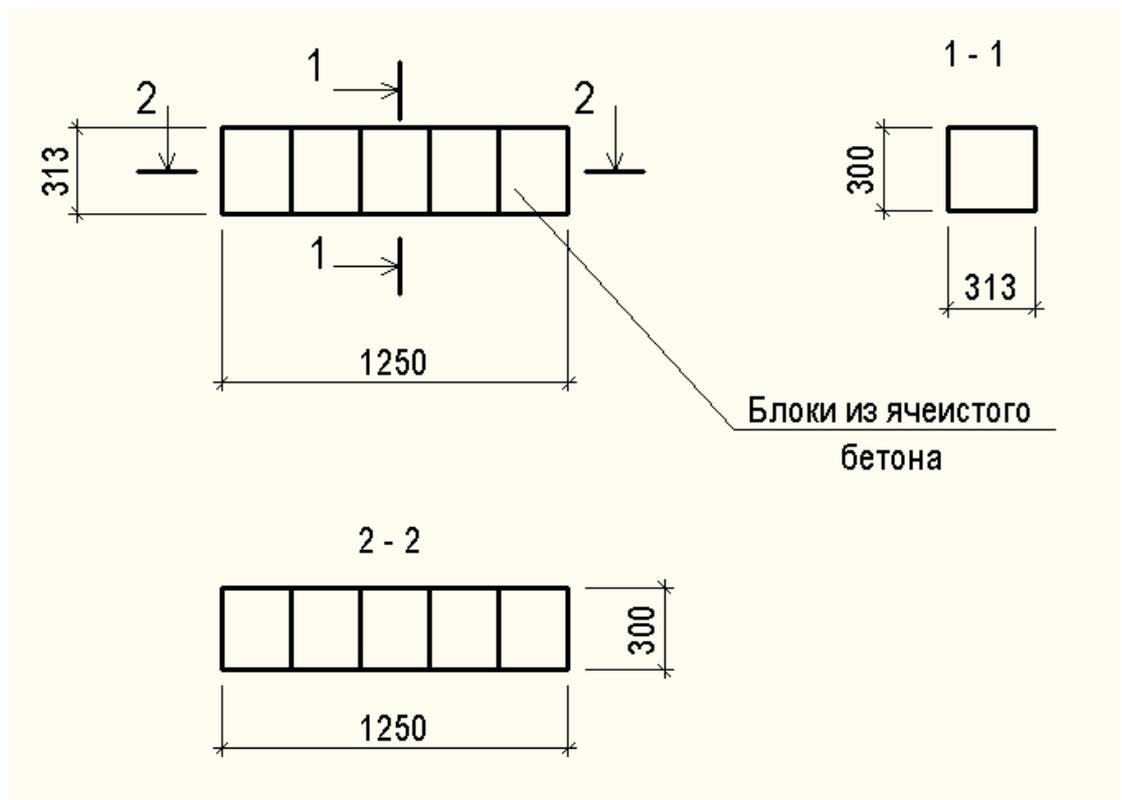
Опытные образцы представляют собой балки размером 1250x313x313(Н) мм, выполненных из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса В3.5 (по данным эксперимента) производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», смонтированные на клеевом составе марки «YTONG-эконом». Толщина швов 1÷3 мм. На рис. 6.1 и 6.2 показаны схемы опытных образцов с указанием их геометрических размеров.

Для оценки влияния эффекта усиления балок (перемычек) с использованием материалов фирмы «BASF» - холстов из углеволокнистой ткани, были испытаны 2 серии образцов стен по 3 образца-близнеца в каждой серии.

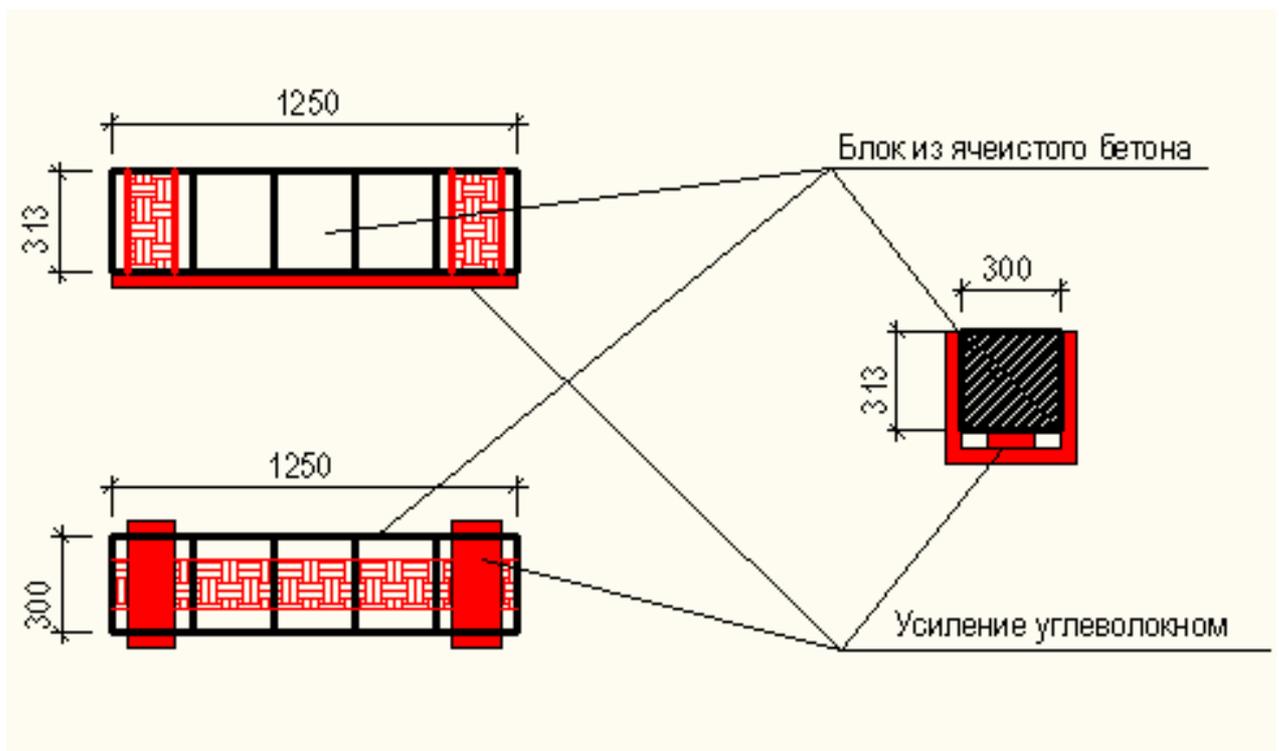
Ниже приводится описание образцов указанных двух серий.

**I серия – эталонные образцы** – балки размером 625x175x2000 (Н) мм, выполненные из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса В3.5 (по данным эксперимента) производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», смонтированные на клеевом составе марки «YTONG-эконом» (см. рис.6.1).

**II серия** – балки размером 625x175x2000 (Н) мм, выполненные из ячеистобетонных блоков плотностью D600 класса В3.5 (по данным эксперимента) производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», смонтированные на клеевом составе марки «YTONG-эконом» и усиленные холстами из углеволокна (см. схему на рис. 6.2).



**Рис. 6.1. Общий вид образцов I серии**



**Рис. 6.2. Общий вид образцов II серии**

## **6.2. Результаты испытаний опытных образцов балок (перемычек) на изгиб и их анализ**

### **6.2.1. Эталонные образцы (I серия)**

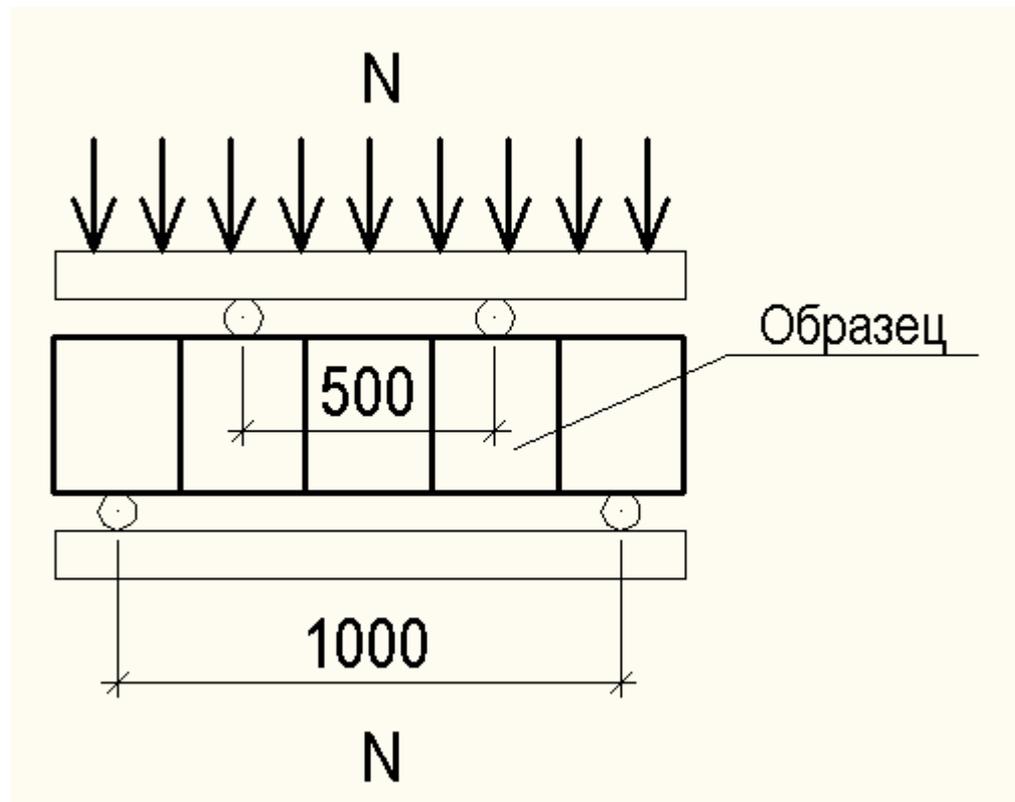
Испытания балок (перемычек) на изгиб проводились по схеме, показанной на рис. 6.3. Общий вид эталонных образцов в прессе до и после испытаний показан на фото рис. 6.4. В таблице 6.1 приведены результаты испытаний балок (перемычек) из ячеистобетонных блоков изготовленных по технологии YTONG плотностью D600 класса B3.5 (по данным эксперимента) производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», смонтированных на клеевом составе марки «YTONG-эконом».

Анализ результатов испытаний образцов балок (перемычек) из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии YTONG фирмой ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», позволяет отметить следующее.

1. Разрушение изгибаемых балок из ячеистобетонных блоков, склеенных между собой клеевым составом марки «YTONG-эконом» произошло по клеевому шву при растягивающих напряжениях в шве при изгибе, составляющих 0,91 МПа.

2. Согласно СНиП II-22-81 [6] при напряженном состоянии характеризующимся растяжением при изгибе расчетное сопротивление кладки по неперевязанному сечению принимается равным 0,12 МПа (1,2 кгс/см<sup>2</sup>). Таким образом применение клеевого состава марки «YTONG-эконом» для кладки стен из блоков, изготовленных по технологии YTONG фирмой ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», позволяет увеличить расчетное сопротивление кладки на растяжение при изгибе по сравнению с кладкой, смонтированной на цементных растворах более чем в 3 раза.

$$R_{bt}^{\text{экспер.}} / R_{bt}^{\text{врем.}} = 0,91 / 0,12 * 2,25 = 3,4$$



**Рис. 6.3. Схема испытания опытных образцов на изгиб**

a)



б)



**Рис. 6.4. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) образцов I серии**

Табл. 6.1.

## Результаты испытаний опытных образцов I серии на изгиб

№ п.п.	Тип раствора в шве	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>bt</sub> , (МПа)	R <sub>bt.ср</sub> , (МПа)
1	2	3	4	5	6	7
1	клеевой состав	И-Эт	313*300*1250	37150	0,95	<b>0,91</b>
2				34800	0,89	
3				34300	0,88	
4				17200*	0,44*	

\* - данный результат не учитывался при определении среднего значения

### **6.2.2. Опытные образцы II серии, усиленные холстами из углеволокна**

Испытания балок (перемычек) на изгиб проводились по схеме, показанной на рис. 6.3. Общий вид образцов II серии в прессе до и после испытаний показан на фото рис. 6.5. В таблице 6.2 приведены результаты испытаний балок (перемычек) из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии YTONG плотностью D600 класса B3.5 (по данным эксперимента) производства ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», смонтированных на клеевом составе марки «YTONG-эконом» и усиленных холстами из углеволокна по схеме на рис.6.2.

Анализ результатов испытаний образцов из ячеистобетонных блоков, изготовленных по технологии YTONG фирмой ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» и усиленной с помощью холстов из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m, позволяет отметить следующее:

– принятая схема усиления балок из ячеистобетонных блоков позволяет увеличить прочность изгибаемых элементов по сравнению с не усиленными балками в 3,5 раза. При этом прочность балок при изгибе с учетом наличия в нижней зоне полосы из углеволокна определялась прочностью ячеистого бетона при осевом растяжении.

a)



б)



**Рис. 6.5. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) образцов II серии**

Табл. 6.2

## Результаты испытаний опытных образцов II серии на изгиб

№ п.п.	№ серии	№ образца	Тип раствора в шве	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>bt</sub> , (МПа)	R <sub>bt.ср</sub> , (МПа)	Относительная прочность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	I	1	Клеевой состав	И-Эт	313*300*1250	37150	0,95	<b>0,91</b>	<b>100%</b>
2		2				34800	0,89		
3		3				34300	0,88		
4		4				17200*	0,44*		
5	II	1		И-У		114270	2,92	<b>3,16</b>	<b>347%</b>
6		2				128560	3,28		
7		3				128560	3,28		

\* - данный результат не учитывался при определении среднего значения

## **7. Экспериментально-теоретические исследования прочности и деформативности кирпичных столбов и простенков, усиленных бандажами из углеволокнистой ткани**

### **7.1. Описание опытных образцов**

Для оценки влияния эффекта усиления кирпичных столбов путем внешнего их армирования полосами из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m на их прочность и деформативность была разработана программа исследований, включающая в себя испытания 5 серий образцов столбов по 3 образца-близнеца в каждой серии. Ниже приводится описание образцов указанных пяти серий.

**Эталонные образцы** – кирпичные столбы без усиления углеволокном. Результаты испытаний данной серии образцов являлись «эталонными», позволяющими оценить эффективность применения предложенного в данной работе способа усиления с помощью углеволокна относительно традиционных, неусиленных, конструкций кирпичных столбов. Из каждой поставленной с кирпичного завода партии кирпича изготавливались параллельно с экспериментальными (усиленными) образцами кирпичных столбов I-V серии эталонные (неусиленные) образцы. Это позволило более точно учесть эффект усиления при использовании каждой партии кирпича и раствора для кладки из одного замеса при изготовлении как эталонных, так и усиленных образцов.

**I серия образцов** – кирпичные столбы, усиленные полосами из углеволокнистой ткани, наклеенными на кладку через один на второй ряд по высоте столба (рис.7.1а).

**II серия образцов** – кирпичные столбы, усиленные полосами из углеволокнистой ткани, наклеенными на кладку через два ряда на третий по высоте столба (рис.7.1б).

**III серия образцов** – кирпичные столбы, усиленные полосами из углеволокнистой ткани, наклеенными на кладку через четыре ряда на пятый по высоте столба (рис.7.1в).

**IV серия образцов** – кирпичные столбы, усиленные путем оборачивания образцов целиком углеволокнистой тканью (рис.7.1г).

**V серия образцов** – кирпичные столбы с длиной сторон поперечного сечения 38х77см, усиленных полосами из углеволокнистой ткани через два ряда на третий. На данной серии экспериментальных образцов анализировался эффект усиления кирпичных столбов с соотношением сторон образца 1:2 и наличием промежуточных поперечных стержней (рис.7.1д).

Опытные образцы кирпичных столбов сечением 380×510 мм (I÷IV серий) и 380×770 мм (V серия) при высоте 1183 мм и 1260 мм были изготовлены и испытаны в экспериментальном корпусе ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. На рис. 7.1 показаны схемы экспериментальных образцов кирпичных столбов I÷V серий.

Для определения величин временного сопротивления (средний предел прочности) и расчетного сопротивления сжатию кладки были проведены испытания на сжатие и изгиб 6÷10 контрольных образцов кирпича, отобранных из каждой поставленной кирпичным заводом партии, и растворных кубиков размером 7.07×7.07×7.07 см, изготовленных в процессе выполнения кладки экспериментальных образцов кирпичных столбов.

Испытания контрольных образцов кирпича на сжатие и изгиб производились в соответствии с требованиями ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камни керамические. Общие технические условия». Прочность раствора в швах кирпичной кладки опытных образцов определялась в соответствии с указаниями ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний».

