



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «СТРОИТЕЛЬСТВО»,
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ИМЕНИ В. А. КУЧЕРЕНКО

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

по теме:

«Проведение экспериментальных исследований прочности и деформативности кладки стен из крупноформатных рядовых пустотноризованных камней POROMAX-200 и POROMAX-280 производства ОАО «Славянский кирпич»»

(по договору №347/24-10-15/СК от 08.04.2015 г.)

Москва 2015г.



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «СТРОИТЕЛЬСТВО»»,
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ИМЕНИ В. А. КУЧЕРЕНКО

УТВЕРЖДАЮ:

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

И.И. Ведяков

2015г.



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

по теме:

«Проведение экспериментальных исследований прочности и деформативности кладки стен из крупноформатных рядовых пустотно-поризованных камней POROMAX-200 и POROMAX-280 производства ОАО «Славянский кирпич»»

(по договору №347/24-10-15/СК от 08.04.2015 г.)

Руководитель ЦИСС,
К. Т. Н.

Заведующий лабораторией №24,
К. Т. Н.

Заведующий сектором,
К. Т. Н.

Заведующий сектором


В.И. Смирнов


А.В. Грановский


Б.К. Джамуев


А.И. Доттуев

Москва 2015г.

Список исполнителей

1. Грановский
Аркадий Вульфович – руководитель работы, кандидат технических наук, заведующий лабораторией
2. Джамуев
Булат Калсынович – отв. исполнитель по теме договора, кандидат технических наук, заведующий сектором
3. Доттуев
Артур Исмаилович – исполнитель по теме договора, заведующий сектором
4. Доттуев
Аскер Идрисович – исполнитель, старший инженер
5. Сайфулина
Наталия Юрьевна – отв. исполнитель от лаборатории №21, мл. научный сотрудник

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий научно-технический отчет составлен по результатам лабораторных исследований прочности и деформативности кирпичной кладки стен, выполненной из керамических крупноформатных пустотно-поризованных камней (далее по тексту – ККППК) POROMAX-200 (11.5 NF) и POROMAX-280 (12.3 NF) производства ОАО «Славянский кирпич», при различных силовых воздействиях.

Цели работы:

- оценка прочности ККППК при различных направлениях приложения нагрузки к камню;

- определение расчетного сопротивления кладки стен из ККППК при ее различных напряженных состояниях: сжатии (R), растяжении при изгибе по неперевязанному - R_{tb1} и перевязанному - R_{tb2} швам, осевом растяжении по неперевязанному сечению (нормальное сцепление - R_t) и т.д.;

- определение расчетного сопротивления кладки при сжатии (R) и изгибе ($R_{tb/tw}$) при ее армировании базальтовой сеткой марки «СБНПс ГРИДЕКС 50(25)» (маркировка по СТО 5952-022-98214589-2013*, табл. 5.1) фирмы «РЕКСТРОМ-К»;

Опытные образцы фрагментов стен были изготовлены из керамических крупноформатных пустотно-поризованных камней, доставленных в ЦНИИСК с ОАО «Славянский кирпич».

В соответствии с программой работ по договору были выполнены следующие испытания ККППК POROMAX-200 и POROMAX-280 и кладки из них:

- испытания фрагментов кладки стен на сжатие. Для испытаний были изготовлены образцы без армирования и с армированием базальтовой сеткой марки «СБНПс ГРИДЕКС 50(25)» (маркировка по СТО 5952-022-98214589-2013*, табл. 5.1) фирмы «РЕКСТРОМ-К»;

- испытания фрагментов кладки стен на растяжение при изгибе по перевязанному и неперевязанному швам, в т.ч. испытания образцов, армированных базальтовой сеткой;

- испытания фрагментов кладки стен из ККППК на осевое растяжение по неперевязанному сечению;

- испытания камня на сжатие с учетом приложения нагрузки перпендикулярно опорной, торцевой и продольной граням;

С учетом того, что по программе работ для кладки опытных образцов стен следовало применить раствор марки М100 по ГОСТ 28013-98, а прочность раствора из растворной смеси, поставленной с завода в мешках, колебалась в интервале от М50 до М150, были проведены дополнительные (сверх программы работ) испытания образцов кладки на растворной смеси с гарантированной маркой М100 по ГОСТ 28013-98.

Кроме этого, принимая во внимание, что изготавливаемый в ОАО «Славянский кирпич» керамический крупноформатный камень пустотностью 52-54 % находит все более широкое применение как в обычных, так и в сейсмоопасных регионах России, в данной работе для возможности получения большей по объему информации по прочности кладки при различных силовых воздействиях выполнен обзор с анализом отечественных и зарубежных исследований. Анализ выполненных исследований позволил оценить надежность и достоверность результатов, полученных при проведении настоящих испытаний.

Все экспериментальные исследования проводились в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. В случае их отсутствия (испытания на изгиб, вырыв сетки и т.д.) делались ссылки на соответствующие зарубежные нормы.

ГЛАВА 1. ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЧНОСТИ КЛАДКИ СТЕН ИЗ КРУПНОФОРМАТНОГО КЕРАМИЧЕСКОГО ПУСТОТНОГО КАМНЯ, ВЫПОЛНЕННЫХ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ.

Требования к теплозащите помещений зданий, установленные в СП 50.13330.2012 [1], потребовали от строительной индустрии – строительной науки и промышленности – создания новых материалов, в т.ч. каменных конструкций, теплоизоляционные характеристики которых обеспечивали бы нормируемое СП [1] сопротивление теплопередачи стен. В связи с этим основным из направлений по повышению эффективности каменных конструкций является применение для кладки стен пустотелых керамических камней с высокой пустотностью, отвечающих требованиям действующих норм как с точки зрения обеспечения требуемой прочности и деформативности кладки, так и ее теплотехнических параметров.

Как отмечается в [2] «в технически развитых странах 60-80 % от общего производства керамических стеновых материалов представлено пустотными изделиями со средней плотностью от 600 до 1000 кг/м³, прочностью на сжатие от 4 до 28 МПа и теплопроводностью от 0.19 Вт/(м⁰С)». Согласно ГОСТ 530-2012 [3], гармонизированному с европейским стандартом EN 771-1:2003, все каменные изделия разделены на 5 групп по теплотехническим параметрам в зависимости от класса по плотности камня (кирпича): от высокоэффективного ($\gamma \leq 800$ кг/м³, $\lambda \leq 0,2$ Вт/м⁰С) до малоэффективного ($\gamma \leq 1400$ кг/м³, $\lambda \leq 0,46$ Вт/м⁰С). Эффективность ККППК характеризуется не только степенью пустотности, но и количеством и формой пустот по отношению к направлению теплового потока в стене, прочностью ККППК и технологичностью ведения кладочных работ.

Ниже проанализированы работы по оценке прочности кладки стен из ККППК на сжатие.

В работе [2] проведены испытания на сжатие фрагментов кладки стен из ККППК торговой марки POROTHERM марок 2.1 НФ (серия 7), 10.7 НФ (серия 8) и 14.3 НФ (серия 9). В табл. 1.1 приведены характеристики материалов кладки опытных образцов. Для изготовления опытных образцов использовался камень пустотностью 54 %.

Характеристики элементов кладки опытных образцов

Таблица 1.1

№ серии	Маркировка образца	Геометрические размеры, мм	Материалы кладки		Марки материалов	
			Камень	Раствор	Камень	Раствор
7	7.1	252×384×970	2,1 НФ*	ц/п	М100	М150
	7.2	254×386×942	2,1 НФ*	ц/п		
8	8.1	246×377×1127	10,7 НФ*	ц/п	М75	М50
	8.2	246×380×1148	10,7 НФ*	ц/п		
9	9.1	246×505×1140	14,3 НФ*	ц/п	М75	М100
	9.2	247×504×1158	14,3 НФ*	ц/п		

В табл. 1.2 приведены результаты испытаний фрагментов стен на сжатие, выполненных под руководством д.т.н., проф. Соколова Б.С. [2]. Анализ результатов испытаний опытных образцов из ККППК на сжатие позволяет отметить следующее.

1. Временное сопротивление сжатию кладки из ККППК на растворе марки М150 и марки камня М100 (серия 7) составило $R_u = 8.34$ МПа. С учетом коэффициента перехода $K=2.0$ расчетное сопротивление кладки сжатию образцов 7-ой серии составляет $R=4.17$ МПа. По табл. 2 СП 15.13330.2012 [4] – $R=2.2$ МПа. С учетом указаний п. 6.1 СП [4] $R = 0.9 \times 2.2 = 1.98$ МПа.

2. Временное сопротивление сжатию кладки из ККППК на растворе М50 и марке камня М75 (серия 8) составило $R_u = 3.62$ МПа. С учетом коэффициента перехода $K=2.0$ расчетное сопротивление кладки сжатию (образцы 8-ой серии) составляет $R=1.81$ МПа. По табл.2 СП 15.13330.2012 [4] – $R = 1.3$ МПа. По указаниям п. 6.1 СП [4] – $R = 0.85 \times 1.3 = 1.1$ МПа.

Результаты испытаний фрагментов стен из ККППК

Таблица 1.2

№ серии	Прочность материалов кладки, (МПа)		Трещино-образующая нагрузка $N_{срс}$, (кН)	Разрушающая нагрузка $N_{разр}$, (кН)	Временное сопротивление кладки $R_{u,ср}$, (МПа)	Модуль упругости $E_0 = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$, (МПа)	Упругая характеристика $\alpha = \frac{E_0}{R_u}$
	Камень	Раствор					
1	2	3	4	5	6	7	8
7	10.5	15.0	390.0	812.5	8.34	8500	1019
8	7.5	5.9	255.0	338.0	3.62	5718	1600
9	9.0	10.0	255.0	309.0	2.49	3545	1460

3. Временное сопротивление сжатию кладки из ККППК на растворе М100 и марке камня М75 (серия 9) составило $R_u = 2.49$ МПа. С учетом коэффициента перехода $K = 2.0$ расчетное сопротивление кладки сжатию (образцы 9-ой серии) составляет $R=1.24$ МПа. По табл. 2 СП 15.13330.2012 [4] – $R=1.5$ МПа. С учетом указаний п. 6.1 СП [4] – $R = 0.9 \times 1.5 = 1.35$ МПа.

4. Значения расчетных сопротивлений сжатию кладки стен из ККППК при пустотности камня 54 %, полученных по результатам обработки экспериментальных данных, выше значений R , приведенных в СП [4] в $0,92 \div 1,92$ раза.

5. Момент образования первой трещины для кладки стен из ККППК по результатам испытаний составляет $(0.48 \div 0.82) \times N_{разр}$.

В Университете г. Кассель – Институт строительства [5] в рамках проекта «Повышенная безопасность и эффективные решения для строительства каменных конструкций (ESECMaSE)» выполнены экспериментальные исследования прочности кладки стен из камня POROTON HLZ-Plan-K-0.9-9DF (марка камня M12.5) на растворе M100 (по немецким нормам M10-10.0 Н/мм²). Размеры образцов - 726×175×1245 мм. На рис. 1.1 показан общий вид опытного образца с расположенными на нем измерительными приборами и момент его испытания в прессе.

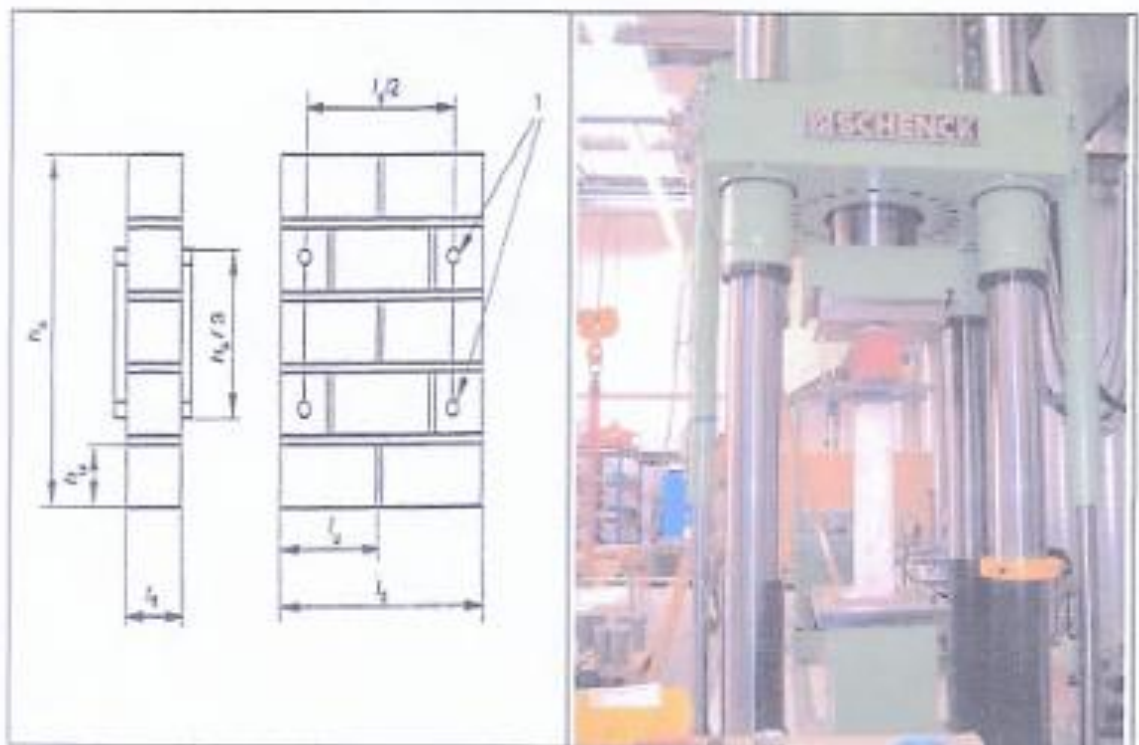


figure 1: Rilem-specimen [8]

figure 2: testing machine (lateral view)

Рис.1.1. Общий вид опытных образцов

По результатам испытаний фрагментов стен, представленных в работе [5], и оценки прочности кладки с учетом требований российских норм можно отметить следующее.

1. Среднее (по результатам испытаний 3-х образцов) значение временного сопротивления сжатию кладки стен составило $R_u = 6,7 \text{ Н/мм}^2$ (6,7 МПа). С учетом коэффициента перехода $K=2,0$ расчетное сопротивление кладки сжатию составляет $R=3,35 \text{ МПа}$. По табл. 2 СП 15.13330.2102 [4]– $R=2,0 \text{ МПа}$. Согласно п. 6.1 СП [4] $R = 0,9 \times 2,0 = 1,8 \text{ МПа}$. Значение расчетного сопротивления сжатию кладки по СП [4] ниже значения, полученного из эксперимента, в 1,86 раз. Т.е. результаты испытаний в Университете г. Касселя хорошо корреспондируются с результатами, приведенными в [2]. Расчет же по СП [4] ведет к снижению расчетного сопротивления кладки сжатию по сравнению с экспериментом.

2. Первые трещины образовались в кладке при нагрузке $N_{1,тр} = 0,63 \times N_{разр}$.

Следует учесть, что в соответствии с принятой в Германии методикой испытания скорость приложения нагрузки составляла в эксперименте 1 кН/сек (100 кг/сек), т.е. время испытаний образца – 15 мин.

В ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (отв. исп. О.И. Пономарев и А.М. Горбунов) по заданию ОАО «Славянский кирпич» были проведены исследования прочности кладки стен из ККППК на сжатие [6]. В табл. 1.3 приведены результаты испытаний.

Приведенные в таблице значения «R» соответствуют следующим нормативным характеристикам кладки:

R_u – временное сопротивление (средний предел прочности) сжатию кладки, равное $R_u = N_{разр}/A$;

\bar{R} - расчетное сопротивление сжатию кладки, равное $\bar{R} = R_u/K$, где $K=2$ (табл. 15, СП [4]);

R - расчетное сопротивление сжатию кладки, принятое для конкретных марок раствора и камня по табл. 2 и п. 6.1 СП [4]. При определении R

учитывались соответствующие понижающие коэффициенты для различных марок раствора, принятые в п. 6.1 СП [4].

Результаты испытаний кладки

Таблица 1.3

№№ испытаний	Размеры образца маркировка камня	Марка камня раствора	R_u ($\frac{кгс}{см^2}$)	\bar{R} K=2 ($\frac{кгс}{см^2}$)	R (табл. 2, п. 6.1 СП15.13330.201 2)
1	2	3	4	5	6
I	$\frac{502 \times 115 \times 900}{7 \text{ НФ}}$	$\frac{M175}{M100}$	58.0	29.0	22.01
II	$\frac{392 \times 245 \times 1180}{11.3 \text{ НФ}}$	$\frac{M75}{M100}$	38.9	19.4	13.5
III	$\frac{500 \times 375 \times 1180}{10.8 \text{ НФ}}$	$\frac{M100}{M125}$	53.0	26.5	18.0

Анализ результатов экспериментальных исследований, представленных в табл. 1.3, позволяет сделать следующие выводы.

1. Расчетные сопротивления кладки сжатию, вычисленные с учетом указаний таблицы 2 и п. 6.1 СП [4] при указанных в табл.1.3 прочностных параметров камня и раствора, на 24÷32 % (табл.1.3, столбец 6) ниже значений, полученных при обработке результатов испытаний с учетом указаний п. 6.21, табл. 15 СП [4] (см. табл.1.3, столбец 5).

2. Высота ряда кладки с использованием ККППК в 1,5÷2,0 раза выше значений, для которых в таблице 2 СП [4] установлены расчетные сопротивления сжатию кладки. По данным исследований, выполненных в 1960-70-х годах [7], с увеличением высоты камня и уменьшением количества растворных швов в кладке увеличивается ее прочность (см. табл. 1.4).

Т.е., если мы используем ККППК с Н=217 мм, то прочность кладки при сжатии должна быть больше расчетного сопротивления сжатию из керамического кирпича или камня при высоте ряда 6.5÷15 см (табл. 2 СП [4])

как минимум на 30 %. Эти факторы известны специалистам и не подлежат сомнению.

Зависимость прочности кладки при сжатии от высоты ряда

Таблица 1.4

Марка камня/раствора	Расчетные сопротивления кладки сжатию (МПа) при высоте камня (см)		
	6.5	19	>50
100/25	2.5	3.5	6.5

В Центре исследований сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко выполнены экспериментальные исследования прочности кладки из ККППК производства Рябовского завода керамических изделий (отв. исполнители Грановский А.В., Джамуев Б.К.) при центральном и внецентренном сжатии [8]. В таблице 1.5 приведены результаты испытаний фрагментов кладки в виде столбов (сечением 51×51 см) и простенков (сечением 38×77 см). В табл. 1.5 приведены средние значения прочностных характеристик кладки фрагментов стен, полученные по испытаниям 3÷5 образцов в каждой серии.

Результаты испытаний кладки на сжатие (камень шлифованный)

Таблица 1.5

№№ серии	Размеры образца маркировка камня	Марки камня раствора	R_u (МПа)	\bar{R} K=2 (МПа)	R (табл. 2, п. 6.1 СП15.13330.2012)
I	$\frac{51 \times 51 \times 142}{14.3 \text{ НФ}}$	$\frac{M200}{M100}$	7.6	3.8	2.4
II	$\frac{38 \times 77 \times 14.2}{10.7 \text{ НФ}}$	$\frac{M200}{M100}$	9.9	4.9	2.4

Здесь:

R_u - временное сопротивление (средний предел прочности) сжатию кладки:

$$R_u = N_{\text{разр}}/A;$$

\bar{R} -расчетное сопротивление сжатию кладки, равное $\bar{R} = R_u/K$, где

$K = 2$ (табл. 15, СП [4]);

R - расчетное сопротивление сжатию кладки, принятое для конкретных марок раствора и камня по табл. 2 и п. 6.1 [4].

Анализ результатов экспериментальных исследований, представленных в таблице 1.5, позволяет сделать следующие выводы.

1. Приведенные в СП [4] значения расчетных сопротивлений сжатию (табл. 2, п. 6.1) в 1.6÷2.0 раза ниже, полученных по результатам испытаний с учетом коэффициента $K=2$ (табл. 15 СП [4]).

2. Рекомендации СП [4] в части определения расчетных сопротивлений сжатию кладки стен из ККППК не учитывают реальных размеров камней и снижения количества швов в кладке и ведут к необоснованному снижению расчетных сопротивлений сжатию кладки стен из ККППК.

Выводы по разделу 1

Анализ отечественных и зарубежных исследований прочности кладки стен из ККППК позволяет сделать следующие выводы.

1. Значения расчетных сопротивлений сжатию кладки, полученных из эксперимента, выше в 1.1÷2.0 раза значений, приведенных для конкретных марок раствора и камня в СП [4].

2. В СП [4] при назначении расчетных сопротивлений сжатию кладки стен из ККППК не учтены ни результаты экспериментальных исследований кладки, выполненных разными авторами, ни конструктивные особенности (размеры камня и количества швов) кладки стен из ККППК.

3. Принимая во внимание то, что СП [4] допускает принимать значения расчетных сопротивлений сжатия кладки стен из ККППК по результатам экспериментальных исследований цель настоящей работы установить реальные характеристики прочности кладки стен из ККППК производства ОАО «Славянский кирпич» при различных силовых воздействиях.

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОНОЛИТНОСТИ КЛАДКИ ИЗ КРУПНОФОРМАТНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КАМНЕЙ С ПАЗОГРЕБНЕВЫМ СОЕДИНЕНИЕМ НА ЦЕМЕНТНОМ РАСТВОРЕ

2.1. Материалы, использованные для изготовления экспериментальных образцов

В соответствии с программой работ Заказчиком были доставлены в Центр исследований сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко следующие кладочные материалы для изготовления опытных образцов.

Камень керамический

Керамические крупноформатные рядовые пустотно-поризованные камни следующих марок:

- 11.5 НФ (Poromax-200, см. рис. 2.1а);
- 12.3 НФ (Poromax-280, см. рис. 2.1б);
- 12.3 НФ (Poromax-280-Д, см. рис. 2.2а);
- 6.1 НФ (Poromax-280-1/2-Д, см. рис. 2.2б).

В таблице 2.1 приведены паспортные данные на исследованную продукцию, выпускаемую ОАО «Славянский кирпич».

Цементный раствор

Кладка экспериментальных образцов осуществлялась на тяжелом кладочном растворе, на цементном вяжущем (по ГОСТ 28013-98). Прочность раствора на сжатие определялась по ГОСТ 5802-80 [9].

Композитная сетка

Для оценки влияния арматурной сетки из композитного материала (базальтового волокна) кладка отдельных образцов велась с армированием на основе использования сетки марки «СБНПс ГРИДЕКС 50(25)» (маркировка по СТО 5952-022-98214589-2013*, табл. 5.1) фирмы «РЕКСТРОМ-К» (см. фото на рис.2.3).

a)



б)



Рис. 2.1. Общий вид крупноформатного камня марок:
Poromax-200 (а) и Poromax-280 (б)

а)



б)

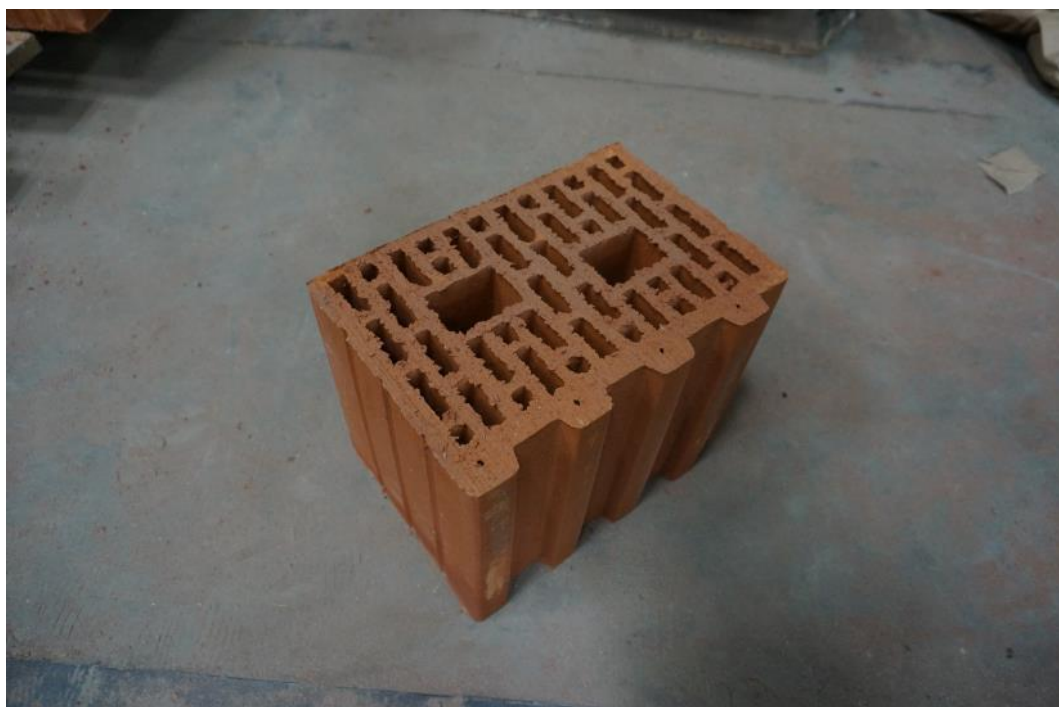


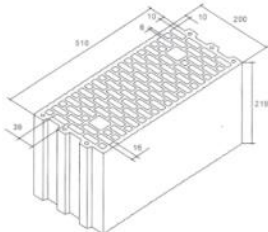
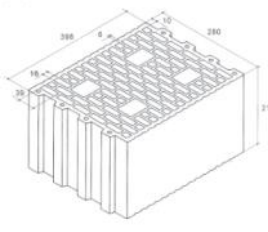
Рис. 2.2. Общий вид крупноформатного камня марок:
Роготах-280-Д (а) и Роготах-280-1/2-Д (б)



Рис. 2.3. Общий вид композитной сетки «РЕКСТРОМ-К»

Технические характеристики камня опытных образцов

Таблица 2.1

Наименование	Камень керамический рядовой пустотелый - Рогозах-200 11,5 НФ ГОСТ 530-2012	Камень керамический рядовой пустотелый - Рогозах-280 12,3 НФ ГОСТ 530-2012
Вид изделия		
Размер, мм	510*200*219	398*280*215
Цвет	Красный	Красный
Марка по прочности	M100	M100
Вес (масса), кг	18,5	18,4
Средняя плотность, кг/м ³	800	750
Пустотность, %	52	54
Марка по морозостойкости	50	50
Теплопроводность, Вт/мС	0,2	0,18
Количество на поддоне, шт.	60	45

2.2. Методика производства работ по кладке опытных образцов из керамического крупноформатного пустотно-поризованного камня

Процесс изготовления опытных образцов соответствовал технологии возведения стен зданий из ККППК пустотностью не более 54% и включал в себя следующие этапы.

1. На основание укладывалась полиэтиленовая пленка, на которую наносился слой из цементного раствора толщиной 10-12мм.
2. На растворный слой устанавливался первый ряд камней (см. фото на рис.2.4). При этом на вертикальную плоскость камня, имеющую пазогребневую структуру, раствор не наносился.
3. Далее на 1-ый ряд кладки образца укладывалась либо композитная сетка – рис.2.4б (если монтировался армированный образец), либо наносился слой цементного раствора с последующей укладкой на него следующего ряда ККППК и т.д. На рис.2.5. показаны опытные образцы фрагментов стен после изготовления.

По описанной технологии были изготовлены все экспериментальные образцы фрагментов кладки стен, включая образцы-двойки (для испытаний на нормальное сцепление – рис.2.6).

Следует отметить, что данная технология кладки стен из ККППК принята за рубежом при возведении несущих и самонесущих кирпичных стен зданий.

a)



б)



Рис. 2.4. Процесс изготовления опытных образцов

a)



б)



Рис. 2.5. Процесс изготовления опытных образцов



Рис. 2.6. Образец-двойка для испытания на нормальное сцепление

2.3. Определение прочности крупноформатного камня в зависимости от направления приложения нагрузки

Марка крупноформатного камня по прочности на сжатие определялась в соответствии с указаниями действующего ГОСТ 530-2012 [10]. Учитывая, что прочность на сжатие ККППК с пустотностью 54% из-за различной ориентации ребер в пустотном камне существенно отличается в зависимости от направления приложения нагрузки к камню, испытания камня на сжатие проводились по трем схемам (рис. 2.7):

- схема с приложением нагрузки перпендикулярно опорной поверхности камня (рис. 2.7а);
- схема с приложением нагрузки перпендикулярно продольной вертикальной грани камня (рис. 2.7б);
- схема с приложением нагрузки перпендикулярно торцевой грани камня (рис. 2.7в);
- схема с приложением нагрузки перпендикулярно торцевой грани камня, состоящего из двух половинок (рис. 2.7г).

В таблицах 2.2 – 2.4 приведены результаты испытаний на сжатие крупноформатного камня в зависимости от направления приложения нагрузки.

С учетом полученных экспериментальных данных прочности камня при различном приложении внешней нагрузки вычислим коэффициент вариации для исследованных изделий производимых ОАО «Славянский кирпич».

Коэффициент вариации прочности камня для каждого случая приложения нагрузки определяем по формуле ГОСТ 18105-2010 [11]:

$$V = \frac{s}{\bar{R}} \times 100,$$

где: V – коэффициент вариации прочности бетона в серии образцов (%);

s – среднее квадратичное отклонение прочности бетона в серии образцов (МПа), рассчитываемое по формуле:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n - 1}}$$

где R_i – предел прочности отдельных образцов данного размера (МПа);

n – количество образцов данного размера в серии;

\bar{R} – средняя прочность серии образцов данного размера (МПа), определяемая по формуле:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}$$

Нагрузка по схеме №1

Камень 11,5 НФ (Porotax-200):

$$\bar{R} = 17,21 \text{ МПа}; s = 1,03 \text{ МПа}; V = 6,01\%$$

Камень 12,3 НФ (Porotax-280):

$$\bar{R} = 11,84 \text{ МПа}; s = 0,93 \text{ МПа}; V = 7,88\%$$

Нагрузка по схеме №2

Камень 11,5 НФ (Porotax-200):

$$\bar{R} = 2,43 \text{ МПа}; s = 0,17 \text{ МПа}; V = 7,12\%$$

Камень 12,3 НФ (Porotax-280):

$$\bar{R} = 0,88 \text{ МПа}; s = 0,06 \text{ МПа}; V = 7,29\%$$

Нагрузка по схеме №3

Камень 11,5 НФ (Porotax-200):

$$\bar{R} = 0,84 \text{ МПа}; s = 0,08 \text{ МПа}; V = 9,25\%$$

Камень 12,3 НФ (Porotax-280):

$$\bar{R} = 0,46 \text{ МПа}; s = 0,05 \text{ МПа}; V = 11,43\%$$

Нагрузка по схеме №4

Камень 6,1 НФ (Poromax-280-1/2-Д):

$$\bar{R} = 0,89 \text{ МПа}; s = 0,10 \text{ МПа}; V = 11,23\%$$

Анализ результатов испытаний на сжатие и характера разрушения крупноформатного камня в зависимости от направления приложения сжимающей нагрузки позволяет отметить следующее.

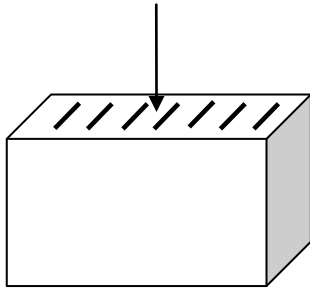
1. По результатам испытаний камня по методике ГОСТ 530-2012 [10] при проектном приложении сжимающего усилия перпендикулярно опорной грани камня (рис.2.7а) марка камня по прочности на сжатие соответствует М150 – для камня Poromax-200 и М100 – для камня Poromax-280 (табл. 2.2). По паспортным данным марка камней Poromax-200 и Poromax-280 по прочности на сжатие – М100. На рис.2.8, 2.9 показаны общие виды камней до и после испытаний на сжатие перпендикулярно опорной грани камня.
2. По результатам испытаний камня при приложении сжимающего усилия перпендикулярно его боковой продольной грани (рис.2.7б) разрушение наступало при усилении сжатия камня, соответствующим $q=2,43$ МПа (для камня Poromax-200) и $q=0,88$ МПа (для камня Poromax-280). На рис.2.10, 2.11 показаны общие виды камней до и после испытаний на сжатие перпендикулярно его боковой продольной грани. Для сравнения: разрушение камня производства ООО «Рябовский завод керамических изделий» с ромбовидной формой пустот наступало при усилении на камень $q=1.37$ МПа (при марке камня М-200). **Т.е. принятая в камнях Poromax производства ОАО «Славянский кирпич» форма пустот позволила повысить прочность камня на сжатие при**

действии усилия перпендикулярно его боковой продольной грани, что является важным фактором при использовании камня в кладке стен, возводимых в сейсмоопасных регионах.

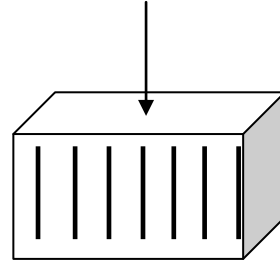
3. По результатам испытаний камня на действие нагрузки, приложенной перпендикулярно его боковой поперечной грани (рис.2.7в) разрушение камня наступало при усилении сжатия, соответствующим $q=0,84$ МПа (для камня Poromax-200) и $q=0,46$ МПа (для камня Poromax-280). На рис.2.12, 2.13 показаны общие виды камней до и после испытаний на сжатие перпендикулярно его боковой поперечной грани. Для сравнения: разрушение камня производства ООО «Рябовский завод керамических изделий» с ромбовидной формой пустот наступало при усилении на камень $q=0.30$ МПа (при марке камня М-200). **Т.е. принятая в камнях Poromax производства ОАО «Славянский кирпич» форма пустот позволила повысить прочность камня на сжатие при действии усилия перпендикулярно его боковой поперечной грани, что является важным фактором при использовании камня в кладке стен, возводимых в сейсмоопасных регионах.**
4. Испытания камней на сжатие при действии нагрузки, приложенной перпендикулярно его торцевой поверхности, проводилось по двум схемам, показанным на рис.2.7в и 2.7г. Результаты испытаний по первой схеме подробно описаны в п.3. Испытания по второй схеме моделировали работу камней при сжатии при наличии «сухого» вертикального стыка. При этом прочность камня на сжатие марки Poromax-280 при приложении нагрузки перпендикулярно его боковой поперечной грани оказалась в два раза меньше, чем прочность камня при наличии «сухого» стыка.

Разрушение камня при действии сжимающей нагрузки, приложенной по схемам на рис.2.7 носило хрупкий характер.