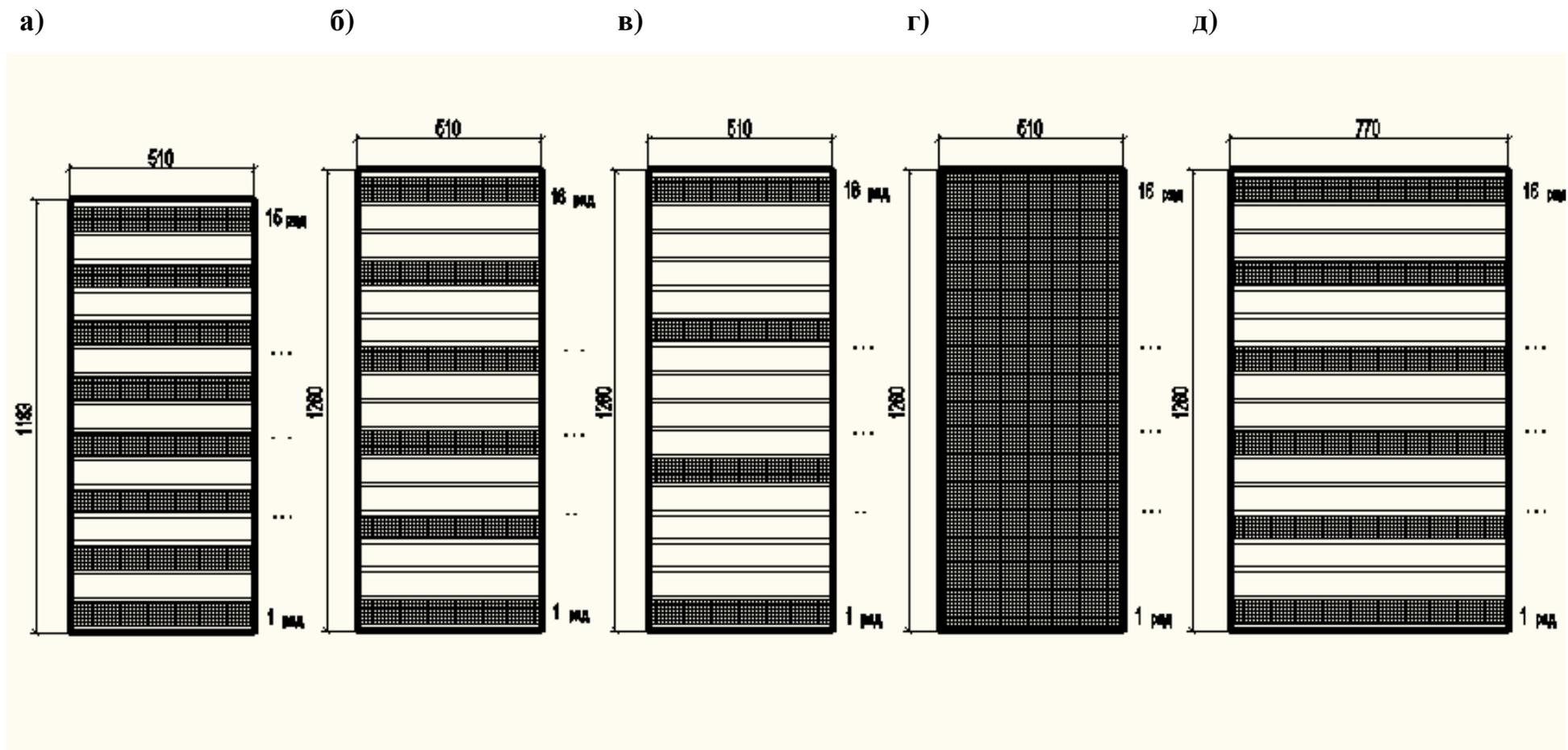


Рис. 7.1. Общий вид опытных образцов кирпичных столбов серии: а)I, б)II, в)III, г)IV, д)V

## **7.2. Результаты испытаний экспериментальных образцов кирпичных столбов, усиленных углеволокном и их анализ**

### **7.2.1. Эталонные образцы и образцы I серии**

В соответствии с программой экспериментальных исследований прочности кирпичных столбов, усиленных углеволокном, было изготовлено 3 опытных образца кирпичных столбов, усиленных полосами из углеволокна марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m через один ряд кладки по высоте столба (рис. 7.1 а). Схема испытаний кирпичных столбов показана на рис.7.2.

На фото рис. 7.3, 7.4 показан общий вид эталонных образцов и образцов I серии до и после испытаний.

В таблице 7.1 приведены для сравнения результаты испытаний эталонных образцов и образцов I серии, усиленных углеволокнистой тканью.

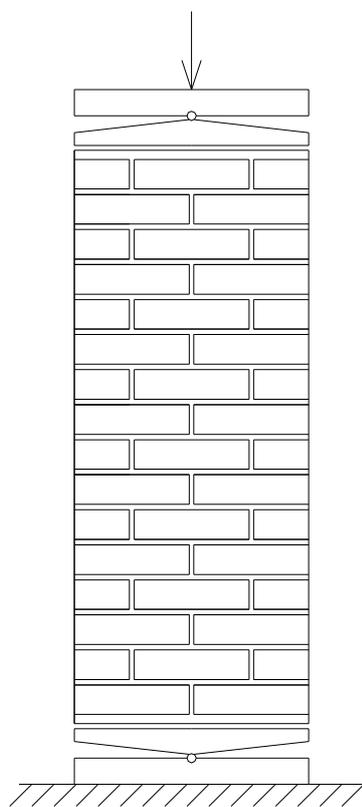
Для оценки величины расчетного сопротивления сжатию кирпичной кладки экспериментальных образцов до начала их испытаний были выполнены лабораторные испытания отобранных контрольных образцов кирпича и растворных кубов размером  $7.07 \times 7.07 \times 7.07$  см, изготовленных на том же растворе, что и опытные образцы.

На основе анализа результатов испытаний кирпичных столбов I-й серии, усиленных углеволокном через один ряд кладки на второй по высоте образцов, и сравнения их с результатами испытаний эталонных (неусиленных) опытных образцов установлено следующее.

1. При нагрузках, составляющих  $(0.85 \div 0.92) \times N_{\text{разр}}$ , происходит отслоение отдельных полос из углеволокна от поверхности кирпичной кладки. При этом, отслоение углеволокна начиналось с длинной стороны ( $b=51$  см) опытного образца и происходило не по клеевому контактному слою, а по поверхностному слою кирпича. То есть из-за высокой степени адгезии клеевого состава к материалу кладки прочность его сцепления с кирпичом превышала прочность поверхностного слоя кирпича;

2. Разрушение опытных образцов I серии начиналось с разрыва наиболее напряжённой средней по высоте столба полосы из углеволокна (именно в этом сечении по высоте столба имеют место максимальные поперечные деформации) с последующим мгновенным разрушением (раздавливанием) кирпича. На рис. 7.4 показан характер разрушения опытных образцов кирпичных столбов I серии;

3. При усилении кирпичных столбов полосами шириной 60 мм из углеволокнистой ткани в четыре слоя с расположением их через один ряд по высоте образца несущая способность усиленной кирпичной кладки увеличивается в 2,4 раза по сравнению с эталонной (неусиленной).



**Рис.7.2. Схема испытаний кирпичных столбов**



**Рис. 7.3. Общий вид опытных образцов кирпичных столбов III серии (а,б,в) и эталонного образца (г) до испытаний**

а)



б)



в)



**Рис. 7.4. Характер разрушения опытных образцов кирпичных столбов I серии**

## Результаты испытаний образцов I серии

Таблица 7.1

Серия образца (марка)	i	Размеры поперечного сечения образцов, b×l (см)	Марка кирпича /раствора	Экспериментальная разрушающая нагрузка, N <sub>разр</sub> (кН)	Временное сопротивление сжатию кладки, $R_u = \frac{N_{разр}}{A}$ (МПа)	Эксцентриситеты приложения нагрузки относительно поперечной и продольной осей, e <sub>x</sub> /e <sub>y</sub> (см)	$\psi = 1 - \frac{2e_y}{h}$	$\varpi$	$R_{кл} = \frac{R_u \cdot \kappa}{\omega \cdot \psi}$ (МПа)	R <sub>кл.ср.</sub> (МПа)	Относительная прочность кладки (%)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Эталонные (марка Э1-1)	1	38×51	$\frac{M75}{M50}$	429.20	2.21	0.77 / 0.49	0.974	1.01	2.25	2.26	<b>100</b>
	2			424.30	2.19	1.53 / 1.1	0.942	1.02	2.27		
	3			431.00	2.22	0.69 / 0.46	0.975	1.01	2.25		
I-я серия (марка I-1)	1	38×51	$\frac{M75}{M25}$	740.00	3.82	1.80 / 1.96	0.896	1.05	4.79	5.45	<b>240</b>
	2		$\frac{M75}{M75}$	1 133.60	5.84	2.14 / 2.60	0.860	1.07	5.89		
	3д		$\frac{M75}{M75}$	1 120.00	5.78	3.35 / 1.68	0.910	1.04	5.67		

### 7.2.2. Опытные образцы II серии

В соответствии с программой экспериментальных исследований было изготовлено 3 опытных образца кирпичных столбов, усиленных полосами из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m шириной 6,0 см через два ряда на третий по высоте кирпичных столбов (рис. 7.1б). Для возможности оценки эффективности предлагаемого способа усиления кладки, было изготовлено два эталонных (неусиленных) кирпичных столба.

На фото рис. 7.5 – 7.7 показан общий вид образцов II серии до и после испытаний.

В таблице 7.2 приведены для сравнения результаты испытаний эталонных образцов и образцов II серии, усиленных углеволокнистой тканью.

По результатам испытаний эталонных (неусиленных) образцов и опытных образцов кирпичных столбов II серии, усиленных через два ряда на третий полосами из углеволокнистой ткани, установлено следующее.

1. Разрушению эталонных образцов II серии, как и в эталонных образцах I серии, предшествовало образование вертикальных трещин в средней зоне по высоте образца. Момент образования первой трещины соответствовал  $(0.7 \div 0.8) \times N_{\text{разр}}$ .

2. В процессе нагружения опытных образцов II серии, усиленных углеволокном, при нагрузках, составляющих  $(0.8 \div 0.85) \times N_{\text{разр}}$ , было отмечено образование вертикальных волосяных трещин в средней части кирпичных столбов между полосами из углеволокна. Именно при этой нагрузке было зафиксировано отслоение полос из углеволокнистой ткани от кирпичной кладки (происходило «отщёлкивание» ткани от кирпича).

3. При принятой схеме расстановки элементов усиления несущая способность кирпичных столбов увеличивается в 1.6 раза.

**а)**



**б)**



**в)**

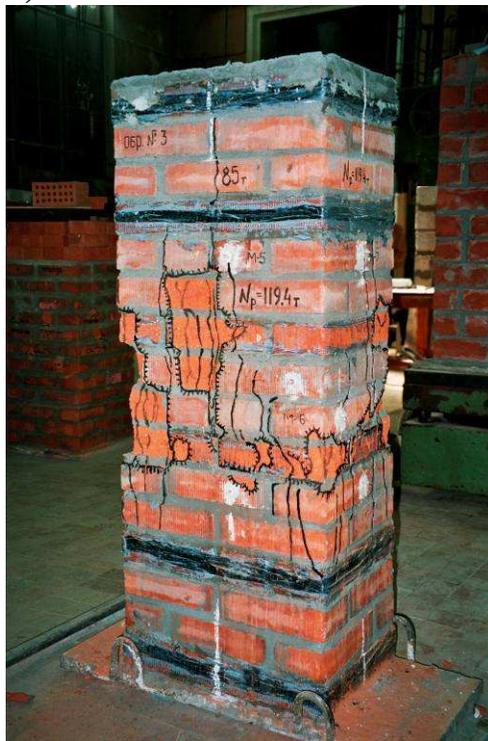


**Рис. 7.5. Общий вид опытных образцов кирпичных столбов II серии (а,б) и эталонного образца (в) до испытаний**

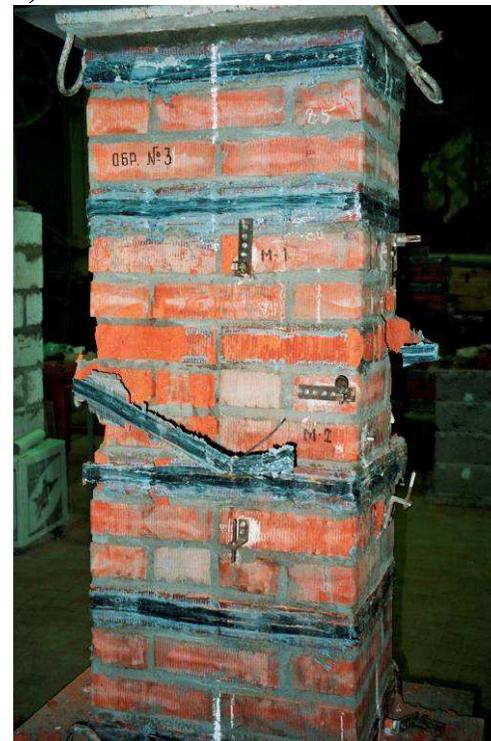
**а)**



**б)**



**в)**

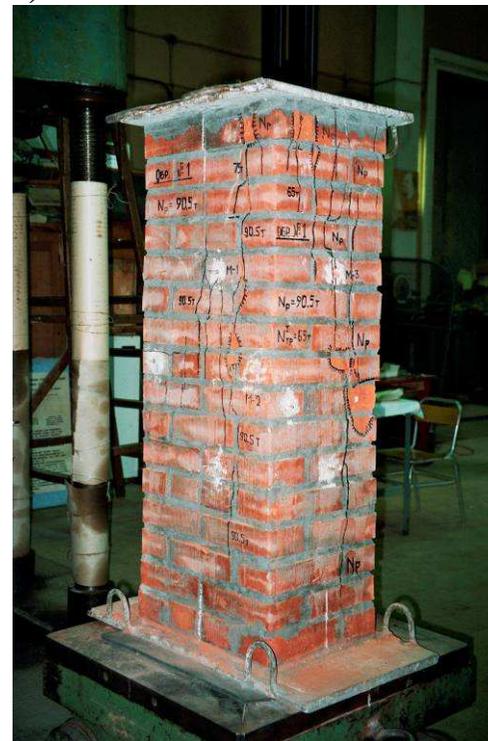


**Рис. 7.6. Характер разрушения кирпичной кладки усиленного образца II серии (II-3)**

a)



b)



**Рис. 7.7. Характер разрушения кирпичной кладки эталонного (неусиленного) образца II серии (Э2-1)**

## Результаты испытаний образцов II серии

Таблица 7.2

Серия образца (марка)	i	Размеры поперечного сечения образцов, b×l (см)	Марка кирпича /раствора	Экспериментальная разрушающая нагрузка, N <sub>разр</sub> (кН)	Временное сопротивление сжатию кладки, $R_u = \frac{N_{разр}}{A}$ (МПа)	Эксцентриситеты приложения нагрузки относительно поперечной и продольной осей, e <sub>x</sub> /e <sub>y</sub> (см)	$\psi = 1 - \frac{2e_y}{h}$	$\omega$	$R_{кл} = \frac{R_u \cdot \kappa}{\omega \cdot \psi}$ (МПа)	R <sub>кл.ср.</sub> (МПа)	Относительная прочность кладки (%)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Эталонные (марка Э2-1)	1	38×51	$\frac{M100}{M100}$	905.00	4.67	0.20 / 0.40	0.978	1.00	4.77	4.55	<b>100</b>
	2			817.00	4.22	1.05 / 0.80	0.958	1.02	4.32		
II -я серия (марка II-1)	1	38×51	$\frac{M100}{M50}$	1 242.00	6.41	7.20 / 1.20	0.980	1.03	7.62	7.35	<b>160</b>
	2		$\frac{M100}{M75}$	1 268.00	6.33	2.80 / 1.26	0.930	1.03	7.00		
	3 д		$\frac{M100}{M75}$	1 194.00	6.54	4.10 / 2.20	0.880	1.06	7.42		

### 7.2.3. Опытные образцы III серии

В соответствии с программой исследований прочности кирпичных столбов, усиленных углеволокном марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m, было изготовлено три опытных образца кирпичных столбов, в которых полосы шириной 60 мм из углеволокнистой ткани располагались через четыре ряда на пятый по высоте столба (рис. 7.1в).

На фото рис. 7.8, 7.9 показан общий вид образцов III серии до и после испытаний.

В таблице 7.3 приведены для сравнения результаты испытаний эталонных образцов и образцов III серии, усиленных углеволокнистой тканью.

Кладка столбов образцов III серии осуществлялась из партий кирпича марки M75, который использовался также для кладок образцов I серии.

На основе анализа результатов испытаний образцов кирпичных столбов III серии, усиленных углеволокном через четыре ряда на пятый по высоте опытных образцов и сравнения их с результатами испытаний эталонных (неусиленных) образцов, установлено следующее.

1. В процессе нагружения опытных образцов III серии при нагрузках  $(0.7 \div 0.9) \times N_{\text{разр}}$  было отмечено образование отдельных волосяных трещин между полосами из углеволокна. Разрушение кирпичной кладки от сжатия происходило сразу же после разрыва полос усиления из углеволокна.

2. Разрушение эталонного образца произошло по классической схеме: образовались вертикальные трещины, которые разделили образец на отдельные столбики.

3. При принятой схеме расстановки элементов усиления несущая способность кирпичных столбов увеличивается в 1.33 раза.



**Рис. 7.8. Общий вид опытных образцов кирпичных столбов III серии (а,б,в) и эталонного образца (г) до испытаний**

а)



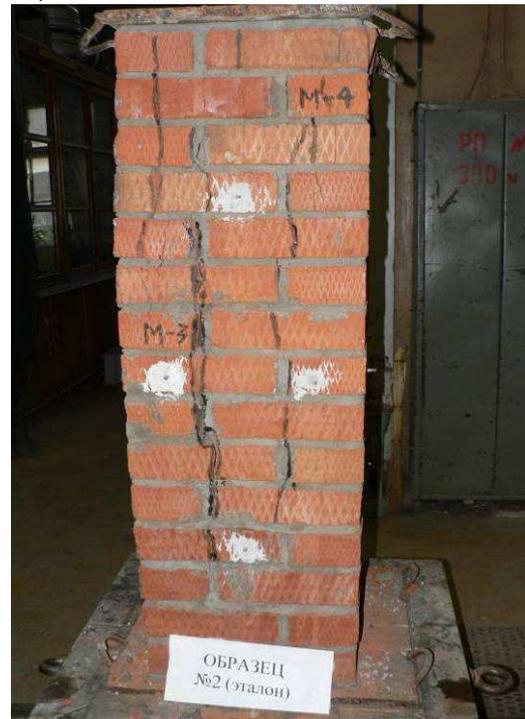
б)



в)



г)



**Рис. 7.9. Характер разрушения опытных образцов кирпичных столбов III серии (а,б,в) и эталонного образца (г)**

### Результаты испытаний образцов III серии

Таблица 7.3

Серия образца (марка)	i	Размеры поперечного сечения образцов, b×l (см)	Марка кирпича /раствора	Экспериментальная разрушающая нагрузка, N <sub>разр</sub> (кН)	Временное сопротивление сжатию кладки, $R_u = \frac{N_{разр}}{A}$ (МПа)	Эксцентриситеты приложения нагрузки относительно поперечной и продольной осей, e <sub>x</sub> /e <sub>y</sub> (см)	$\psi = 1 - \frac{2e_y}{h}$	$\varpi$	$R_{кл} = \frac{R_u \cdot \kappa}{\omega \cdot \psi}$ (МПа)	R <sub>кл.ср.</sub> (МПа)	Относительная прочность кладки (%)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Эталонные (марка Э1-1)	1	38×51	$\frac{M75}{M50}$	429.20	2.21	0.77 / 0.49	0.974	1.01	2.25	2.26	<b>100</b>
	2			424.30	2.19	1.53 / 1.1	0.942	1.02	2.27		
	3			431.00	2.22	0.69 / 0.46	0.975	1.01	2.25		
III-я серия (марка III-1)	1	38×51	$\frac{M75}{M125}$	800.00	4.13	2.50 / 1.40	0.920	1.04	3.40	3.00	<b>133</b>
	2			650.60	3.35	4.50 / 1.30	0.932	1.03	2.75		
	3 д			650.00	3.35	4.03 / 2.50	0.870	1.07	2.84		

#### 7.2.4. Опытные образцы IV серии

В соответствии с программой экспериментальных исследований опытные образцы IV серии были усилены углеволокнистой тканью путём полного оборачивания кирпичных образцов (рис. 7.1г). Т.е. моделировался вариант усиления кирпичных столбов путём устройства железобетонной (или армированной растворной) обоймы.

Кладка столбов образцов IV серии осуществлялась из партий кирпича марки М75, который использовался также для кладок эталонных образцов серии.

На фото рис. 7.10, 7.11 показан общий вид образцов IV серии до и после испытаний.

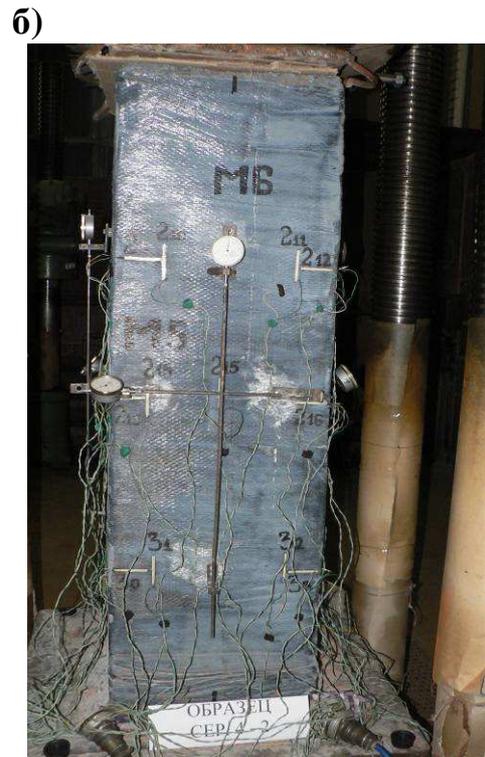
В таблице 7.4 приведены для сравнения результаты испытаний эталонных образцов и образцов IV серии, усиленных углеволокнистой тканью.

На основе анализа результатов испытаний образцов кирпичных столбов IV серии, усиленных углеволокном путём их оборачивания целиком, и сравнения их с результатами испытаний эталонных (неусиленных) образцов, установлено следующее.

1. В процессе нагружения опытных образцов IV серии при нагрузках, составляющих  $(0.8 \div 0.85) \times N_{\text{разр}}$ , было отмечено отслоение ткани от кладки с изменением цвета углеволокнистой ткани за счёт её удлинения.

2. В процессе нагружения, при достижении величины разрушающей нагрузки происходил разрыв обоймы из углеволокнистой ткани с одновременным разрушением кладки опытных образцов.

3. При принятой схеме расстановки элементов усиления несущая способность кирпичных столбов увеличивается в 2,6 раза.



**Рис. 7.10. Общий вид опытных образцов кирпичных столбов IV серии (а,б,в) и эталонного образца (г) до испытаний**

а)



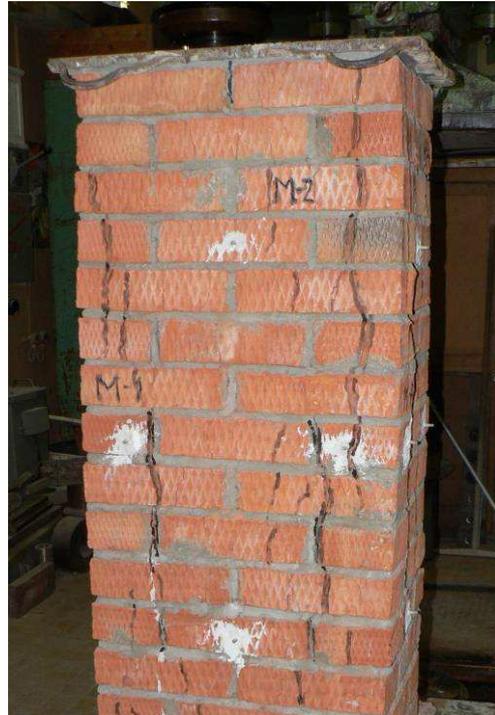
б)



в)



г)



**Рис. 7.11. Характер разрушения опытных образцов кирпичных столбов IV серии (а,б,в) и эталонного образца (г)**

## Результаты испытаний образцов IV серии

Таблица 7.4

Серия образца (марка)	i	Размеры поперечного сечения образцов, b×l (см)	Марка кирпича /раствора	Экспериментальная разрушающая нагрузка, N <sub>разр</sub> (кН)	Временное сопротивление сжатию кладки, $R_u = \frac{N_{разр}}{A}$ (МПа)	Эксцентриситеты приложения нагрузки относительно поперечной и продольной осей, e <sub>x</sub> /e <sub>y</sub> (см)	$\psi = 1 - \frac{2e_y}{h}$	$\varpi$	$R_{кл} = \frac{R_u \cdot \kappa}{\omega \cdot \psi}$ (МПа)	R <sub>кл.ср.</sub> (МПа)	Относительная прочность кладки (%)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Эталонные (марка Э1-1)	1	38×51	$\frac{M75}{M50}$	429.20	2.21	0.77 / 0.49	0.974	1.01	2.25	2.26	<b>100</b>
	2			424.30	2.19	1.53 / 1.1	0.942	1.02	2.27		
	3			431.00	2.22	0.69 / 0.46	0.975	1.01	2.25		
IV-я серия (марка IV-1)	1	38×51	$\frac{M75}{M25}$	862.00	4.44	3.54 / 0.52	0.970	1.01	5.34	5.85	<b>260</b>
	2д		$\frac{M75}{M50}$	1 105.00	5.70	3.64 / 1.46	0.920	1.03	6.01		
	3		$\frac{M75}{M50}$	1 152.00	5.94	2.50 / 1.30	0.930	1.03	6.20		

### 7.2.5. Опытные образцы V серии

В соответствии с программой экспериментальных исследований прочности и деформативности кирпичных столбов, усиленных путём внешнего армирования полосами из углеволокнистой ткани, было изготовлено два опытных образца с длиной сторон  $38 \times 77$  см (рис.7.1д). В отличие от образцов II серии в образцах V серии устанавливались промежуточные поперечные стержни  $\varnothing 10$  мм, пропущенные через толщину кладки (рис.7.1а,б) и закреплённые на наружной поверхности столбов с помощью шайб и гаек.

Данный способ крепления позволил уменьшить расчётную длину бандажей, обеспечив соотношение обжатых сторон образца  $\approx 1:1$ , принятое в действующих рекомендательных документах.

Для возможности оценки эффективности предлагаемого способа усиления было изготовлено дополнительно из той же партии кирпича два эталонных (неусиленных) кирпичных столба с длиной сторон поперечного сечения  $51 \times 51$  см (рис.7.1б,в).

На фото рис. 7.12, 7.13 показан общий вид образцов V серии до и после испытаний.

В таблице 7.5 приведены для сравнения результаты испытаний эталонных образцов и образцов V серии, усиленных углеволокнистой тканью.

По результатам испытаний эталонных (неусиленных) образцов и опытных образцов V серии, усиленных через два ряда на третий по высоте столба, установлено следующее.

1. Разрушению эталонных образцов V серии, как и в эталонных образцах I серии, предшествовало образование вертикальных трещин в средней зоне по сечению образца. Момент образования первой трещины соответствовал  $(0.7 \div 0.85) \times N_{\text{разр}}$ .

2. В процессе нагружения опытных образцов V серии, усиленных углеволокном, при нагрузках, составляющих  $(0.7 \div 0.8) \times N_{\text{разр}}$ , было отмечено образование вертикальных волосяных трещин между полосами из углеволокна в средней части кирпичных столбов.

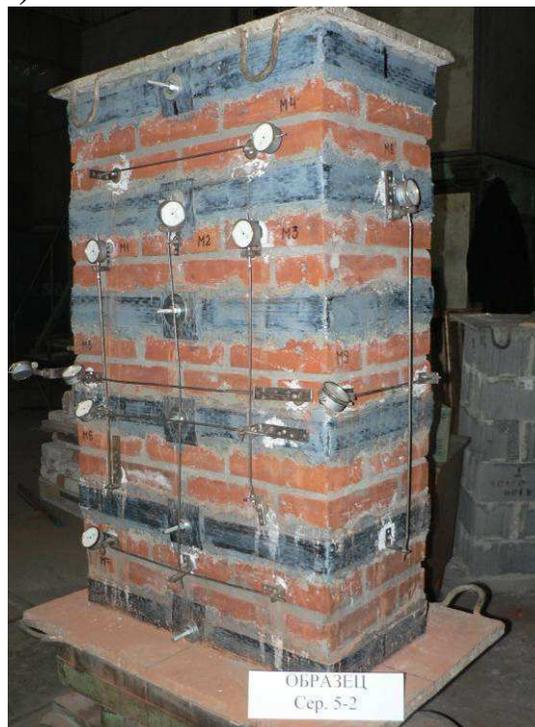
2. Разрушение эталонных образцов происходило по классической форме: образовались вертикальные трещины, которые разделили образец на отдельные столбики.

3. При принятой схеме расстановки элементов усиления несущая способность кирпичных столбов увеличивается в 1,72 раза.

а)



б)

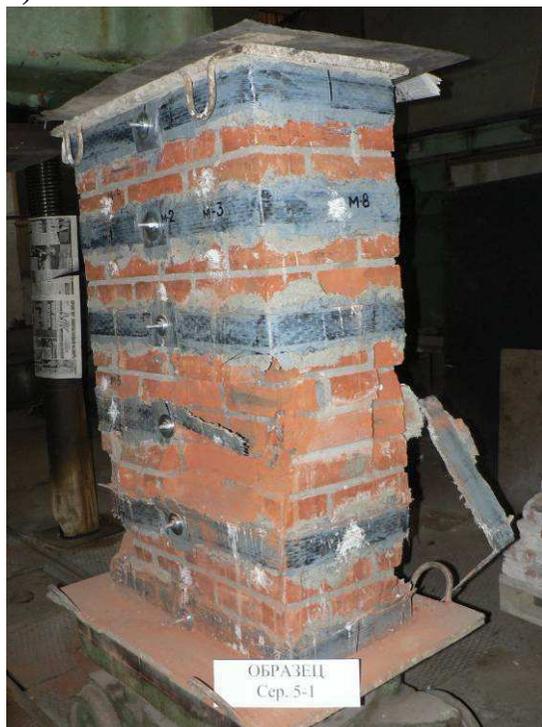


в)



**Рис. 7.12. Общий вид опытных образцов кирпичных столбов V серии (а,б) и эталонного образца (в) до испытаний**

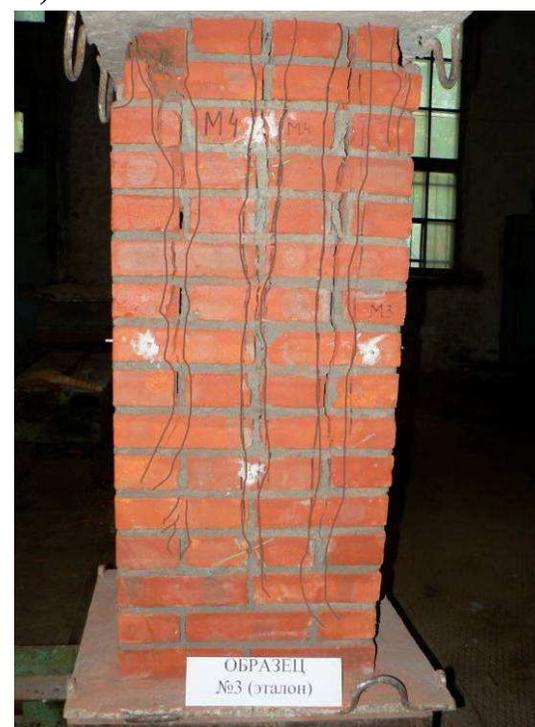
а)



б)



в)



**Рис. 7.13. Характер разрушения опытных образцов кирпичных столбов V серии (а,б) и эталонного образца (в)**

### Результаты испытаний образцов V серии

Таблица 7.5

Серия образца (марка)	i	Размеры поперечного сечения образцов, б×l (см)	Марка кирпича /раствора	Экспериментальная разрушающая нагрузка, N <sub>разр</sub> (кН)	Временное сопротивление сжатию кладки, $R_u = \frac{N_{разр}}{A}$ (МПа)	Эксцентриситеты приложения нагрузки относительно поперечной и продольной осей, e <sub>x</sub> /e <sub>y</sub> (см)	$\psi = 1 - \frac{2e_y}{h}$	$\omega$	$R_{кл} = \frac{R_u \cdot \kappa}{\omega \cdot \psi}$ (МПа)	R <sub>кл.ср.</sub> (МПа)	Относительная прочность кладки (%)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Эталонные (марка Э5-і)	1	51×51	$\frac{M100}{M100}$	900.00	3.46	0.36/ 0.21	0.950	1.03	3.53	3.64	<b>100</b>
	2			950.00	3.60	1.05 / 1.3	0.940	1.02	3.75		
V-я серия (марка V-і)	1	38×77	$\frac{M100}{M100}$	1 700.00	5.81	0.11 / 1.75	0.908	1.05	6.09	6.25	<b>172</b>
	2 д			1 800.00	6.15	1.45 / 1.28	0.932	1.03	6.41		

### 7.3. Методика определения и сравнительный анализ результатов испытаний прочности кирпичной кладки столбов и простенков, усиленных углеволокном

Существующие эмпирические зависимости, определяющие прочность кладки, усиленной арматурными сетками или обоймами (стальной, железобетонной, растворной), имеют вид:

$$R_s = f(R_0, R_{yc}), \quad (7.1)$$

где  $R_s$  – прочность армированной (усиленной) кладки;

$R_0$  – прочность неармированной кладки;

$R_{yc}$  – приращение прочности кладки для заданного конструктивного решения усиления.

Учитывая, что при дискретном усилении кирпичных столбов (простенков) полосами из углеволокна, элементы усиления – бандажи – расположены не в объёме кладки (как это имеет место при армировании сеткой), а по её наружной поверхности, выполним оценку влияния бандажей из углеволокна на прочность кладки путём введения коэффициента поверхностного армирования кладки (процент армирования кладки по поверхности).

$$\mu_{нов} = \frac{S_{арм}}{S_{ст}} \times 100, \quad (7.2)$$

$\mu_{нов}$  – коэффициент поверхностного армирования стен;

$S_{арм}$  – площадь поперечного сечения полосы (бандажей) из углеволокна толщиной  $\delta_{пол}$ , определяемая по формуле:

$$S_{арм} = 2 \cdot \delta_{пол} \cdot h_{пол}$$

$S_{ст}$  – площадь участка длинной стороны столба, приходящаяся на одну полосу из углеволокна определяется по формуле:

$$S_{ст} = 2 \cdot h_{ст} \cdot (h_{пол} + b).$$

Формула (7.1) для определения приращения прочности кладки, усиленной полосами из углеволокна, будет иметь вид:

$$R_{yc} = \frac{2 \cdot \mu_{нов} \cdot R_{пол}}{100} \quad (7.3),$$

где  $h_{ст}$  – длина бóльшей стороны кирпичного столба;

$h_{пол}$ ,  $\delta_{пол}$  – соответственно, высота и толщина полосы (бандажа из углеволокна);

$b$  – расстояние между полосами из углеволокна.

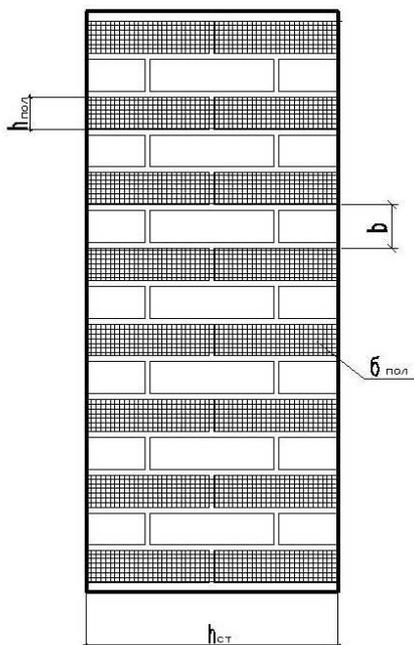


Рис. 2.30 Схема армирования полосами из углеволокна

Как видно из сравнения формул (7.3) и (7.1), различие между ними заключается в том, что коэффициент  $\mu_1$  в формуле представляет собой процент армирования кладки по объёму. В формуле (7.3)  $\mu_{нов}$  – коэффициент армирования по поверхности длинной стороны столба.

**Пример.** *Определение сопротивления сжатию усиленного кирпичного столба серии I-1.*

Исходные данные:

$R_{пол} = 34\,500$  кгс/см<sup>2</sup> (3 450 МПа);  $R_u = 22$  кг/см<sup>2</sup> (2.2 МПа) (кирпич – М75, раствор – М25);

$\delta_{пол} = 4 \times 0.012 = 0.048$  см;  $h_{пол} = 6$  см;  $b = 9$  см.

Расчёт:

$$S_{арм} = 2 \times 4 \times 0.012 \times 6 = 0.576 \text{ см}^2, \quad S_{ст} = 2 \times 51 \times (6+9) = 1\,530 \text{ см}^2,$$

$$\mu = (0.576 / 1\,530) \times 100 = 0.03765\%,$$

$$R_{yc} = (2 \times 0.03765 \times 34\,500) / 100 = 25.98 \text{ кгс/см}^2 \text{ (2.6 МПа)}$$

$$R_s = R_u + R_{yc} = 22 + 25.98 = 47.98 \text{ кгс/см}^2 \text{ (4.8 МПа)}.$$

В сводной таблице 7.6 приведены данные по результатам испытаний образцов кирпичных столбов I÷V серий.