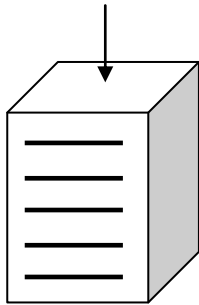
а) Схема 1



б) Схема 2



в) Схема 3



г) Схема 4

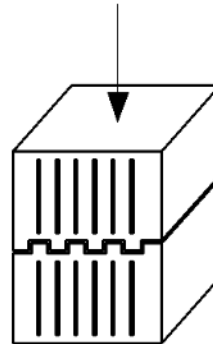
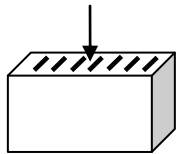
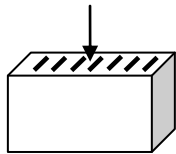


Рис. 2.7. Схемы приложения нагрузки к камню при испытаниях на сжатие

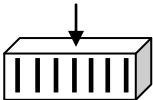
**Результаты испытаний камней марок 11.5 НФ и 12.3 НФ
на осевое сжатие**

Таблица 2.2

Марка кирпичей	№ п.п	Схема испытаний	ахb, (см)	N _{разр.} (кН)	R _{сж} , (МПа)	R _{ср} /R _{min} , (МПа)	Отклонения, %	Марка по ГОСТ 530-2012
1	2	3	4	6	7	8	9	10
11,5 НФ / Рогомах-200	1		20,2x52,6	1950	18,35	17,21 15,72	+6,67	M150
	2		20,2x52,6	1830	17,22		+0,10	
	3		20,3x52,6	1940	18,17		+5,60	
	4		20,3x52,8	1940	18,10		+5,20	
	5		20,2x52,9	1680	15,72		-8,62	
	6		20,3x52,5	1750	16,42		-4,56	
	7		20,3x52,7	1760	16,45		-4,38	
12,3 НФ / Рогомах-280	1		27,5x41,2	1730	15,27*	11,84 10,6	-	M100
	2		27,5x41,5	1210	10,60		-10,42	
	3		27,5x41,4	1360	11,95		+0,93	
	4		27,4x41,3	1540	13,61		+14,98	
	5		27,5x41,3	1370	12,06		+1,91	
	6		27,5x41,2	1350	11,92		+0,67	
	7		27,5x41,2	1300	11,47		-3,06	
	8		27,5x41,4	1280	11,24		-5,01	



*при определении среднего значения R_{сж} данные величины не учитывались

Таблица 2.3

Марка кирпичей	№ п.п	Схема испытаний	hxb, (см)	N _{разр.} (кН)	R _{сж} , (МПа)	R _{ср} /R _{min} , (МПа)	Отклонения, %
1	2	3	4	6	7	8	9
11,5 НФ / Рогомах-200	1		52,5x20,7	175	1,61*	<u>2,43</u> 1,61	-
	2		52,6x20,7	275	2,53		+3,74
	3		52,4x21,1	255	2,31		-5,27
	4		52,5x20,9	250	2,28		-6,42
	5		52,5x20,9	250	2,25		-6,42
	6		52,8x20,7	295	2,70		+10,86
	7		52,6x20,9	277	2,52		+3,49
12,3 НФ / Рогомах-280	1		41,4x21,2	80	0,91	<u>0,88</u> 0,81	+3,76
	2		41,4x21,0	70	0,81		-7,90
	3		41,4x20,7	80	0,93		+6,27
	4		41,4x21,1	100	1,14*		-
	5		41,1x21,1	83	0,96		+8,95
	6		41,2x21,0	70	0,81		-7,90
	7		41,2x21,0	97	1,12*		-
	8		41,6x21,1	75	0,85		-2,73

*при определении среднего значения R_{сж} данные величины не учитывались

Таблица 2.4

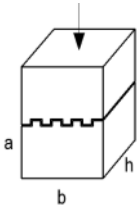
Марка кирпичей	№ п.п	Схема испытаний	$a \times h$, (см)	$N_{\text{разр.}}$ (кН)	$R_{\text{сж}}$ (МПа)	$R_{\text{ср}}/R_{\text{min}}$ (МПа)	Отклонения, %
1	2	3	4	6	7	8	9
11,5 НФ / Рогомах-200	1		8x20,9	15	0,90	0,84 0,72	+6,87
	2		8x20,7	15	0,91		+7,90
	3		8x20,8	13	0,78		-6,93
	4		8x20,8	12	0,72		-14,09
	5		8x20,6	14,8	0,90		+6,98
	6		8x21,0	14	0,83		-0,73
12,3 НФ / Рогомах-280	1		10,5x21,0	12	0,52	0,46 0,39	+12,9
	2		10,5x20,8	8	0,39		-15,75
	3		10,5x21,1	10	0,45		-2,3
	4		10,5x20,9	10	0,46		-1,36
	5		10,5x20,9	11,5	0,52		+13,44
	6		10,5x21,3	7	0,40		-12,89
	7		10,5x21,1	17	0,77*		-
	8		10,5x21,4	11	0,49		+5,97

Примечание.

1. Расчетное сопротивление камня сжатию ($R_{\text{сж}}$) вычислялось путем деления разрушающей нагрузки ($N_{\text{разр}}$) на площадь ребер.
2. V-общая ширина ребер

*при определении среднего значения $R_{\text{сж}}$ данные величины не учитывались

Таблица 2.5

Марка кирпичей	№ п.п	Схема испытаний	h×b, (см)	N _{разр.} (кН)	R _{сж} , (МПа)	R _{ср} /R _{min} , (МПа)	Отклонения, %
1	2	3	4	6	7	8	9
6,1 НФ	1		21,8x28,1	50	0,82	<u>0,89</u> 0,78	-8,62
	2		21,6x27,9	54	0,92		+3,28
	3		21,5x28,0	60	1,00		+11,58
	4		21,8x27,9	62	1,02		+14,12
	5		21,5x28,1	47	0,78		-12,91
	6		21,6x28,0	50	0,83		-7,45

а)



б)



Рис. 2.8. Общий вид и характер разрушения камня 11.5 НФ (Pороматх-200) при приложении нагрузки перпендикулярно опорной грани

а)



б)



Рис. 2.9. Общий вид и характер разрушения камня 12.3 НФ (Рогомах-280) при приложении нагрузки перпендикулярно опорной грани

а)



б)



Рис. 2.10. Общий вид и характер разрушения камня 11.5 НФ (Pоротах-200) при приложении нагрузки перпендикулярно боковой грани

а)



б)



Рис. 2.11. Общий вид и характер разрушения камня 12.3 НФ (Porotax-280) при приложении нагрузки перпендикулярно боковой грани

а)



б)



Рис. 2.12. Общий вид и характер разрушения камня 11.5 НФ (Рогомах-200) при приложении нагрузки перпендикулярно торцевой грани

а)



б)



Рис. 2.13. Общий вид и характер разрушения камня 12.3 НФ (Рогомах-280) при приложении нагрузки перпендикулярно торцевой грани

а)



б)



Рис. 2.14. Общий вид и характер разрушения камня, состоящего из двух половинок 6.1 НФ (Рогомах-280-1/2-Д) при приложении нагрузки перпендикулярно торцевой грани

2.4. Определение прочности кладки при осевом растяжении (нормальное сцепление)

Монолитность кладки является одним из основных показателей, определяющих сейсмостойкость зданий. Параметром, определяющим монолитность кладки, является величина нормального сцепления растворной смеси с крупноформатным рядовым пустотно-поризованным камнем при осевом растяжении кладки.

Для оценки прочности нормального сцепления блоков при осевом растяжении было изготовлено 5 образцов-двоек из двух крупноформатных рядовых пустотно-поризованных камней (Рогомах-380) с размерами сторон 380x253x219(Н)мм (рис. 2.15). Толщина растворного шва в экспериментальных образцах кладки стен по рекомендации завода-изготовителя принималась 10-12мм. Одновременно в настоящем разделе отчета представлены результаты испытаний кладки на осевое растяжение, выполненные в Кубанском государственном аграрном университете.

При подготовке образцов к испытаниям на осевое растяжение в ребрах камней по их опорным торцам были сделаны пазы высотой и глубиной ≈ 20 мм для заведения в них плечиков захватов (см. рис.2.15).

Прочность растворной смеси определялась на кубах размерами 7.07x7.07x7.07 см по методике ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний» [9]. Образцы-двойки, соединенные между собой растворной массой, выдерживались в течении 28 суток в помещении с температурой 20°C и относительной влажностью воздуха 75%. Перед испытанием образцы устанавливались в захватное устройство (рис. 2.16). При испытаниях нагрузка возрастала непрерывно со скоростью 0.006 МПа/с (ГОСТ 24992-81 [12]). За величину предельной нагрузки принималось максимальное усилие, достигнутое в момент разрыва (по шву или по материалу) опытного образца.

В таблицах 2.6-2.8 приведены результаты испытаний опытных образцов-двоек на осевое растяжение, выполненные соответственно в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко и Кубанском государственном аграрном университете.

Анализ результатов экспериментальных исследований прочности при осевом растяжении по неперевязанному шву кладки из крупноформатных рядовых пустотно-поризованных камней, выполненных на цементном растворе, позволяет отметить следующее.

1. Величина временного сопротивления осевому растяжению по неперевязанному шву (нормальное сцепление) кладки опытных образцов из крупноформатных рядовых пустотно-поризованных камней, выполненной на цементном растворе изменялась в интервале от 0.24 до 0.31 МПа (в среднем 0.27 МПа). Согласно п.п.6.14.4, 6.14.5 [13] для кладки I-ой категории стен зданий, возводимых в сейсмоопасных районах РФ, временное сопротивление осевому растяжению должно быть не менее $R_t^u \geq 0.18$ МПа. Полученные из эксперимента значения нормального сцепления кладки стен из крупноформатных рядовых пустотно-поризованных камней на цементном растворе марки М100 на 50% выше указанного значения нормативного временного сопротивления осевому растяжению по неперевязанному шву. **Указанный параметр кладки оказывает существенное влияние на ее прочность при действии нагрузок (ветровые и сейсмические воздействия), вызывающих изгиб стен из их плоскости.**

В соответствии с указаниями СП [13] величина расчетного сопротивления кладки при осевом растяжении по неперевязанному шву определяется по формуле $R_t = 0,45 \times R_t^u$. В нашем случае $R_t = 0.45 \times 0.27 = 0.122$ МПа.

Выводы по разделу 2

1. Кладка стен из крупноформатного пустотно-поризованного камня производства ОАО «Славянский кирпич» на цементном растворе марки М100 и выше согласно требованиям СП [13] соответствует I категории для зданий, возводимых в сейсмоопасных регионах РФ.
2. По результатам настоящих экспериментальных исследований, выполненных в ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко, и анализа результатов исследований отечественных специалистов (Кубанский аграрный институт) расчетные сопротивления при осевом растяжении кладки стен из ККППК производства ОАО «Славянский кирпич» по неперевязанному сечению для зданий, возводимых в обычных и сейсмоопасных регионах РФ следует принимать по таблице 2.9

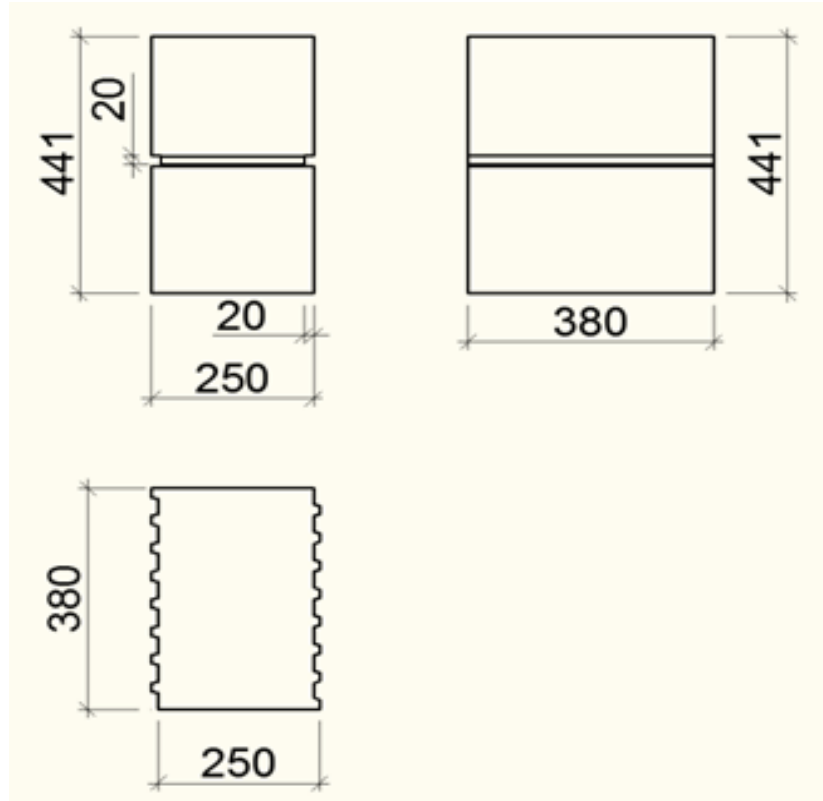


Рис.2.15. Размеры опытных образцов для испытаний на осевое растяжение

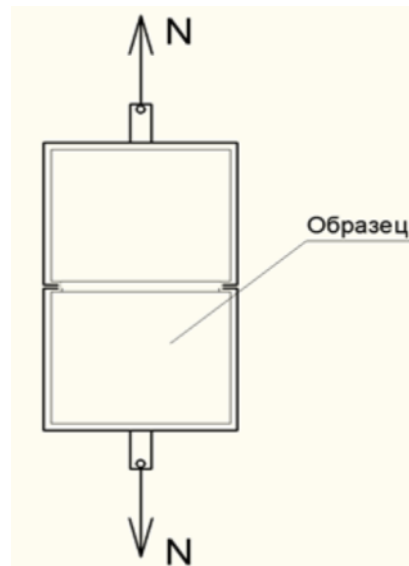


Рис. 2.16. Схема испытания опытного образца на осевое растяжение (нормальное сцепление)

а)



б)



Рис. 2.17. Общий вид опытного образца в прессе до и после испытаний на осевое растяжение

**Результаты испытаний кладки на осевое растяжение по неперевязанному шву
(камень – Роготах-380, испытания ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко)**

Таблица 2.6

Завод изготовитель	№ серии	№ п.п.	Тип раствора в шве	Возраст образца, (дн.)	Размеры шва b*d, (см) где, b - ширина растворного шва	N _{разр} , (Н)	R ^u _t , (МПа)	R ^u _{t(ср.)} /R ^u _(норм.) (МПа)	Относительная прочность, %
Славянский кирпич марка 10,7НФ	I	1	цементный раствор М100	28	20.5*38.5	24500	0.31	0.27/0.18	150%/100%
		2			20.4*38.5	22000	0.28		
		3			20.4*38.7	21700	0.27		
		4			20.6*40.0	20500	0.24		
		5			20.5*38.6	22400	0.28		

Примечание. R^u_(норм.) – значение временного сопротивления кладки при осевом растяжении по неперевязанному шву для I категории стен (СП 14.13330.2011)

**Результаты испытаний кладки на осевое растяжение по неперевязанному шву
(камень – Рогозах-250, испытания Кубанского государственного аграрного университета)**

Таблица 2.7

Номер		Возраст образцов (кладки) при испытании сут.	Поправочный коэффициент	Величина отрывающей нагрузки для образца, кгс	Площадь отрыва (брутто), см ²	Прочность сцепления, кгс/см ²		Характеристика площади отрыва, %			Состав, консистенция и марка раствора	Прочность раствора, взятого из швов кладки на сжатие, кгс/см ²	Примечание
Серии (участка)	Образца в серии (участке)					Частное значение	Среднее значение	по контакту	по раствору	по кирпичу (камню)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9			10	11	12
1	1	28	1,0	1960	995	1,96	2,40	80	18	2	Раствор цем. песчаный М100	<u>102,7,0</u> кгс/см ² протокол испытаний № 1700 от 18.10.2013г.	Лабораторные испытания
	2	28	1,0	2850	995	2,86		72	24	4			
	3	>28	1,0	3010	995	3,00		66	24	10			
	4	>28	1,0	1890	995	1,90		74	26	-			
	5	>28	1,0	2470	995	2,48		84	16	-			

Заключение: Предел прочности при осевом растяжении в кладке с учетом поправочного коэффициента составил $R_p^B = 2,40 \text{ кгс/см}^2$ (240 кПа).

Каменная кладка I категории соответствует.

**Результаты испытаний кладки на осевое растяжение по неперевязанному шву
(камень – Рогозах-380, испытания Кубанского государственного аграрного университета)**

Таблица 2.8

Номер		Возраст образцов (кладки) при испытании сут.	Поправочный коэффициент	Величина отрывающей нагрузки для образца, кгс	Площадь отрыва (брутто), см ²	Прочность сцепления, кгс/см ²		Характеристика площади отрыва, %			Состав, консистенция и марка раствора	Прочность раствора, взятого из швов кладки на сжатие, кгс/см ²	Примечание
Серии (участка)	Образца в серии (участке)					Частное значение	Среднее значение	по контакту	по раствору	по кирпичу (камню)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9			10	11	12
1	1	28	1,0	1900	950	2,00	2,20	70	30	-	Раствор цем. песчаный М100	<u>102,7,0</u> кгс/см ² протокол испытаний № 1700 от 18.10.2013г.	Лабораторные испытания
	2	28	1,0	1870	950	1,96		86	12	2			
	3	28	1,0	2140	950	2,25		74	20	6			
	4	>28	1,0	2750	950	2,89		70	24	6			
	5	>28	1,0	1790	950	1,88		80	20	-			

Заключение: Предел прочности при осевом растяжении в кладке с учетом поправочного коэффициента составил $R_p^B = 2,20 \text{ кгс/см}^2$ (220 кПа).

Каменная кладка I категории соответствует.

Значения расчетных сопротивлений при осевом растяжении

Таблица 2.9

Вид напряженного состояния	Обозначение	по СП15.13330.2012* (МПа)	по результатам испытаний для зданий возводимых в обычных условиях	по результатам испытаний для зданий возводимых в сейсмоопасных регионах РФ
Осевое растяжение по неперевязанному сечению	R_t	0.08	0.12	0.122

*) Поскольку в СП 15.13330.2012 отсутствуют данные для кладки стен из ККППК, то приведенные в табл 11 [4] значения расчетных сопротивлений принимаются для кладки всех видов

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ТОНКОШОВНОЙ КЛАДКИ СТЕН ИЗ КРУПНОФОРМАТНЫХ ПУСТОТНО-ПОРИЗОВАННЫХ КАМНЕЙ НА РАЗЛИЧНЫЕ СТАТИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

3.1. Экспериментальные исследования прочности кладки стен из крупноформатных пустотно-поризованных камней на цементном растворе при изгибе из плоскости по неперевязанному и перевязанному сечениям

В настоящее время в действующих нормативных документах [4] отсутствуют значения расчетных сопротивлений растяжению при изгибе по неперевязанному и перевязанному сечениям для кладки стен из крупноформатных пустотно-поризованных камней пустотностью не более 54% на цементном растворе. Далее по тексту опытные образцы при испытаниях по перевязанному и неперевязанному сечениям обозначаются соответственно **ОНП** и **ОП**.

Цели проведения представленных в данном разделе научно-технического отчета экспериментальных исследований включают в себя:

- определение расчетного сопротивления при изгибе по неперевязанному сечению кладки стен из крупноформатных камней пустотностью не более 54%;
- то же, по перевязанному сечению;
- оценка механических характеристик кладки (прочности, деформативности и трещиностойкости) при напряженном состоянии, характеризуемым растяжением кладки при изгибе по перевязанному и неперевязанному сечениям, в том числе при армировании кладки базальтовой сеткой.

3.1.1. Конструкции опытных образцов и методика испытаний

Для оценки прочности кладки стен при изгибе была изготовлена специальная силовая рама (см. рис. 3.1, 3.2). Схемы нагружения опытных образцов при испытаниях по перевязанному и неперевязанному сечениям показаны на рис. 3.3 – 3.6.

Следует обратить внимание на то, что в настоящее время гостированная методика испытаний кладки на растяжение при изгибе по перевязанному и неперевязанному сечениям отсутствует. В связи с этим испытания опытных образцов на изгиб проводились по двум схемам:

- опытный образец монтировался в горизонтальном положении на специальные упоры силовой рамы и нагрузка от домкрата передавалась вертикально на распределительные опорные балки (рис.3.1);

- схема испытаний по СТБ EN 1052-2-2009 (EN 1052-2:1999) [3] – рис.3.2. В соответствии с этой схемой опытный образец устанавливался вертикально в силовую раму и нагрузка от горизонтально расположенного домкрата передавалась на распределительные горизонтальные опорные балки.

Для испытаний на изгиб по неперевязанному сечению (серия ОНП) было изготовлено (см. рис.3.7):

- 6 образцов размером 1143×765×200 мм с использованием камня марки Rogomax-200;

- 3 образца размером 1143×765×200 мм с использованием камня марки Rogomax-200 и композитных сеток из базальтового волокна марок «Рекстром-К»;

- 6 образцов размером 1115×600×280 мм с использованием камня марки Rogomax-280;

– 2 образца размером 1115×600×280 мм с использованием камня марки Rogomax-280 и композитных сеток из базальтового волокна марки «Рекстром-К».

Для испытаний на изгиб по перевязанному сечению (серия ОП) было изготовлено (см. рис.3.8):

– 6 образцов размером 1500×912×200 мм с использованием камня марки Rogomax-200;

– 3 образца размером 1500×912×200 мм с использованием камня марки Rogomax-200 и композитных сеток из базальтового волокна марки «Рекстром-К»;

– 6 образцов размером 1200×890×280 мм с использованием камня марки Rogomax-280;

– 3 образца размером 1200×890×280 мм с использованием камня марки Rogomax-200 и композитных сеток из базальтового волокна марки «Рекстром-К».

С помощью специального домкрата (рис. 3.9) нагрузка подавалась на распределительную раму. Усилия на каждом этапе нагружения фиксировались с помощью специального электронного датчика усилий DACELL TX 25 (рис. 3.9). Измерение прогибов стенки из её плоскости осуществлялось с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм (рис.3.10). По ширине образца в средней его части с каждого его края устанавливалось по одному индикатору.

Нагрузка на опытные образцы подавалась ступенями, составляющими приблизительно 10% от предполагаемой величины разрушающей нагрузки. Интервал между ступенями нагружения составлял 5-7 мин. В начале и в конце каждой ступени нагружения производились замеры перемещений образца.

При обработке результатов испытаний опытных образцов по первой схеме (горизонтальное расположение образцов) учитывалось наличие дополнительной нагрузки на образец от веса самого изделия и веса оснастки:

$$N_{\text{доп}} = N_{\text{обр}} + N_{\text{осн}} = n \times \gamma \times a \times b \times c + 1.6 \text{ (кН)},$$

где:

$N_{\text{обр}}, N_{\text{осн}}$ – соответственно, вес кладки опытного образца и вес оснастки вместе с домкратом;

$n = 1.1$ - коэф. перегрузки;

$\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$ – объемный вес кладки;

a, b, c – размеры образца, м.



Рис.3.1. Общий вид силовой рамы для испытаний на изгиб образцов, установленных горизонтально



Рис.3.2. Общий вид силовой рамы для испытаний на изгиб образцов, установленных вертикально

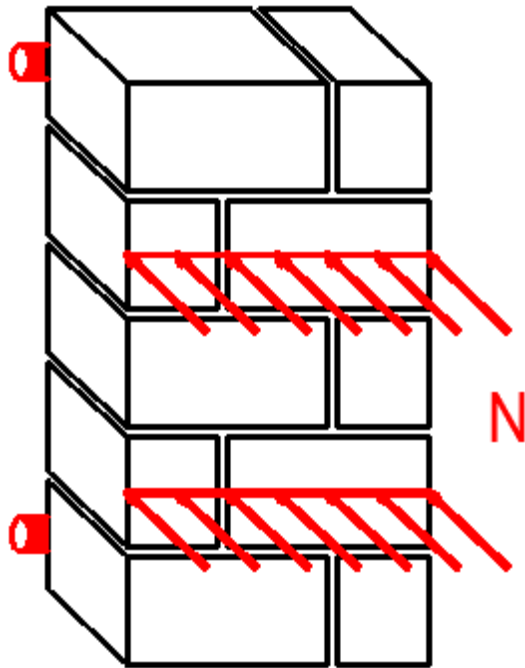


Рис.3.3. Схема испытания опытных образцов серии ОНП на изгиб по неперевязанному сечению

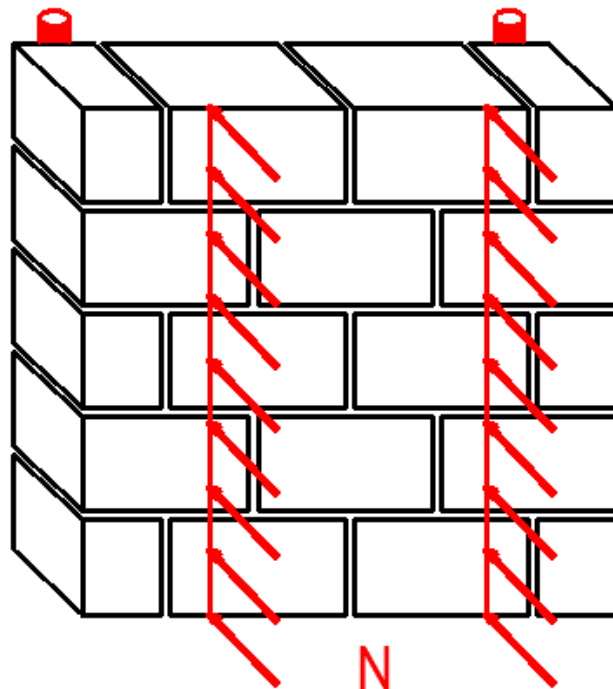
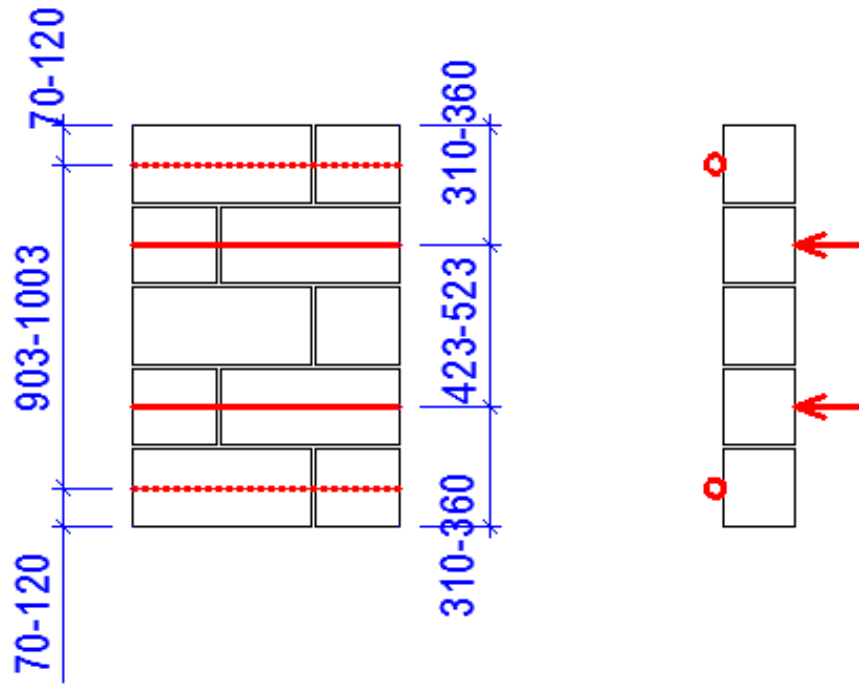


Рис.3.4. Схема испытания опытных образцов серии ОП на изгиб по перевязанному сечению

а)



б)

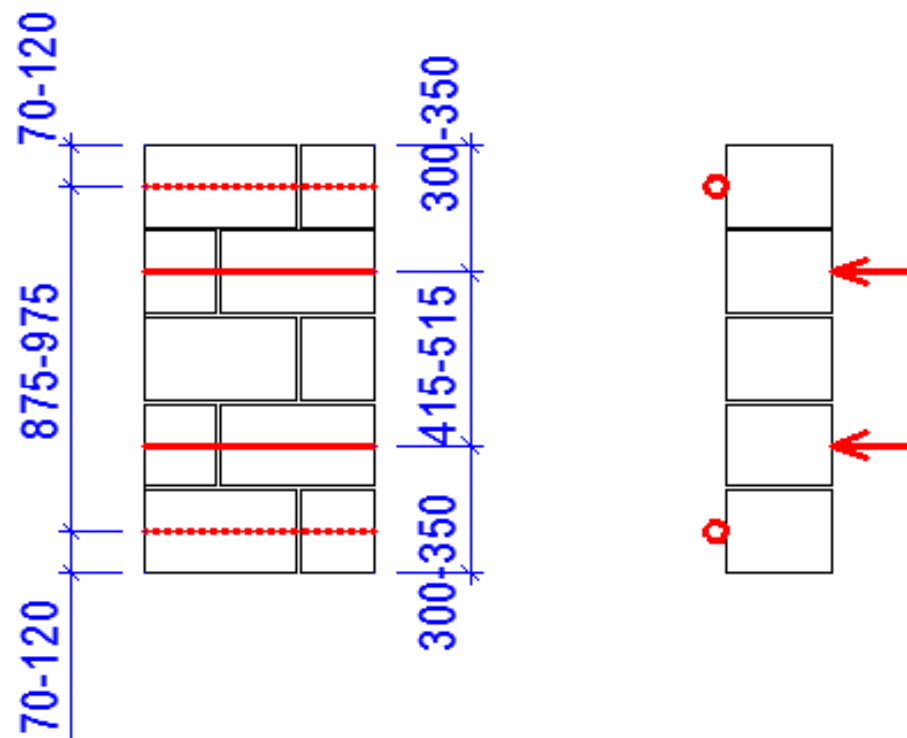
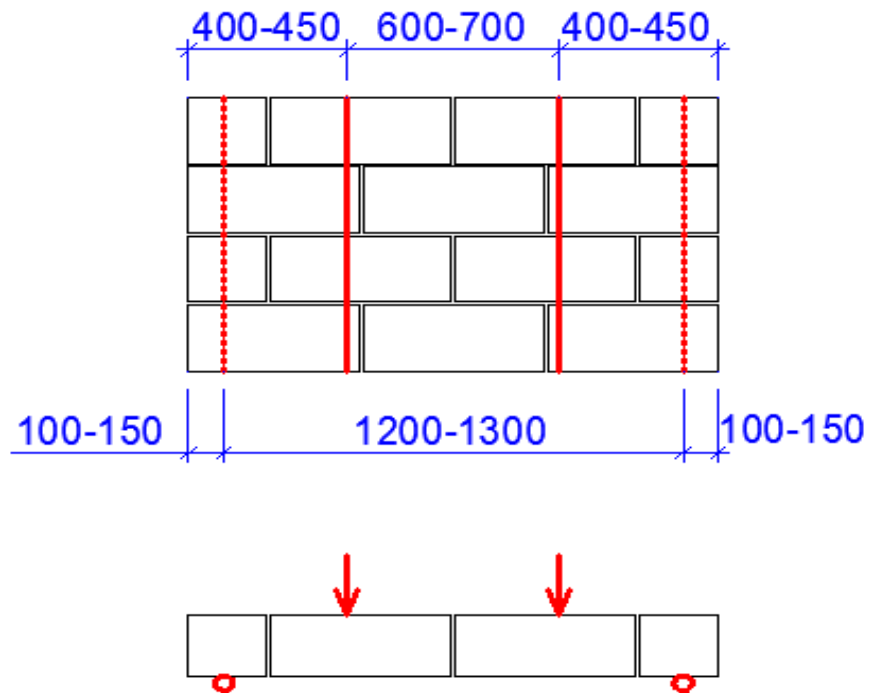


Рис. 3.5. Схема испытания опытных образцов серии ОНП на изгиб по непрерыванному сечению, выполненных из камней марки Poromax-200 (а) и марки Poromax-280 (б)

а)



б)

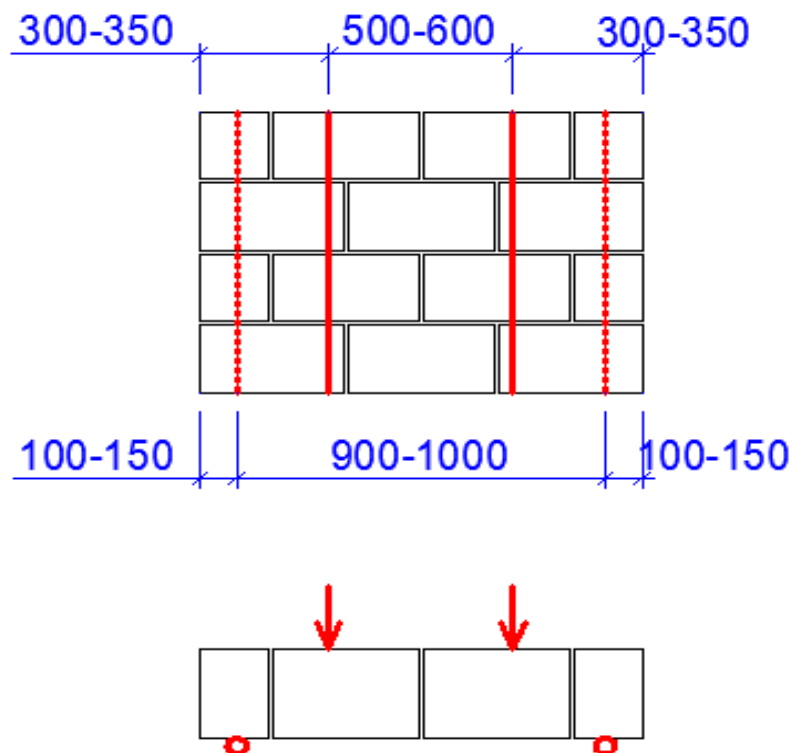
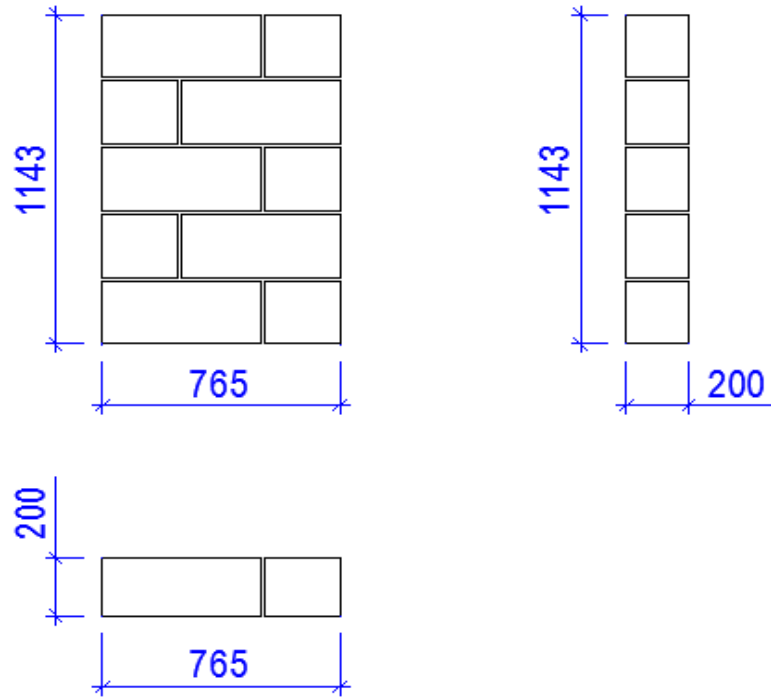


Рис. 3.6. Схема испытания опытных образцов серии ОП на изгиб по перевязанному сечению, выполненных из камней марки Poromax-200 (а) и марки Poromax-280 (б)

a)



б)