### Сравнительный анализ результатов испытаний кирпичных столбов

Таблица 7.6

Серия (марка) образца	Размеры поперечного сечения, см	Относительная прочность кладки (%)	
Эталон	38×51	100	
I-я серия (через ряд)	38×51	240	
II-я серия (через два ряда)	38×51	160	166
V-я (через два ряда+шпильки)	38×77	172	
III-я (через четыре ряда)	38×51	133	
IV-я (целиком)	38×51	260	

## **8. Экспериментальные исследования прочности и деформативности фрагментов кирпичных стен на действие сдвигающих усилий – перекос**

### **8.1 Описание опытных образцов**

Для проведения статических испытаний было изготовлено 7 серий кирпичных образцов. Геометрические параметры образцов назначались исходя из требования максимальной имитации реального кирпичного простенка здания и технических возможностей испытательного оборудования. Испытанные образцы имеют следующие параметры:

**I серия образцы эталонные** – представляет собой образцы кирпичной кладки размерами 103x104x25 см, изготовленные из кирпича марки М200 на растворе М75 с расчетным сопротивлением кладки  $R=25 \text{ кг/см}^2$  и временным сопротивлением  $R_{вр} = 50 \text{ кг/см}^2$  (см. рисунок 8.1);

**II серия** – образцы кирпичной кладки того же состава, что и эталонные, усиленные слоем материала «BASF Емасо S170 CFR» толщиной 2 см с одной стороны (см. рисунок 8.2);

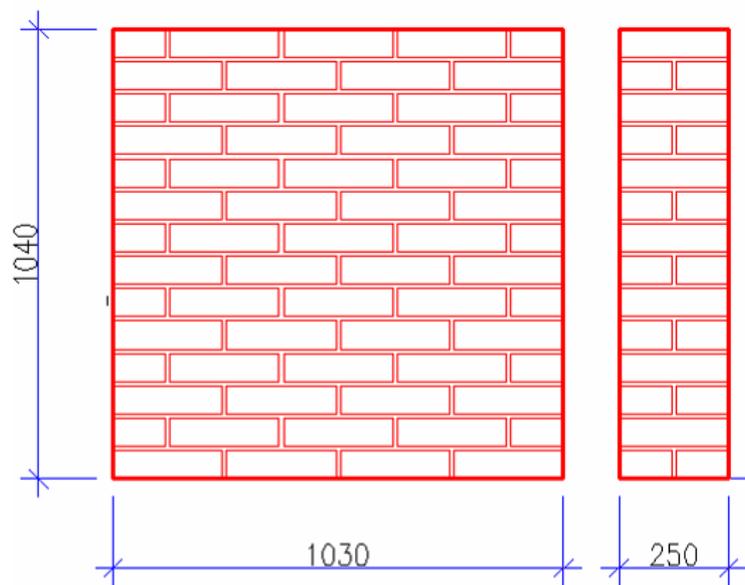
**III серия** – образцы кирпичной кладки того же состава, что и эталонные, усиленные слоем материала «BASF Емасо S170 CFR» толщиной 4 см с одной стороны (см. рисунок 8.3);

**IV серия** – образцы представляют собой кирпичные простенки размерами 103x104x25 см, усиленные с одной стороны холстом из углеволокна MBRACE FIB CF230/4900.200g/5.100m, волокно наклеено вдоль растянутой диагонали (см. рисунок 8.4);

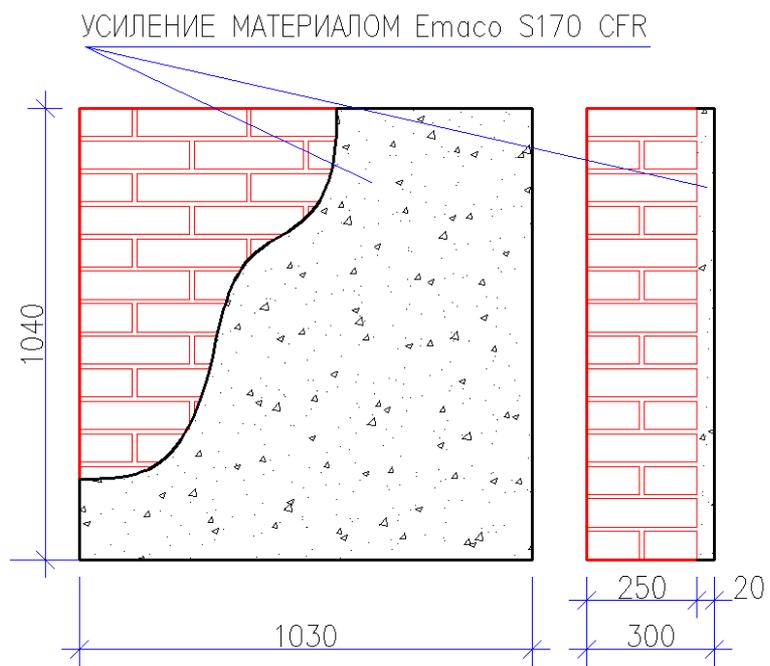
**V серия** – образцы кирпичной кладки того же состава, что и эталонные, усиленные слоем материала «BASF Емасо S170 CFR» толщиной 2 см с двух сторон кирпичной кладки (см. рисунок 8.5) ;

**VI серия** – образцы кирпичной кладки того же состава, что и эталонные, усиленные слоем материала «BASF Emaco S170 CFR» толщиной 4 см с двух сторон кирпичной кладки (см. рисунок 8.6);

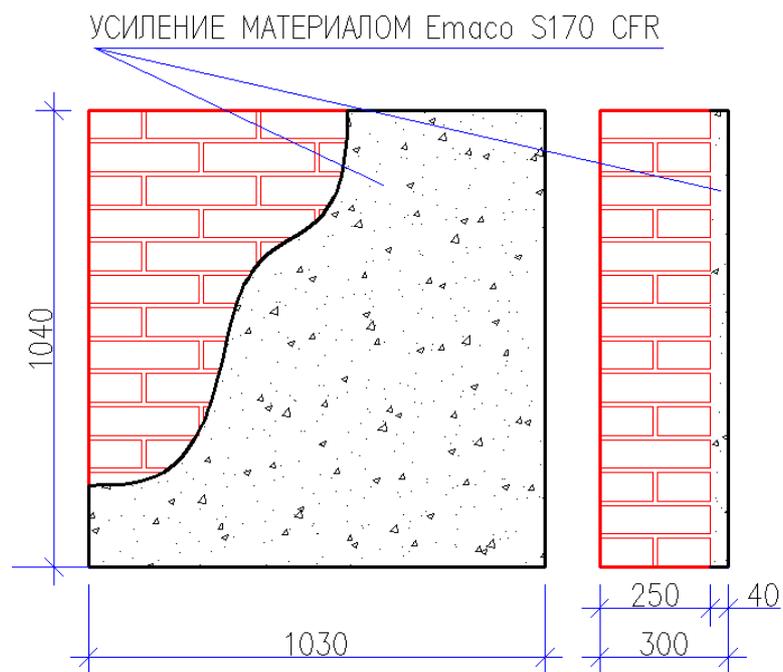
**VII серия** – образцы кирпичной кладки того же состава, что и эталонные, усиленные с двух сторон холстом из углеволокна MBRACE FIB CF230/4900.200g/5.100m., волокно наклеено вдоль растянутой диагонали (см. рисунок 8.7).



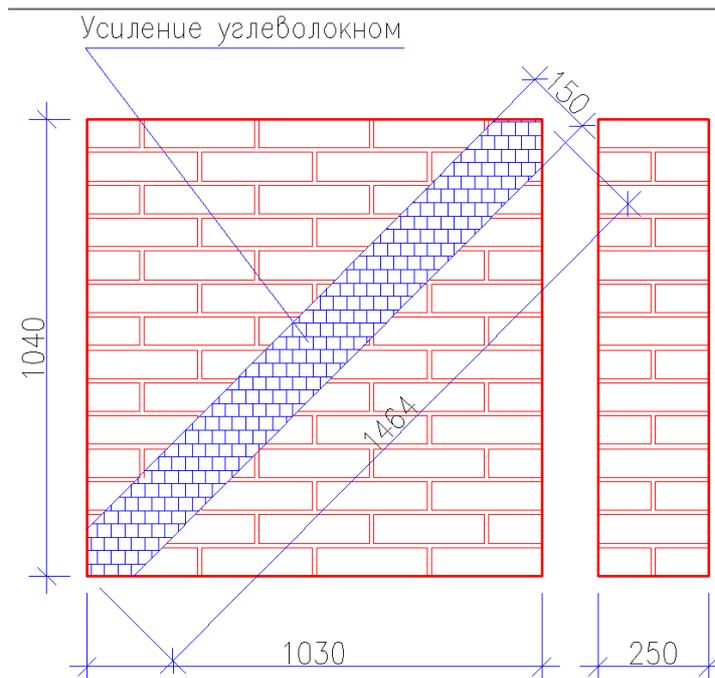
**Рис. 8.1. Конструкция образцов I серии**



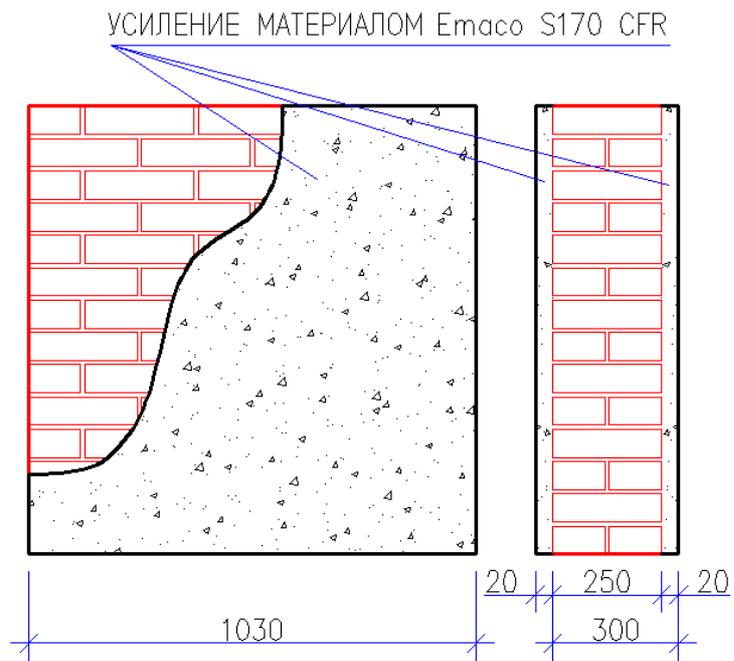
**Рис. 8.2. Конструкция образцов II серии**



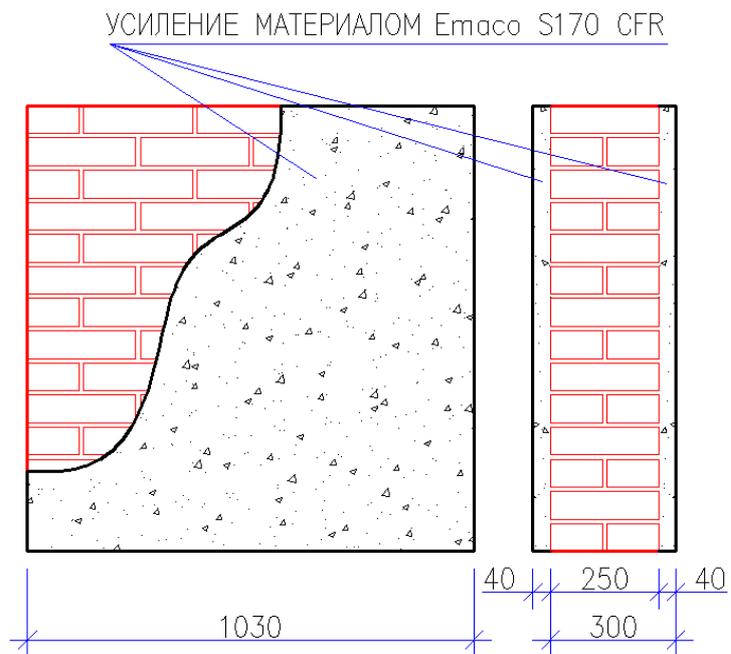
**Рис. 8.3. Конструкция образцов III серии**



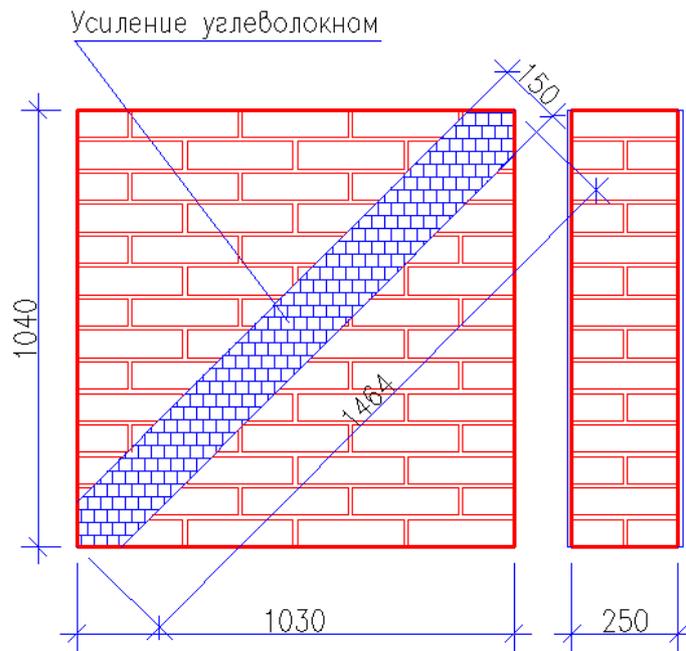
**Рис. 8.4. Конструкция образцов IV серии**



**Рис. 8.5. Конструкция образцов V серии**



**Рис. 8.6. Конструкция образцов VI серии**



**Рис. 8.7. Конструкция образцов VII серии**

## **8.2 Результаты испытаний опытных образцов фрагментов стен на перекося и их анализ**

### **8.2.1 Эталонные образцы (I серия)**

Испытания фрагментов кирпичных стен на перекося проводились по схеме, показанной на рис. 8.8.

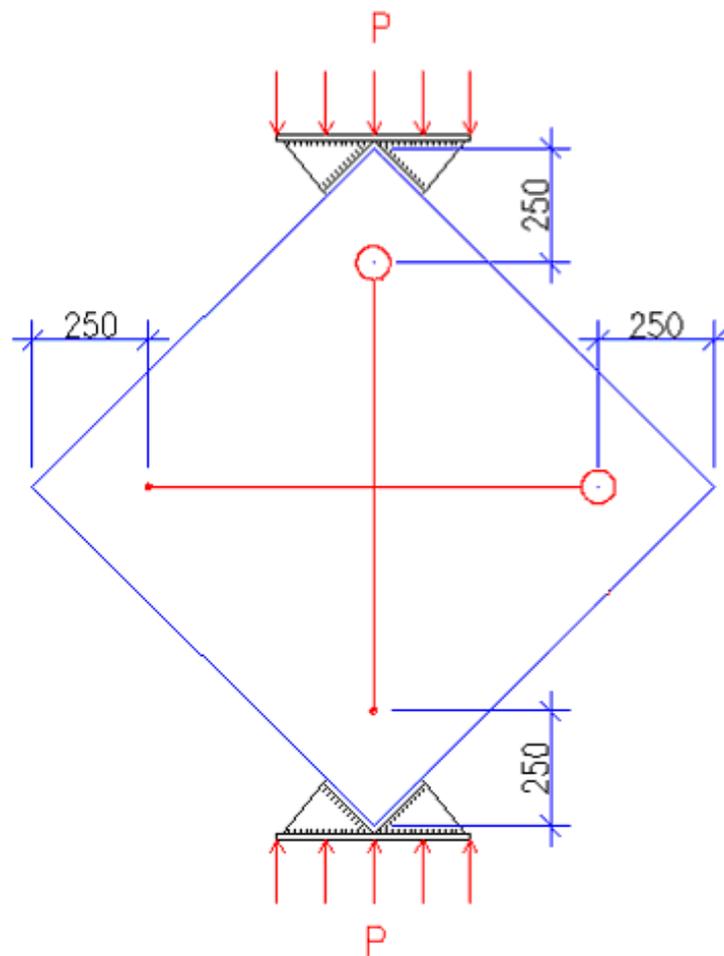
Нагрузка передается через опорные устройства на противоположные углы кладки и вызывает сжатие образца вдоль его диагонали

Общий вид эталонных образцов в прессе до и после испытаний показан на фото рис. 8.9 и 8.10. В таблице 8.1. приведены результаты испытаний фрагментов кирпичных стен.

Анализ результатов испытаний фрагментов из кирпичной кладки, позволяет отметить следующее:

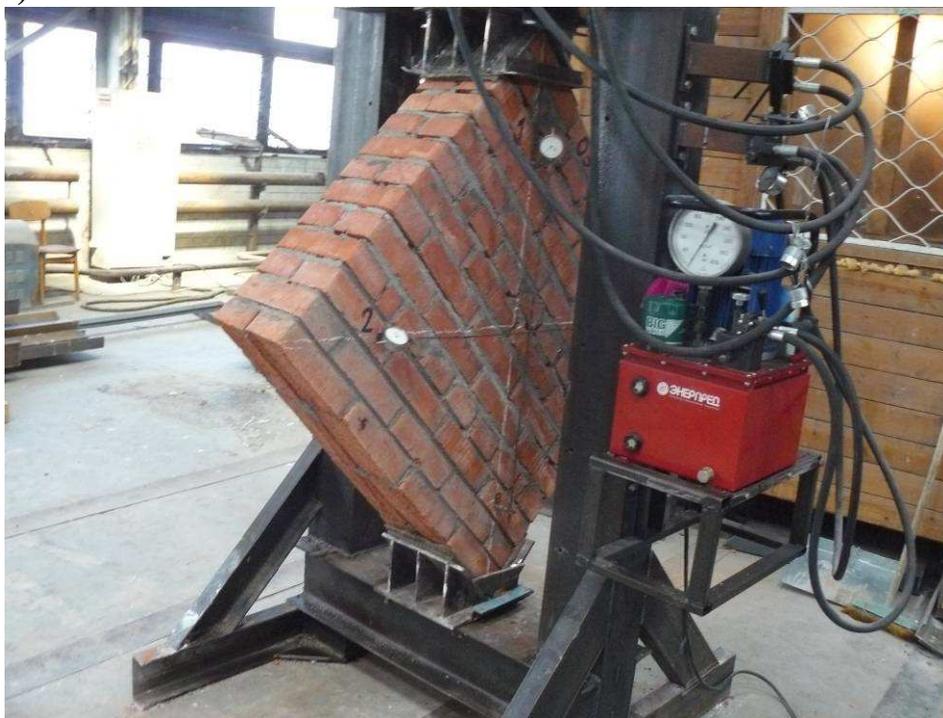
– приведенные в табл. 8.1 показатели прочности кладки при действии сдвигающих усилий (перекося) позволяют отметить, что прочность кладки при срезе по неперевязанному сечению составляет 0,47 МПа или величина расчетного сопротивления в этом случае составляет  $0,47/2=0,235$  МПа при нормативном значении 0,16 МПа;

– разрушение опытных образцов из-за низкой прочности сцепления кирпичей характеризуется сдвигом слоев кладки по растворным швам.



**Рис. 8.8. Схема испытания опытных образцов на перекос**

а)



б)



**Рис. 8.9. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) эталонных образцов (I серия)**

Табл. 8.1.

## Результаты испытаний эталонных образцов на перекус

№ п.п.	№ серии	№ образца	Марка кирпича	Марка раствора	Тип усиления	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр.</sub> (Н)	R <sub>срез.</sub> (МПа)	R <sub>срез.ср.</sub> (МПа)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	I	1	M200	M75	-		1030*1040*250	185710	0,51	<b>0,47</b>
2		2						157140	0,43	

\* - величина предела прочности кладки при срезе по неперевязанному сечению (столбец 10) R<sub>срез</sub> определялась по формуле:

$$R_{срез} = \frac{N_{разр.}}{1.4 \times a \times d}$$

где R<sub>срез</sub> - предел прочности кладки при срезе по перевязанному шву, Па;

N<sub>разр.</sub> - расчетная величина горизонтальной силы, Н;

a - половина длины образца, м;

d - толщина образца, м

### **8.2.2. Опытные образцы II серии, усиленные с одной стороны набетонкой толщиной 2 см из сухой смеси с металлической фиброй**

На рис. 8.2 показана схема усиления образца путем односторонней набетонкой толщиной 2 см на основе сухой смеси BASF Emaco S170 CFR. На рис. 8.10. показан общий вид образцов II серии в прессе до и после испытаний. В таблице 8.2. приведены для сравнения результаты испытаний на перекос эталонных образцов и образцов II серии, усиленные с одной стороны сухой смесью с металлической фиброй.

Анализ результатов испытаний кирпичной кладки и кладки усиленной с помощью набетонки на основе сухой смеси BASF Emaco S170 CFR позволяет отметить, что наличие односторонней жесткой набетонки приводит к смещению геометрического центра тяжести фрагмента стены и, как следствие этого, изменению эксцентриситета приложения нагрузки. В связи с этим, несущая способность стены из-за появления эксцентриситета приложения нагрузки относительно центра тяжести элемента, несмотря на выполненное усиление, снижается на 16,7%.

а)



б)



**Рис. 8.10. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) опытных образцов (III серия)**

Табл. 8.2.

## Результаты испытаний опытных образцов I и II серий на перекокс

№ п.п.	№ серии	№ образца	Марка бетона	Тип раствора в шве	Тип усиления	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>срез</sub> , (МПа)	R <sub>срез.ср</sub> , (МПа)	Относит. прочность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	I	1	M200	M75	-		1030*1040*250	185710	0,51	<b>0,47</b>	<b>100%</b>
2		2						157140	0,43		
3		3						-	-		
4	II	1	M200	M75	набетонка из сухой смеси толщиной 2 см с одной стороны		1030*1040*250	114280	0,31	<b>0,39</b>	<b>83%</b>
5		2						171430	0,47		
6		3						-	-		

\* - величина предела прочности кладки при срезе по неперевязанному сечению (столбец 10) R<sub>срез</sub> определялась по формуле:

$$R_{срез} = \frac{N_{разр.}}{1.4 \times a \times d}$$

где R<sub>срез</sub> - предел прочности кладки при срезе по перевязанному шву, Па;

N<sub>разр.</sub> - расчетная величина горизонтальной силы, Н;

a - половина длины образца, м;

d - толщина образца, м

### **8.2.3. Опытные образцы III серии, усиленные с одной стороны набетонкой толщиной 4 см из сухой смеси с металлической фиброй**

На рис. 8.3 показана схема усиления образца путем односторонней набетонкой толщиной 4 см на основе сухой смеси BASF Emaco S170 CFR. На рис. 8.11 показан общий вид образцов III серии в прессе до и после испытаний. В таблице 8.3. приведены для сравнения результаты испытаний на перекося эталонных образцов и образцов III серии, усиленные с одной стороны сухой смесью с металлической фиброй.

Анализ результатов испытаний кирпичной кладки и кладки усиленной с помощью набетонки на основе сухой смеси BASF Emaco S170 CFR позволяет отметить, что прочность кирпичной кладки при действии сдвигающих усилий (перекося) усиленной с помощью набетонки на основе сухой смеси, по схеме показанной на рис.8.3 в 1,75 раза выше, чем неусиленной кладки. Предложенная схема усиления может быть использована при разработке проектов усиления стен кирпичных зданий, возведенных в сейсмических районах

а)



б)



**Рис. 8.11. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) опытных образцов (III серия)**

Табл. 8.3.

## Результаты испытаний опытных образцов I и III серий на перекокс

№ п.п.	№ серии	№ образца	Марка бетона	Тип раствора в шве	Тип усиления	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>срез</sub> , (МПа)	R <sub>срез.ср</sub> , (МПа)	Относит. прочность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	I	1	M200	M75	-		1030*1040*250	185710	0,51	<b>0,47</b>	<b>100%</b>
2		2						157140	0,43		
3		3						-	-		
4	III	1	M200	M75	сухая смесь толщиной 4 см с одной стороны		1030*1040*250	457140	1,26	<b>0,8</b>	<b>174%</b>
5		2						128570	0,35		
6		3						-	-		

\* - величина предела прочности кладки при срезе по неперевязанному сечению (столбец 10) R<sub>срез</sub> определялась по формуле:

$$R_{срез} = \frac{N_{разр.}}{1.4 \times a \times d}$$

где R<sub>срез</sub> - предел прочности кладки при срезе по перевязанному шву, Па;

N<sub>разр.</sub> - расчетная величина горизонтальной силы, Н;

a - половина длины образца, м;

d - толщина образца, м

#### 8.2.4. Опытные образцы IV серии, усиленные с одной стороны холстом из углеволокна

Усиление кладки фрагментов стен холстами из углеволокнистой ткани осуществлялось по следующей схеме:

- на увлажненную поверхность основания в местах укладки холста для выравнивания поверхности наносится быстротвердеющий состав Emaco Fast Tixo слоем 10 мм;
- по истечении 7 суток, после подготовки основания поверхность обрабатывается грунтовочным составом M-Brace PRIMER с целью улучшения сцепления;
- в интервале 12-24 часа после покрытия усиливаемого основания праймером наносится первый слой клея M-Brace adesivo saturant, толщина нанесения 0,8-1,0 мм;
- холст укладывается на поверхность, без складок и лишнего натяжения. после укладки более двух раз с силой прокатать холст в направлении волокон с применением резинового катка для пропитки холста и удаления воздуха;
- через 30 минут на поверхность холста наносят второй слой 700 – 800 г/м<sup>2</sup> клея марки M-Brace adesivo saturant, завершающий формирование системы.

Общий вид образцов IV серии в прессе до и после испытаний показан на рис. 8.12. В таблице 8.4 приведены для сравнения результаты испытаний на перекокс эталонных образцов и образцов IV серии, усиленные с одной стороны холстом из углеволокна.

Анализ результатов испытаний кирпичной кладки усиленной с помощью холстов из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m. позволяет отметить следующее:

- прочность кирпичной кладки при действии сдвигающих усилий (перекокс) усиленной холстами из углеволокнистой ткани по схеме показанной на рис.8.4, в 1,38 раза выше, чем неусиленной кладки. Указанный фактор особенно важен при проектировании новых и усилении старых конструкций, эксплуатируемых в сейсмических районах.

а)



б)



**Рис. 8.12. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) опытных образцов IV серия**

Табл. 8.4.

## Результаты испытаний опытных образцов I и IV серий на перекокс

№ п.п.	№ серии	№ образца	Марка бетона	Тип раствора в шве	Тип усиления	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>срез</sub> , (МПа)	R <sub>срез.ср</sub> , (МПа)	Относит. прочность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	I	1	M200	M75	-		1030*1040*250	185710	0,51	<b>0,47</b>	<b>100%</b>
2		2						185710	0,43		
3		3						-	-		
4	IV	1	M200	M75	1 холст с одной стороны		1030*1040*250	128570	0,35	<b>0,65</b>	<b>137%</b>
5		2						342860	0,94		
6		3						-	-		

\* - величина предела прочности кладки при срезе по неперевязанному сечению (столбец 10) R<sub>срез</sub> определялась по формуле:

$$R_{срез} = \frac{N_{разр.}}{1.4 \times a \times d}$$

где R<sub>срез</sub> - предел прочности кладки при срезе по перевязанному шву, Па;

N<sub>разр.</sub> - расчетная величина горизонтальной силы, Н;

a - половина длины образца, м;

d - толщина образца, м

### **8.2.5. Опытные образцы V серии, усиленные с двух сторон набетонкой из сухой смеси с металлической фиброй**

На рис. 8.5 показана схема усиления образца путем двухсторонней набетонки на основе сухой смеси BASF Emaco S170 CFR. На рис. 8.13 показан общий вид образцов V серии в прессе до и после испытаний. В таблице 8.5. приведены для сравнения результаты испытаний на перекося эталонных образцов и образцов V серии, усиленные с двух сторон набетонкой толщиной 20 мм из сухой смеси с металлической фиброй.

Анализ результатов испытаний кирпичной кладки усиленной с помощью набетонки на основе сухой смеси BASF Emaco S170 CFR позволяет отметить, что прочность кирпичной кладки при действии сдвигающих усилий (перекося) усиленной с помощью набетонки на основе сухой смеси, по схеме показанной на рис.8.5 в 1,92 раза выше, чем неусиленной кладки. Предложенная схема усиления может быть использована при разработке проектов усиления стен кирпичных зданий, возведенных в сейсмических районах.

**а)**



**б)**



**Рис. 8.13. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) опытных образцов (V серия)**

Табл. 8.5.

## Результаты испытаний опытных образцов I и V серий на перекокс

№ п.п.	№ серии	№ образца	Марка бетона	Тип раствора в шве	Тип усиления	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>срез</sub> , (МПа)	R <sub>срез.ср</sub> , (МПа)	Относит. прочность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	I	1	M200	M75	-		1030*1040*250	185710	0,51	<b>0,47</b>	<b>100%</b>
2		2						157140	0,43		
3		3						-	-		
4	V	1	M200	M75	сухая смесь толщиной 2 см с двух стороны		1030*1040*250	257140	0,71	<b>0,9</b>	<b>192%</b>
5		2						400000	1,1		
6		3						-	-		

\* - величина предела прочности кладки при срезе по неперевязанному сечению (столбец 10) R<sub>срез</sub> определялась по формуле:

$$R_{срез} = \frac{N_{разр.}}{1.4 \times a \times d}$$

где R<sub>срез</sub> - предел прочности кладки при срезе по перевязанному шву, Па;

N<sub>разр.</sub> - расчетная величина горизонтальной силы, Н;

a - половина длины образца, м;

d - толщина образца, м

### **8.2.6. Опытные образцы VI серии, усиленные с двух сторон набетонкой из сухой смеси с металлической фиброй**

На рис. 8.6 показана схема усиления образца путем двухсторонней набетонки на основе сухой смеси BASF Emaco S170 CFR. На рис. 8.14 показан общий вид образцов VI серии в прессе до и после испытаний. В таблице 8.6. приведены для сравнения результаты испытаний на перекося эталонных образцов и образцов VI серии, усиленные с двух сторон набетонкой толщиной 40 мм из сухой смеси с металлической фиброй.

Анализ результатов испытаний кирпичной кладки усиленной с помощью набетонки на основе сухой смеси BASF Emaco S170 CFR позволяет отметить, что прочность кладки при действии сдвигающих усилий (перекося) из ячеистобетонных блоков, усиленной с помощью набетонки на основе сухой смеси по схеме показанной на рис.8.6 в 2,13 раза выше, чем неусиленной кладки. Данная схема усиления может быть использована при разработке проектов усиления стен кирпичных зданий, возведенных в сейсмических районах.

а)



б)



**Рис. 8.14. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) опытных образцов (VI серия)**

Табл. 8.5.

## Результаты испытаний опытных образцов I и VI серий на перекокс

№ п.п.	№ серии	№ образца	Марка бетона	Тип раствора в шве	Тип усиления	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр</sub> , (Н)	R <sub>срез</sub> , (МПа)	R <sub>срез.ср</sub> , (МПа)	Относит. прочность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	I	1	M200	M75	-		1030*1040*250	185710	0,51	<b>0,47</b>	<b>100%</b>
2		2						157140	0,43		
3		3						-	-		
4	VI	1	M200	M75	сухая смесь толщиной 4 см с двух сторон		1030*1040*250	500000	1,37	<b>1,00</b>	<b>213%</b>
5		2						228570	0,63		
6		3						-	-		

\* - величина предела прочности кладки при срезе по неперевязанному сечению (столбец 10) R<sub>срез</sub> определялась по формуле:

$$R_{срез} = \frac{N_{разр.}}{1.4 \times a \times d}$$

где R<sub>срез</sub> - предел прочности кладки при срезе по перевязанному шву, Па;

N<sub>разр.</sub> - расчетная величина горизонтальной силы, Н;

a - половина длины образца, м;

d - толщина образца, м

### **8.2.7. Опытные образцы VII серии, усиленные с двух сторон одним холстом из углеволокна**

На рис. 8.7 показана схема усиления образца одним холстом на основе углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m. На рис. 8.15 показан общий вид образцов VII серии в прессе до и после испытаний. В таблице 8.7. приведены для сравнения результаты испытаний на перекося эталонных образцов и образцов VII серии, усиленных с двух сторон одним холстом из углеволокна.

Анализ результатов испытаний кирпичной кладки усиленной с помощью холстов из углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m. позволяет отметить, что прочность кладки из ячеистобетонных блоков, усиленной холстами из углеволокнистой ткани, при действии сдвигающих усилий (перекося) в 1,67 раза выше, чем неусиленной кладки. Предложенная схема усиления может быть использована при разработке проектов усиления стен кирпичных зданий, возведенных в сейсмических районах.

а)



б)



**Рис. 8.15. Общий вид в прессе до испытаний (а) и характер разрушения после испытаний (б) опытных образцов (VII серия)**

Табл. 8.7.

## Результаты испытаний опытных образцов I и VII серий на перекося

№ п.п.	№ серии	№ образца	Марка бетона	Тип раствора в шве	Тип усиления	Марка образца	Размеры образца b*d*h, (мм)	N <sub>разр.</sub> (Н)	R <sub>срез.</sub> (МПа)	R <sub>срез.ср.</sub> (МПа)	Относит. прочность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	I	1	M200	M75	-		1030*1040*250	185710	0,51	<b>0,47</b>	<b>100%</b>
2		2						185710	0,43		
3		3						-	-		
4	VII	1	M200	M75	1 холст с двух сторон		1030*1040*250	200000	0,55	<b>0,78</b>	<b>167%</b>
5		2						314280	0,86		
6		3						342860	0,94		

\* - величина предела прочности кладки при срезе по неперевязанному сечению (столбец 10) R<sub>срез</sub> определялась по формуле:

$$R_{срез} = \frac{N_{разр.}}{1.4 \times a \times d}$$

где R<sub>срез</sub> - предел прочности кладки при срезе по перевязанному шву, Па;

N<sub>разр.</sub> - расчетная величина горизонтальной силы, Н;

a - половина длины образца, м;

d - толщина образца, м

## **9. Динамические испытания кирпичной стены, усиленной полосами из углеволокна**

### **9.1 Методика испытаний**

В соответствии с программой исследований на виброплатформе маятникового типа (рис 9.1) были проведены динамические испытания фрагмента кирпичной стены с оконным проемом, выполненной в натуральную величину. Стена была усилена холстами из углеволокнистой ткани по схеме, показанной на рис. 9.3.

Данный этап испытаний проводится для выявления особенностей работы усиленных кирпичных стеновых конструкций при динамическом нагружении.

Режим нагружения при динамическом воздействии выбирается исходя из следующих основных условий:

- как показывает практика, период колебаний в зависимости от расстояния до эпицентра интенсивности землетрясения изменяется в пределах от 0,1 до 1,5 с. При этом, продолжительность колебательного процесса находится в пределах от 10 до 50 с;

- частотный диапазон колебаний, наиболее опасных для существующих зданий, находится в пределах от 3 до 10 Гц.

Принятые параметры длительности колебательного процесса дают возможность определить границы изменения циклов колебаний, количество которых достигает  $n = 7 - 500$  циклов.

Для возбуждения колебаний фрагмента стены с проемом был использован испытательный стенд, возбуждение колебаний которого осуществляется с помощью вибромашины ВИД-12, закрепленной на маятниковой платформе (рис. 9.1) За счет инерционной силы, развиваемой ВИД-12, обеспечивается тот или иной частотный спектр воздействий на испытательный стенд и определенный уровень амплитуды колебаний

платформы. Как показали испытания, максимальная величина амплитуды колебаний платформы при использовании ВИД-12 составляет 150 мм.