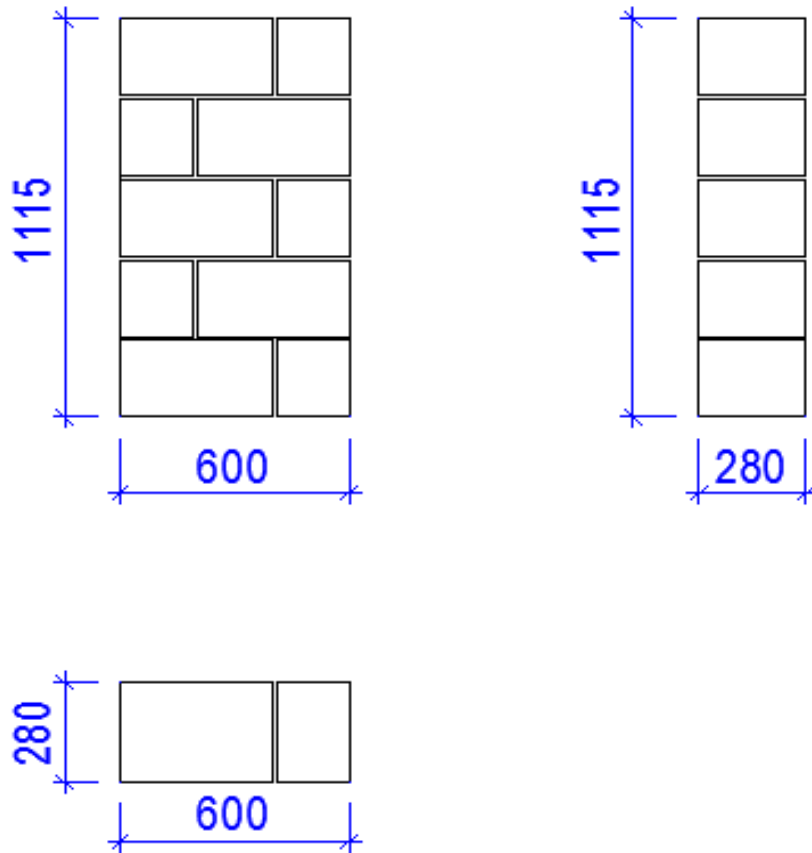
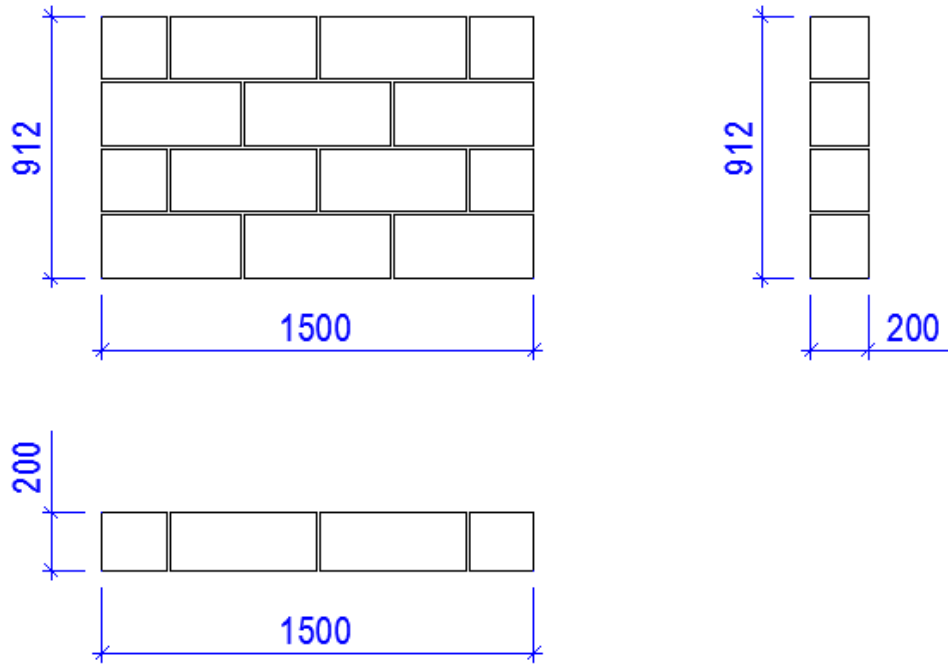


Рис. 3.7. Размеры опытных образцов серии ОНП, выполненных из камней марки Poromax-200 (а) и марки Poromax-280 (б)

a)



б)

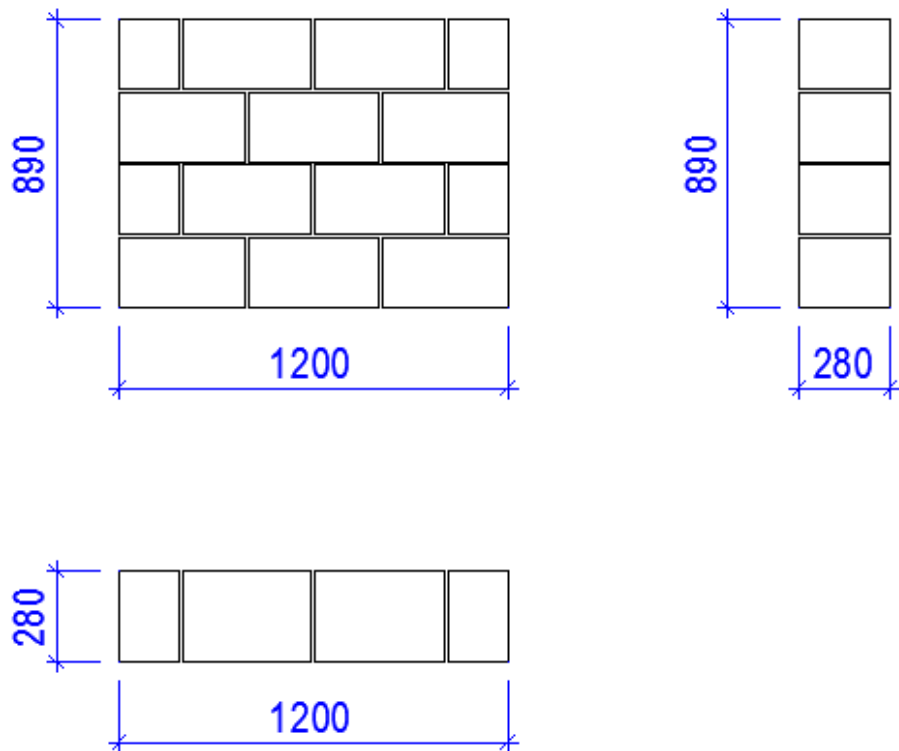


Рис. 3.8. Размеры опытных образцов серии ОП, выполненных из камней марки Poromax-200 (а) и марки Poromax-280 (б)



Рис. 3.9. Силовая установка стенда для испытаний

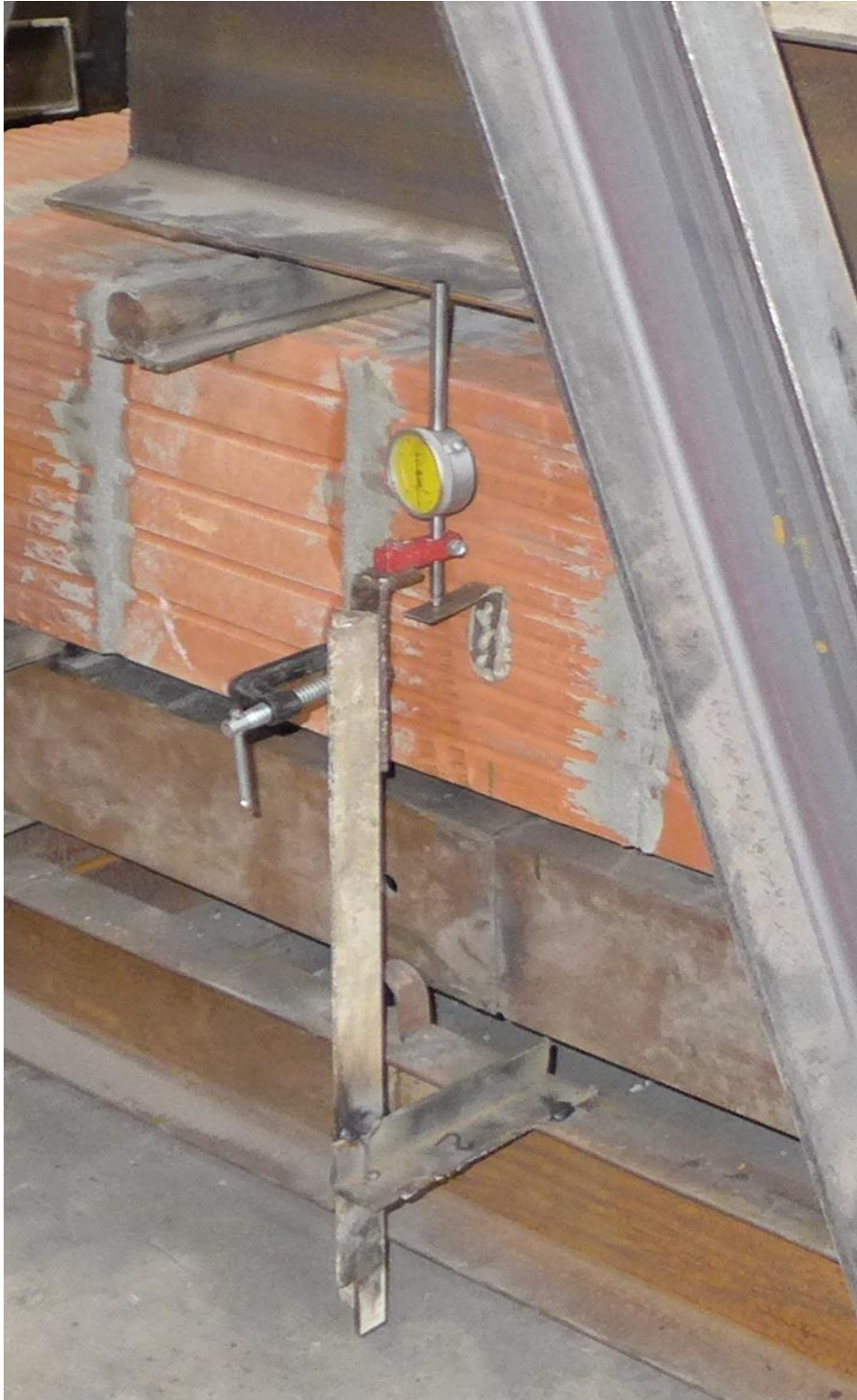


Рис. 3.10. Измерительная аппаратура силового стенда

3.1.2. Результаты испытаний и их анализ

Анализ результатов лабораторных испытаний опытных образцов кладки на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению позволяет отметить следующее.

1. На рис. 3.12-3.17 приведен общий вид опытных образцов кладки стен из ККППК Rogomax-200 и Rogomax-280 до и после испытаний на изгиб по неперевязанному сечению.
2. На рис. 3.18, 3.19 показана структура шва в зоне излома после испытания армированных и неармированных образцов кладки.
3. На рис. 3.20-3.28 приведены графики деформирования кладки опытных образцов в процессе их испытания на изгиб.
4. При обработке результатов испытаний кладки на растяжение при изгибе по перевязанному и неперевязанному швам (табл.3.1-3.4) нормативные сопротивления кладки вычислялись по приведенной ниже формуле с учетом геометрических размеров образцов, расположения опорных элементов относительно нагрузочных устройств:

$$R_u^i = M/W = [(N_{\text{разр}}/2) \times (l_1 - a)] / [(b \times h^2) / 6]$$

где R_u^i – временное сопротивление кладки на растяжение при изгибе по перевязанному и неперевязанному швам;

l_1, a – параметры, указанные на рис.3.11;

W – момент сопротивления поперечного сечения кладки опытного образца.

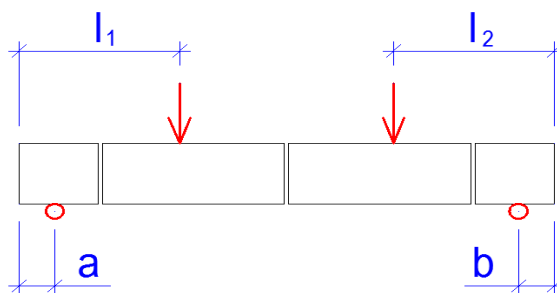


Рис.3.11

5. В табл.3.1, 3.2 значения $R_{tb1}^{экс}$ соответствуют расчетному сопротивлению кладки на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению, вычисленному по формуле:

$$R_{tb1}^{экс} = R_{u,tb1}^i / K$$

где $K=2$ – данное значение принято в соответствии с указаниями табл.15 СП 15.13330.2012 [4], поскольку других значений переходных коэффициентов для кладки стен зданий, возводимых в обычных условиях, в нормах не указаны.

Для кладки стен зданий, возводимых в сейсмоопасных регионах, значение R_{tb1} вычислялось по формуле СП 14.13330.2014 [13]:

$$R_{tb1} = 0,8 \times R_t^u = 0.8 \times 0.27 = 0,216 \text{ МПа}$$

6. В табл. 3.3, 3.4 значения $R_{tb2}^{экс}$ соответствует расчетному сопротивлению кладки на растяжение при изгибе по перевязанному сечению, вычисленному по формуле:

$$R_{tb2}^{экс} = R_{utb2}^i / K$$

где $K=2,25$ – данное значение принято с учетом рекомендаций Пособия [15] (стр.129, п.6).

Для кладки стен зданий, возводимых в сейсмоопасных регионах, значение R_{tb2} следует принимать согласно указаниям СП 14.13330.2014 [13] по таблице 11 СП [4], т.е:

$$R_{tb2} = 0,25 \text{ МПа}$$

7. С учетом результатов экспериментальных исследований кладки стен из ККППК производства ОАО «Славянский кирпич», выполненных в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (табл. 3.1, 3.2), расчетные сопротивления растяжению при изгибе по неперевязанному сечению кладки стен из камней Роготах-200 и Роготах-280 рекомендуется принимать (с

включением указанных значений в СТО), для зданий, возводимых в сейсмоопасных регионах, равными:

- $R_{fb1} = 0.13$ МПа – при использовании цементного раствора марки М100;
- $R_{fb1} = 0.17$ МПа – при использовании цементного раствора марки М150;
- $R_{fb1} = 0.17$ МПа – при использовании цементного раствора марки М150 и базальтовой сетки марки «СБНПС ГРИДЕКС 50(25)» (маркировка по СТО 5952-022-98214589-2013*, табл. 5.1) фирмы «РЕКСТРОМ-К».

а)



б)



Рис. 3.12. Общий вид образца (Роготах-200) до и после испытания на изгиб по неперевязанному сечению (схема испытания -1)

а)



б)



Рис.3.13. Общий вид опытного образца из камня Poromax-200 до и после испытания на изгиб по неперевязанному сечению.
Схема испытания – 1 (стрелками показаны зоны трещин)

a)



б)



Рис. 3.14. Общий вид образца серии ОНП (Pogomax-280) до и после испытания на изгиб по неперевязанному сечению (схема испытания -2)

а)



б)



Рис.3.15. Общий вид образца серии ОНП (Рогомах-280) до и после испытания на изгиб по неперевязанному сечению (схема испытания -1)

а)



б)



Рис. 3.16. Общий вид опытного образца (Рогомах-280), армированного базальтовой сеткой до и после испытания на изгиб по неперевязанному сечению (схема испытания – 1)

а)



б)



Рис.3.17. Общий вид опытного образца из камня (Poromax-280) до и после испытания на изгиб из плоскости по неперевязанному сечению (схема испытания -2)

а)



б)



Рис.3.18. Характер структуры шва опытного образца после испытания на изгиб по неперевязанному сечению

а)



б)



Рис.3.19. Характер структуры шва опытного образца после испытания на изгиб по неперевязанному сечению (образец, армированный базальтовой сеткой)

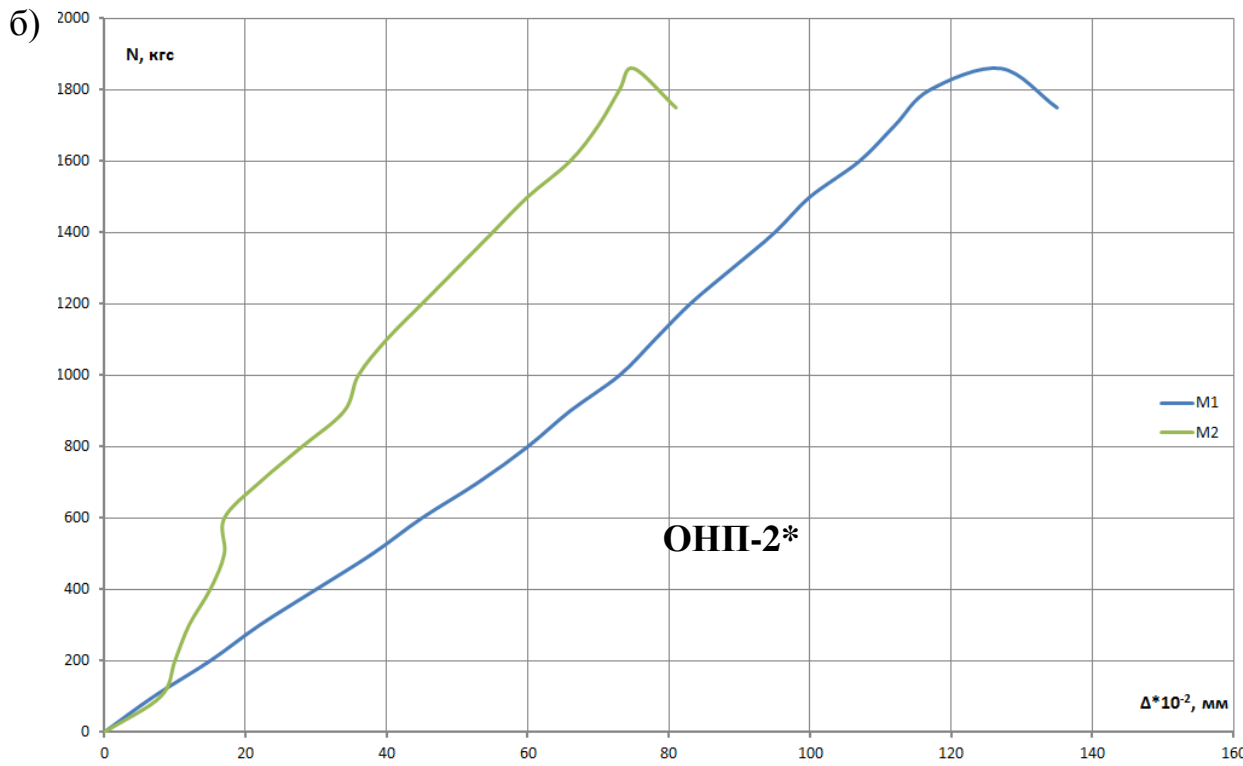
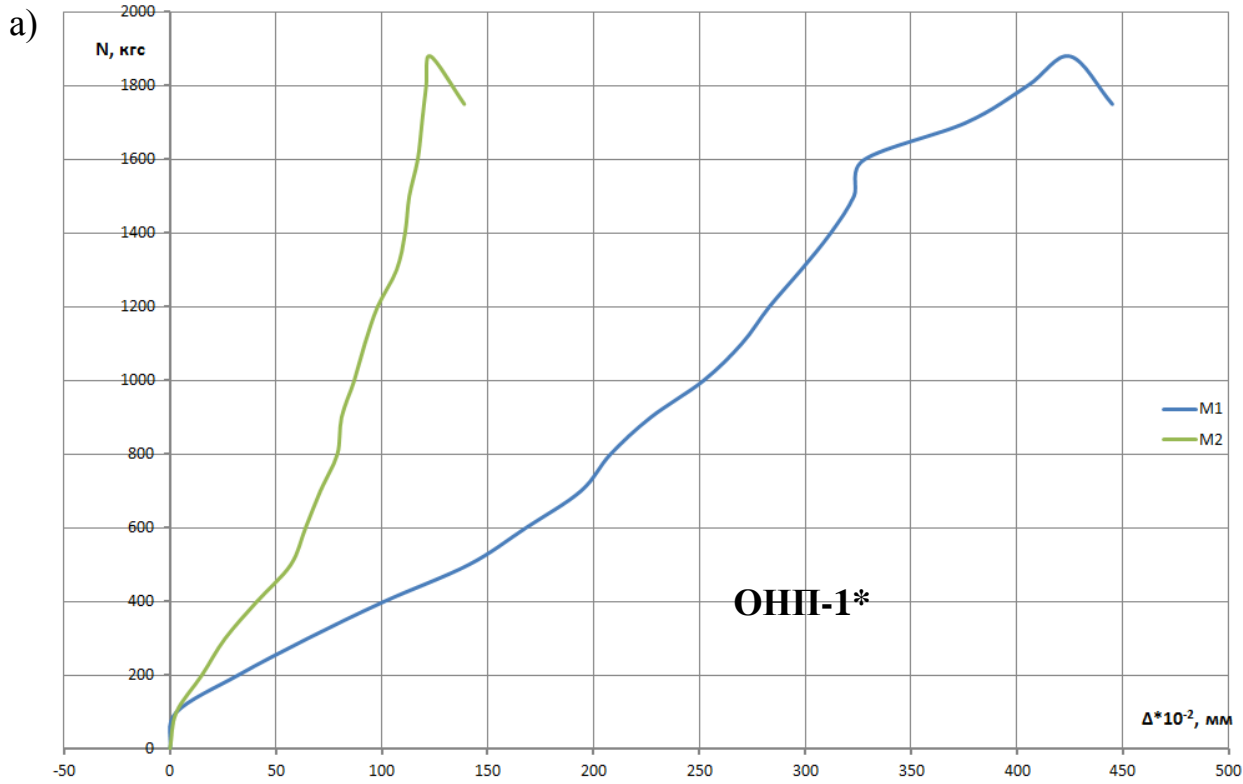


Рис.3.20. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОНП из камня Poromax-200

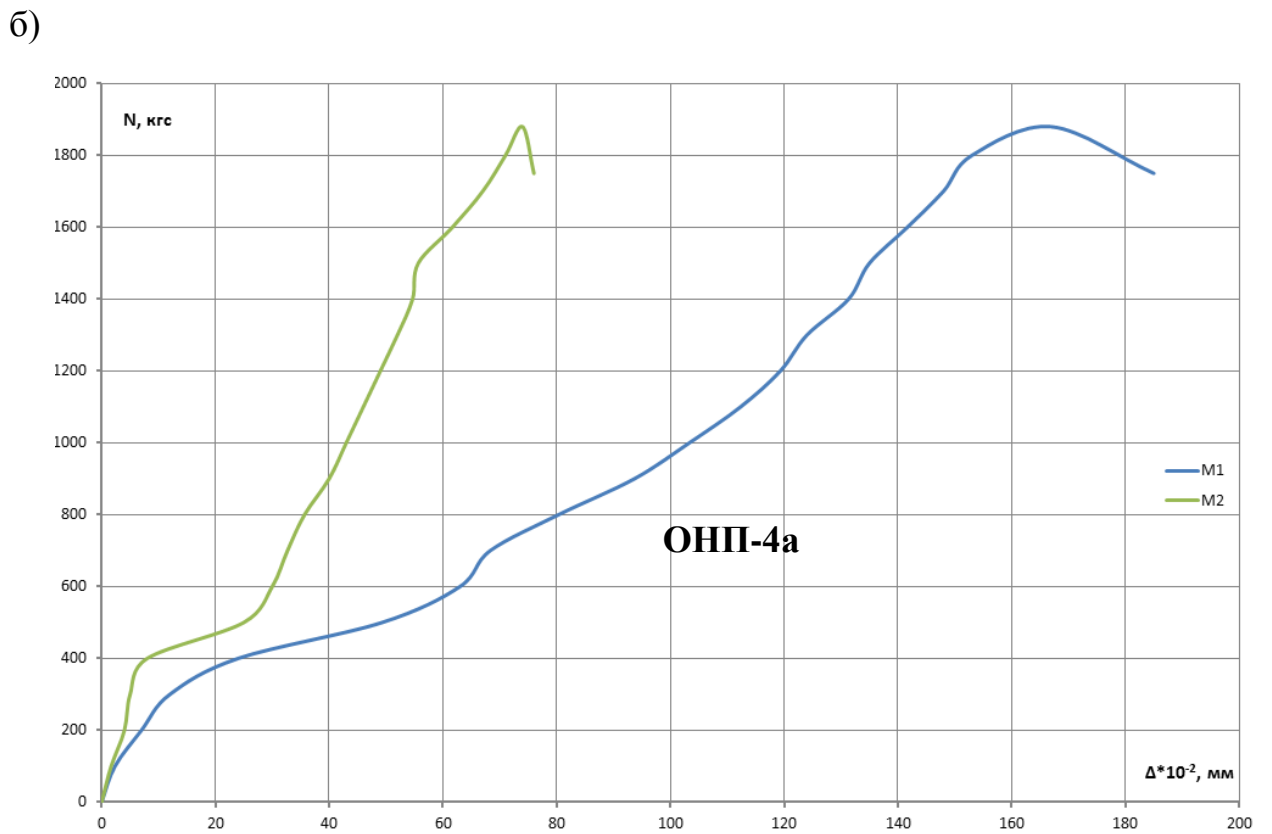
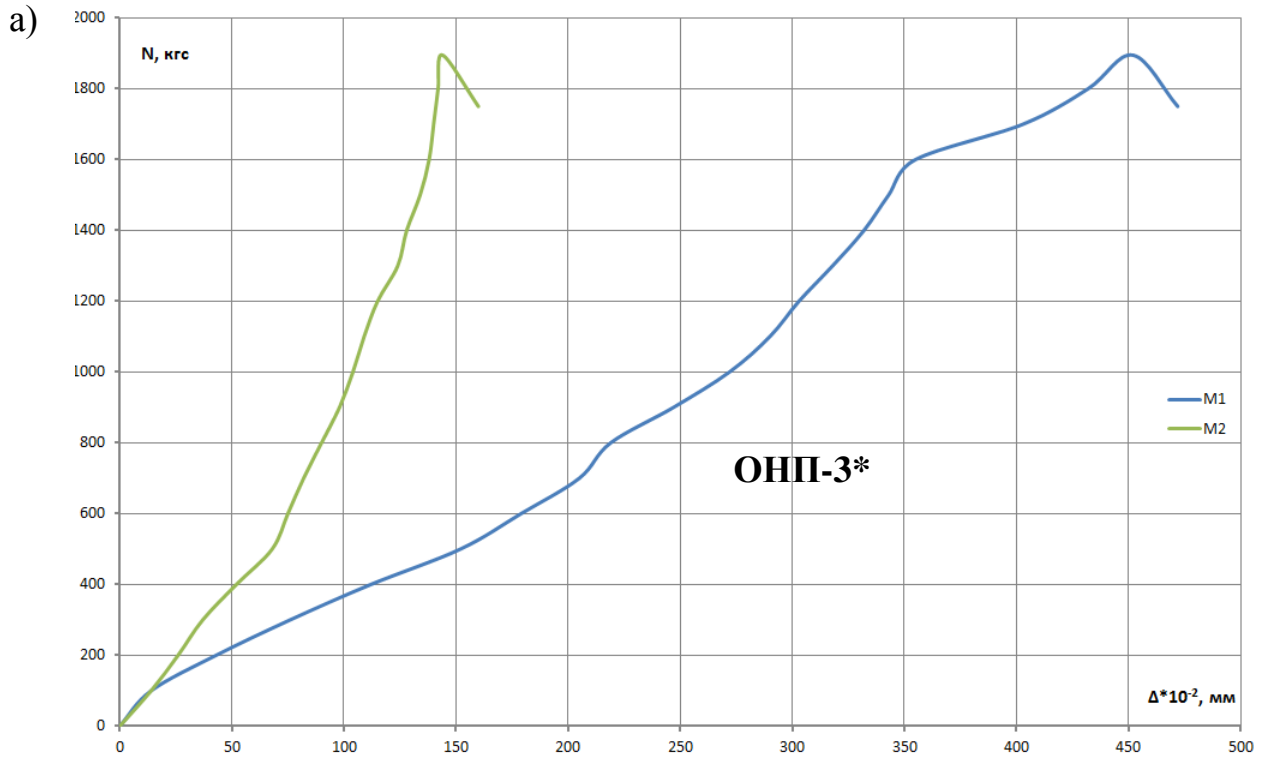
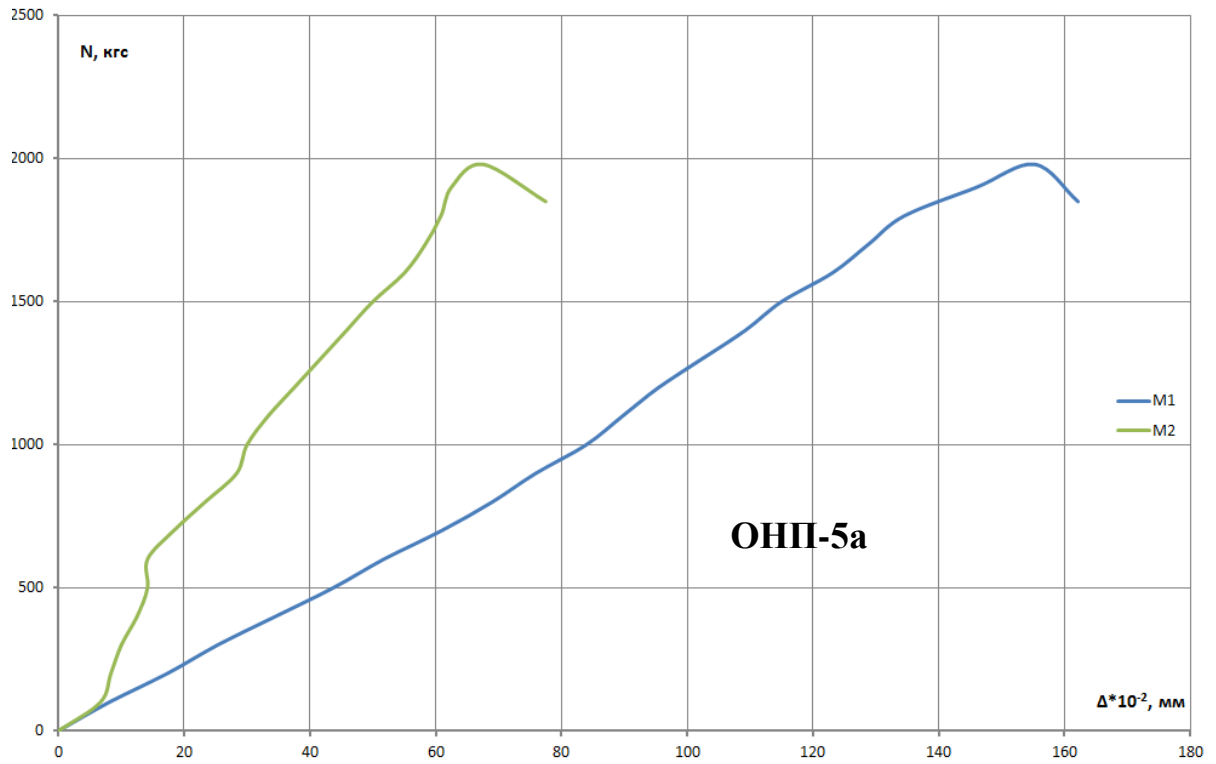


Рис.3.21. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОНП из камня Poromax-200

а)



б)

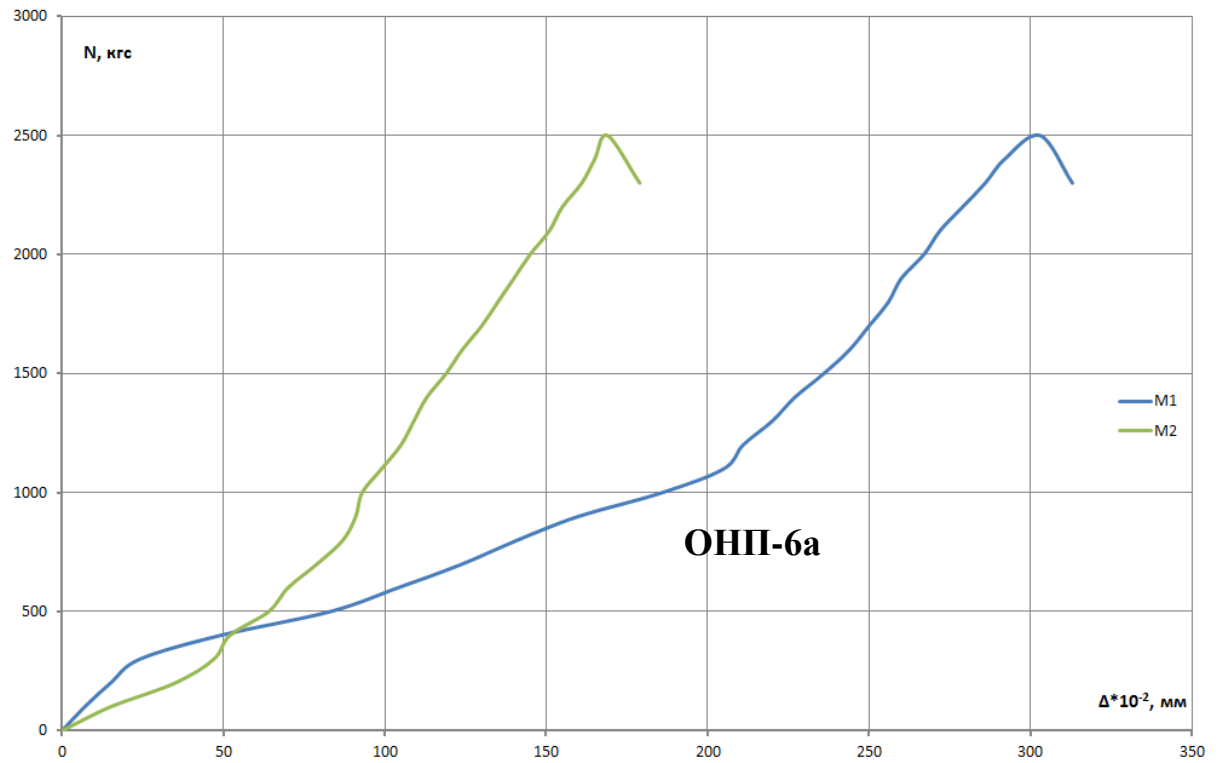
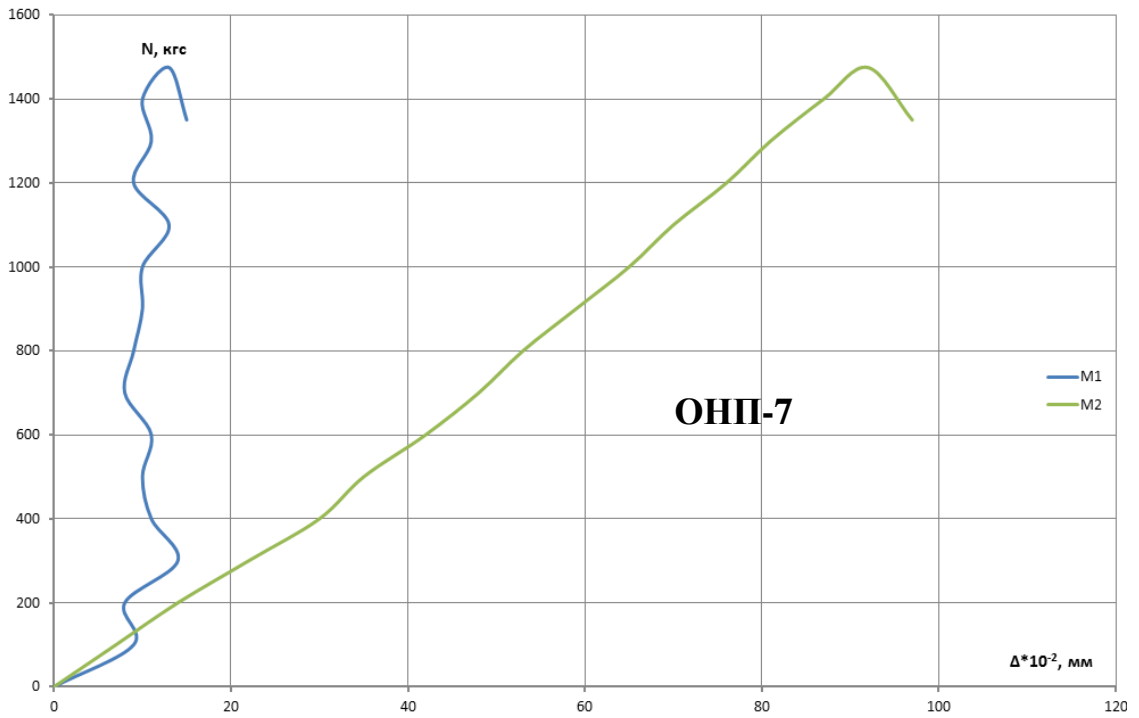