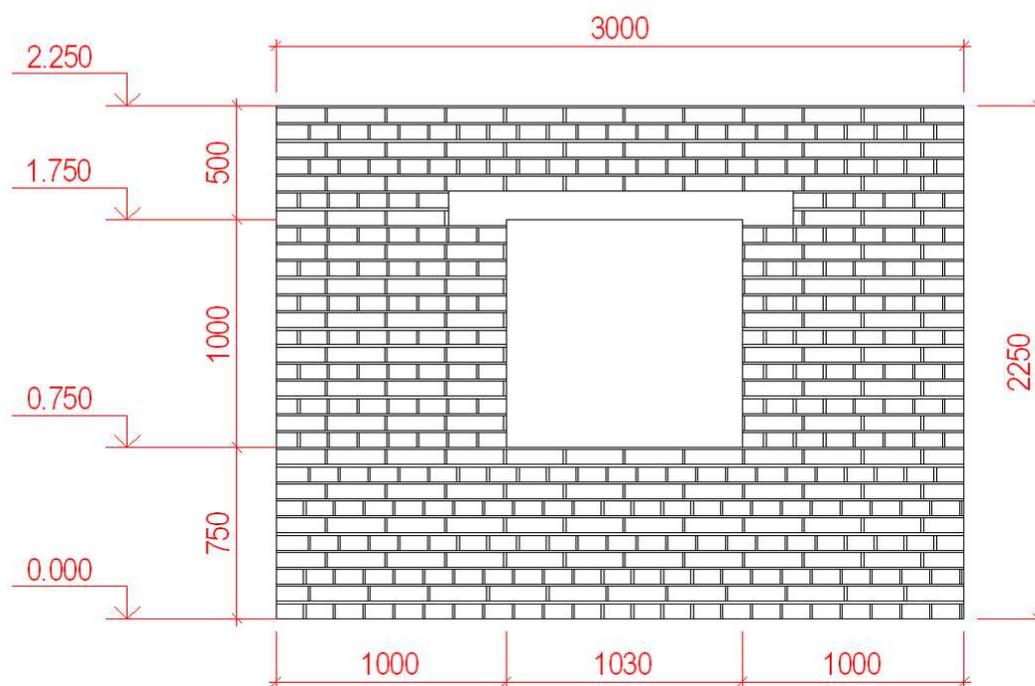
**Рис. 9.1. Испытательный стенд, разработанный в ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко**

## 9.2 Описание опытных образцов

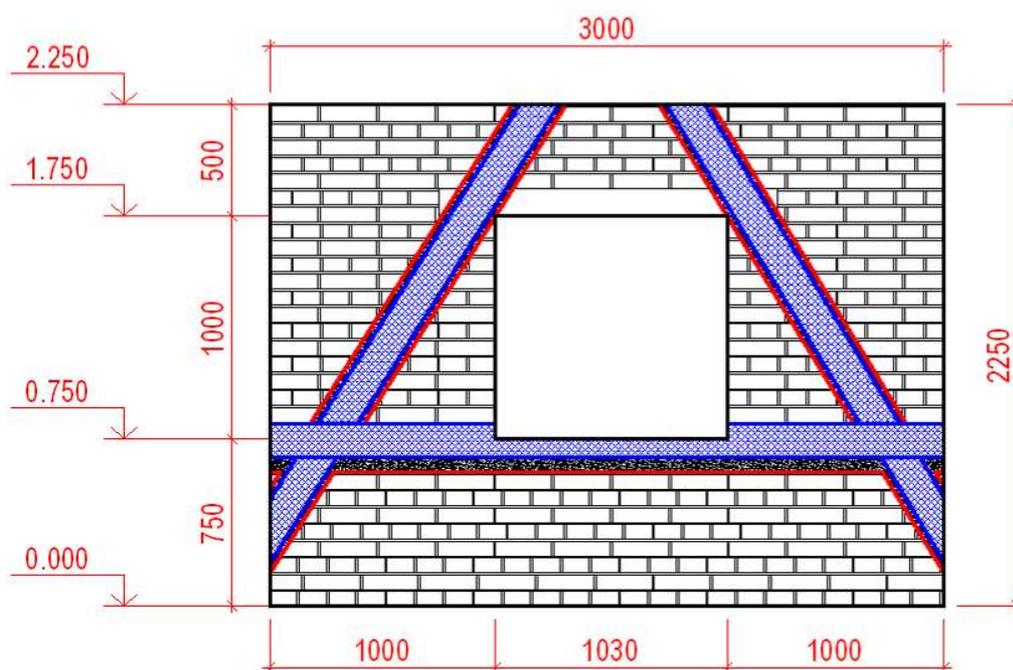
Для проведения динамических испытаний были изготовлены два фрагмента кирпичных простенков, выполненных в натуральную величину.

**I серия** – эталонный образец (рис. 9.2) – представляет собой кирпичную стену длиной 3 м высотой 2,25 м толщиной 0,25 м. Материал стен – керамический кирпич марки М200 на цементном растворе марки М75. Расчетное сопротивление кладки при указанных прочностных параметрах кирпича и раствора по данным СНиП II-22-81  $R=25 \text{ кг/см}^2$ .

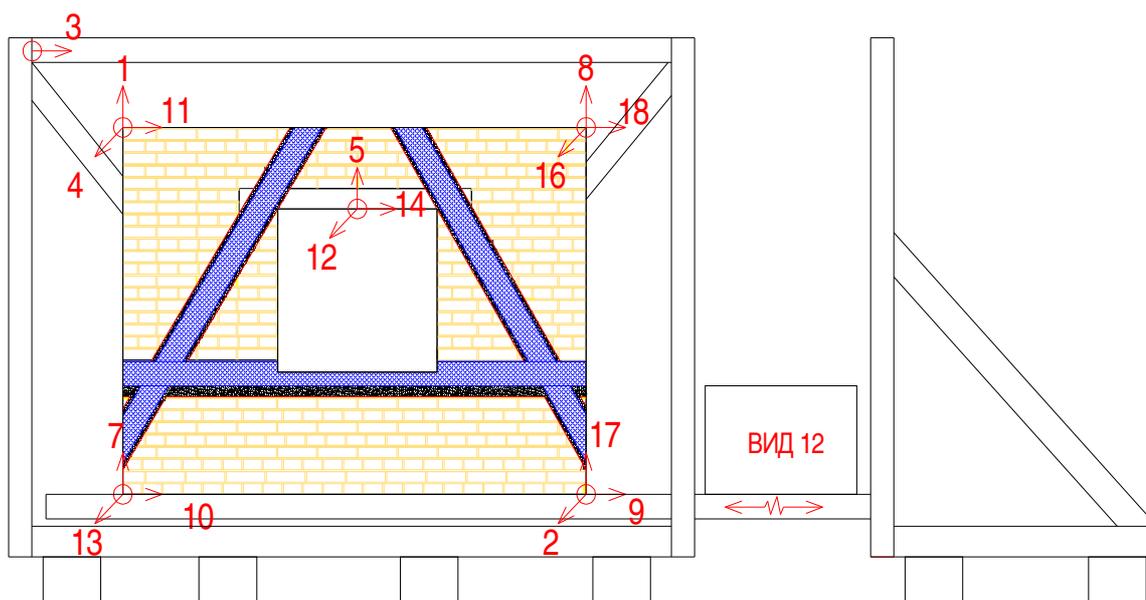
**II серия** – фрагмент кирпичной стены, усиленный с двух сторон холстом из углеволокнистой ткани марки MBRACE FIB CF230/4900.200g/5.100m. Схема усиления стены показана на рис. 9.3.



**Рис. 9.2. Конструкции образцов I серии для динамических испытаний**



**Рис. 9.3. Конструкции образцов II серии для динамических испытаний**



**Рис. 9.4. Схема проведения испытаний и расстановки датчиков**



**Рис. 9.5. Схема проведения испытаний и расстановки датчиков**

### 9.3 Результаты динамических испытаний

На рис. 9.4 показана схема расположения датчиков акселерометров установленных на испытываемый образец.

Анализ результатов динамических испытаний кирпичной стены (см рис. 9.5) позволяет отметить следующее:

1. В соответствии с программой экспериментальных исследований, на виброплатформе Центра исследований сейсмостойкости сооружений были проведены динамические испытания фрагмента кирпичной стены выполненные в натуральную величину. При динамических испытаниях моделировались нагрузки, соответствующие сейсмическим воздействиям 7-9 баллов.

2. В процессе испытаний ускорения виброплатформы по данным акселерометров установленных на ней, изменялось в интервале от 0,25 до 12,58 м/с<sup>2</sup>. Схема расстановки датчиков – акселерометров на конструкциях фасадной системы приведена на рис. 9.4. Частоты колебаний кирпичной стены изменялись в интервале от 1,13-2,92 Гц, амплитуды колебаний системы – от 0,88 до 59,67 мм. При этом ускорения в разных точках конструкции изменялась в интервале от 0,018-4,18 м/с<sup>2</sup>.

3. Во время испытаний в момент, когда собственные частоты колебаний кирпичной стены совпали с вынужденными частотами колебаний виброплатформы система вошла в резонанс. Во время испытаний эксплуатационная надежность стены не была нарушена. При этом ускорения на уровне платформы 4,67 м/с<sup>2</sup>.

4. Конструкция кирпичных стен, усиленных холстами из углеволокна, может быть рекомендована для применения в районах с сейсмичностью до 9 баллов при выполнении требований фирмы-изготовителя в части соблюдения технологии производства работ по монтажу элементов усиления.

5. При применении конструкций стен усиленных холстами из углеволокна в сейсмических районах при балльности площадки до 9 баллов должны соблюдаться требования нормативных документов в части обеспечения долговечности и огнестойкости усиленных конструкций.

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	1,66	0.02
2	1,39	3,02	0,029
3	1,55	4,8	0,119
4	1,86	6,17	0,18
5	2,06	7,5	0,159
6	1,2	2,09	0,038
7	1,4	3,64	0,062
8	1,7	6,16	0,096
9	1,81	6,64	0,191
10	1,96	0,91	0,109
11	2,16	1,1	0,324
12	2,39	1,34	0,302
13	2,58	1,58	0,39
14	2,78	1,66	0,551
15	2,87	1,58	0,5
16	2,92	1,98	0,936
17			

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	3,5	0,018
2	1,39	8,08	0,026
3	1,55	28,7	0,059
4	1,86	27,7	0,07
5	2,06	18,74	0,074
6	1,2	5,85	0,022
7	1,4	9,17	0,034
8	1,7	59,67	0,12
9	1,81	32,1	0,083
10	1,96	2,66	0,09
11	2,16	1,96	0,112
12	2,39	1,52	0,191
13	2,58	1,37	0,281
14	2,78	1,5	0,368
15	2,87	0,88	0,761
16	2,92	0,92	1,362
17			

Рис. 9.6. Параметры динамического нагружения по датчикам №1,2

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	1,67	0,019
2	1,39	3,07	0,059
3	1,55	5,28	0,135
4	1,86	7,8	0,217
5	2,06	11,68	0,299
6	1,2	2,33	0,071
7	1,4	3,79	0,117
8	1,7	7,73	0,172
9	1,81	8,67	0,191
10	1,96	1,13	0,205
11	2,16	1,54	0,28
12	2,39	2,26	0,7
13	2,58	2,43	0,784
14	2,78	3,53	1,432
15	2,87	4,13	1,13
16	2,92	4,9	2,23
17			

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	1,86	0,025
2	1,39	3,72	0,049
3	1,55	5,44	0,109
4	1,86	7,9	0,12
5	2,06	11,19	0,149
6	1,2	2,58	0,041
7	1,4	3,82	0,069
8	1,7	8,74	0,138
9	1,81	8,81	0,171
10	1,96	0,97	0,148
11	2,16	1,44	0,266
12	2,39	3,85	0,584
13	2,58	2,56	0,585
14	2,78	1,69	0,777
15	2,87	3,24	0,94
16	2,92	2,81	1,581
17			

Рис. 9.7. Параметры динамического нагружения по датчикам №3,4

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	0,99	0,028
2	1,39	1,84	0,038
3	1,55	3,17	0,097
4	1,86	4,55	0,087
5	2,06	7,24	0,106
6	1,2	1,4	0,04
7	1,4	2,26	0,049
8	1,7	5,29	0,088
9	1,81	4,95	0,088
10	1,96	0,65	0,083
11	2,16	0,93	0,176
12	2,39	1,75	0,219
13	2,58	1,7	0,262
14	2,78	2,82	0,486
15	2,87	3,37	0,893
16	2,92	4,5	1,901
17			

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	2,04	0,019
2	1,39	3,62	0,025
3	1,55	5,81	0,115
4	1,86	7,75	0,114
5	2,06	9,5	0,152
6	1,2	2,65	0,031
7	1,4	4,61	0,056
8	1,7	7,41	0,097
9	1,81	8,71	0,076
10	1,96	1,1	0,115
11	2,16	1,3	0,313
12	2,39	1,54	0,312
13	2,58	1,91	0,354
14	2,78	2,16	0,474
15	2,87	2,34	0,489
16	2,92	2,65	0,874
17			

Рис. 9.8. Параметры динамического нагружения по датчикам №5,7

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	3,78	0,051
2	1,39	7,02	0,089
3	1,55	11,57	0,261
4	1,86	15,61	0,259
5	2,06	23,99	0,372
6	1,2	5,18	0,081
7	1,4	8,68	0,132
8	1,7	16,29	0,255
9	1,81	17,12	0,266
10	1,96	2,12	0,254
11	2,16	2,98	0,497
12	2,39	4,96	0,725
13	2,58	4,95	0,736
14	2,78	7,21	1,57
15	2,87	8,46	1,818
16	2,92	10,55	4,188
17			

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	8,99	0,025
2	1,39	15,7	0,039
3	1,55	26,99	0,077
4	1,86	33,64	0,085
5	2,06	48,26	0,133
6	1,2	12,22	0,038
7	1,4	19,6	0,047
8	1,7	35,01	0,156
9	1,81	37,76	0,095
10	1,96	4,62	0,131
11	2,16	5,96	0,182
12	2,39	8,89	0,427
13	2,58	9,49	0,398
14	2,78	13,09	0,502
15	2,87	15,05	0,808
16	2,92	18,09	1,258
17			

Рис. 9.9. Параметры динамического нагружения по датчикам №8,9

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	8,47	0,23
2	1,39	14,2	0,035
3	1,55	23,4	0,074
4	1,86	32,25	0,083
5	2,06	45,77	0,126
6	1,2	11,43	0,035
7	1,4	18,25	0,041
8	1,7	29,86	0,158
9	1,81	35,54	0,077
10	1,96	4,5	0,113
11	2,16	5,0	0,177
12	2,39	8,26	0,395
13	2,58	8,96	0,357
14	2,78	12,37	0,546
15	2,87	14,44	0,843
16	2,92	17,32	1,308
17			

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	4,93	0,023
2	1,39	8,35	0,035
3	1,55	13,66	0,128
4	1,86	18,25	0,122
5	2,06	25,33	0,144
6	1,2	6,88	0,052
7	1,4	10,76	0,076
8	1,7	16,42	0,123
9	1,81	19,53	0,099
10	1,96	2,5	0,146
11	2,16	3,15	0,301
12	2,39	4,56	0,473
13	2,58	4,8	0,348
14	2,78	7,09	0,73
15	2,87	7,92	0,859
16	2,92	9,58	1,28
17			

Рис. 9.10. Параметры динамического нагружения по датчикам №10,11

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	1,79	0,029
2	1,39	2,48	0,057
3	1,55	8,77	0,064
4	1,86	14,52	0,083
5	2,06	13,69	0,103
6	1,2	2,29	0,045
7	1,4	3,85	0,069
8	1,7	25,09	0,131
9	1,81	16,34	0,102
10	1,96	1,54	0,092
11	2,16	1,54	0,164
12	2,39	3,04	0,321
13	2,58	1,96	0,312
14	2,78	1,72	0,556
15	2,87	1,60	0,965
16	2,92	14,0	1,717
17			

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	2,05	0,016
2	1,39	3,14	0,023
3	1,55	0,49	0,049
4	1,86	13,16	0,05
5	2,06	14,42	0,065
6	1,2	2,84	0,18
7	1,4	4,21	0,035
8	1,7	20,2	0,068
9	1,81	11,72	0,056
10	1,96	1,5	0,048
11	2,16	1,77	0,082
12	2,39	3,71	0,221
13	2,58	3,22	0,312
14	2,78	2,13	0,503
15	2,87	3,46	0,561
16	2,92	3,15	0,794
17			

Рис. 9.11. Параметры динамического нагружения по датчикам №12,13

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	5,61	0,24
2	1,39	9,47	0,037
3	1,55	15,57	0,117
4	1,86	20,6	0,103
5	2,06	28,77	0,118
6	1,2	7,76	0,048
7	1,4	12,25	0,071
8	1,7	19,27	0,128
9	1,81	22,52	0,088
10	1,96	2,82	0,125
11	2,16	3,55	0,26
12	2,39	5,06	0,540
13	2,58	5,50	0,415
14	2,78	8,0	0,743
15	2,87	9,15	0,995
16	2,92	11,1	1,47
17			

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	1,62	0,072
2	1,39	3,36	0,085
3	1,55	13,3	0,3
4	1,86	16,42	0,352
5	2,06	12,62	0,466
6	1,2	2,38	0,084
7	1,4	3,84	0,124
8	1,7	32,26	0,427
9	1,81	18,49	0,402
10	1,96	1,62	0,44
11	2,16	1,41	0,575
12	2,39	2,18	0,937
13	2,58	1,43	1,329
14	2,78	1,76	2,470
15	2,87	1,47	3,08
16	2,92	2,06	4,16
17			

Рис. 9.12. Параметры динамического нагружения по датчикам №14,16

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	3,4	0,033
2	1,39	6,73	0,056
3	1,55	10,95	0,156
4	1,86	13,54	0,183
5	2,06	20,91	0,226
6	1,2	4,56	0,063
7	1,4	07,66	0,106
8	1,7	15,82	0,13
9	1,81	15,54	0,134
10	1,96	1,93	0,2
11	2,16	2,58	0,321
12	2,39	3,62	0,497
13	2,58	4,50	0,376
14	2,78	6,5	0,709
15	2,87	7,77	1,12
16	2,92	9,73	1,87
17			

№	f, Гц	A, мм	a, 9,81(g) м/с <sup>2</sup>
1	1,13	5,03	0,046
2	1,39	8,57	0,065
3	1,55	13,79	0,18
4	1,86	18,72	0,205
5	2,06	25,94	0,272
6	1,2	07,14	0,066
7	1,4	11,14	0,12
8	1,7	17,13	0,222
9	1,81	20,31	0,217
10	1,96	2,54	0,231
11	2,16	3,21	0,408
12	2,39	4,52	0,707
13	2,58	4,96	0,714
14	2,78	7,31	1,399
15	2,87	8,41	1,803
16	2,92	10,96	3,33
17			

Рис. 9.13. Параметры динамического нагружения по датчикам №17,18

## **10. Экспериментальные исследования прочности и деформативности железобетонных колонн, усиленных бандажами из углеволокнистой ткани**

### **10.1. Описание опытных образцов**

Для оценки влияния эффекта усиления железобетонных колонн путем внешнего их армирования композиционными материалами (из углеволокнистой ткани) на их прочность и деформативность была разработана программа исследований, включающая в себя испытания трёх серий образцов колонн по 3÷10 образцов-близнецов в каждой серии. Ниже приведено описание опытных образцов железобетонных колонн каждой серии.

**Эталонные образцы** – фрагменты железобетонных колонн без усиления (рис.9.1а). Результаты испытаний данной серии опытных образцов позволили оценить эффективность предложенных в диссертационной работе способов усиления центрально- и внецентренно сжатых колонн с помощью углеволокон. Эталонные (неусиленные) образцы изготавливались в одно время и из той же бетонной смеси, что и усиленные образцы колонн.

**I серия образцов** – фрагменты железобетонных колонн, усиленных путем их оборачивания в два слоя углеволокнистой тканью (рис.10.1б).

**II серия образцов** – фрагменты железобетонных колонн, усиленных путем наклейки на две противоположные боковые вертикальные грани колонн полос из углеволокнистой ткани шириной 130 мм (в один слой) и поперечных полос из углеволокнистой ткани шириной 50 мм (в два слоя), расположенных по высоте образцов с шагом 241 мм и 284 мм (рис.10.1в).

**III серия образцов** – фрагменты железобетонных колонн, усиленных путем наклейки углеволокнистой ткани в один слой на бетонную поверхность с трех сторон: одна сторона оклеена целиком, две смежных – на 120 мм (рис.10.1г). Данная схема усиления позволяет исключить появление

трещин в растянутой грани колонны при внецентренном приложении нагрузки.

Для проведения эксперимента было изготовлено двадцать три опытных образца железобетонных колонн сечением 250×250 мм и высотой 1250 мм (рис.10.1). Образцы были изготовлены на ДСК-2 (одиннадцать колонн, выполнены из тяжёлого бетона) и непосредственно в экспериментальном корпусе ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (двенадцать колонн, выполнены из полимербетона). Геометрические параметры и армирование железобетонных колонн аналогичны в обеих партиях образцов.

Схема армирования опытных образцов железобетонных колонн с обозначением арматурных стержней и указанием геометрических размеров приведена на рис.10.2. Каркас железобетонных колонн выполнялся из арматурных стержней  $\varnothing$  16 мм класса А-III (рабочая арматура) и из арматурных стержней  $\varnothing$  8 мм стали класса А-III (распределительная арматура), соединённых вязальной проволокой Вр-I.

Формой для опытных образцов, изготовленных в условиях лабораторного корпуса ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, служила деревянная опалубка, выполненная по заданным геометрическим размерам. Вязаные каркасы устанавливались в деревянную опалубку и заливались бетонной смесью. Защитный слой бетона при заливке обеспечивался фиксаторами, установленными на арматуру каркаса.

Прочность бетона опытных образцов колонн была установлена по результатам испытаний на сжатие кубов 10×10×10 см, а также с использованием неразрушающих методов контроля прочности бетона: методом отрыва со скалыванием (рис.10.4) и при помощи молотка Шмидта, основанном на методе упругого отскока, являющегося косвенной характеристикой прочности бетона на сжатие (рис.10.5).

Испытания контрольных образцов бетона на сжатие производились в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». По результатам проведенных испытаний контрольных образцов бетона на сжатие бетон образцов соответствует классу В35.

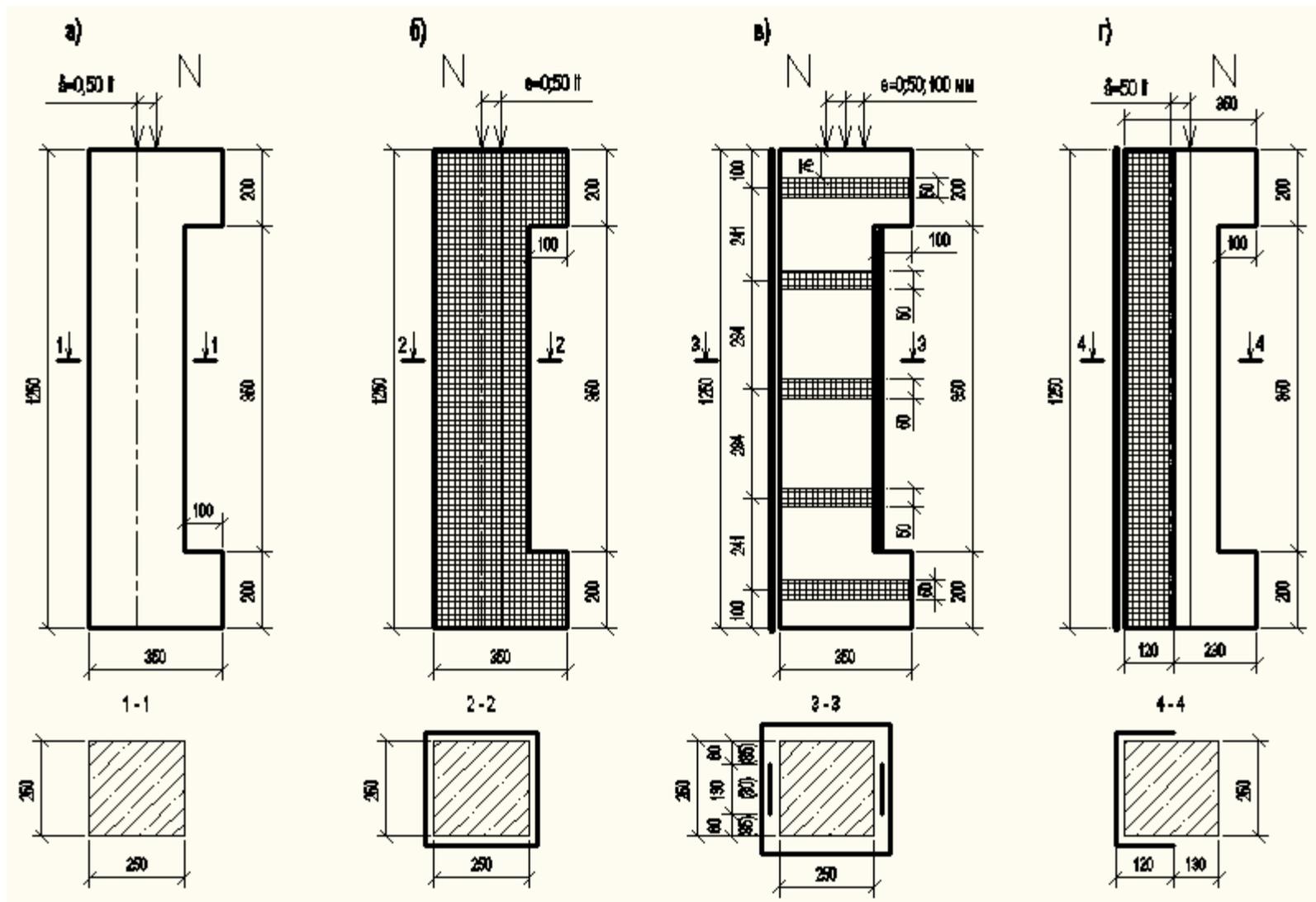


Рис. 10.1. Общий вид опытных образцов железобетонных колонн: эталонные образцы (а) и образцы I-III серий (б,в,г)

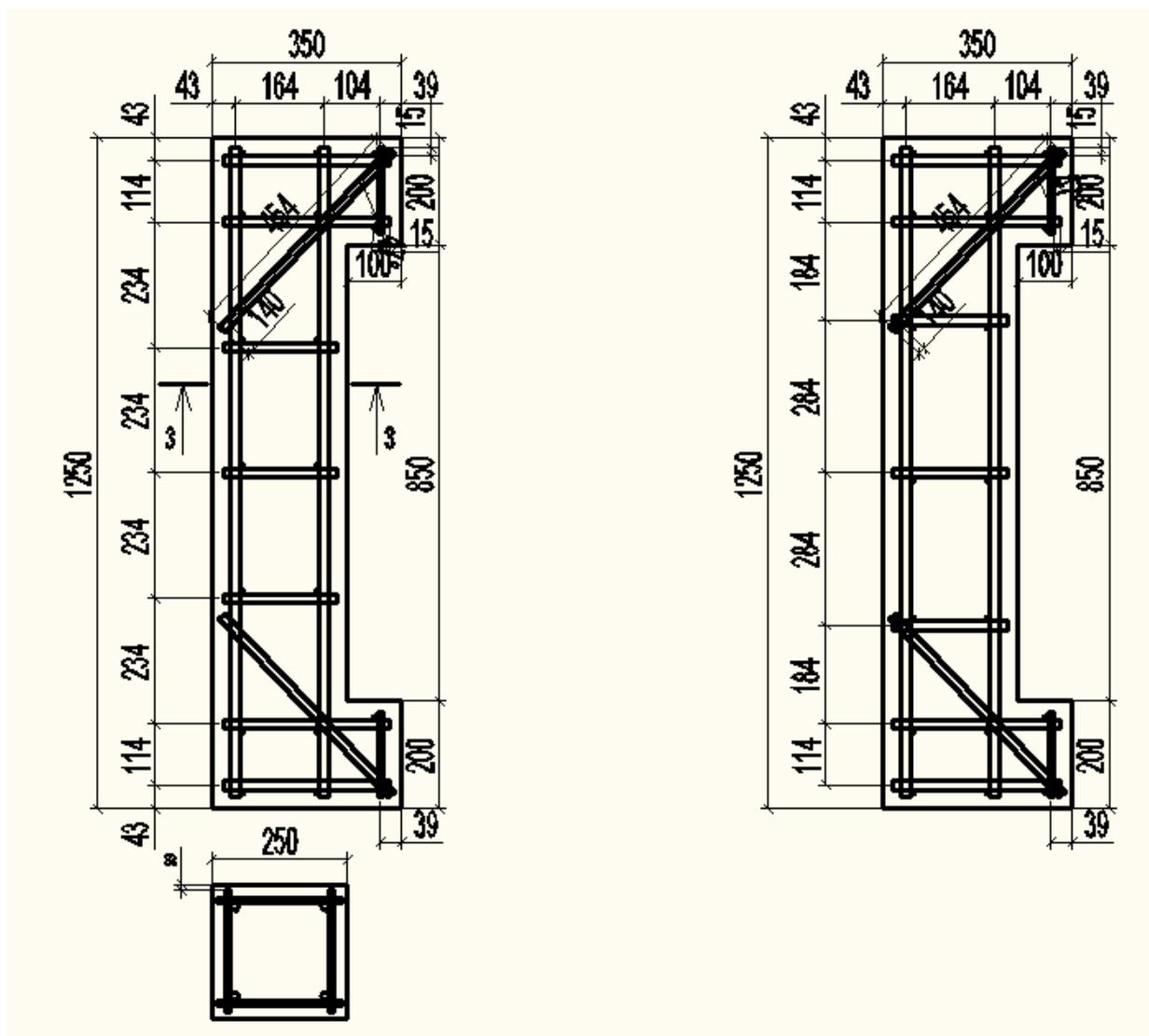


Рис. 10.2. Схема армирования опытных образцов железобетонных колонн

а)



б)



**Рис.10.3. Вид установки ПБЛР-5 до испытаний (а). Конусообразная воронка в бетоне после проведения испытаний (б)**

a)



б)



**Рис.10.4. Определение прочности бетона молотком Шмидта**

## **10.2. Результаты испытаний экспериментальных образцов фрагментов железобетонных колонн, усиленных угле- и стекловолокном и их анализ**

### **10.2.1. Эталонные образцы**

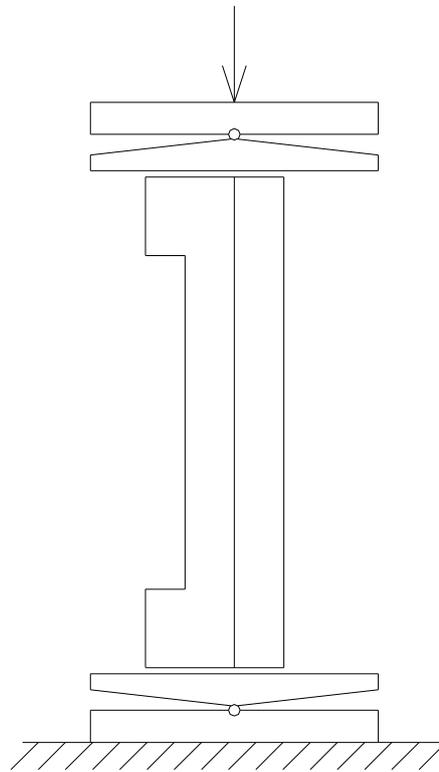
В соответствии с программой работ было испытано две группы эталонных образцов фрагментов колонн:

- 1-я группа – эталонные (неусиленные) образцы, изготовленные из тяжёлого бетона на заводе железобетонных конструкций ДСК-2.

- 2-я группа – эталонные (неусиленные) образцы, изготовленные из полимербетона в лабораторных условиях ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко.

На рис.10.5 показана схема испытаний железобетонных колонн. На фото рис. 10.6–10.8 показаны общие виды эталонных образцов 1-й и 2-й групп до и после испытаний. В таблице 10.1 приведены результаты испытаний эталонных образцов на центральное и внецентренное сжатие.

На основе анализа результатов испытаний эталонных образцов установлено следующее.

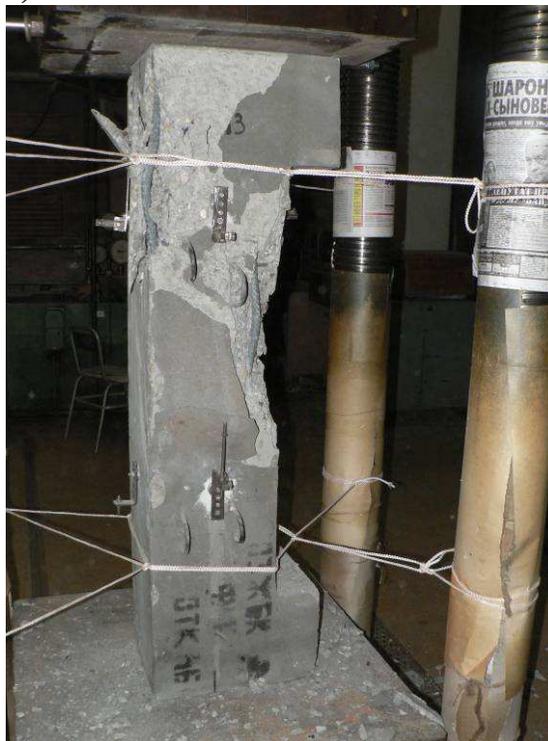


**Рис.10.5. Схема испытаний образцов железобетонных колонн**

а)



б)



в)



Рис. 10.6. Общий вид эталонного образца марки Э<sub>к</sub>1-1до (а) и после (б, в) испытаний

а)



б)



**Рис. 10.7. Общий вид эталонного образца марки Э<sub>к</sub>1-3, изготовленного из тяжёлого бетона, до и после испытаний (образец устанавливался с эксцентриситетом  $e=50\text{мм}$ )**

а)



б)



в)



**Рис. 10.8. Общий вид эталонного образца марки Э<sub>к</sub>2-1, изготовленного из полимербетона, до (а) и после (б, в) испытаний**

**Результаты испытаний эталонных образцов колонн**

Таблица 10.1

Марка образца	Нормативная призмная прочность бетона, $R_{np}^n$ (МПа)	Экспериментальная разрушающая нагрузка, $N_{разр}$ (кН)	Предел прочности при сжатии, $R_{кол} = \frac{N_{разр}}{A_{кол}}$ (МПа)	Эксцентриситет приложения нагрузки, $e_x$ (см)	$\frac{e_x}{h_0}$	$\xi_R / \xi$	Теоретическая несущая способность, $N_T$ (кН)	$\frac{N_{разр}}{N_T}$	$\left( \frac{N_{разр}}{N_T} \right)_{cp}$	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Э <sub>к</sub> 1-1	24.8	1 776	28.4	0.63	0.03	0.502/1.034	1 865	0.95	<b>0.99</b>	<b>100</b>
Э <sub>к</sub> 1-2	24.8	1 700	27.2	0.54	0.02	0.502/0.995	1 865	0.91		
Э <sub>к</sub> 1-3	48.4	1 800	28.8	6.79	0.30	0.325/0.608	1 798	1.00		
Э <sub>к</sub> 2-1	39.9	2 980	47.6	0.30	0.01	0.385/1.155	2 810	1.06		
Э <sub>к</sub> 2-2	39.9	2 900	46.4	0.24	0.01	0.385/1.125	2 810	1.03		

### 10.2.2. Опытные образцы I серии

В соответствии с программой работ было испытаны опытные образцы железобетонных колонн, усиленные углеволокнистой тканью путём их оборачивания в два слоя – рис. 10.9 (марка  $K_{yt-1-i}$ ). Количество образцов - 3. При этом, на двух образцах центровка геометрических осей образцов и прессы осуществлялась таким образом, чтобы их оси совпадали ( $e=0\text{см}$ ). На 3-м образце эксцентриситет приложения нагрузки к опытному образцу соответствовал  $e=5\text{см}$ ;

При приклейке ткани из углеволокна её рабочие волокна ориентировались поперёк оси приложения нагрузки.

В таблице 10.2 приведены для сравнения результаты испытаний эталонных образцов и образцов I серии, усиленных углеволокнистой тканью.

На фото рис. 10.9, 10.10 показан общий вид опытных образцов I серии до и после испытаний.

На основе анализа результатов испытаний экспериментальных образцов I серии установлено следующее.

1. При усилении железобетонных колонн с помощью двухслойной обоймы из углеволокнистой ткани, обойма из углеволокна и бетон колонн работают совместно до нагрузки, составляющей  $(0.5\div 0.7)\times N_{\text{разр.}}$ .

При нагрузках, близких к разрушающим, -  $(0.8\div 0.9)\times N_{\text{разр}}$ , из-за отслоения ткани и её выпучивания имеет место превышение деформаций сжатия ткани по сравнению с деформациями сжатия бетона.

2. Увеличение несущей способности образцов I серии, усиленных тканью из углеволокна, путём двукратного их оборачивания, по сравнению с неусиленными образцами составило:

- при 3-м случае внецентренного сжатия (случай самых малых эксцентриситетов -  $e_0/h \leq 0.17$ ) – **53%** (в 1.5 раза);

- при 1-м случае внецентренного сжатия (большие эксцентриситеты –  $e_0/h \geq 0.32$ ) – **33%** (в 1.3 раза);

3. Характер выпучивания рабочей арматуры и разрыва тканей при разрушении образцов позволяет отметить, что при их усилении необходимо предусматривать оборачивание образцов в три слоя.