Рис.3.22. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОНП из камня Poromax-200

а)



б)

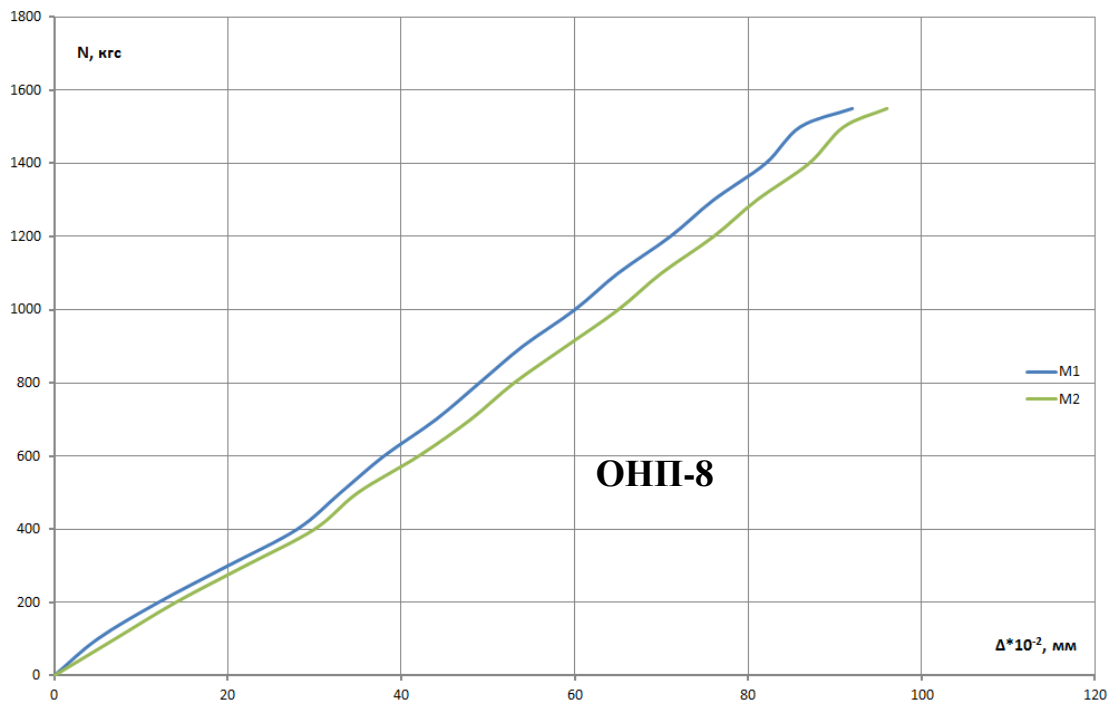


Рис.3.23. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОНП из камня Rogmax-200

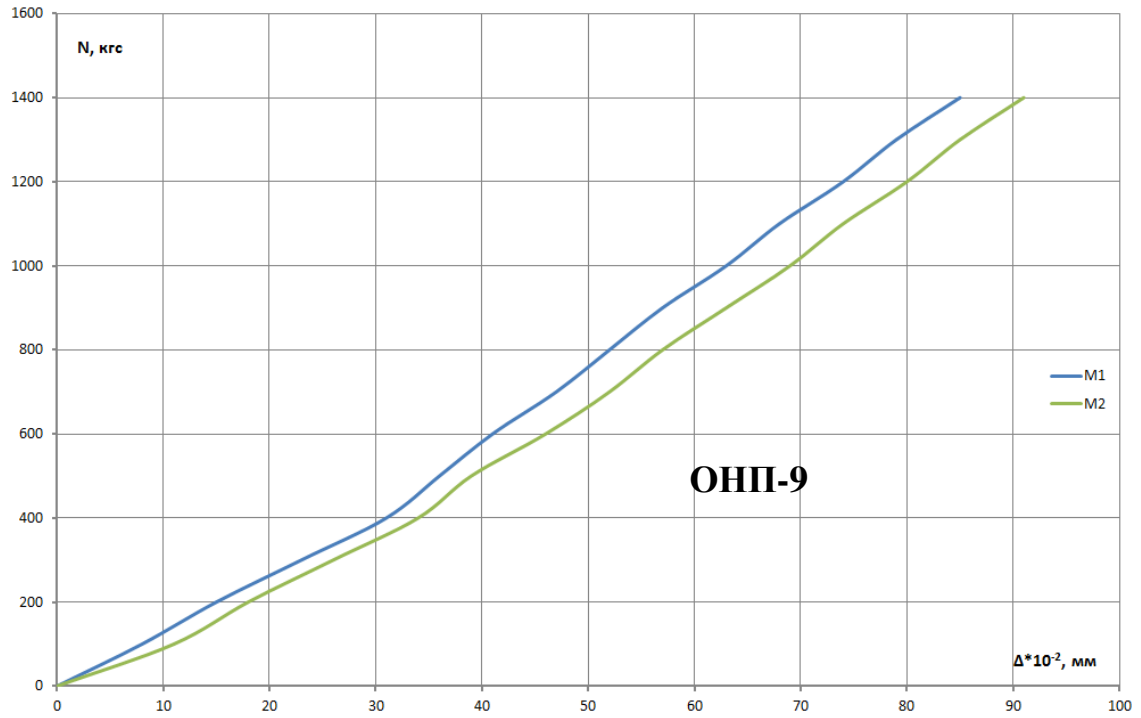
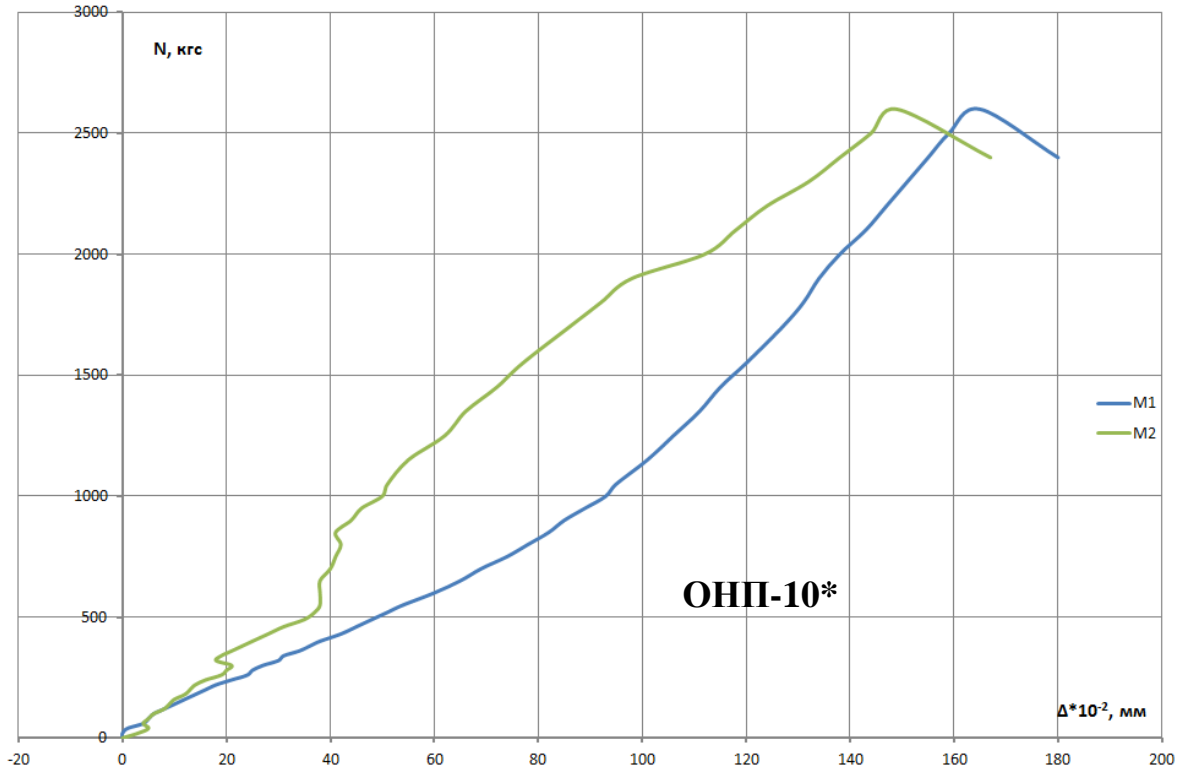


Рис.3.24. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОНП из камня Poromax-200

а)



б)

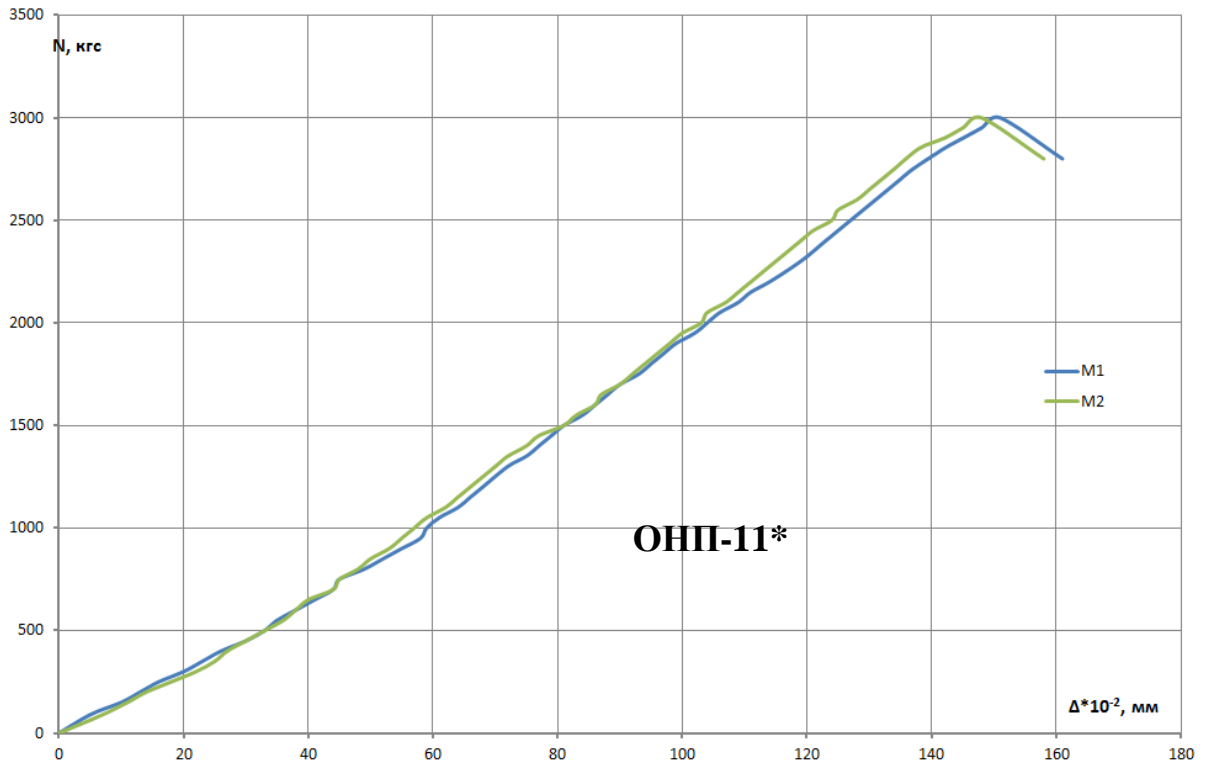
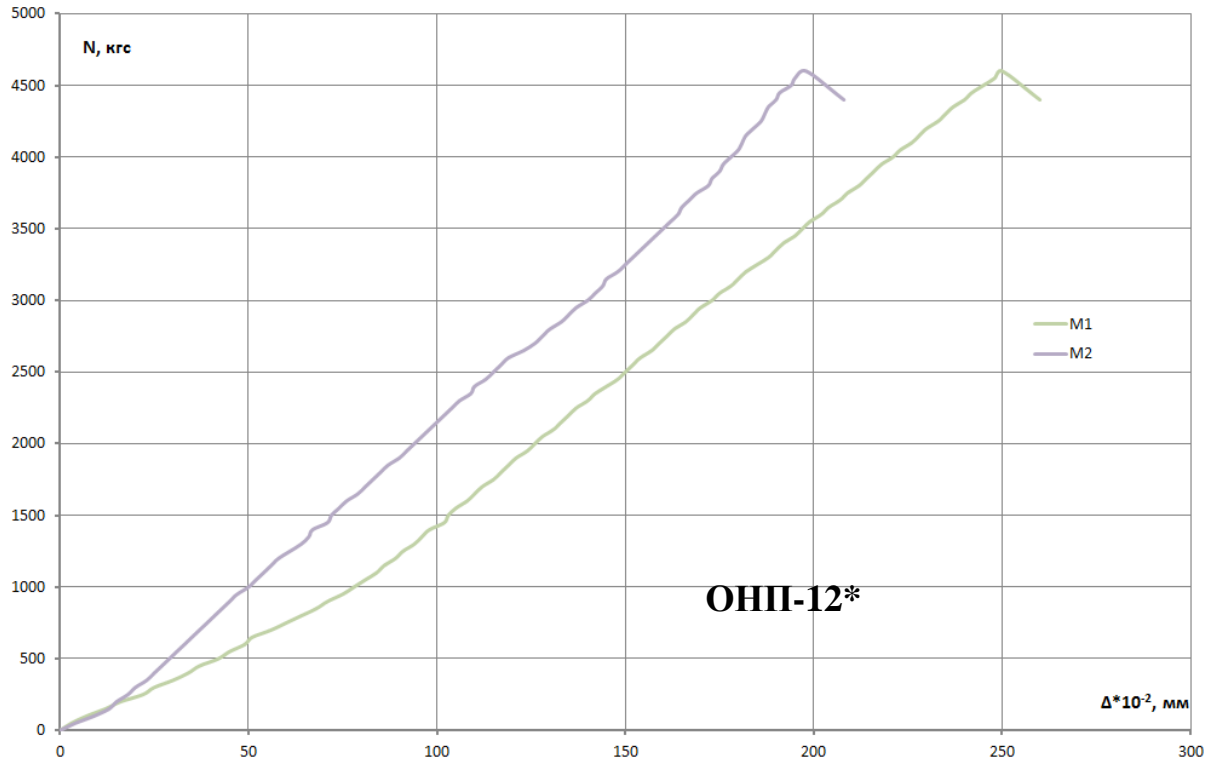


Рис.3.25. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОНП из камня RogoMax-280

а)



б)

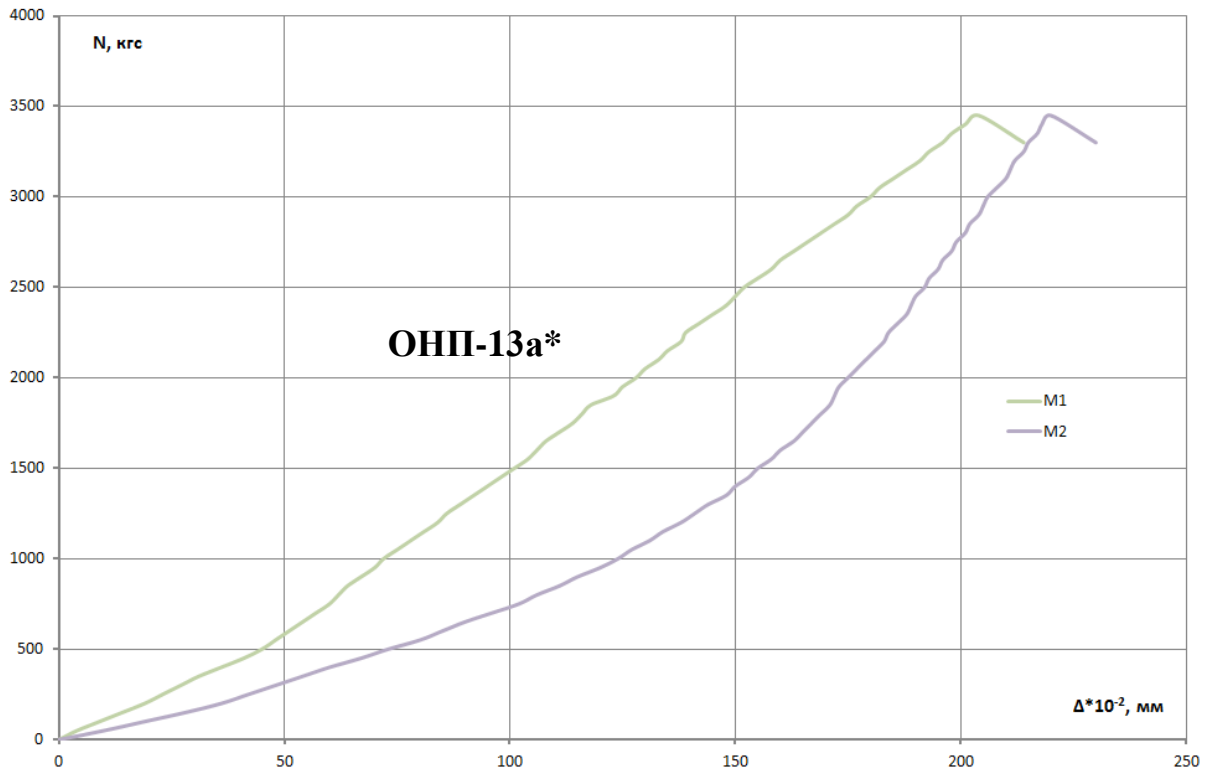
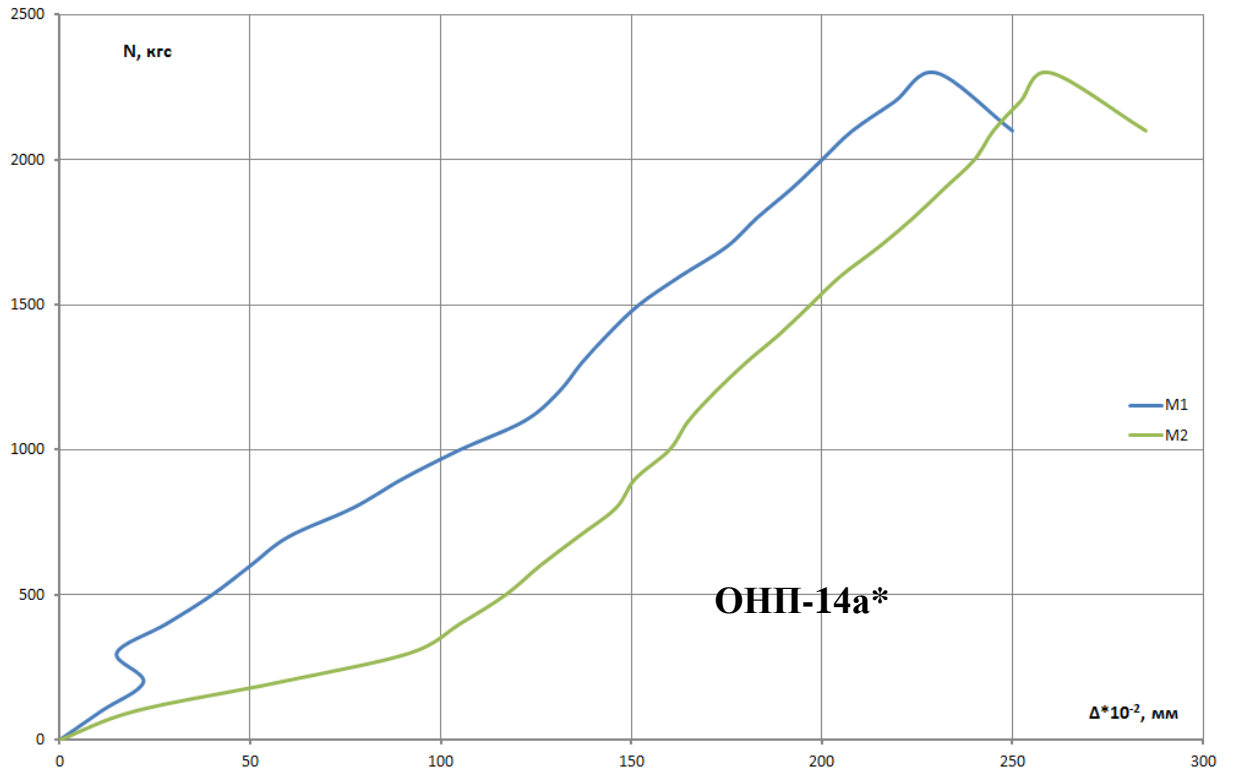


Рис.3.26. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОНП из камня RogoMax-280

а)



б)

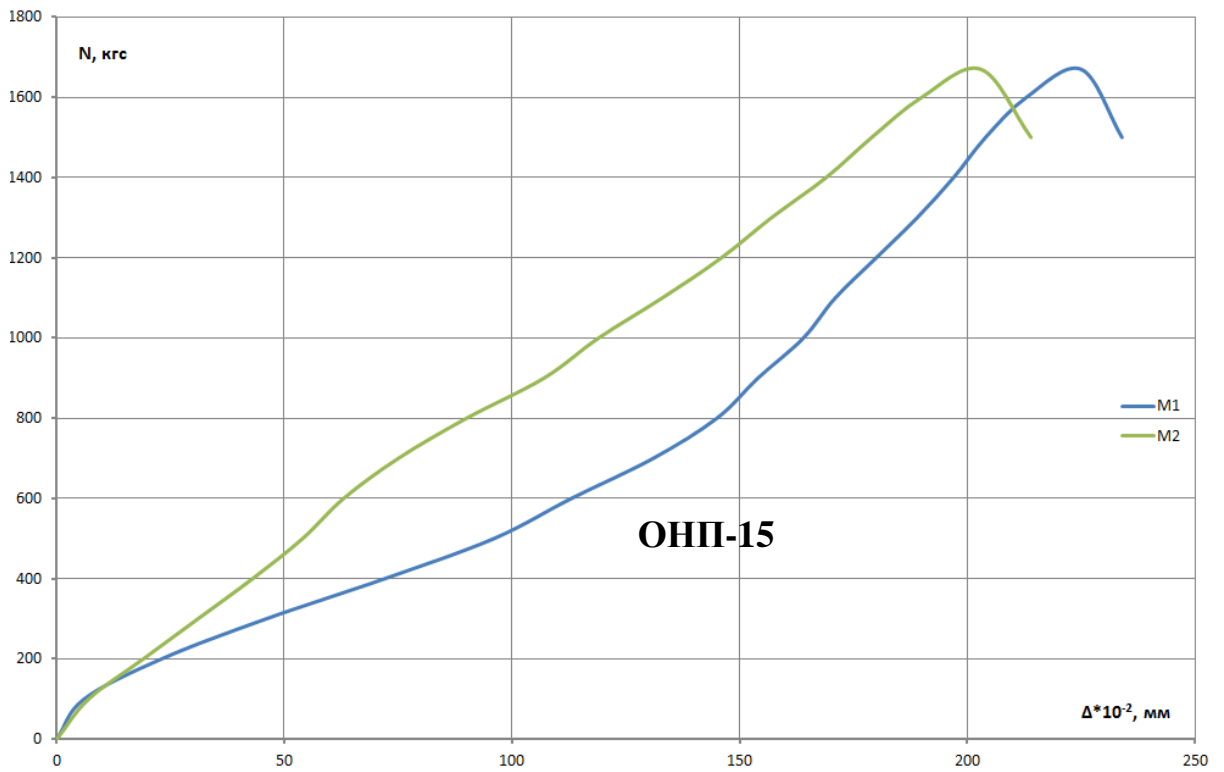
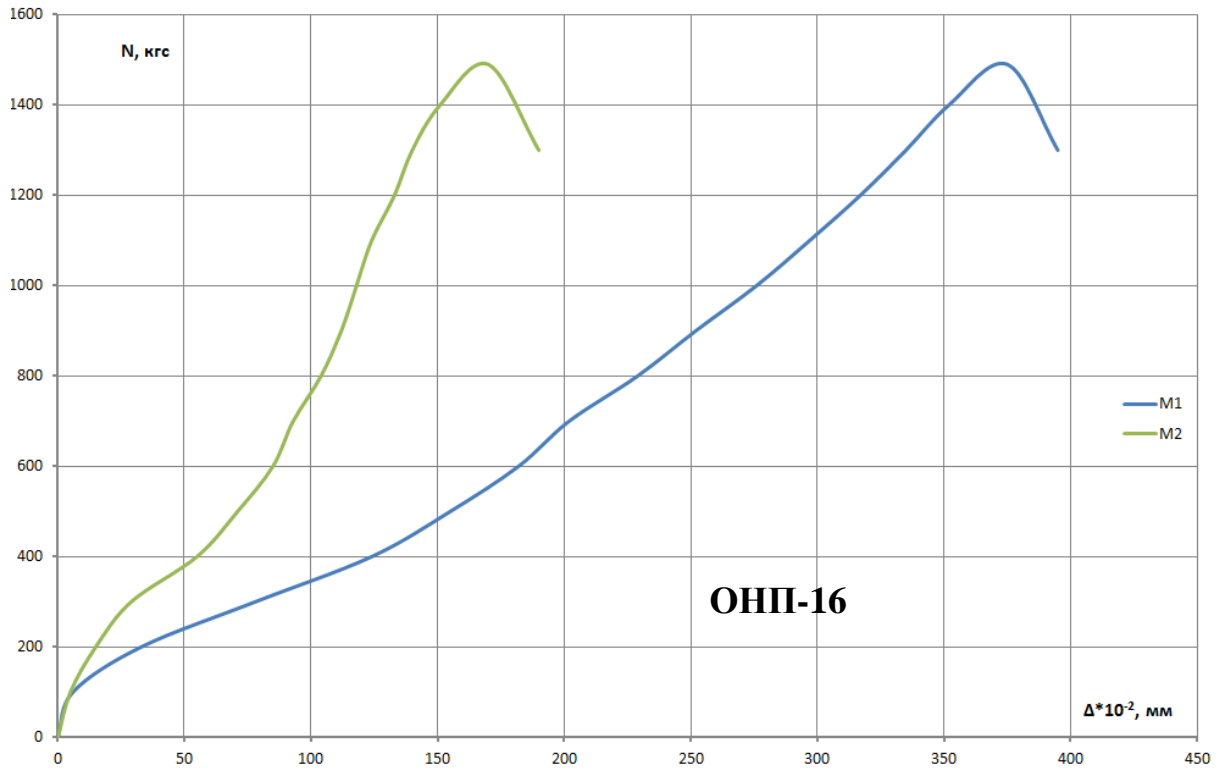


Рис.3.27. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОНП из камня Рогозах-280

а)



б)

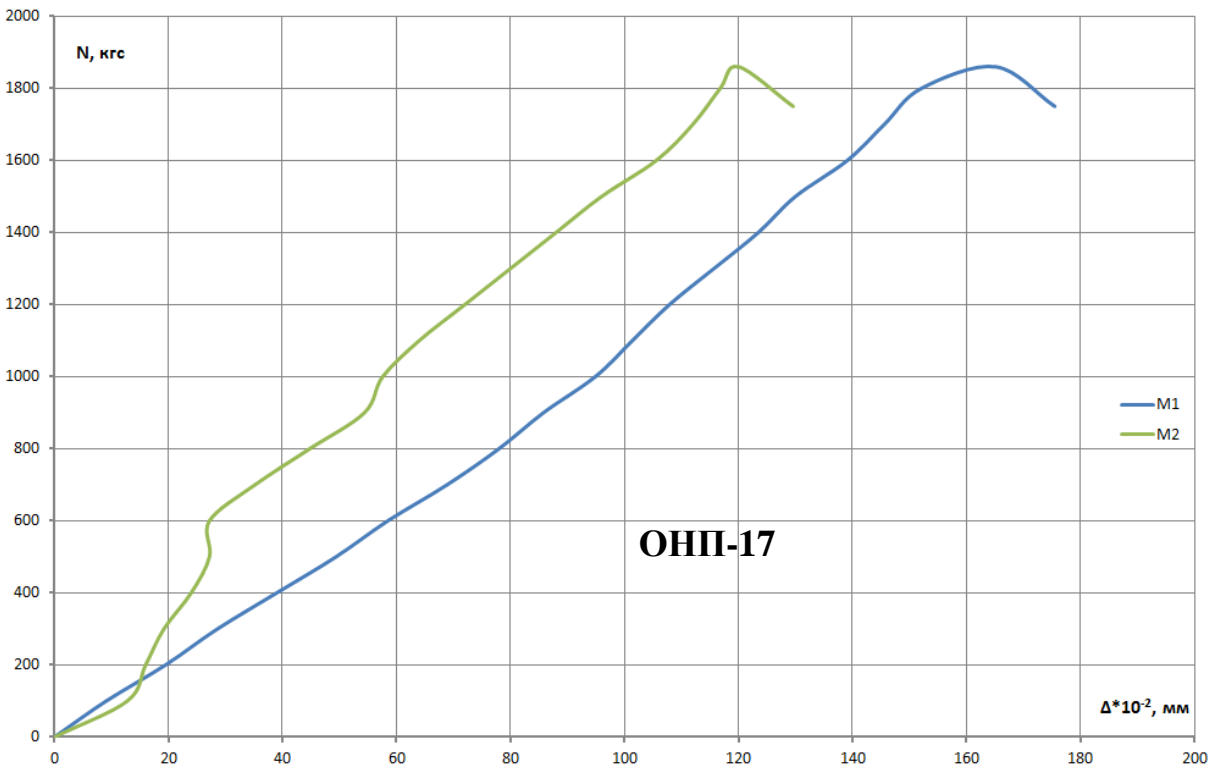


Рис.3.28. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОНП из камня RogoMax-280

Результаты испытаний кладки на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению

Таблица 3.1

Схема испытания	Обозначение образца	Размеры образца (см)	Марка		N ¹ _{тр} (кН)	N _{раз} (кН)	$\frac{N_{тр}^1}{N_{раз}}$	R _{u,tb1} (МПа)		R ^{экс} _{tb1} (МПа)	R ^{норм} _{tb1} (МПа)
			Камня	Раствора				R ⁱ _{u,tb1}	$\frac{R^{cp}_{u,tb1}}{R^{мин}_{u,tb1}}$		
	ОНП-1* ОНП-2* ОНП-3*		150	175	18.0	18.8	0.95	0.35	0.34/0.32	0.16	0.216
		150		18.0	18.6	0.97	0.32				
		160		18.0	19.0	0.95	0.36				
	ОНП-4а ОНП-5а ОНП-6а			154	18.0	18.8	0.96	0.382	0.39/0.38	0.19	
		168		18.5	19.8	0.93	0.388				
		182		24.0	25.0	0.98	0.423**				
	ОНП-7 ОНП-8 ОНП-9			88	14.7	14.8	0.98	0.26	0.29/0.26	0.13	
		78		15.0	16.0	0.94	0.34				
		95		13.0	13.8	0.94	0.28				

*⁾ Образцы испытывались по схеме I – горизонтальное расположение стенки

**⁾ При определении среднего значения данная величина не учитывалась

***⁾ Образцы с индексов «а» изготавливались с армированием сеткой «РЕКСТРОМ-К» (см. стр.3)

Результаты испытаний кладки на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению

Таблица 3.2

Схема испытания	Обозначение образца	Размеры образца (см)	Марка		N ¹ _{тр} (кН)	N _{раз} (кН)	$\frac{N_{тр}^1}{N_{раз}}$	R _{u,tb1} (МПа)		R ^{экс} _{tb1} (МПа)	R ^{норм} _{tb1} (МПа)
			Камня	Раствора				R ⁱ _{u,tb1}	$\frac{R_{u,tb1}^{cp}}{R_{u,tb1}^{мин}}$		
	ОНП-10* ОНП-11* ОНП-12*		100	158	25.5	26.0	0.98	0.34	0.356/0.34	0.17	0.216
		175		29.5	30.0	0.98	0.37				
		152		45.0	46.0	0.97	0.59**				
	ОНП-13 ^а * ОНП-13а* ОНП-14а*			110	24.0	24.0	1.0	0.38	0.36/0.34	0.17	
		149		34.5	34.5**	1.0	0.44				
		104		23.0	23.0	1.0	0.34				
	ОНП-15 ОНП-16 ОНП-17			110	16.5	17.0	0.97	0.245	0.248/0.24	0.12	
		92		16.0	16.0	1.0	0.241				
		102		18.0	18.5	0.97	0.259				

*) Образцы испытывались по схеме I – горизонтальное расположение стенки

**) При определении среднего значения данная величина не учитывалась

***) Образцы с индексов «а» изготавливались с армированием сеткой «РЕКСТРОМ-К» (см. стр.3)

С учетом имеющего место разброса величин нагрузок было проведено дополнительное испытание образца ОНП-13^а*

Анализ результатов лабораторных испытаний опытных образцов кладки на растяжение при изгибе по перевязанному сечению позволяет отметить следующее.

1. На рис. 3.29-3.37 показан общий вид опытных образцов кладки стен из ККППК Rogomax-200 и Rogomax-280 до и после испытаний (в горизонтальном и вертикальном стендах) на изгиб по перевязанному сечению, а также характер разрушения образцов.
2. На рис. 3.38-3.47 приведены графики деформирования кладки опытных образцов в процессе их испытания на изгиб по перевязанному сечению.
3. Как видно из табл.3.3, 3.4, в процессе нагружения опытных образцов, армированных базальтовой сеткой, первые трещины появились при напряжениях в кладке, соответствующих моменту разрушения (или близких к нему) неармированной кладки.

Применение базальтовой сетки с ячейкой от 25×25мм до 40×40мм позволяет повысить прочность кладки при изгибе по перевязанному сечению на 25-30% по сравнению с неармированной кладкой.

4. Вычисление значений расчетных сопротивлений растяжению при изгибе по перевязанному сечению кладки стен из ККППК выполнено аналогично указанному на стр 60. При этом для стен зданий из ККППК, возводимых в обычных условиях использован, согласно Пособию [15] коэффициент $K=2,25$. Для стен зданий, возводимых с вейсмоопасных регионах, нормируемое значение расчетного сопротивления кладки из ККППК растяжение при изгибе по перевязанному сечению следует принимать равным $R_{tb2}= 0.20$ МПа (при марке раствора М100, М150) и $R_{tb2}= 0.24$ МПа (при марке раствора М150 с использованием базальтовой сетки марки «СБНПс ГРИДЕКС 50(25 фирмы «РЕКСТРОМ-К»)). Снижение прочности кладки на растяжение при изгибе по сравнению с приведенными значениями в табл.11, 12 [13] обусловлено наличием пустого вертикального шва.

а)



б)



Рис.3.29. Общий вид образца (Рогомах-200) до и после испытания на изгиб по перевязанному сечению (схема испытания – 1)

а)

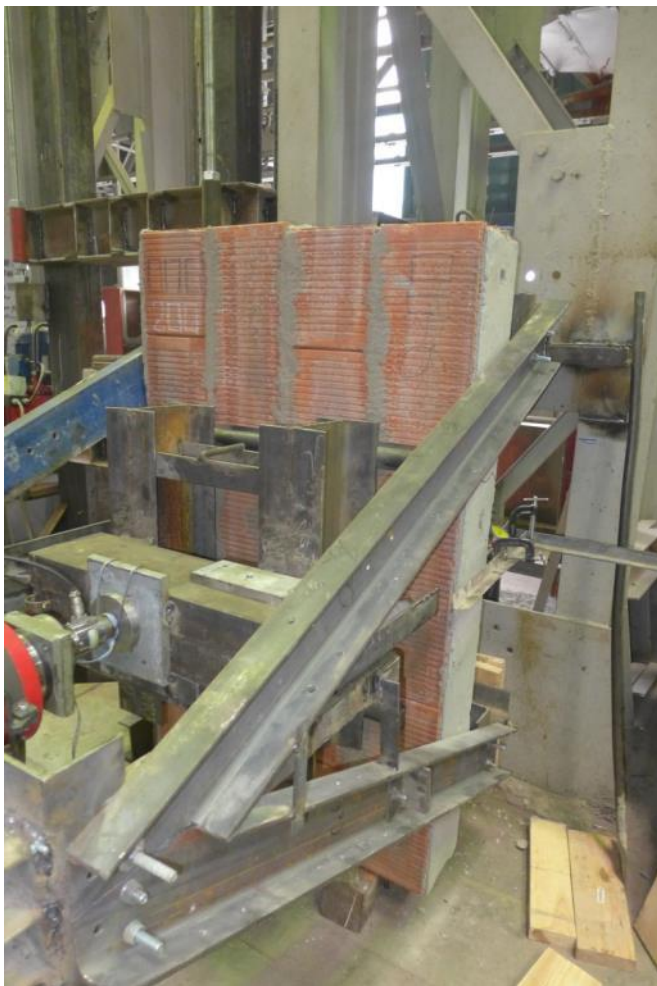


б)



Рис.3.30. Общий вид образца (Роготах-200) до и после испытания на изгиб по перевязанному сечению (схема испытания – 1)

а)



б)



Рис.3.31. Общий вид образца (Pogomax-200) до и после испытания на изгиб по перевязанному сечению (схема испытания – 2)

a)



б)



Рис.3.32. Общий вид образца (Poromax-200) до и после испытания на изгиб по перевязанному сечению (схема испытания – 2)

а)



б)



Рис.3.33. Общий вид образца (Rogomax-200) до и после испытания на изгиб по перевязанному сечению (схема испытания – 1)

а)



б)



Рис.3.34. Общий вид образца (Rogomax-280) до и после испытания на изгиб по перевязанному сечению (схема испытания – 1)



Рис.3.35. Общий вид образца (Rogomax-280) до и после испытания на изгиб по перевязанному сечению (схема испытания – 2)

а)



б)



Рис.3.36. Характер разрушения образца серии ОП

а)



б)



Рис.3.37 Характер разрушения армированного образца серии ОП

Результаты испытаний кладки на растяжение при изгибе по перевязанному сечению

Таблица 3.3

Схема испытания	Обозначение образца	Размеры образца (см)	Марка		N ¹ _{тр} (кН)	N _{раз} (кН)	$\frac{N_{тр}^1}{N_{раз}}$	R _{u,tb2} (МПа)		R ^{экс} _{tb2} (МПа)	R ^{норм} _{tb2} (МПа)
			Камня	Раствора				R ⁱ _{u,tb2}	$\frac{R^{cp}_{u,tb2}}{R^{мин}_{u,tb2}}$		
	ОП-1*		150	200	14.5	15.5	0.94	0.410	0.413/0.408	0.18	0.25
	ОП-2*			156	15.0	16.65	0.96	0.408			
	ОП-3*			160	14.0	15.5	0.92	0.421			
	ОП-4а			152	21.0	25.0	0.84	0.620	0.61/0.58	0.27	
	ОП-5а			142	21.8	24.5	0.89	0.580			
	ОП-6а			139	23.9	27.8	0.86	0.564			
	ОП-7			74	22.5	23.0	0.97	0.415	0.436/0.415	0.19	
	ОП-8			116	15.0	15.6	0.96	0.432			
	ОП-9			79	20.0	21.0	0.95	0.462			

*) Образцы испытывались по схеме I – горизонтальное расположение стенки

**) Образцы с индексов «а» изготавливались с армированием сеткой «РЕКСТРОМ-К» (см. стр.3)

Результаты испытаний кладки на растяжение при изгибе по перевязанному сечению

Таблица 3.4

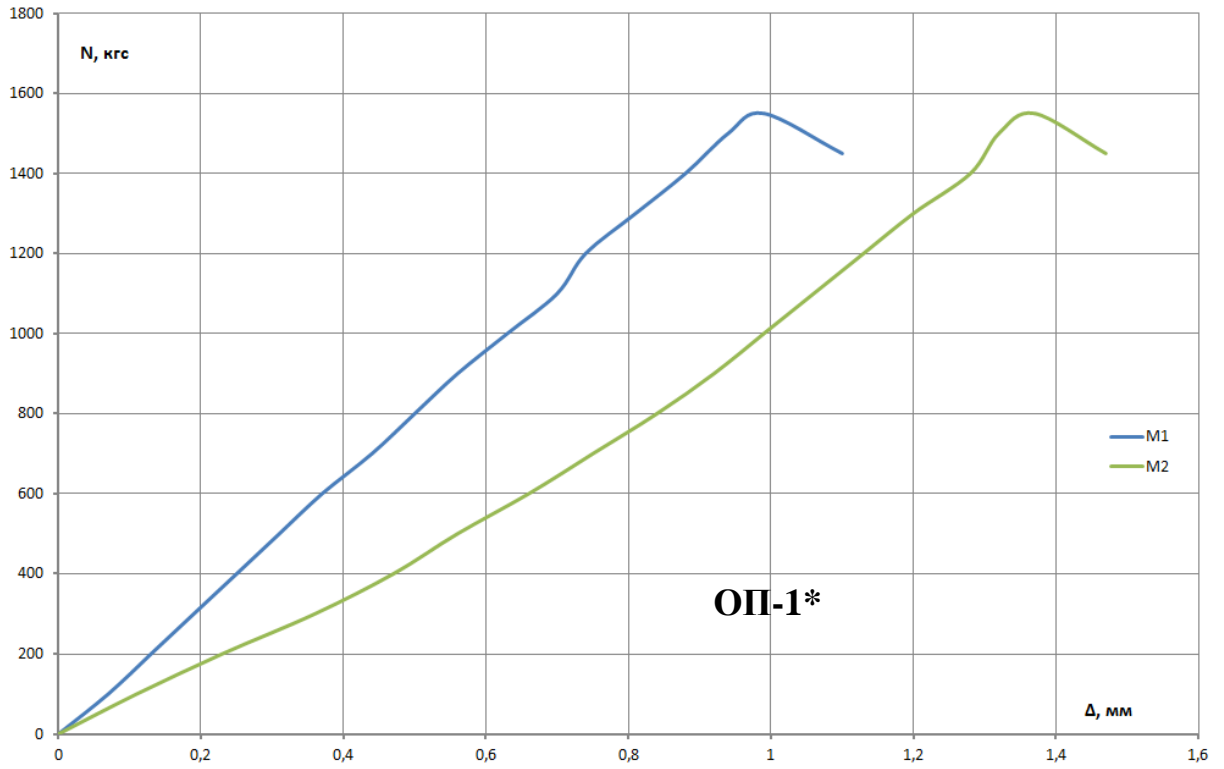
Схема испытания	Обозначение образца	Размеры образца (см)	Марка		N ¹ _{тр} (кН)	N _{раз} (кН)	$\frac{N_{тр}^1}{N_{раз}}$	R _{u,tb2} (МПа)		R ^{экс} _{tb2} (МПа)	R ^{норм} _{tb2} (МПа)
			Камня	Раствора				R ⁱ _{u,tb2}	$\frac{R^{сп}_{u,tb2}}{R^{мин}_{u,tb2}}$		
	ОП-10*		100	210	38.5	39.2	0.98	0.48	0.45/0.42	0.20	0.25
	ОП-11*			154	40.0	41.6	0.96	0.42			
	ОП-12*			162	47.0	48.0	0.98	0.46			
	ОП-13а			103	20.8	27.8	0.75	0.30**	0.55/0.549	0.24	
	ОП-14а			178	52.0	69.0	0.76	0.56			
	ОП-15а			160	52.0	71.0	0.74	0.55			
	ОП-16			86	38.0	38.8	0.98	0.40	0.42/0.40	0.19	
	ОП-17			108	45.5	46.3	0.98	0.42			
	ОП-18			102	47.0	48.0	0.98	0.44			

*) Образцы испытывались по схеме I – горизонтальное расположение стенки

**) При определении среднего значения данная величина не учитывалась

***) Образцы с индексов «а» изготавливались с армированием сеткой «РЕКСТРОМ-К» (см. стр.3)

а)



б)

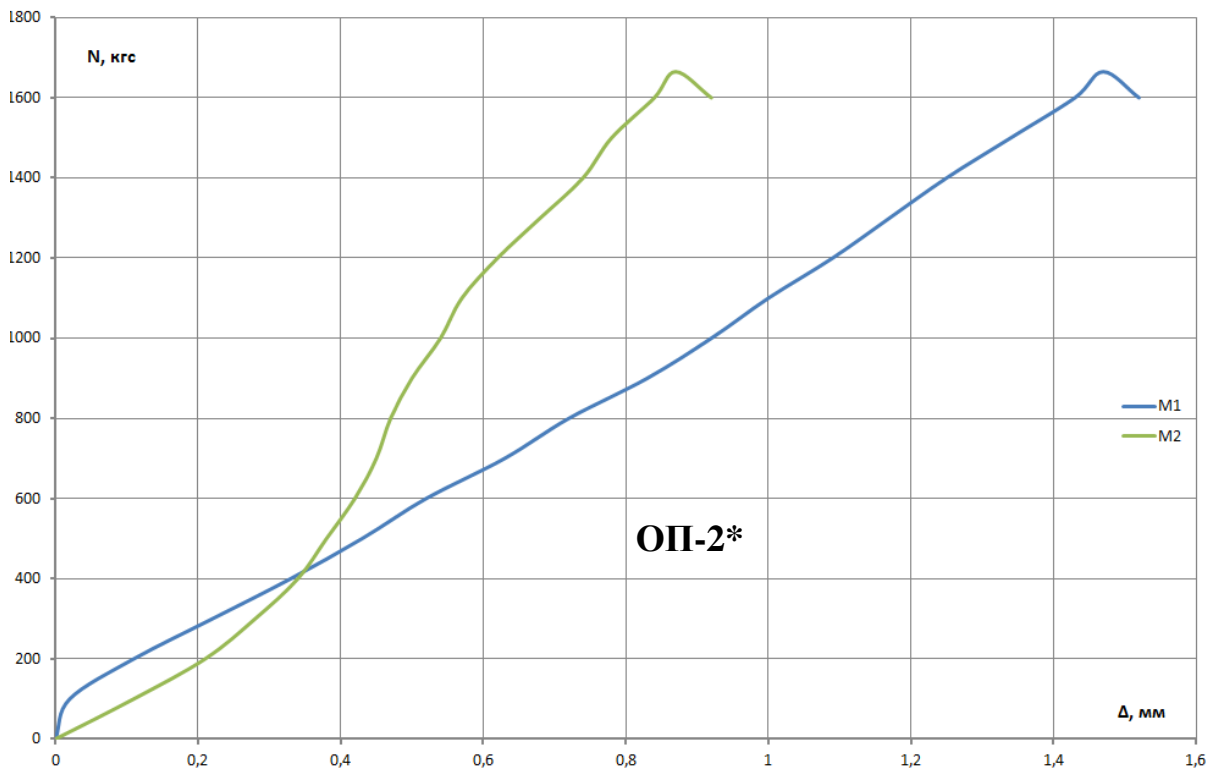
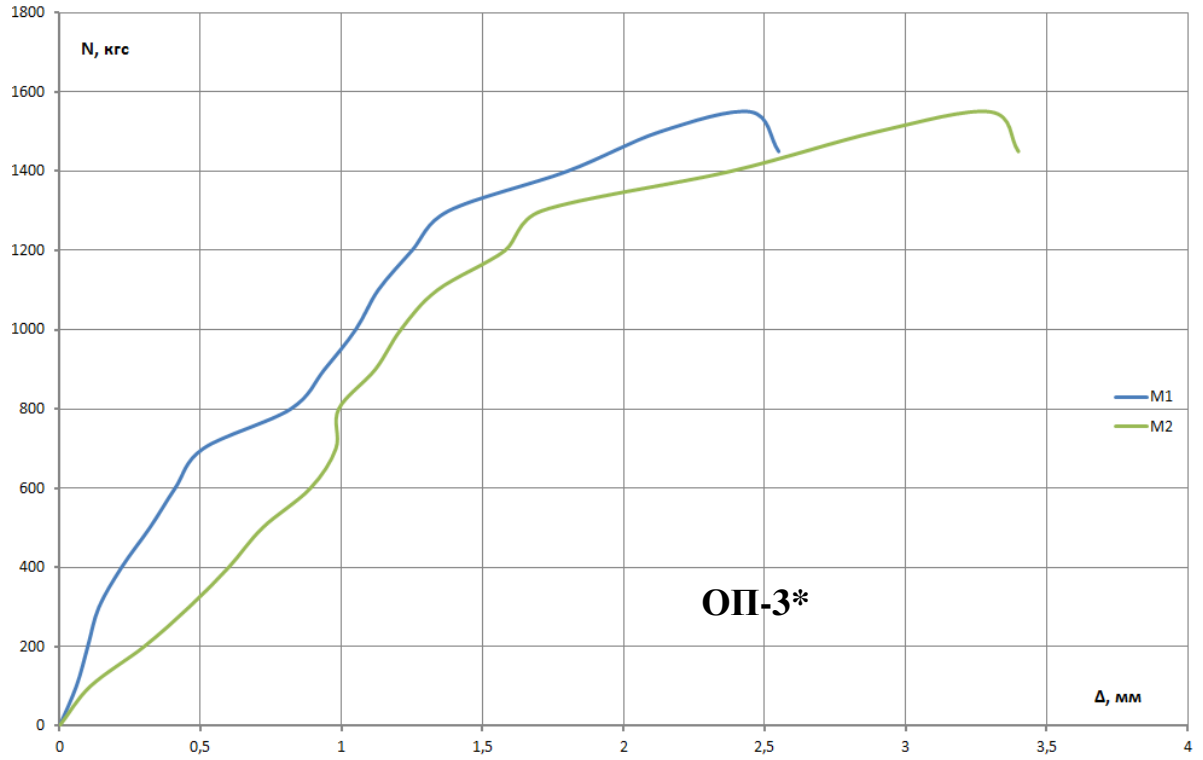


Рис.3.38 Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОП из камня RogoMax-200

а)



б)

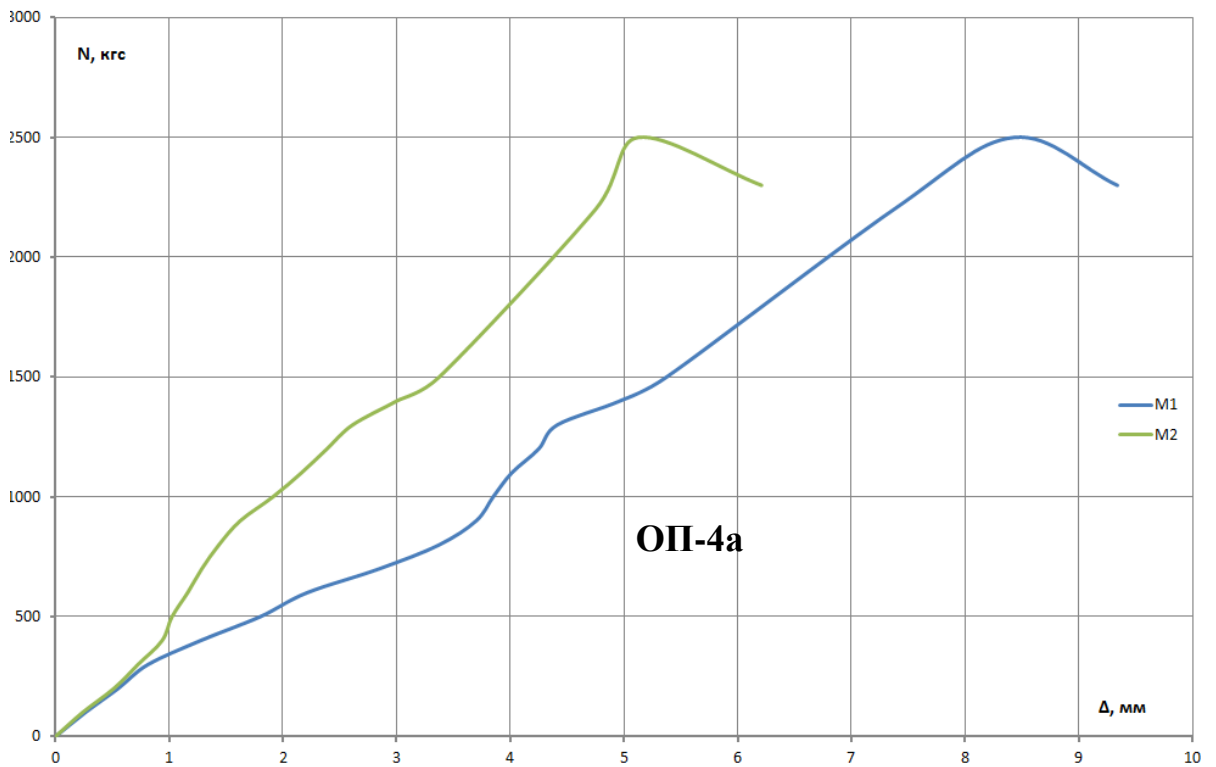
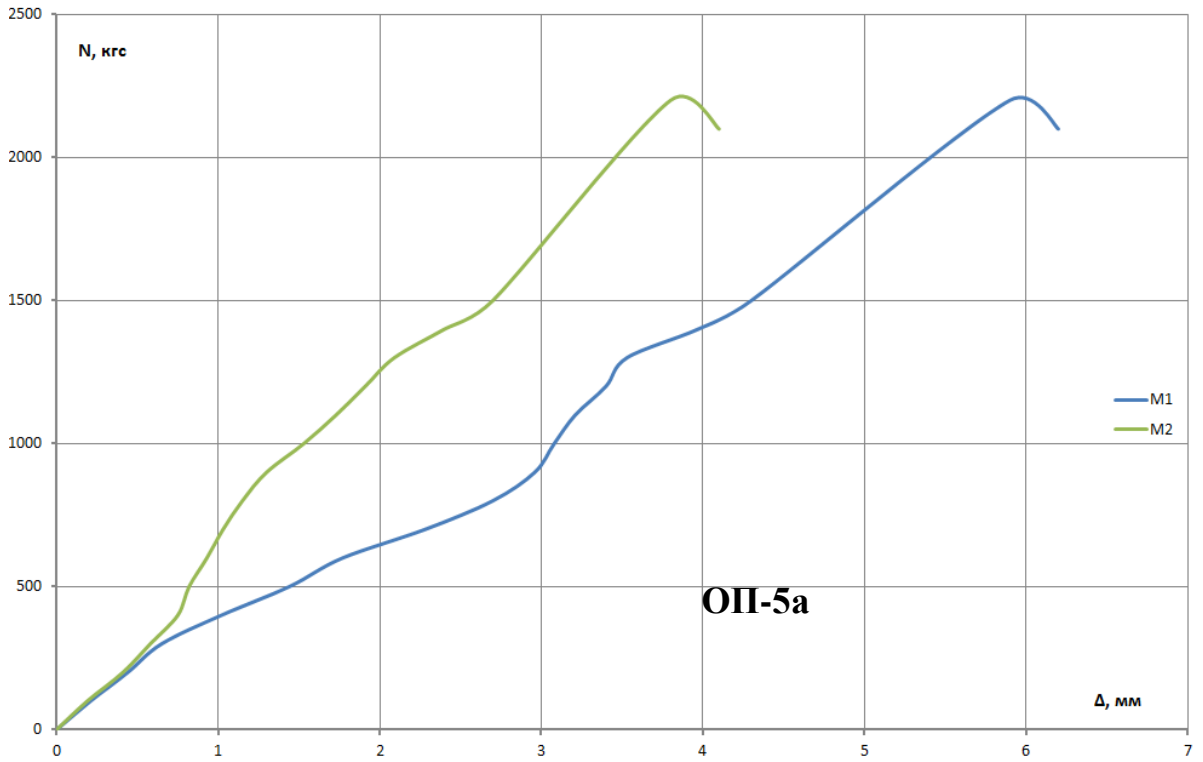


Рис.3.39 Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОП из камня RogoMax-200

а)



б)

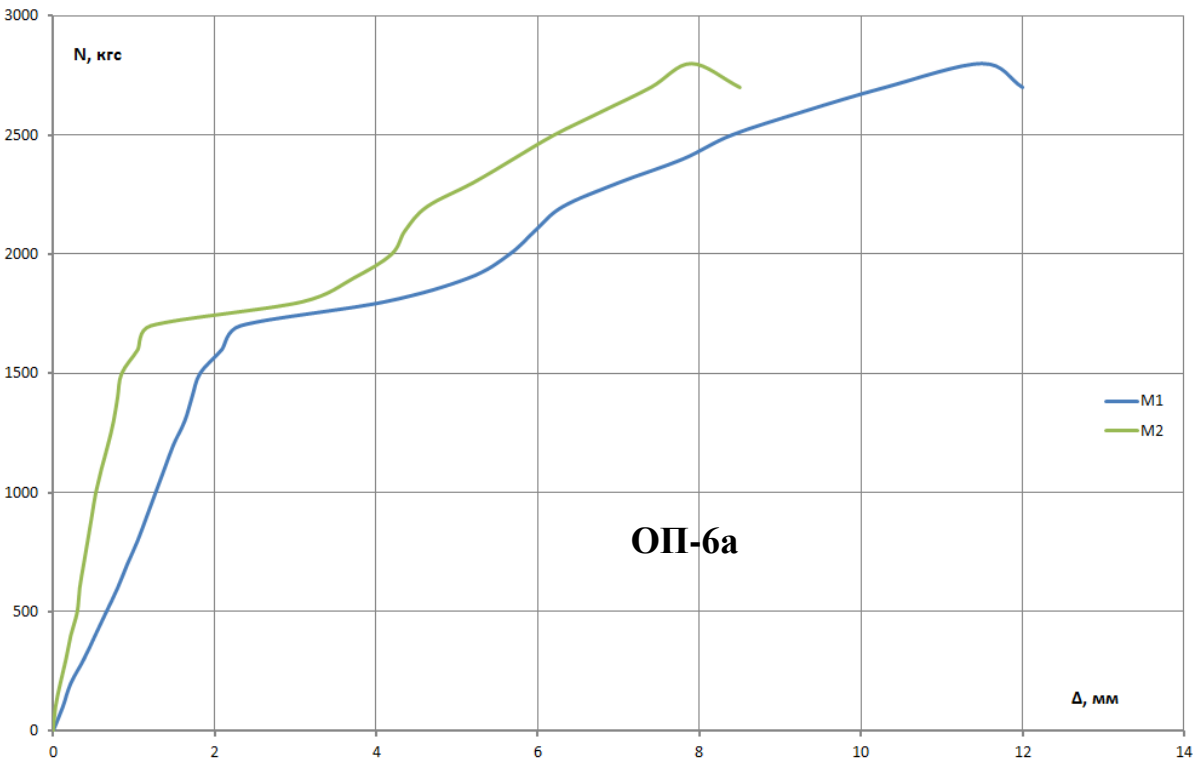
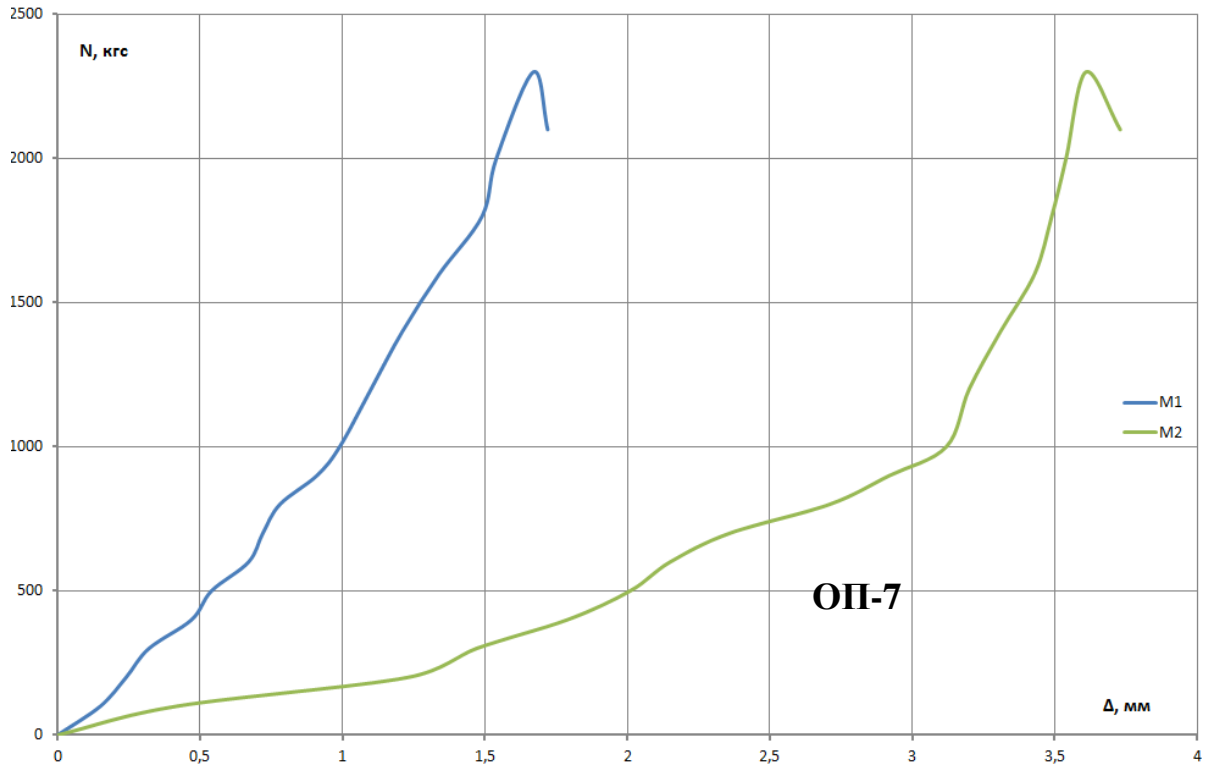


Рис.3.40. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОП из камня RogoMax-200

а)



б)

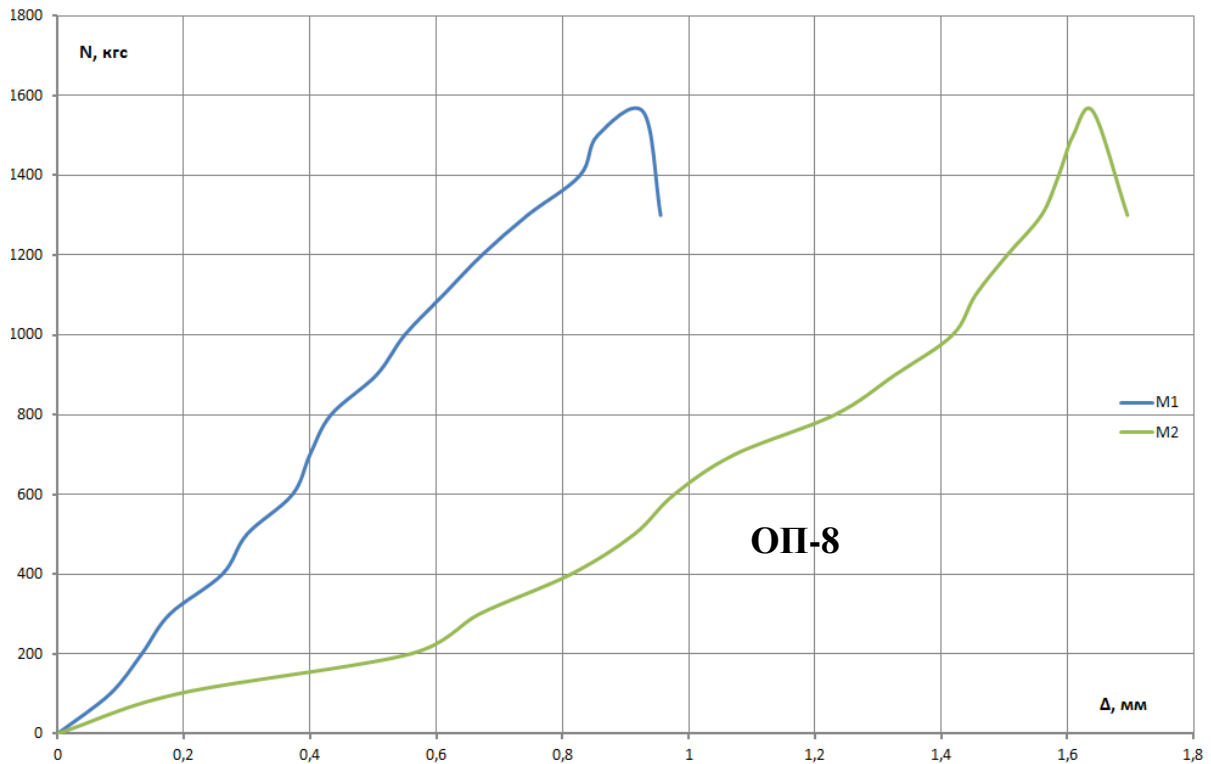


Рис.3.41. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОП из камня RogoMax-200

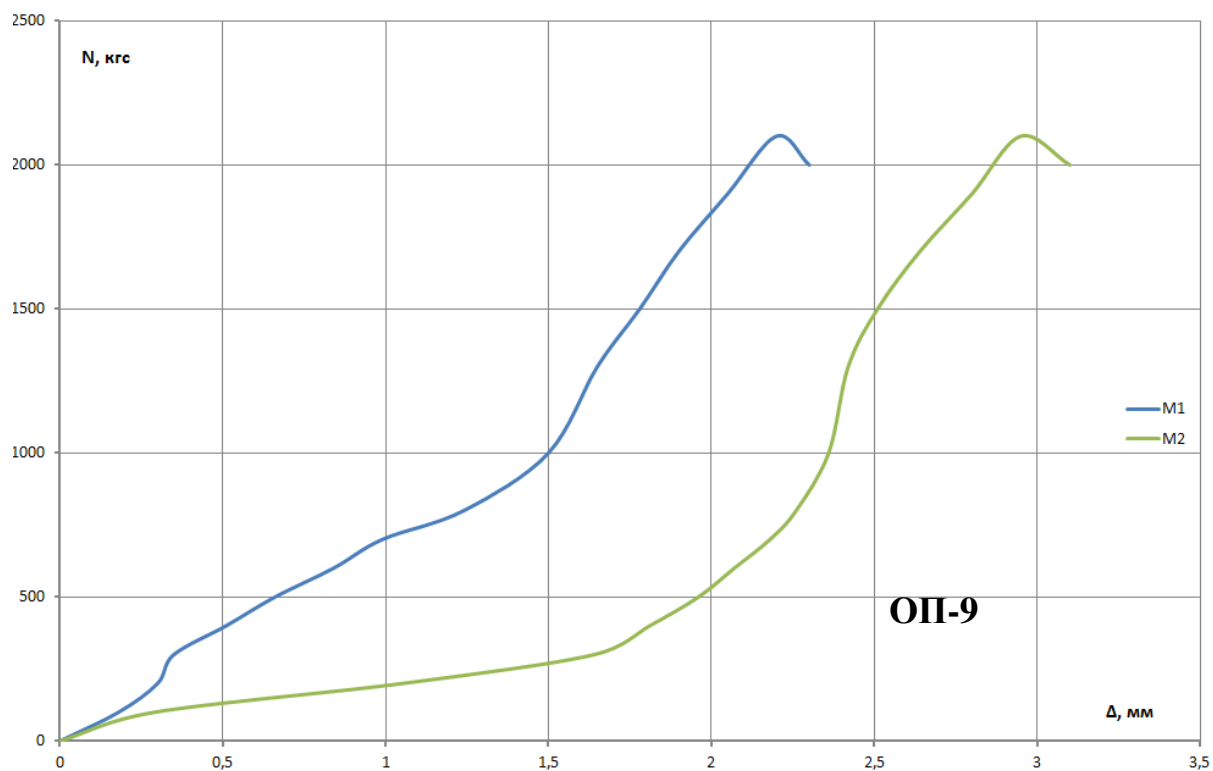
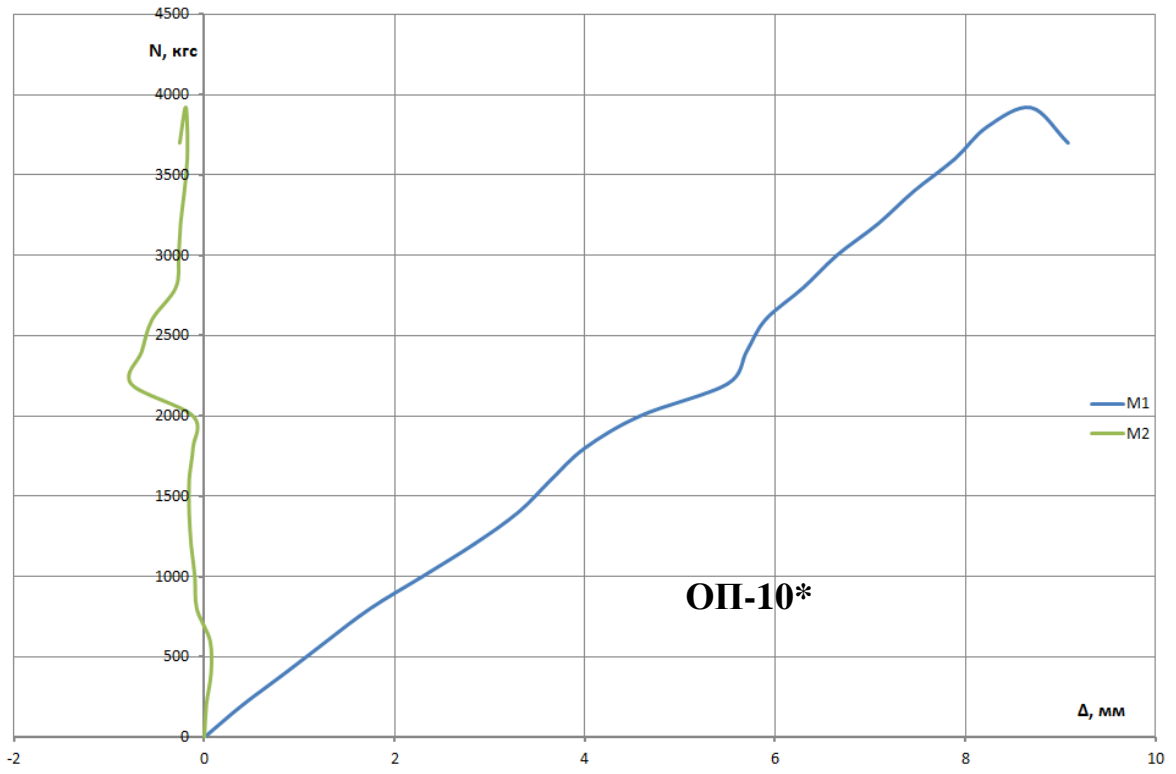