**Рис. 10.9. Общий вид опытных образцов фрагментов железобетонных колонн I серии в прессе до начала испытаний**

а)



б)



в)



**Рис. 10.10. Характер разрушения опытных образцов фрагментов железобетонных колонн I серии:  $K_{yT}1-1$ (а,б) и  $K_{yT}1-3$  (в)**

## Результаты испытаний опытных образцов колонн I серии

Таблица 10.2

Марка образца	Нормативная призменная прочность бетона, $R_{np}^n$ (МПа)	Экспериментальная разрушающая нагрузка, $N_{разр}$ (кН)	Предел прочности при сжатии, $R_{кол} = \frac{N_{разр}}{A_{кол}}$ (МПа)	Эксцентриситет приложения нагрузки, $e_x$ (см)	$\frac{e_x}{h_0}$	$\xi_R / \xi$	Теоретическая несущая способность, $N_T$ (кН)	$\frac{N_{разр}}{N_T}$	$\left( \frac{N_{разр}}{N_T} \right)_{cp}$	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
К <sub>уГ</sub> 1-1	33.4	3 750	60.0	0.11	0.005	0.434/1.649	2 400	1.56	<b>1.53</b>	<b>153</b>
К <sub>уГ</sub> 1-2	33.4	3 650	58.4	0.20	0.009	0.434/1.608	2 400	1.51		
К <sub>уГ</sub> 1-3	48.4	2 600	41.6	7.01	0.310	0.325/0.862	1 954	1.33	<b>1.33</b>	<b>133</b>

### 10.2.3. Опытные образцы II серии

В соответствии с программой работ было испытано две группы опытных образцов II серии, усиленных полосами из углеволокон по схеме, показанной на рис. 10.1в.

В соответствии с принятой схемой усиления наклейка композиционной ткани осуществлялась в следующей последовательности:

- на две боковые грани железобетонных колонн наклеивались в один слой вертикальные полосы из углеволоконистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m шириной 130 мм;

- после этого наклеивались бандажи из углеволоконистой шириной 50мм. Полосы из углеволокна наклеивались в два слоя. При этом бандажи располагались между осями хомутов арматурного каркаса колонны.

В таблице 10.3 приведены для сравнения результаты испытаний эталонных образцов и образцов II серии, усиленных углеволоконистой тканью.

На фото рис. 10.12, 10.13 показаны общие виды экспериментальных образцов II серии до и после испытаний.

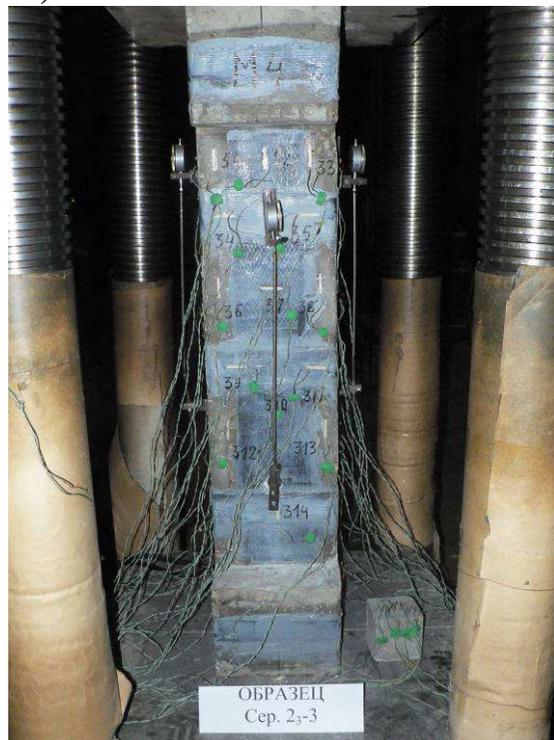
На основе анализа результатов испытаний образцов II серии установлено следующее.

1. При усилении опытных образцов колонн бандажами (полосами) из углеволоконистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m шириной 130 мм, наклеенных на две противоположные грани колонн и поперечных полос шириной 50 мм, наклеенных в два слоя для углеволоконистой, с шагом 241÷284 мм (в осях), увеличение несущей способности:

- для внецентренно сжатых колонн при  $e_0/h < 0.17$  (случай самых малых эксцентриситетов), составило **27%** (для бандажей из углеволокна);

- – при внецентренном сжатии колонн при  $0.32 > e_0/h > 0.17$  и  $e_0/h > 0.32$  увеличение несущей способности колонн **не установлено.**

a)



б)



в)



**Рис. 10.12. Общий вид опытных образцов фрагментов железобетонных колонн II серии, изготовленных из тяжёлого бетона, в прессе до начала испытаний**

a)



б)



в)



**Рис.10.13. Характер разрушения опытного образца фрагмента железобетонной колонны II, изготовленной из тяжёлого бетона**

### Результаты испытаний опытных образцов колонн II серии

Таблица 10.3

Марка образца	Нормативная призмная прочность бетона, $R_{np}^n$ (МПа)	Экспериментальная разрушающая нагрузка, $N_{разр}$ (кН)	Предел прочности при сжатии, $R_{кол} = \frac{N_{разр}}{A_{кол}}$ (МПа)	Эксцентриситет приложения нагрузки, $e_x$ (см)	$\frac{e_x}{h_0}$	$\xi_R / \xi$	Теоретическая несущая способность, $N_T$ (кН)	$\frac{N_{разр}}{N_T}$	$\left( \frac{N_{разр}}{N_T} \right)$	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
К <sub>уг</sub> 2-1	36.8	3 300	52.8	0.48	0.021	0.525/1.389	2 614	1.26	<b>1.27</b>	<b>127</b>
К <sub>уг</sub> 2-2	40.3	3 586	57.4	1.08	0.048	0.507/1.211	2 833	1.27		
К <sub>уг</sub> 2-3	50.9	2 600	41.6	7.28	0.324	0.456/0.816	2 650	0.98	<b>0.99</b>	<b>100</b>
К <sub>уг</sub> 2-4	36.8	2 300	36.8	7.57	0.336	0.525/0.963	2 307	1.00		
К <sub>уг</sub> 2-5	43.5	1 783	28.5	17.95	0.798	0.492/0.663	1 935	0.92	<b>0.90</b>	<b>90</b>
К <sub>уг</sub> 2-6	43.5	1 550	24.8	19.52	0.868	0.492/0.590	1 757	0.88		

#### 10.2.4. Опытные образцы III серии

Как уже отмечалось выше, фрагменты железобетонных колонн III серии усиливались путём наклейки углеволокнистой ткани M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m в один слой на бетонную поверхность по схеме на рис.10.1г. При наклейке ткани из углеволокна её рабочие волокна ориентировались вдоль оси приложения нагрузки. На фото рис. 10.14 - 10.16 показан общий вид опытных образцов колонн III серии до и после испытаний.

В таблице 10.4 приведены для сравнения результаты испытаний эталонных образцов и образцов III серии, усиленных углеволокнистой тканью.

На основе анализа результатов испытаний опытных образцов колонн III серии установлено следующее.

1. В процессе нагружения образцов при достижении разрушающей нагрузки (раздробление бетона сжатой зоны), имело место образование наклонных волосяных трещин в растянутой зоне (показано стрелками на рис. 10.16б). При этом углеволокно в растянутой зоне образцов практически полностью восприняло усилие растяжения и позволило исключить разрушение конструкции на более ранней стадии.

2. При усилении опытных образцов колонн путем наклейки углеволокнистой ткани марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m в один слой на бетонную поверхность с трех сторон (одна сторона оклеена целиком, две смежных – на 120 мм) увеличение несущей способности составило **18%**.

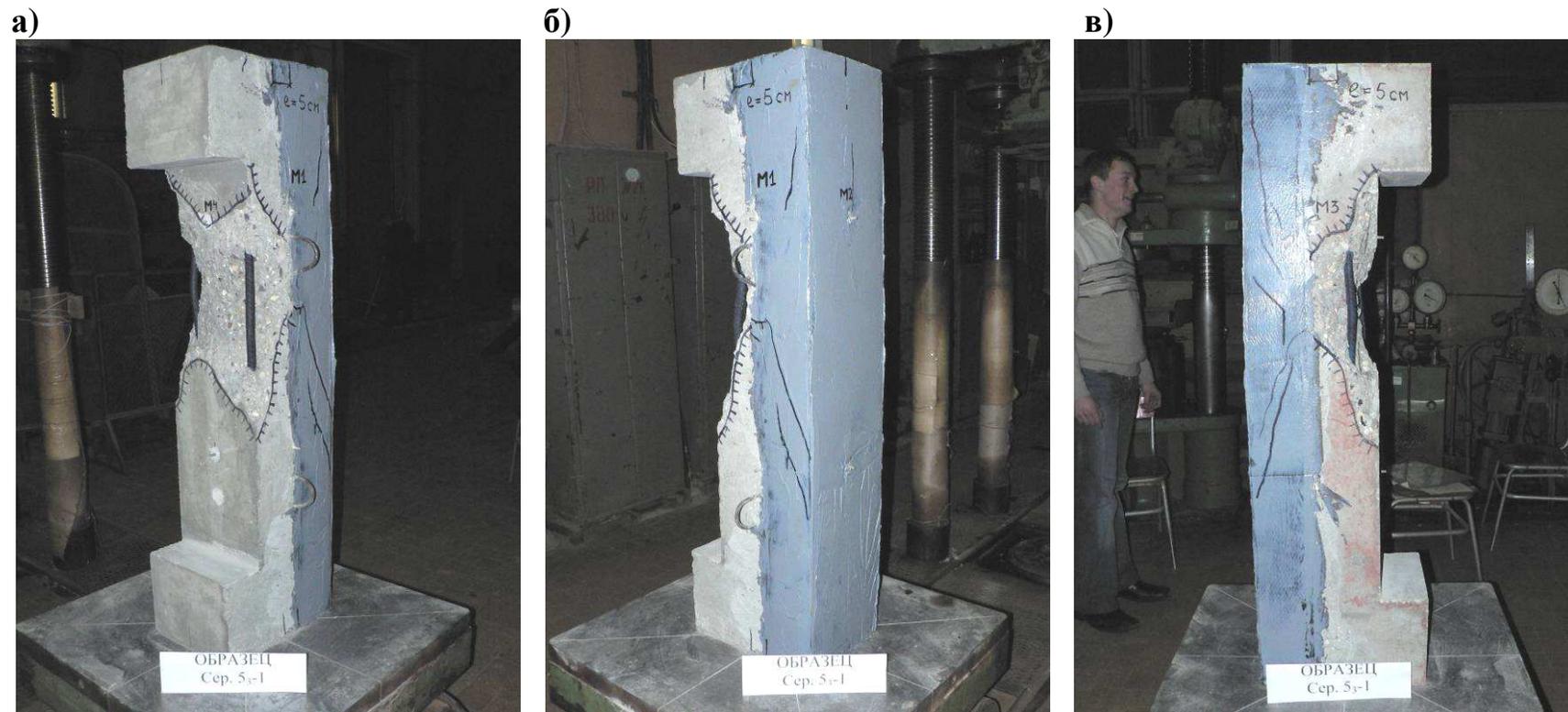
а)



б)

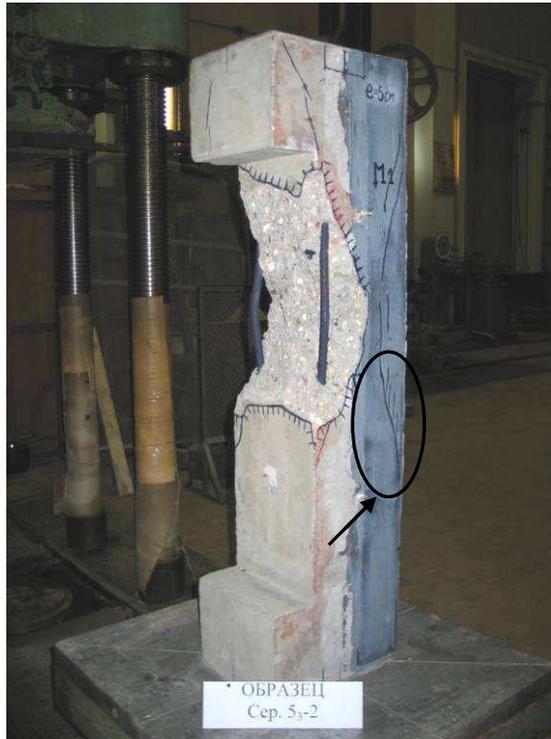


**Рис.10.14. Общий вид опытных образцов фрагментов железобетонных колонн III серии, изготовленных из тяжёлого бетона, до начала испытаний**

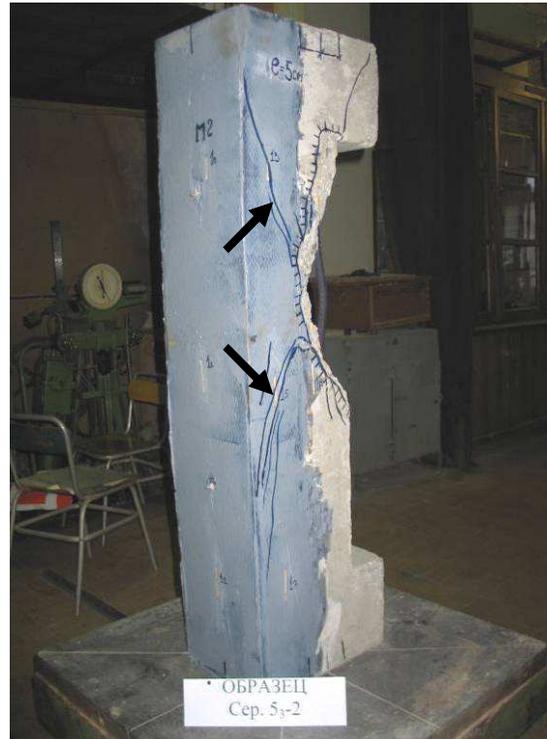


**Рис. 10.15. Характер разрушения опытного образца фрагмента железобетонной колонны III серии  $K_{yT}$  3-1, изготовленной из полимербетона**

a)



б)



в)



**Рис. 10.16. Характер разрушения опытного образца фрагмента железобетонной колонны III серии К<sub>уг</sub> 3-3**

### Результаты испытаний опытных образцов колонн III серии

Таблица 10.4

Марка образца	Нормативная призменная прочность бетона, $R_{np}$ (МПа)	Эксперимен- тальная разрушающая нагрузка, $N_{разр}$ (кН)	Предел прочности при сжатии, $R_{кол} = \frac{N_{разр}}{A_{кол}}$ (МПа)	Эксцентри- ситет приложения нагрузки, $e_x$ (см)	$\frac{e_x}{h_0}$	$\xi_R / \xi$	Теоретичес- кая несущая способность, $N_T$ (кН)	$\frac{N_{разр}}{N_T}$	$\left( \frac{N_{разр}}{N_T} \right)$	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
К <sub>уГ</sub> 3-1	49.1	2 300	36.8	7.46	0.332	0.465/0.749	1 910	1.20	<b>1.18</b>	<b>118</b>
К <sub>уГ</sub> 3-2	49.1	2 420	38.7	6.60	0.29	0.465/0.787	2 032	1.19		
К <sub>уГ</sub> 3-3	49.1	2 400	38.4	6.46	0.287	0.465/0.780	2 047	1.17		

## 11. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Выводы и рекомендации.

Анализ результатов экспериментальных исследований прочности и деформативности несущих и ограждающих конструкций, выполненных из различных материалов (ячеистобетонные блоки, керамический кирпич и железобетон), усиленных с помощью материалов фирмы BASF (ткань из углеволокна марки M-Brace FIB CF 230/4900.200g/5.100m и сухая бетонная смесь с металлической фиброй марки BASF Emaco S170 CFR), на действие статической и динамической нагрузок позволяет сделать выводы.

1. При усилении стен из ячеистобетонных блоков с помощью углеволокна или набетонки их несущая способность при действии горизонтальных усилий в плоскости стены (перекос) увеличивается:

– **в 1,48 раза** – усиление 3-мя холстами, приклеенными с одной стороны образца;

– **в 1,93 раза** – усиления 3-мя холстами, приклеенными с двух сторон образца;

– **в 1,34 раза** – усиление одним холстом с каждой стороны образца;

– **1,25 раза** – усиление путем набетонки толщиной 30мм из сухой смеси с металлическими фибрами с 2-х сторон образца. При односторонней набетонке из-за смещения центра тяжести сечения эффекта от усиления не установлено.

2. При усилении стен из ячеистобетонных блоков с помощью углеволокна их несущая способность при центральном и внецентренном сжатии увеличивается:

– **1,35 раза** (эксцентриситет  $e \leq 4\text{см}$ ) – усиление с помощью бандажей из углеволокнистой ткани;

– **1,05 раза** (эксцентриситет  $e \leq 6\text{см}$ ) – усиление 2-мя холстами (крестообразная схема) приклеенными с одной стороны образца.

3. При усилении балок (перемычек) из ячеистобетонных блоков с помощью углеволокна их несущая способность при изгибе увеличивается в

**3,47 раз** по сравнению с неусиленными образцами из блоков склеенных между собой с помощью клея марки «YTONG-эконом».

4. Несущая способность кирпичных столбов и простенков, усиленных бандажами из углеволокнистой ткани по схеме, приведенной в разделе 7, увеличивается по сравнению с неусиленными образцами в **1,33 – 2,6 раза** в зависимости от расстояний между бандажами по высоте образца.

5. При усилении кирпичных стен с помощью углеволокна или набетонки их несущая способность при действии горизонтальных усилий в плоскости стены (перекос) увеличивается:

– **1,74 раза** – усиление путем набетонки толщиной 40мм из сухой смеси с металлическими фибрами с одной стороны образца. При односторонней набетонке толщиной 2 см эффекта от усиления не установлено;

– **1,92 раза** – усиление путем набетонки толщиной 20мм из сухой смеси с металлическими фибрами с двух сторон образца;

– **2,13 раза** – усиление путем набетонки толщиной 40мм из сухой смеси с металлическими фибрами с двух сторон образца;

– **в 1,37 раза** – усиление одним холстом, приклеенным с одной стороны образца;

– **в 1,67 раза** – усиление одним холстом, приклеенным с двух сторон образца.

6. Несущая способность железобетонных колонн при центральном и внецентренном сжатии, усиленных углеволокнистой тканью по схемам, приведенным в разделе 10, увеличивается по сравнению с неусиленными образцами в **1,3 – 1,53 раза**.

7. При динамических испытаниях на виброплатформе фрагмента кирпичной стены с проемом, усиленной углеволокном по схеме приведенной в разделе 9, при нагрузках, соответствующих сейсмическим воздействиям интенсивностью 7-9 баллов трещин и повреждений в кирпичной кладке не установлено.

8. Предложенные методы усиления конструкций с использованием материалов фирмы BASF могут использоваться как при усилении существующих конструкций (в сочетании с другими методами усиления – инъекция трещин и т.д.), так и при проектировании новых конструкций с заданными по результатам настоящих испытаний характеристиками прочности.

9. Рекомендации по применению материалов фирмы «BASF» при проектировании и производстве работ по ремонту и усилению конструкций зданий, возводимых в обычных и сейсмических районах РФ (Проектирование, расчет, монтаж) представлены в Научно-техническом отчете (том 2).

СВИДЕТЕЛЬСТВО