Рис.3.42. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОП из камня Poromax-200

а)



б)

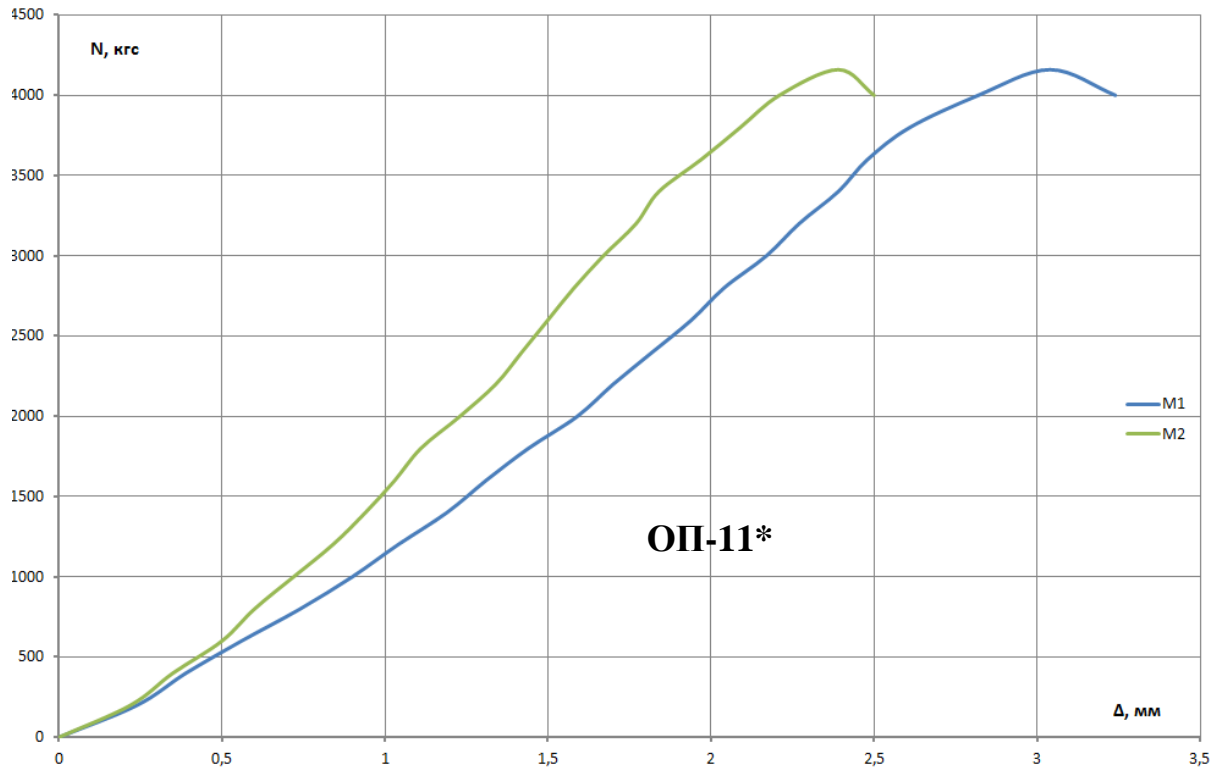
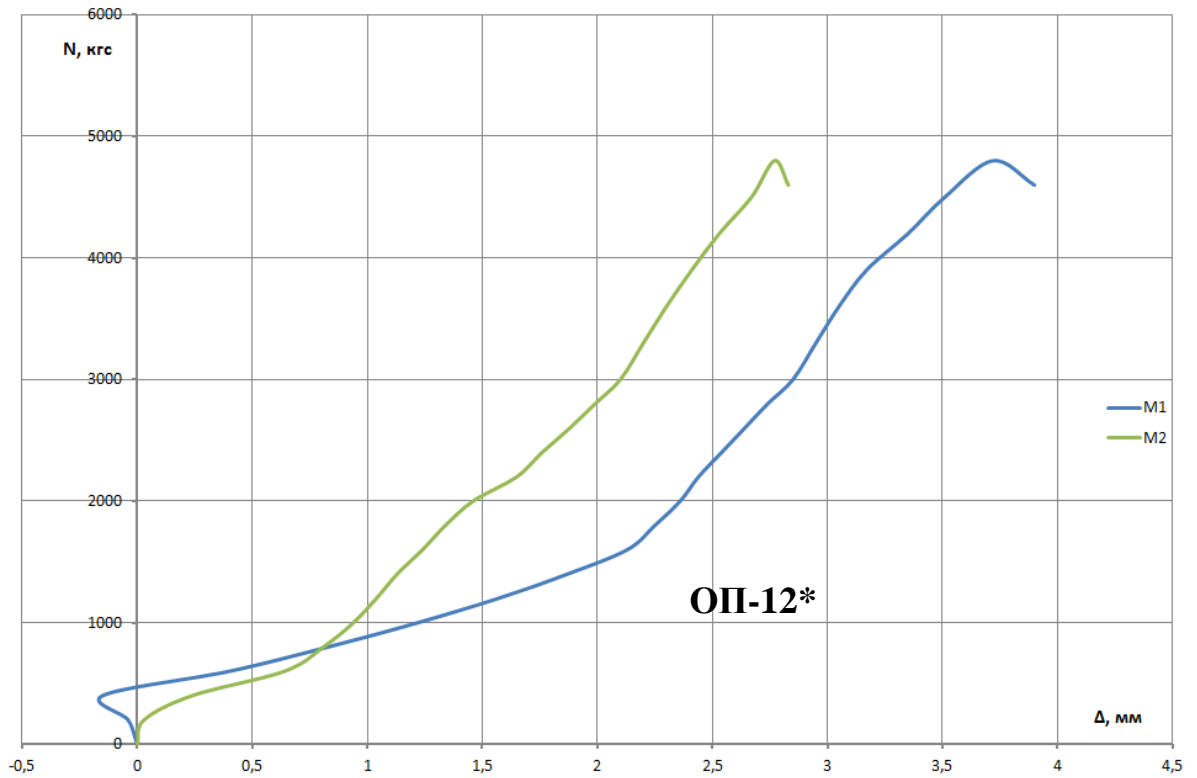


Рис.3.43. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОП из камня RogoMax-280

а)



б)

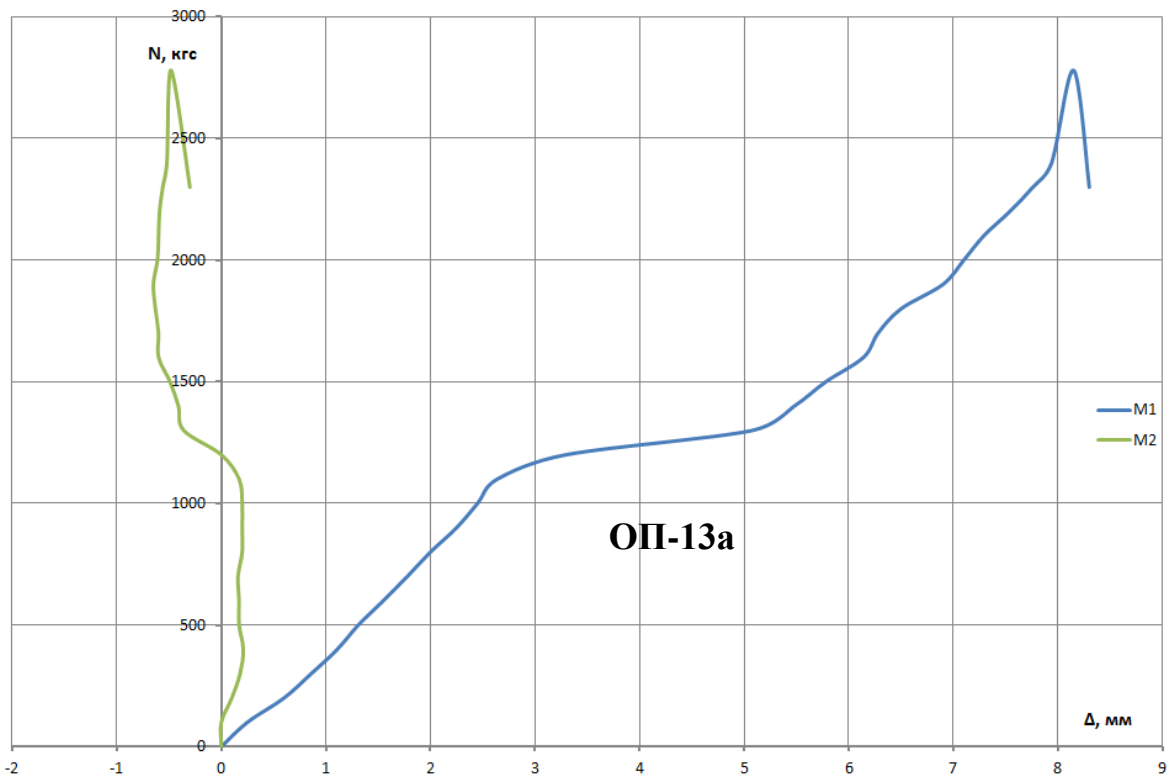
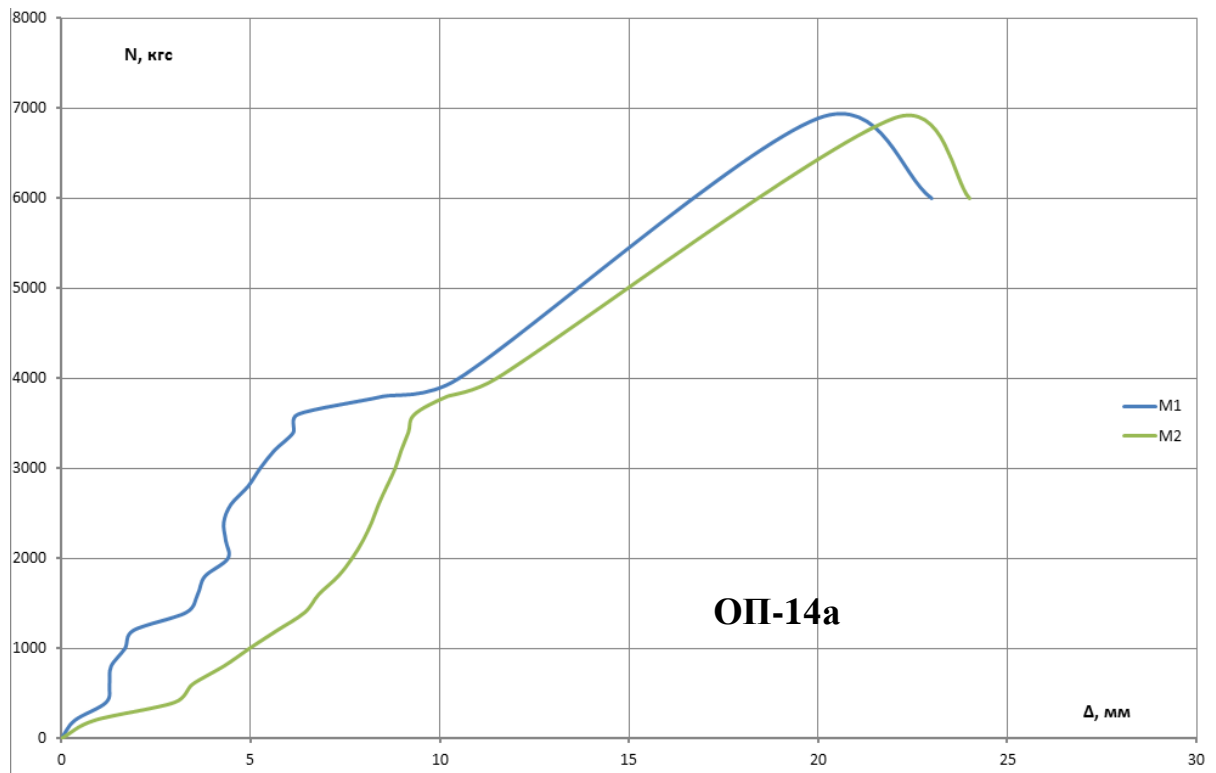


Рис.3.44. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОП из камня RogoMax-280

а)



б)

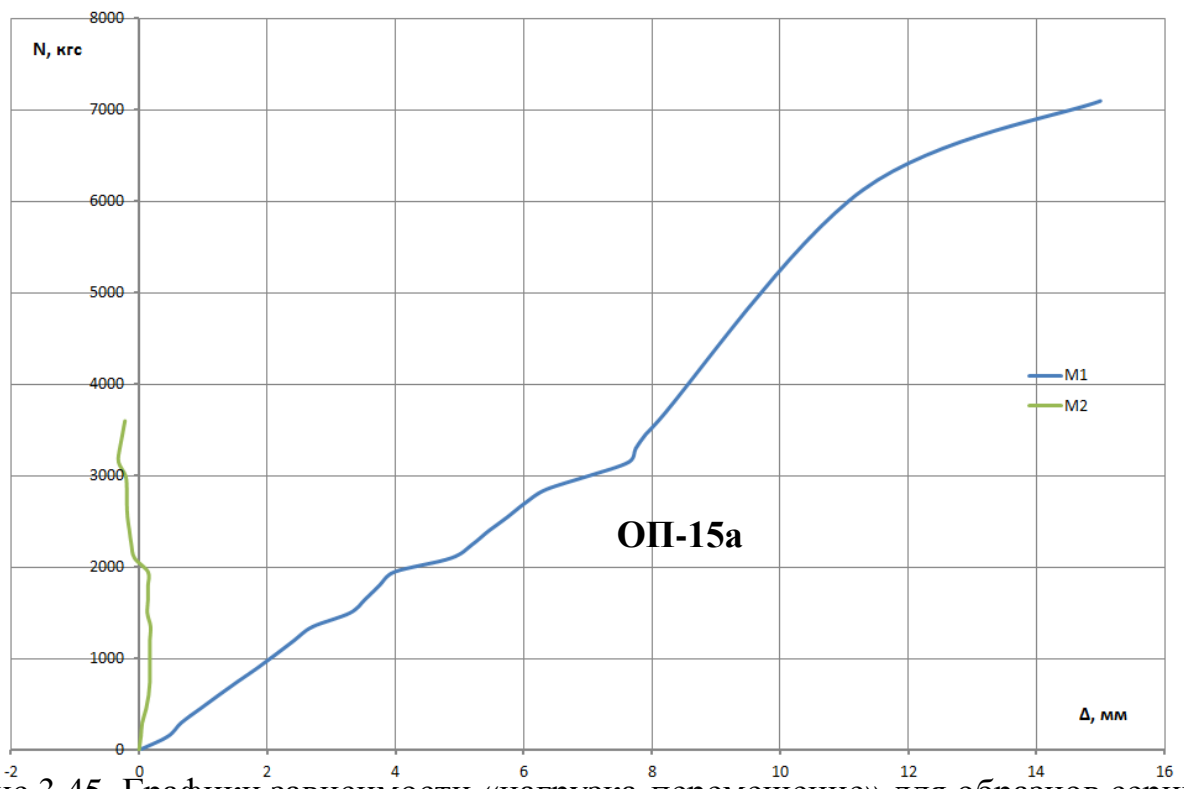
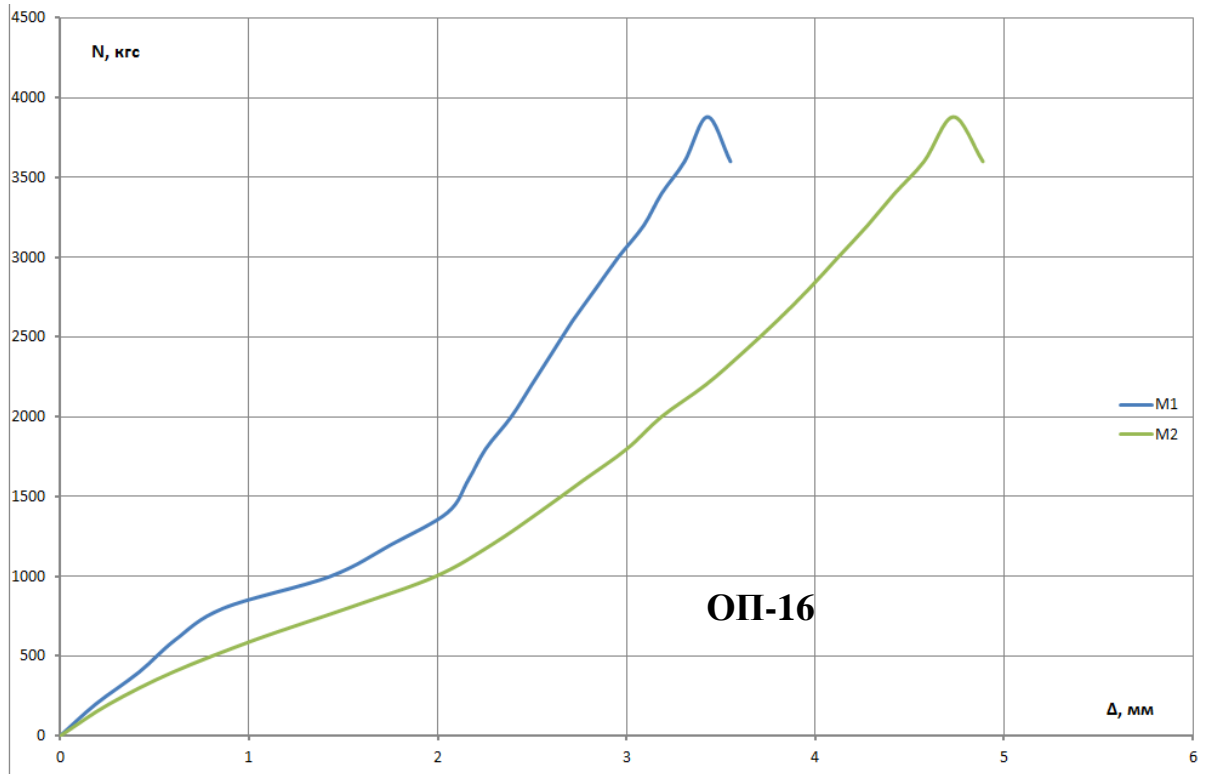


Рис.3.45. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОП из камня Rogmax-280

а)



б)

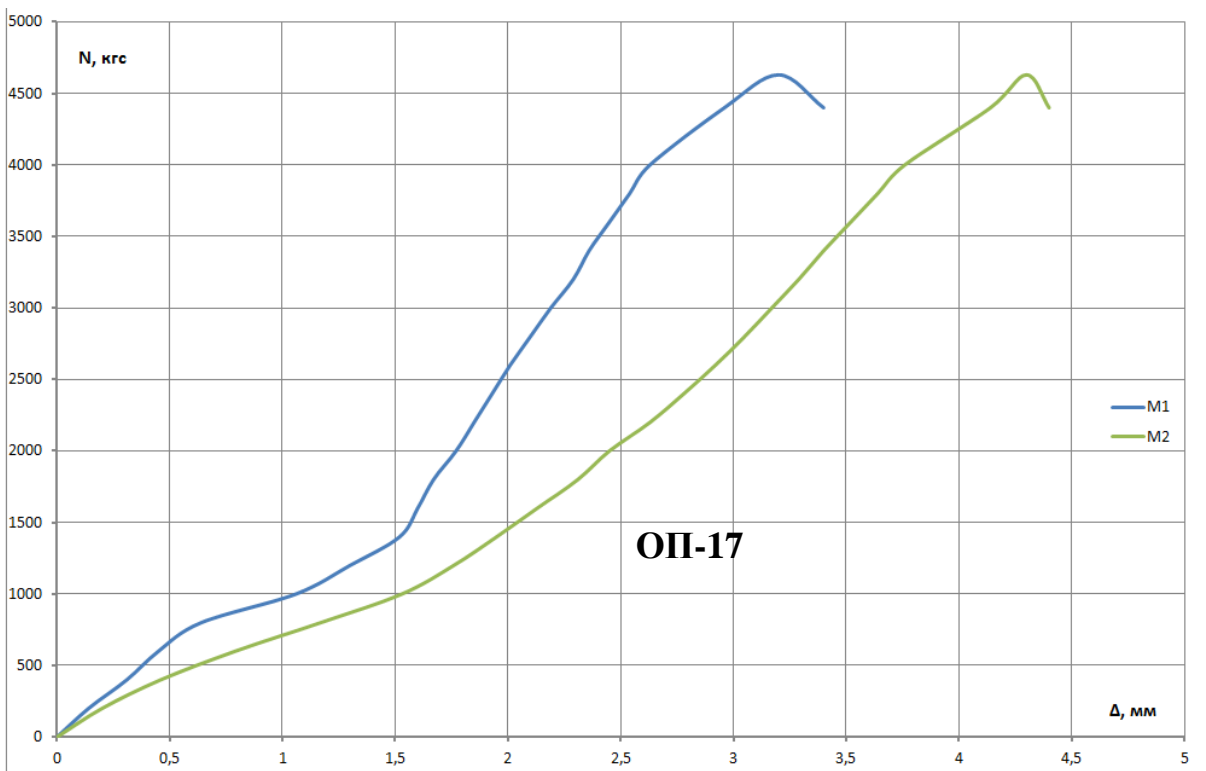


Рис.3.46. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОП из камня RogoMax-280

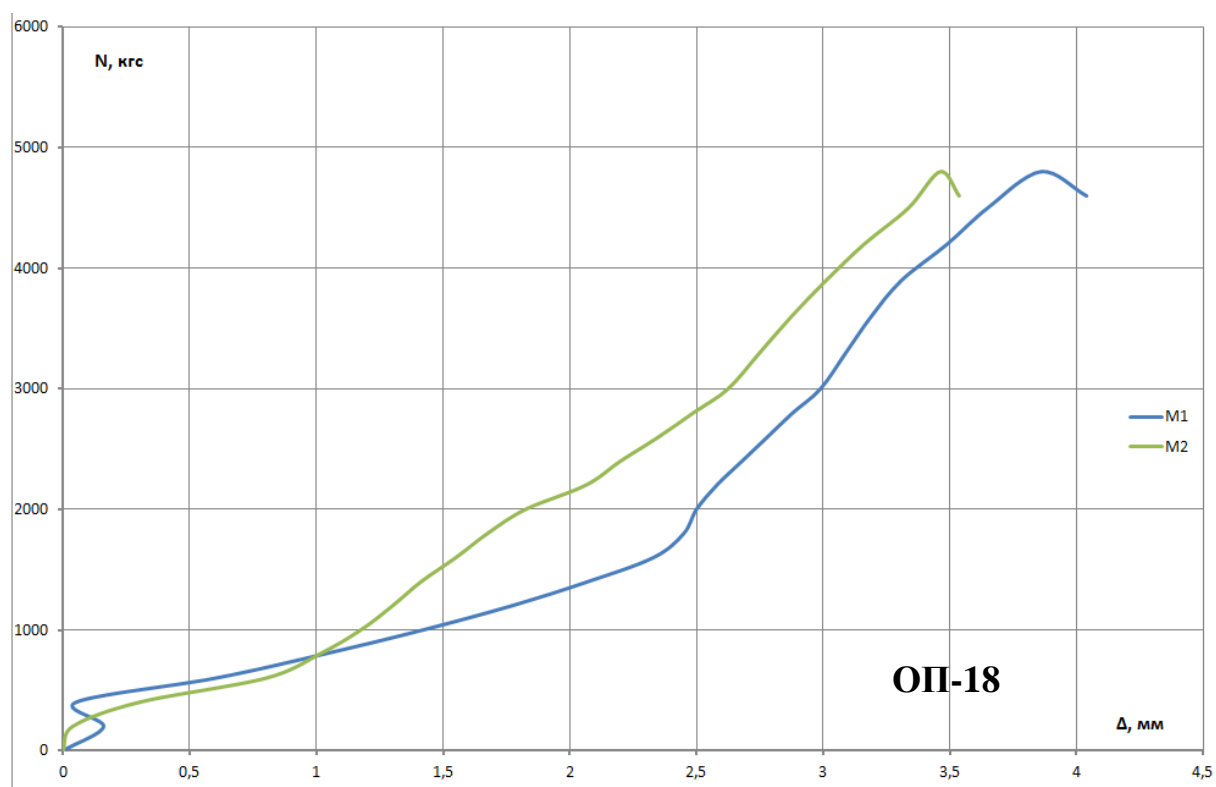


Рис.3.47. Графики зависимости «нагрузка-перемещение» для образцов серии ОП из камня Poromax-280

3.2. Экспериментальные исследования прочности и деформативности кладки стен из крупноформатных пустотно-поризованных камней на цементном растворе при центральном и внецентренном сжатии

В соответствии с программой работ для определения расчетного опротивления кладки стен из ККППК марок PoroMax-200 и PoroMax-280 при центральном сжатии были изготовлены опытные образцы простенков:

– 8 образцов-простенков, выполненных из ККППК марки PoroMax-200 на цементном растворе марок М50-М150. Размеры образцов – $200 \times 1020 \times 1143$ (Н) мм;

– 2 образца-простенка, выполненные из ККППК марки PoroMax-200 на цементном растворе марки М100 с использованием кладочных сеток из композитного материала марок «СБНПс ГРИДЕКС 50(25)» (маркировка по СТО 5952-022-98214589-2013*, табл. 5.1) фирмы «РЕКСТРОМ-К». Размеры образцов – $200 \times 1020 \times 1143$ (Н) мм;

– 7 образцов-простенков, выполненных из ККППК марки PoroMax-280 на цементном растворе марок М50-М150. Размеры образцов – $280 \times 785 \times 1115$ (Н) мм;

– 2 образца-простенка, выполненные из ККППК марки PoroMax-280 на цементном растворе марки М100 с использованием кладочной сетки из композитного материала марок «СБНПс ГРИДЕКС 50(25)» (маркировка по СТО 5952-022-98214589-2013*, табл. 5.1) фирмы «РЕКСТРОМ-К». Размеры образцов – $280 \times 785 \times 1115$ (Н) мм.

Цели проведения представленных в настоящем разделе отчета экспериментальных исследований:

– изучение особенности работы стен из крупноформатных пустотно-поризованных камней пустотностью не более 54%, смонтированных на цементном растворе, при центральном и внецентренном сжатии;

– определение расчетного сопротивления сжатию кладки стен из ККППК пустотностью не более 54% на цементном растворе марок М50-М150.

3.2.1. Методика испытаний

Экспериментальные образцы стен и простенков были испытаны на гидравлическом прессе мощностью 500 тс в Лаборатории испытаний конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко.

Экспериментальные образцы были выполнены из ККППК марок Poromax-200 и Poromax-280 на цементном растворе и выдержаны в течение 28 суток в помещении лабораторного корпуса в нормальных температурно-влажностных условиях. После этого образцы были установлены в пресс. При испытании была принята схема закрепления образцов в верхнем и нижнем уровнях, соответствующая шарнирному соединению конструкции с опорами прессы. На опытные образцы устанавливались индикаторы часового типа с ценой деления 0,01мм для измерения вертикальных деформаций кладки при их сжатии. Схема расстановки измерительных приборов на образцах приведена на рис. 3.48.

На рис. 3.49 – 3.52 показаны общие виды опытных образцов до начала испытаний, выполненных из ККППК марок Poromax-200 и Poromax-280 и установленных в пресс. Испытания проводились по методике, принятой в ГОСТ 8829-94 [14].

Нагрузка на опытные образцы подавалась ступенями, составляющими ~10% от предполагаемой величины разрушающей нагрузки. Интервал между ступенями нагружения составлял 5-7мин.

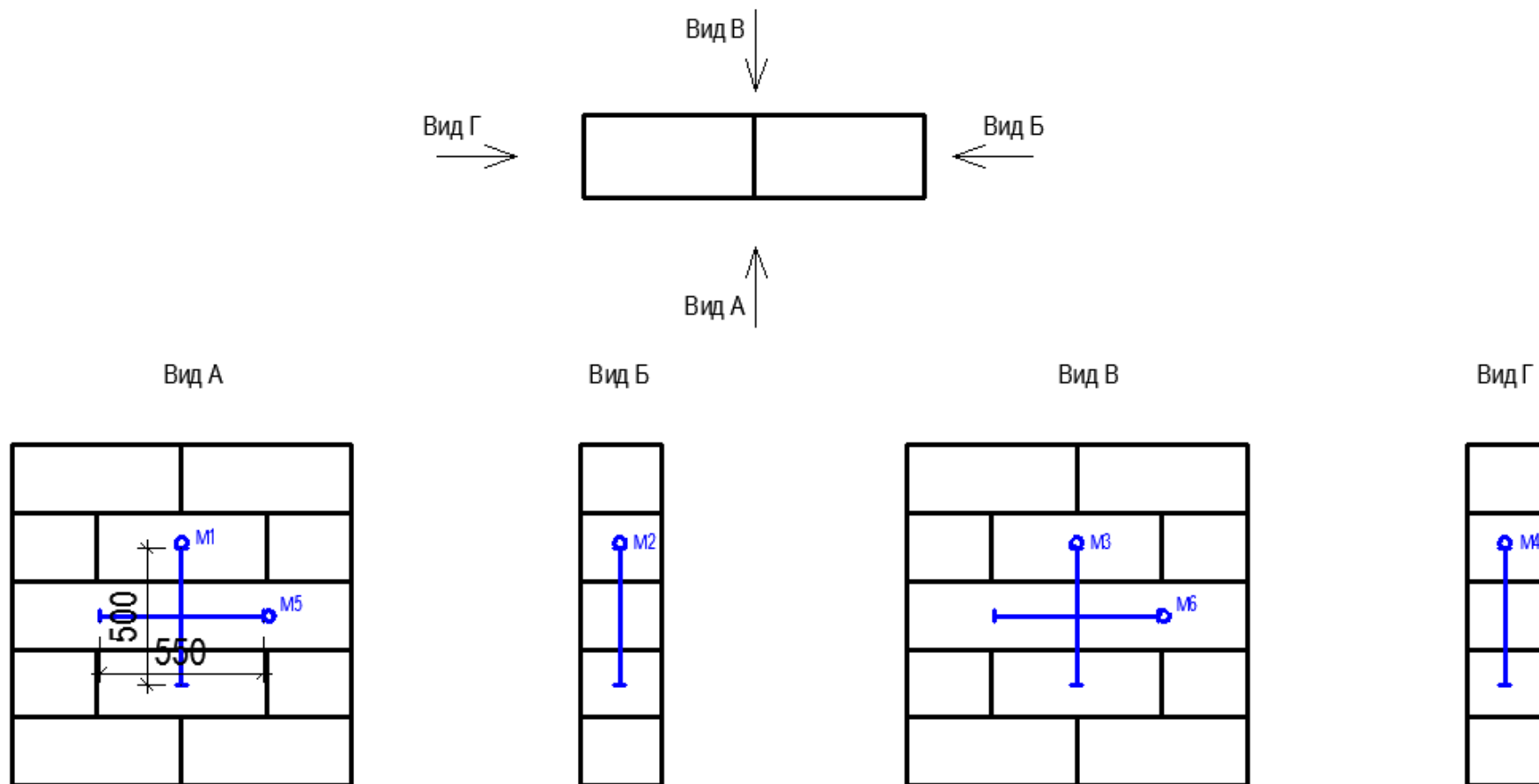


Рис. 3.48. Схема расстановки индикаторов на опытных образцах

а)



б)



Рис. 3.49. Общий вид опытного образца, выполненного из крупноформатных камней марки Роготах-200

а)



б)



Рис. 3.50. Общий вид опытного образца, армированного базальтовой сеткой и выполненного из крупноформатных камней марки Роготах-200

а)



б)



Рис. 3.51. Общий вид опытного образца, выполненного из крупноформатных камней марки Rogomax-280

а)



б)



Рис.3.52. Общий вид опытного образца, армированного базальтовой сеткой и выполненного из крупноформатных камней марки Роготах-280

3.2.2. Результаты экспериментальных исследований прочности и деформативности кладки при сжатии и их анализ

В табл. 3.5 приведены результаты испытаний кладки стен (простенков) из ККППК на цементном растворе. На рис. 3.53-3.72 приведены графики зависимости «нагрузка - деформация» для отдельных образцов I-й (ОБ) и II-й (О) серий.

Методика обработки экспериментальных данных включала в себя определение основных нормативных параметров кладки, необходимых как для определения её несущей способности, так и для выявления показателей, характеризующих особенности работы образцов на основе использования ККППК на цементном растворе.

В соответствии с указаниями СП [4] несущая способность внецентренно сжатых каменных конструкций определяется по формуле:

$$N = m_q \times \varphi_1 \times R \times A_c \times \omega ,$$

где:

N – несущая способность кладки при внецентренном сжатии. В нашем случае это значение разрушающей нагрузки;

ω – коэффициент формы сечения, определяемый по формуле:

$$\omega = 1 + \frac{e_0}{h} ; \omega = 1 \text{ (табл. 20 [4])}$$

φ_1 – коэффициент продольного изгиба кладки;

Принимая во внимание, что для опытных образцов в ф-ле (15) [4] $\varphi = \varphi_c$ и $\lambda \leq 4$, получаем $\varphi_1 = 1$.

A_c – площадь сжатой части сечения стены при прямоугольной эпюре напряжений:

$$A_c = A \times \left[1 - \frac{2e_0}{h} \right] .$$

Принимая во внимание, что в процессе обжатия кладки имеет место смещение нагрузки (эксцентриситет приложения силы) как вдоль образца

Результаты испытаний простенков из ККППК на центральное и внецентренное сжатие

Таблица 3.5

Тип камня	Номера образцов	Размеры образца (см)	Прочность при сжатии (МПа)		N _{разр} (кН)	N' _{тр.} (кН)	$\frac{N^1_{тр.}}{N_{разр.}}$	R _u (МПа)	e _x /e _y (см)	ψ	Значение временного сопротивления кладки (МПа)		$\frac{\bar{R}}{\bar{R}_{норм.}}$ (МПа)	Увеличение прочности кладки (%)
			камня	раствора							R _u ⁱ	R _u ^{cp}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Рогомах 200	ОБ-1	20 × 102 × 114 (Н)	15.0	5.4	910	500	0.55	4.46	1.1/2.04	0.85	5.24	5.32	$\frac{2.61}{1.8}$	45
	ОБ-2			5.6	950	500	0.53	4.65	1.02/2.1	0.86	5.4			
	ОБ-3			9.4	1140	700	0.61	5.58	0.7/3.1	0.87	6.4	6.63	$\frac{3.31}{2.2}$	50
	ОБ-4			10.3	1190	650	0.56	5.83	1.1/2.1	0.85	6.85			
	ОБ-5			9.8	1170	680	0.58	5.73	0.9/2.6	0.86	6.66			
	ОБ-6			15.8	1450	900	0.62	7.1	0/6.2	0.88	8.06	8.93	$\frac{4.46}{2.4}$	85
	ОБ-7			16.1	1680	1000	0.59	8.23	1.22/4.8	0.795	10.3			
	ОБ-8			15.2	1500	950	0.63	7.35	1.0/0.8	0.87	8.44			
	ОБ-9а			10.6	1260	850	0.67	6.17	1.05/1.5	0.86	7.2	7.53	$\frac{3.75}{2.2}$	70
	ОБ-10а			10.4	1300	900	0.69	6.37	1.7/1.1	0.81	7.86			

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Poromax 280	O-1	$28 \times 78.5 \times 115$ (H)	10.0	7.5	870	500	0.57	3.95	2.01/3.0	0.8	4.94	4.5	<u>2.25</u>	33
	O-2			6.1	750	450	0.6	3.4	0.52/5.8	0.82	4.12		1.7	
	O-3			10.8	900	600	0.67	4.09	1.69/4.08	0.79	5.19	5.23	<u>2.62</u>	45
	O-4			9.6	1000	600	0.60	4.55	0.38/4.66	0.86	5.31		1.8	
	O-5			10.2	950	550	0.58	4.32	1.31/3.2	0.83	5.19			
	O-6			15.6	1450	900	0.62	6.60	0.59/1.58	0.92	7.18	7.15	<u>3.57</u>	78
	O-7			14.1	1200	750	0.62	5.46	2.1/3.9	0.76	7.13		2.0	
	O-8a			10.4	1000	750	0.75	4.55	2.05/4.07	0.76	5.94	6.01	<u>3.0</u>	67
	O-9a			11.0	1140	850	0.74	5.19	0.8/3.6	0.86	6.06		1.8	
	O-10a			9.2	860	600	0.69	3.91	2.7/7.76	0.65	6.04			

Значение модуля упругости для кладки стен из ККПК

Таблица 3.6

Марка камня	Марка раствора	Модуль упругости (МПа)				
		настоящий отчет	по данным [2]	по данным [5]	по данным [6]	по данным [9]
75	25	-	3545	-	-	16620 (армиров.)
	50	-	-	-	-	19650
	100	-	-	-	34750	-
100	50	3050-4500	3545	-	-	-
	100	5960-7200	-	-	-	-
	100 (армиров.)	7420-7800	-	-	-	-
	125	-	-	-	59670	-
	150	6300-7500	8500	-	-	-
150	50	2470-2650	-	-	-	-
	100	5360-7050	-	4080	-	-
	100 (армиров.)	7600-7980	-	-	-	-
	150	6800-8500	-	-	-	-

(e_y), так и поперек его сечения (e_x), площадь сжатой зоны определялась по формуле:

$$A_c = A \times \psi ,$$

где:

$$\psi = \left[1 - \left(2 - \frac{e_x}{d} \right) \right] \times \left[1 - (2e_y)/b \right] \text{ (табл.3.5, столбец 11)}$$

Для возможности сравнения показателей прочности кладки опытных образцов I-ой и II-ой серий при различных эксцентриситетах приложения нагрузки величины напряжения сжатия в кладке определялись с учетом приведения результатов испытаний образцов к центральному сжатию:

$$R_u = \frac{N_{\text{разр}}}{A_c \times \omega} \text{ (табл. 3.5, столбец 9)}$$

В столбце 14 табл.3.5. приведены в числителе расчетные характеристики прочности кладки при сжатии, полученные делением R^{cp}_u/k , где $k=2$ (табл.15 [4]), в знаменателе – расчетные сопротивления сжатию кладки, принятые по табл.2 [4], без учета понижающих коэффициентов указанных в п.6.1[4]. В столбце 15 показана величина, характеризующая увеличение прочности кладки при сжатии по сравнению с нормируемой характеристикой расчетного сопротивления сжатию, приведенной в табл.2 [4] (без учета понижающих коэффициентов, указанных в п.6.1[4])

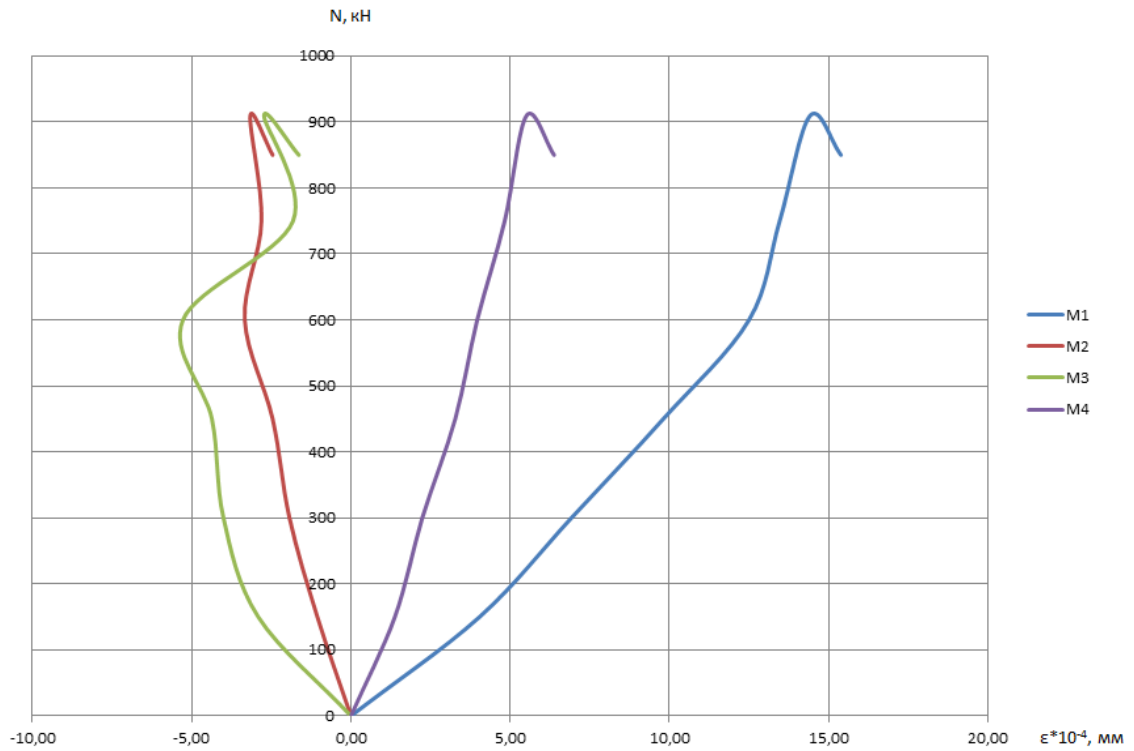
На рис. 3.73 – 3.77 показан характер развития трещин и разрушения опытных образцов в процессе их нагружения.

Анализ результатов экспериментальных исследований прочности кладки стен и простенков, выполненных из ККППК на цементном растворе марки М50-М150 позволяет отметить следующее.

1. Первые волосяные трещины в кладке появляются в зависимости от марки раствора шва при нагрузках, составляющих:

- $(0,53 \div 0,55) \times N_{\text{разр}}$ – при растворе марки М50-М75;
- $(0,56 \div 0,61) \times N_{\text{разр}}$ – при растворе марки М100;
- $(0,59 \div 0,63) \times N_{\text{разр}}$ – при растворе марки М150;

а)



б)

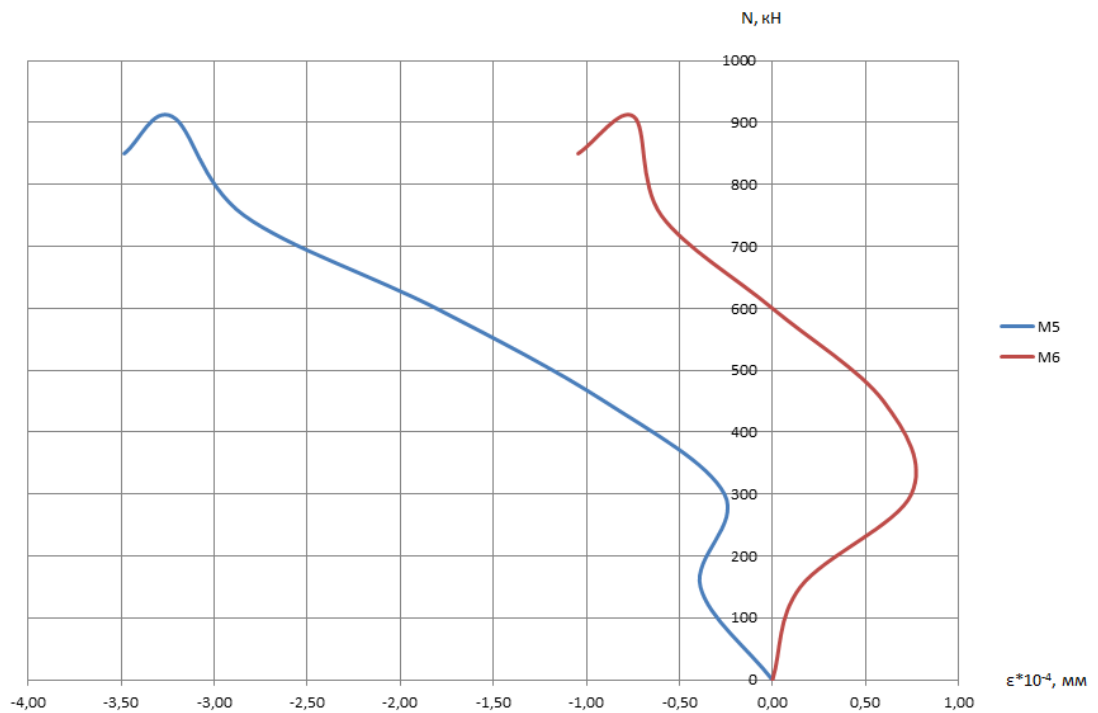
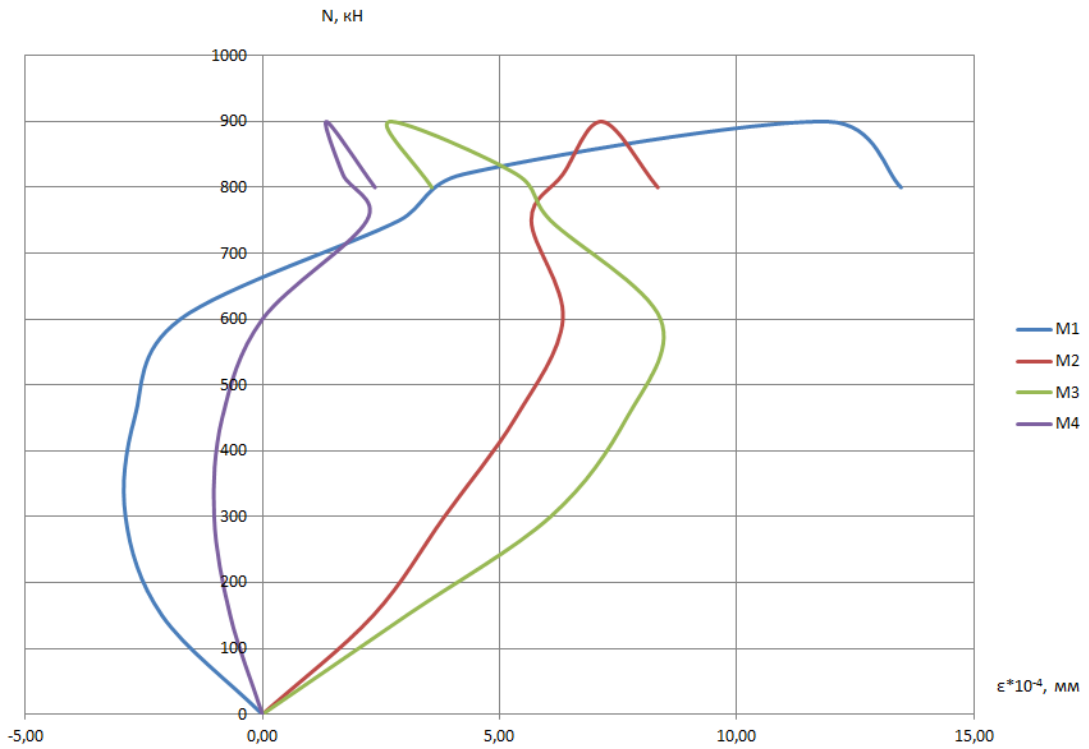


Рис.3.53. Графики зависимости «нагрузка-деформация» образца ОБ-1, выполненного из камня марки Rogomax-200

а)



б)

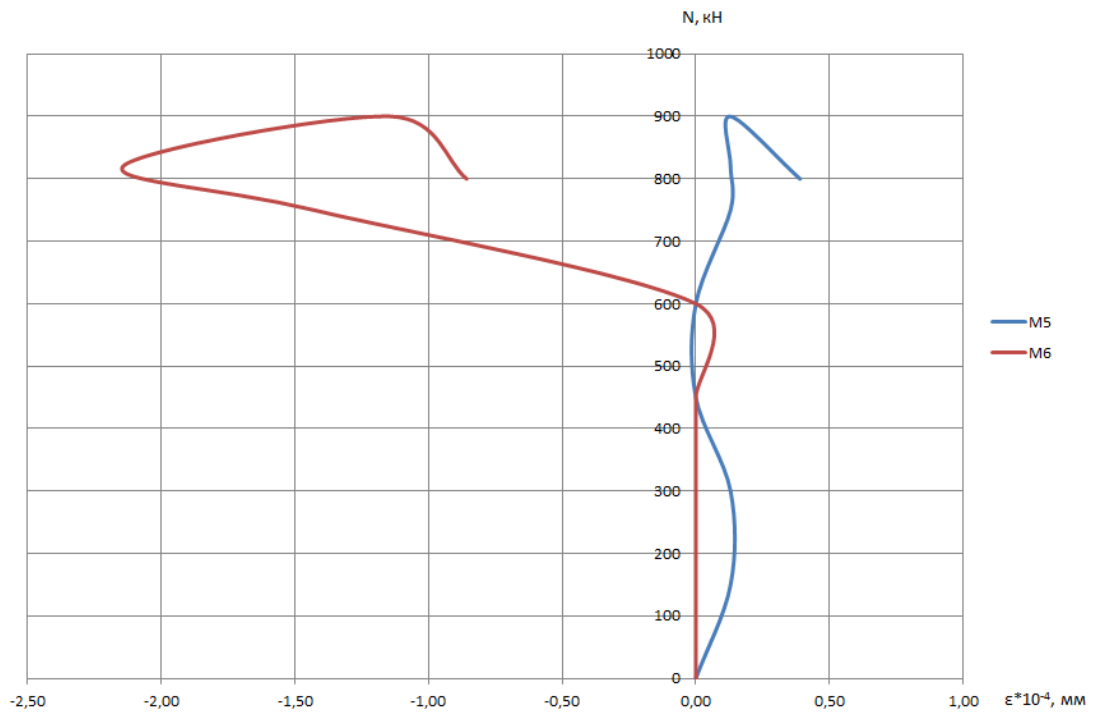
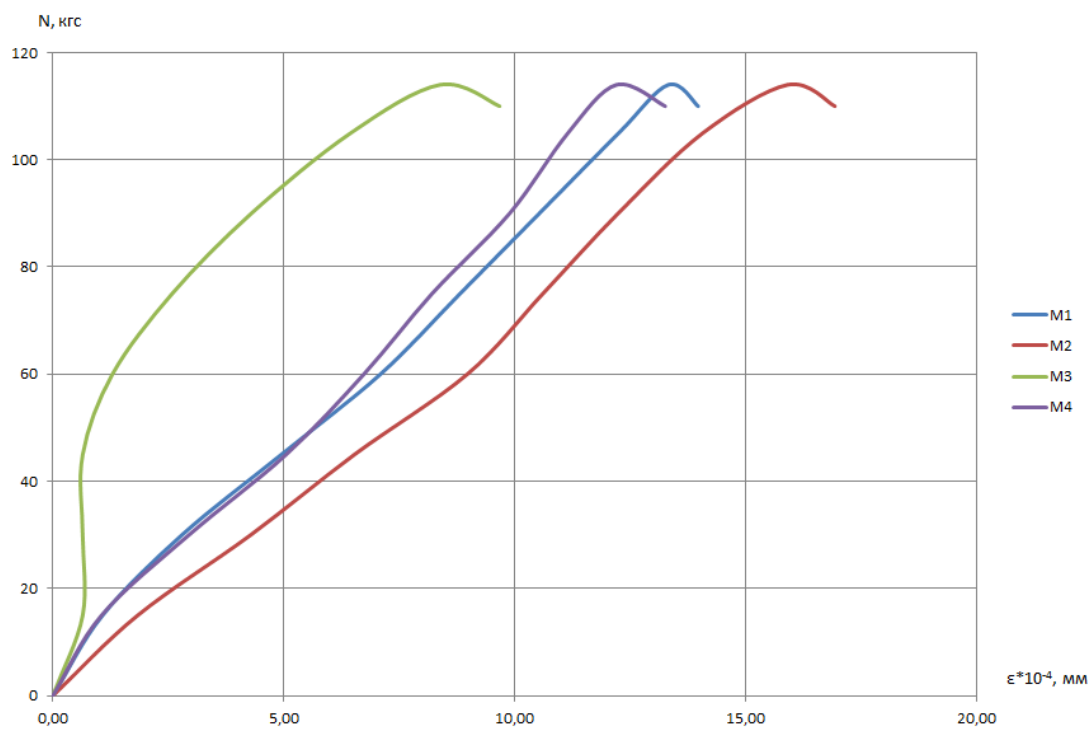


Рис.3.54. Графики зависимости «нагрузка-деформация» образца ОБ-2, выполненного из камня марки Роготах-200

а)



б)

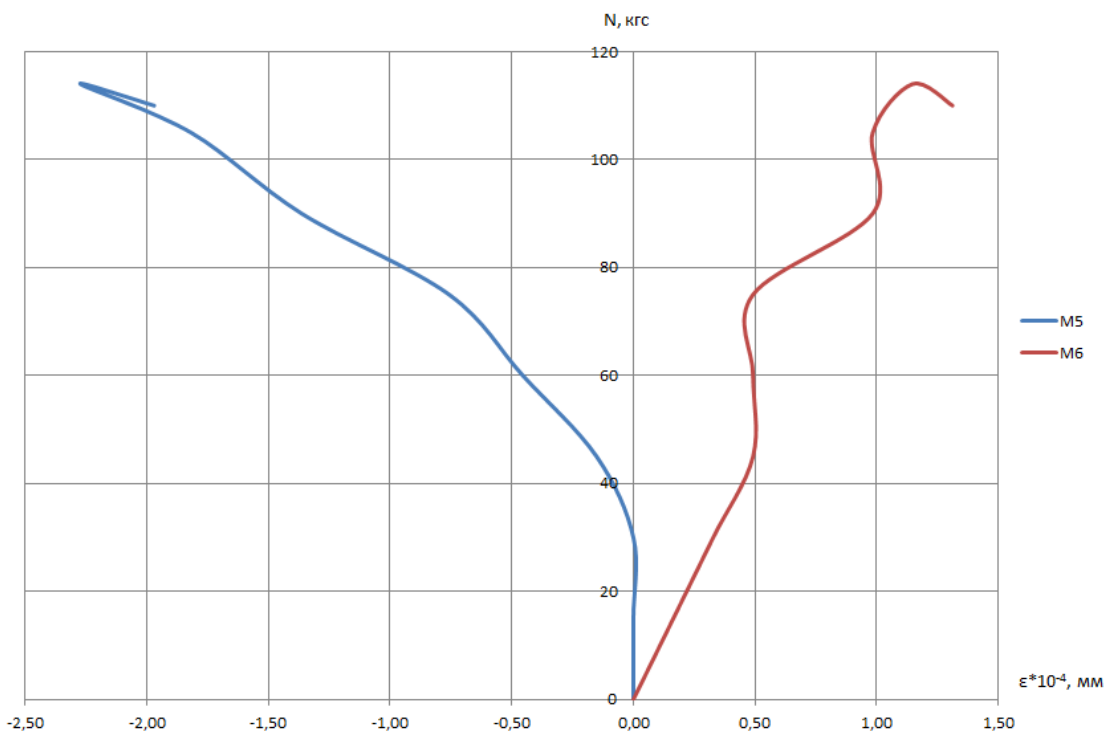
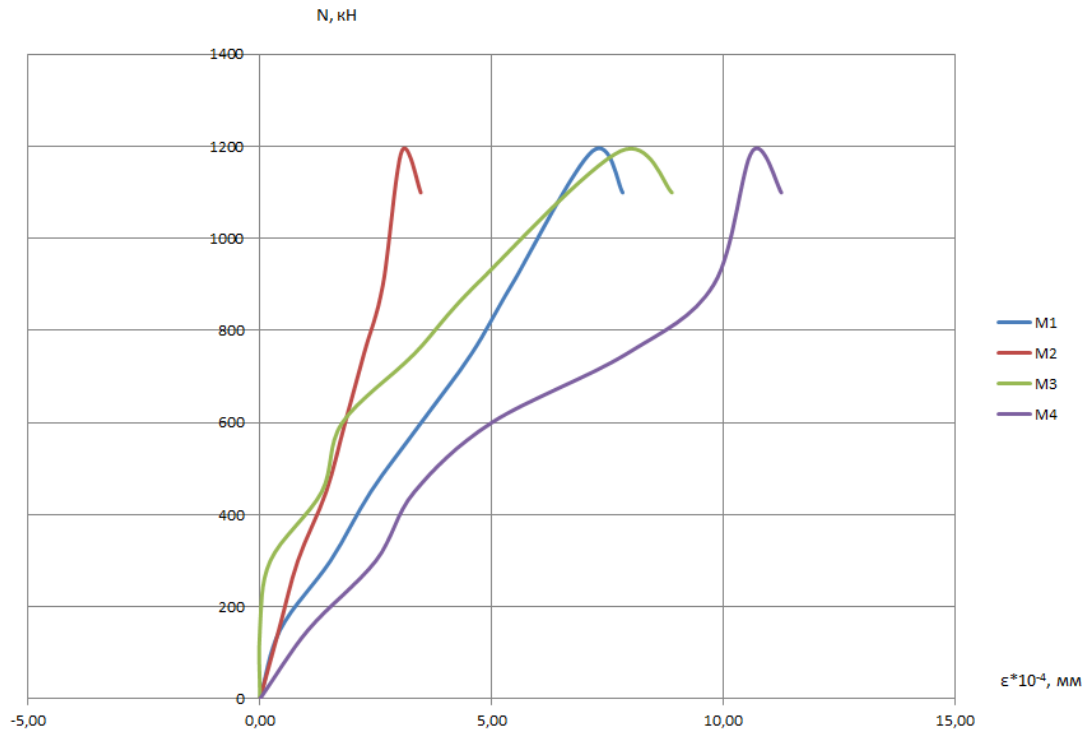


Рис.3.55. Графики зависимости «нагрузка-деформация» образца ОБ-3, выполненного из камня марки Rogomax-200

а)



б)

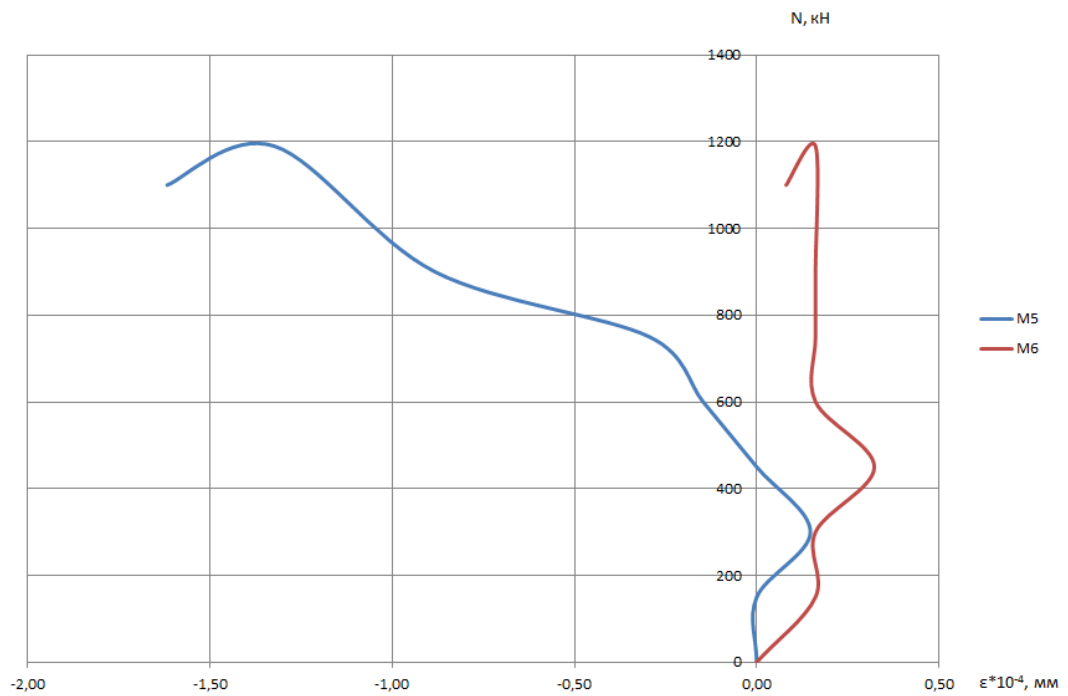
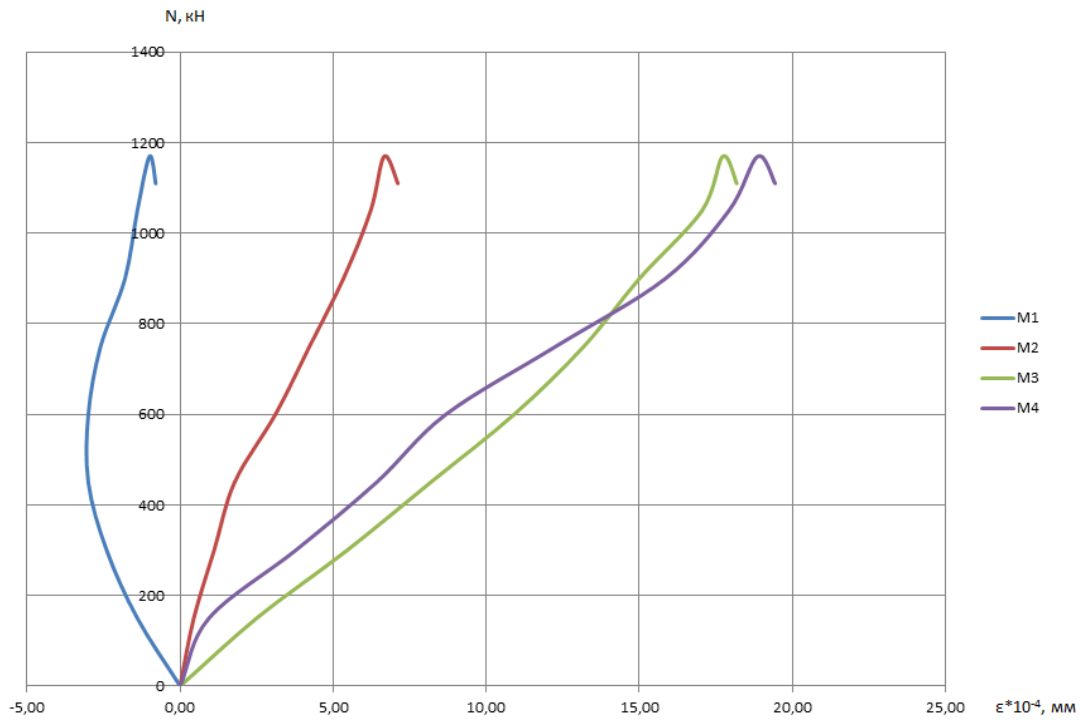


Рис.3.56. Графики зависимости «нагрузка-деформация» образца ОБ-4, выполненного из камня марки Rogomax-200

а)



б)

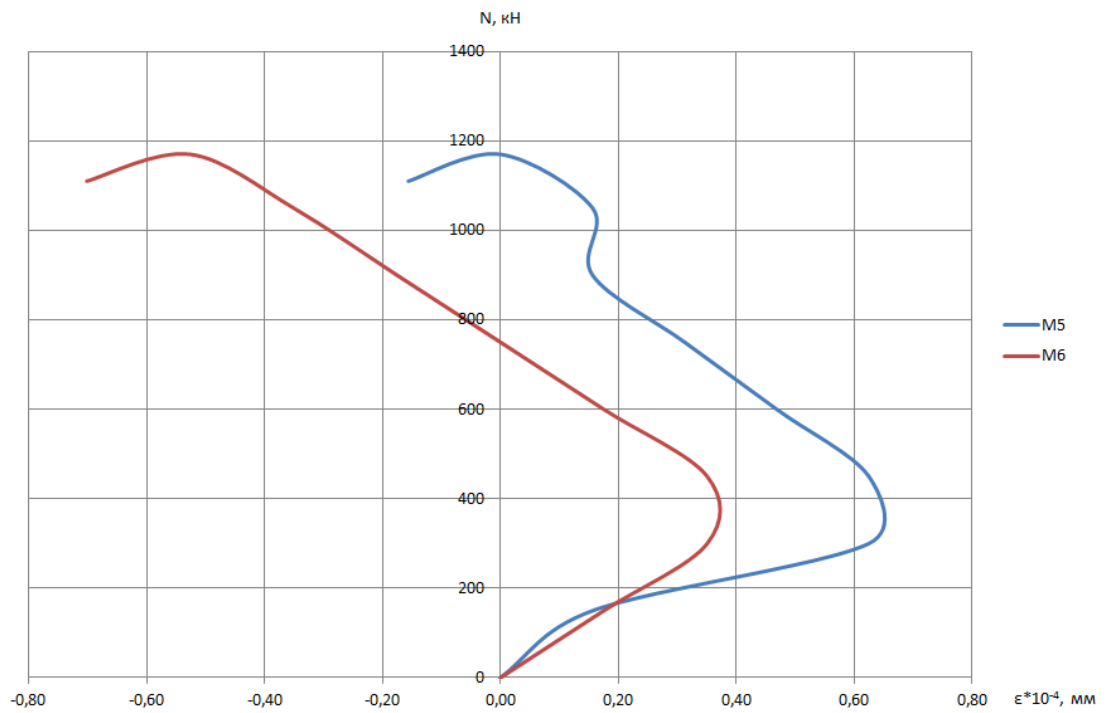
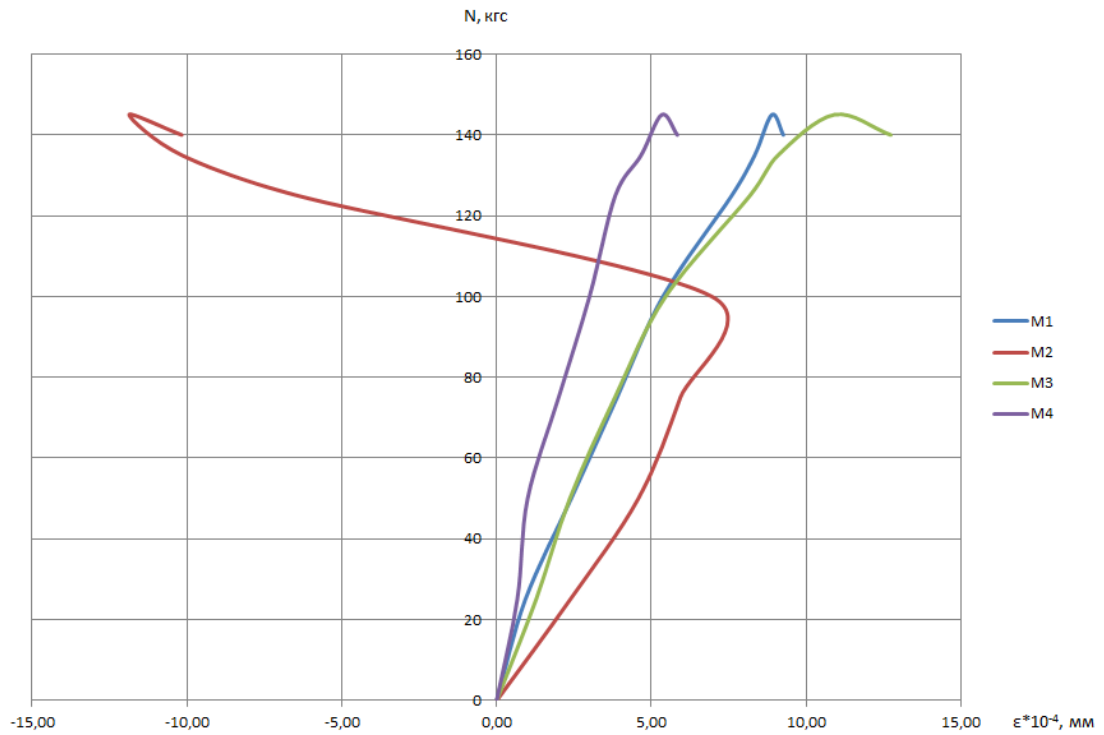


Рис.3.57. Графики зависимости «нагрузка-деформация» образца ОБ-5, выполненного из камня марки RogoMax-200

а)



б)

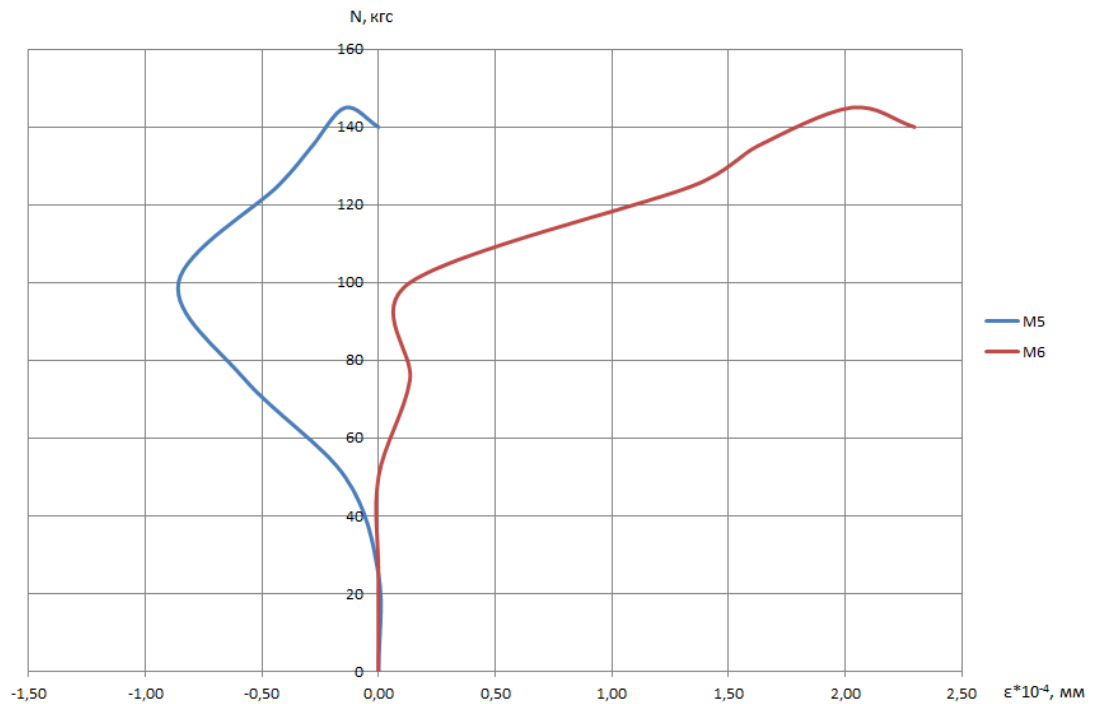
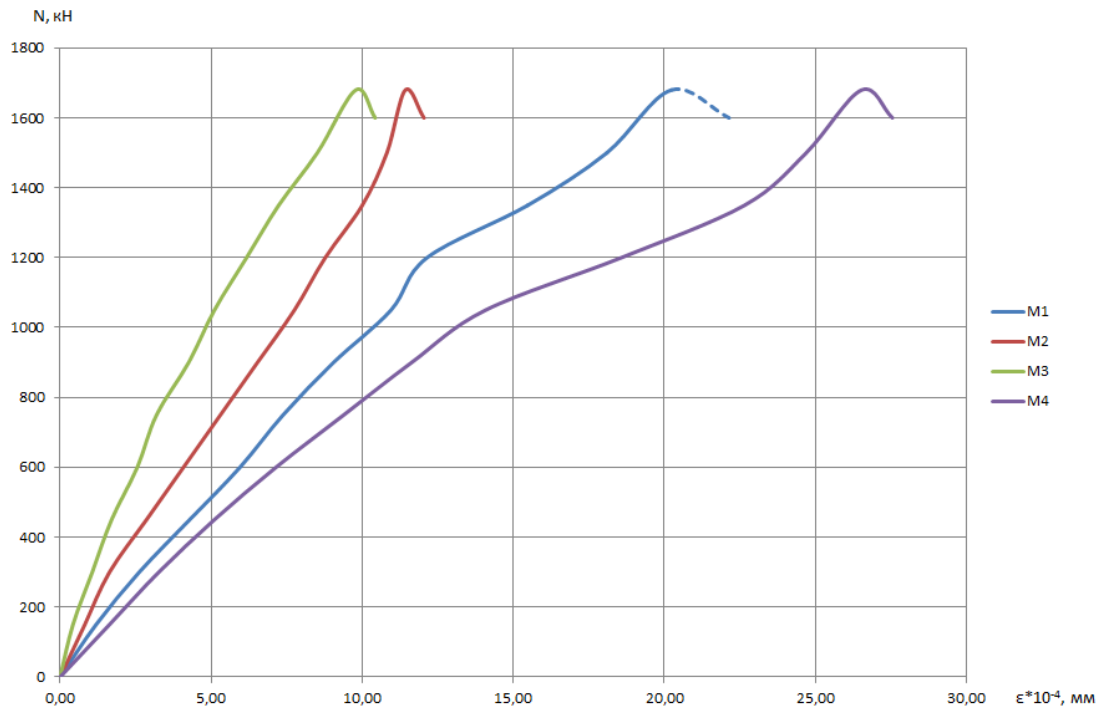


Рис.3.58. Графики зависимости «нагрузка-деформация» образца ОБ-6, выполненного из камня марки Роготах-200

а)



б)

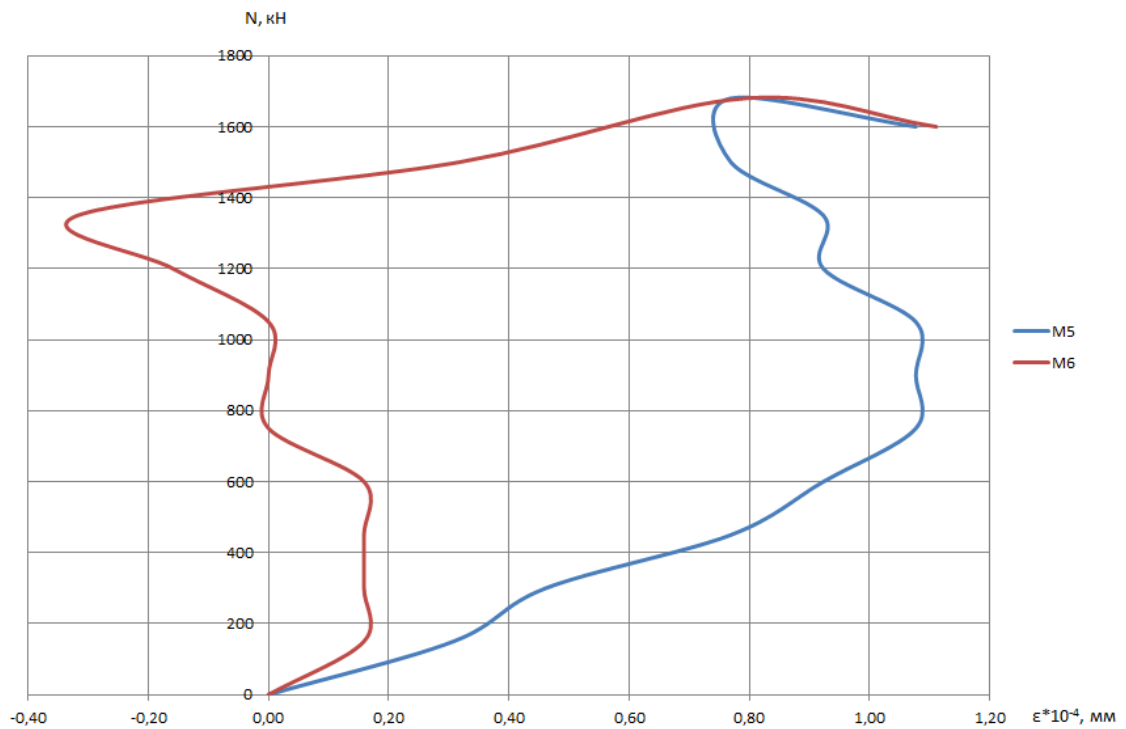
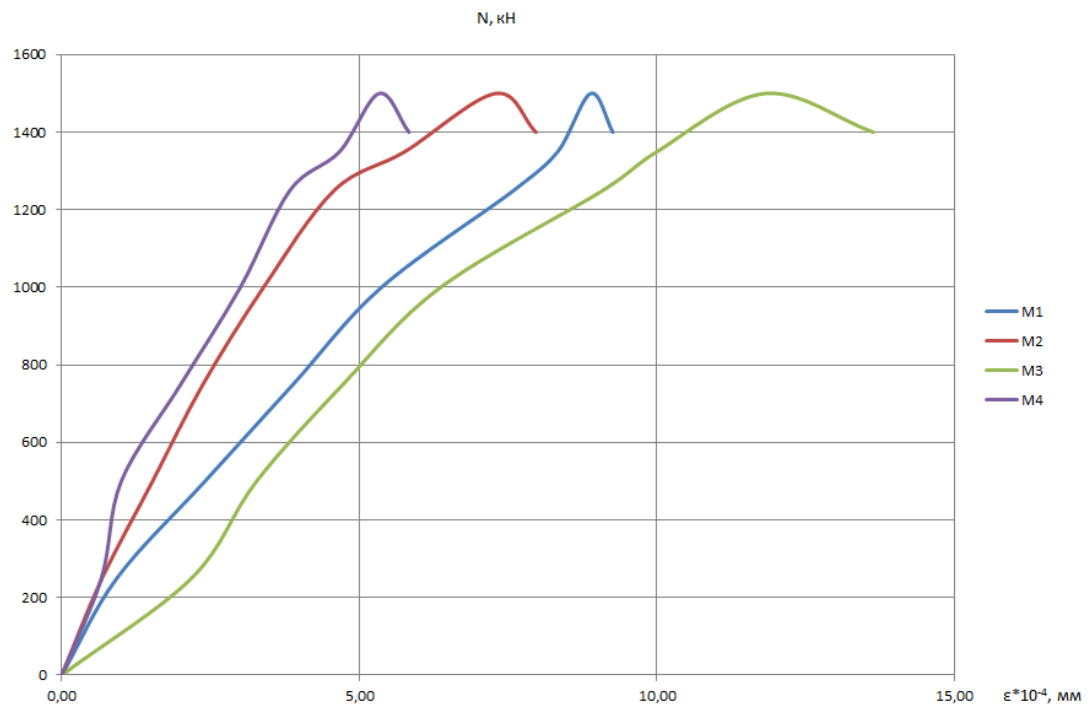


Рис.3.59. Графики зависимости «нагрузка-деформация» образца ОБ-7, выполненного из камня марки Poromax-200

а)



б)

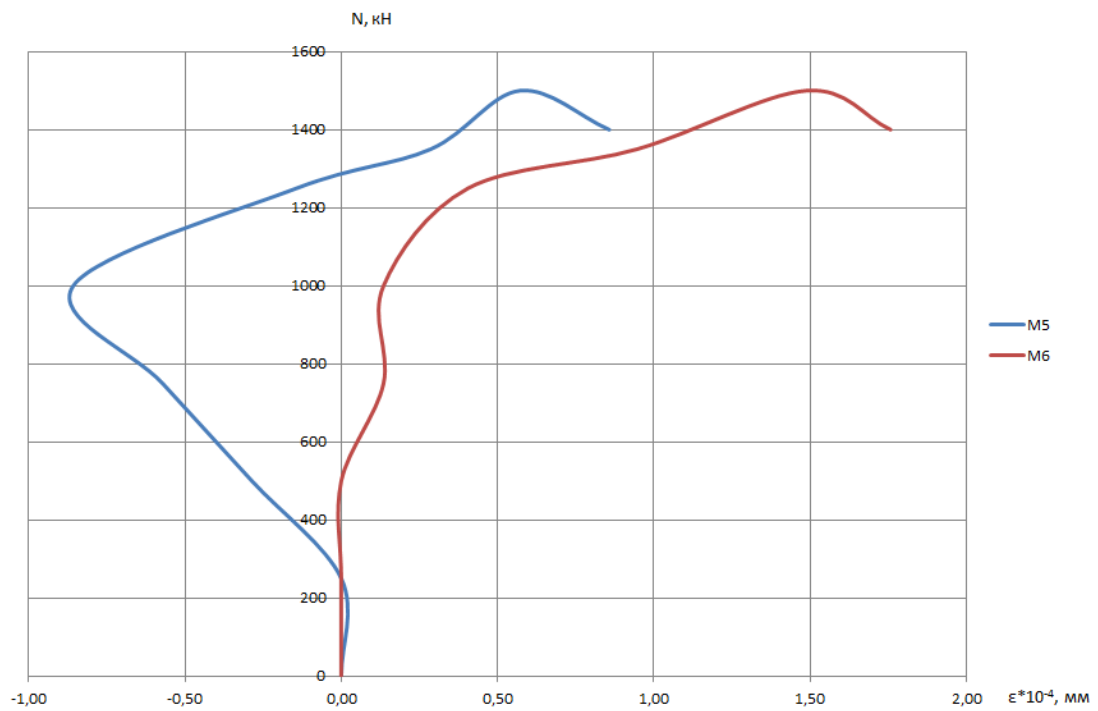
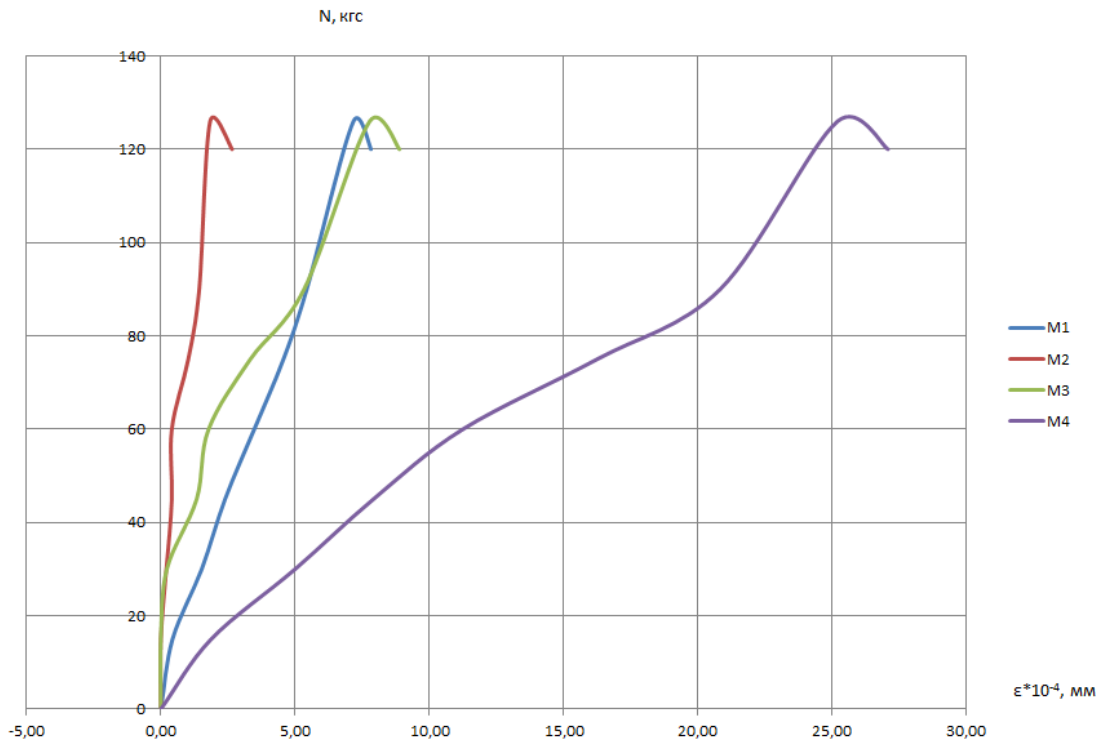


Рис.3.60. Графики зависимости «нагрузка-деформация» образца ОБ-8, выполненного из камня марки Роготах-200

а)



б)

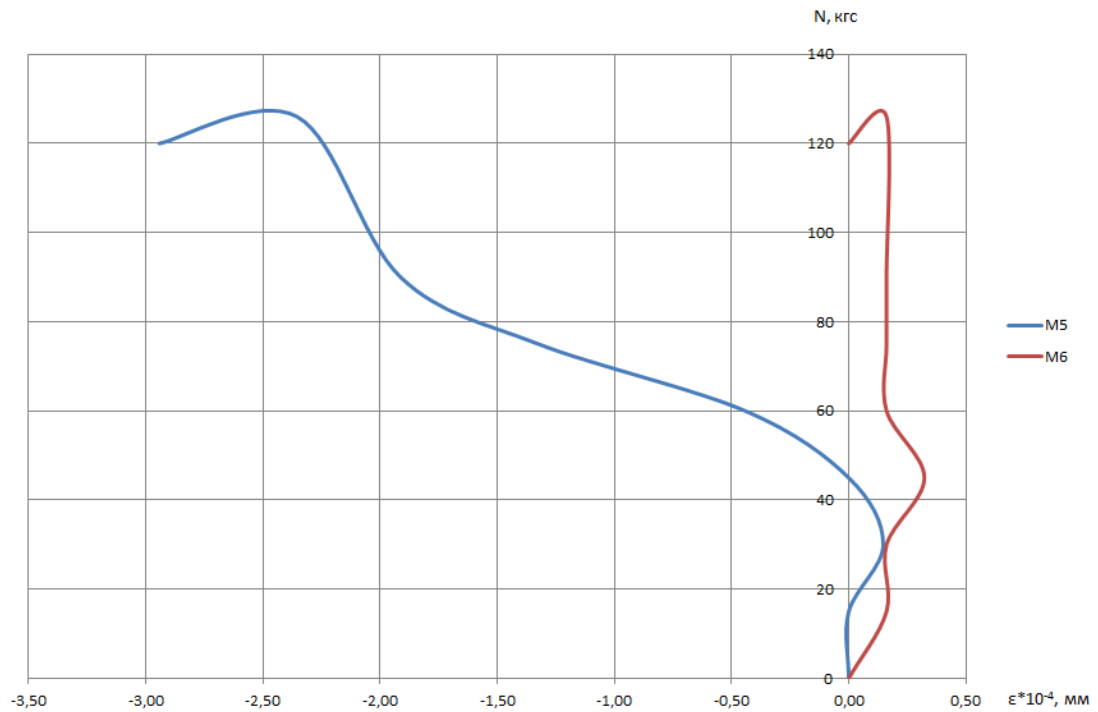
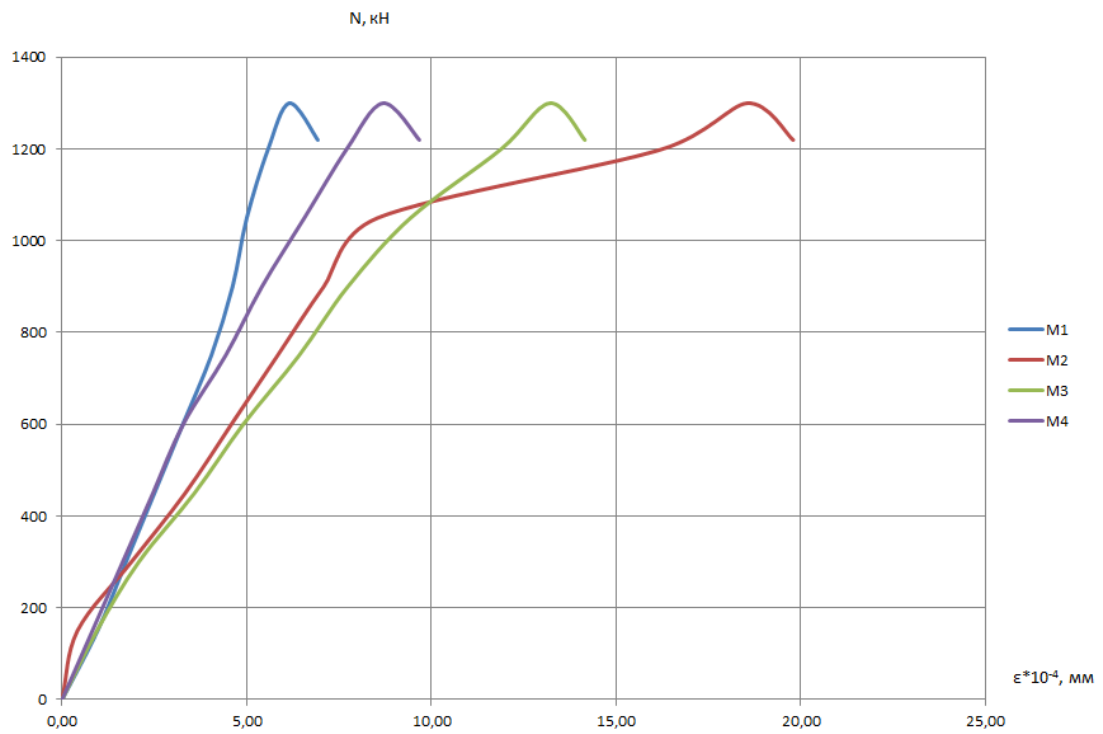


Рис.3.61. Графики зависимости «нагрузка-деформация» армированного образца ОБ-9а, выполненного из камня марки Poromax-200

а)



б)

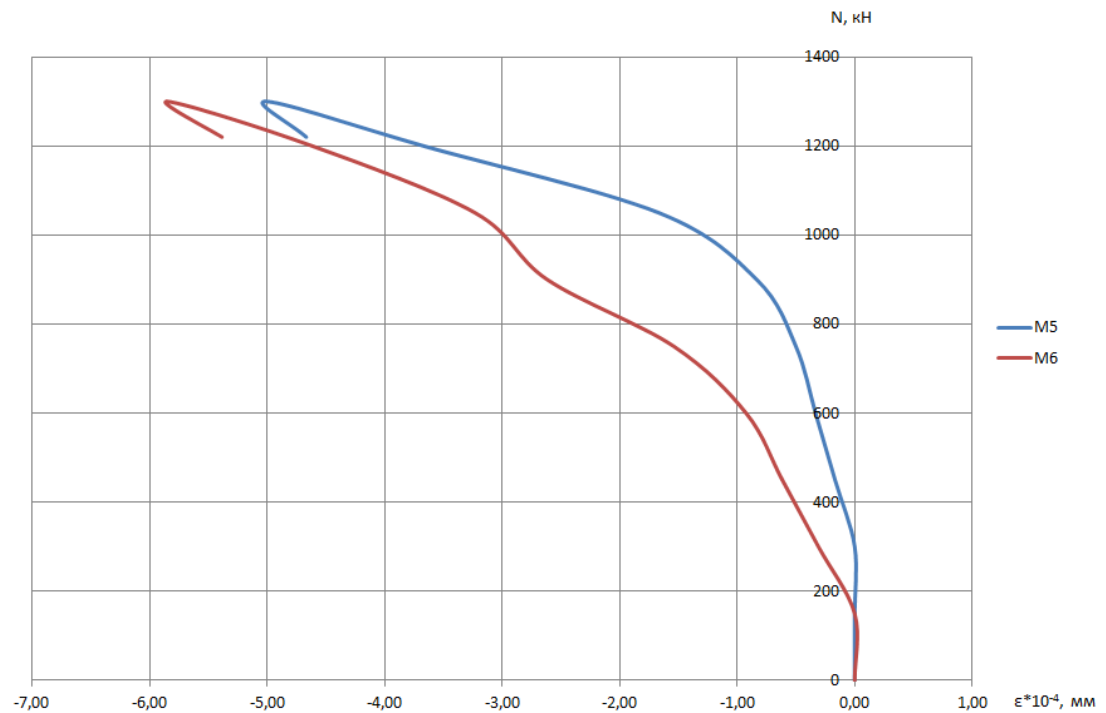
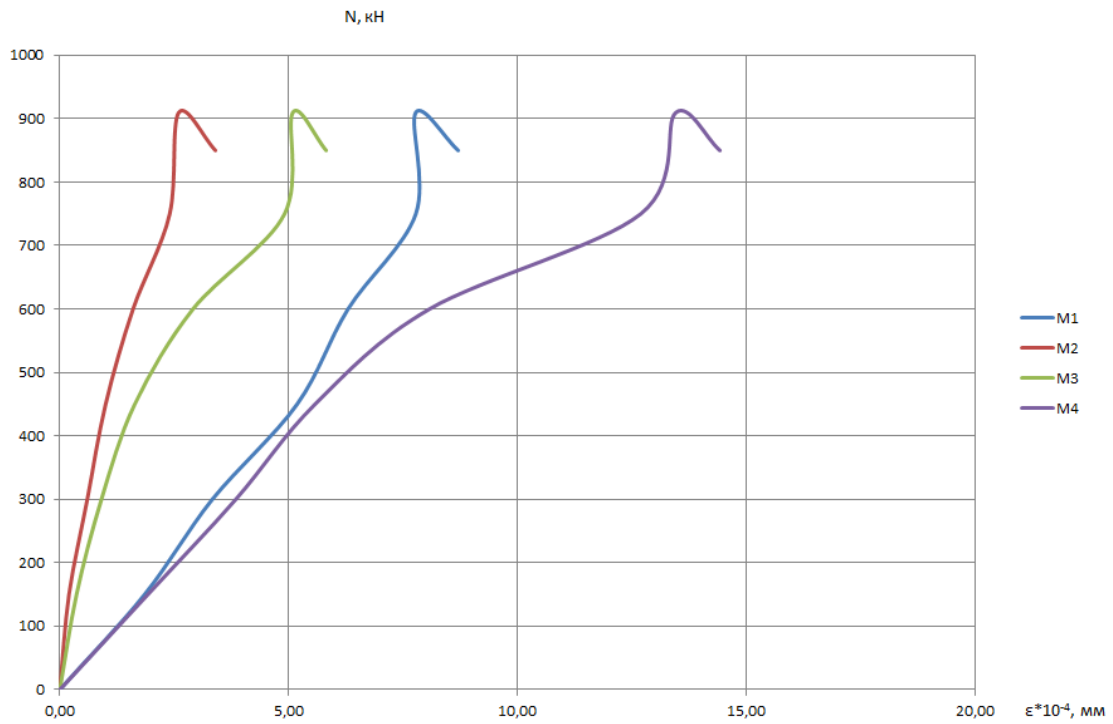


Рис.3.62. Графики зависимости «нагрузка-деформация» армированного образца ОБ-10а, выполненного из камня марки Rogomax-200

а)



б)

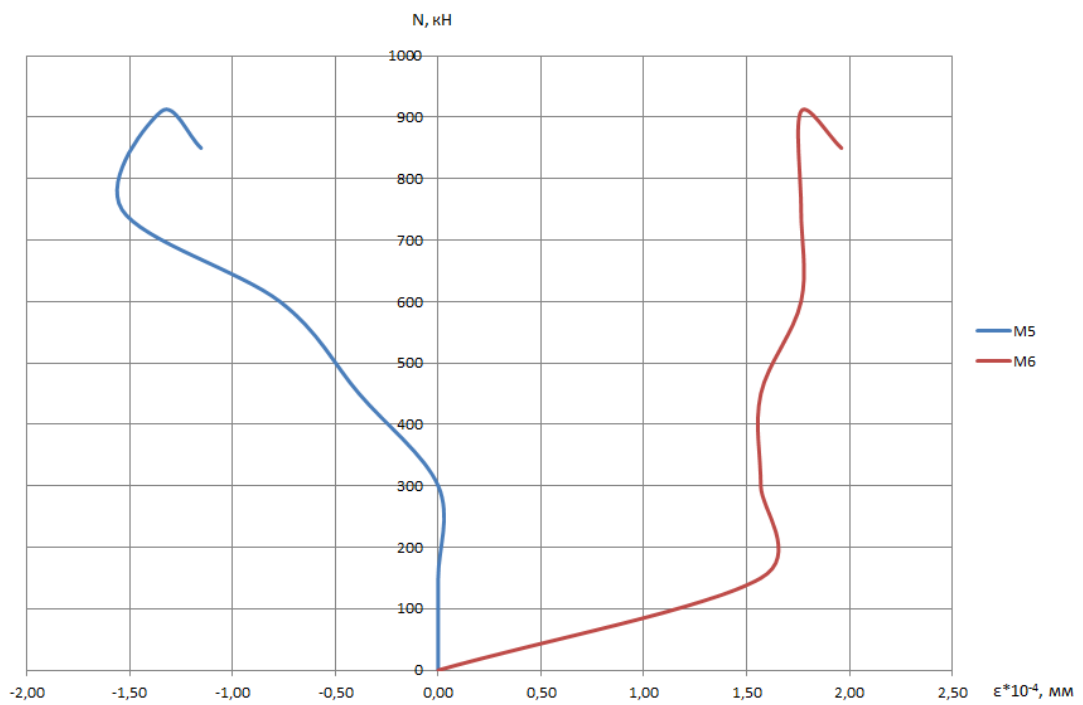
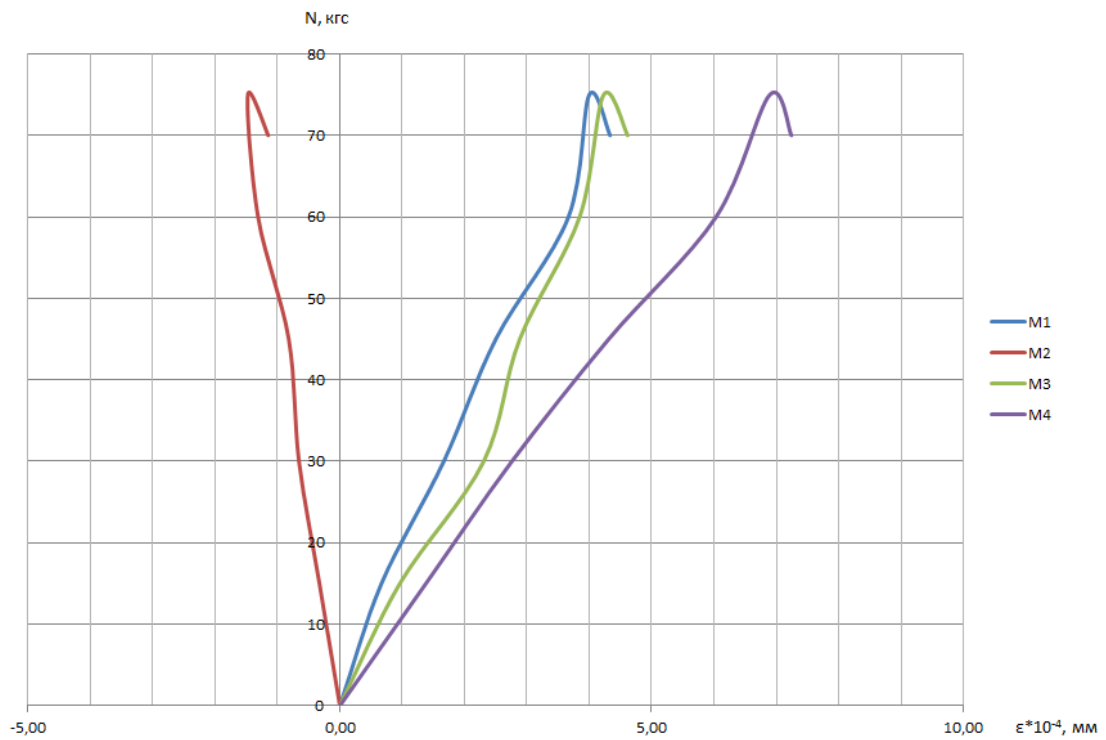


Рис.3.63. Графики зависимости «нагрузка-деформация» образца О-1, выполненного из камня марки Rogomax-280

а)



б)

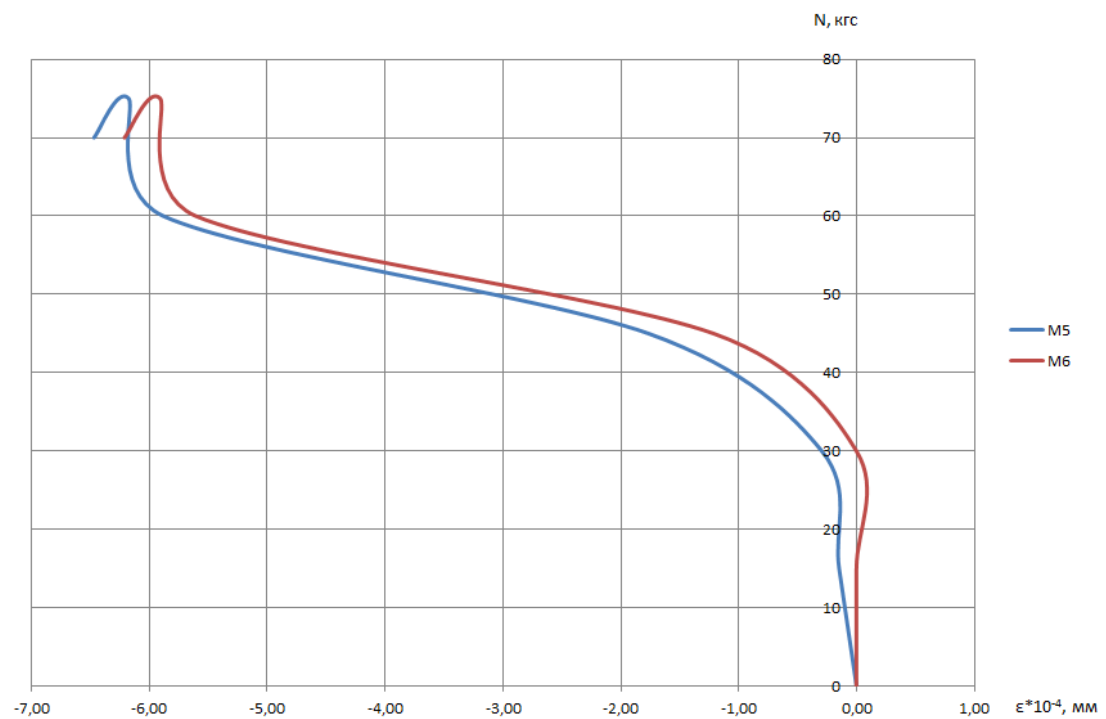
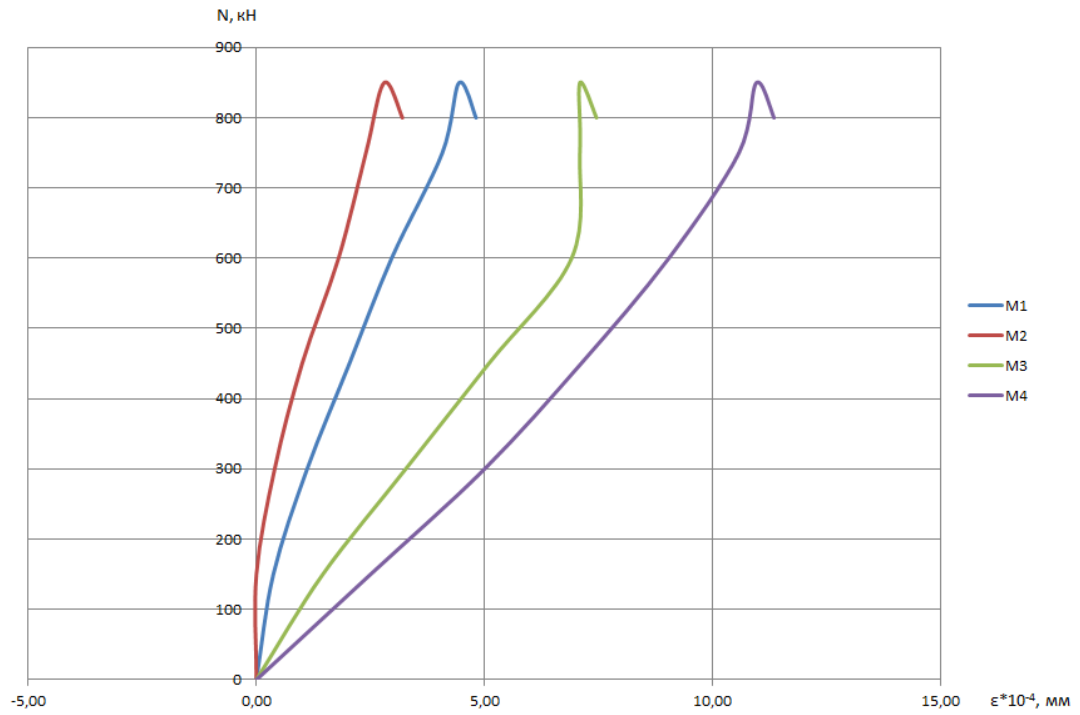


Рис.3.64. Графики зависимости «нагрузка-деформация» образца О-2, выполненного из камня марки Rogomax-280

а)



б)

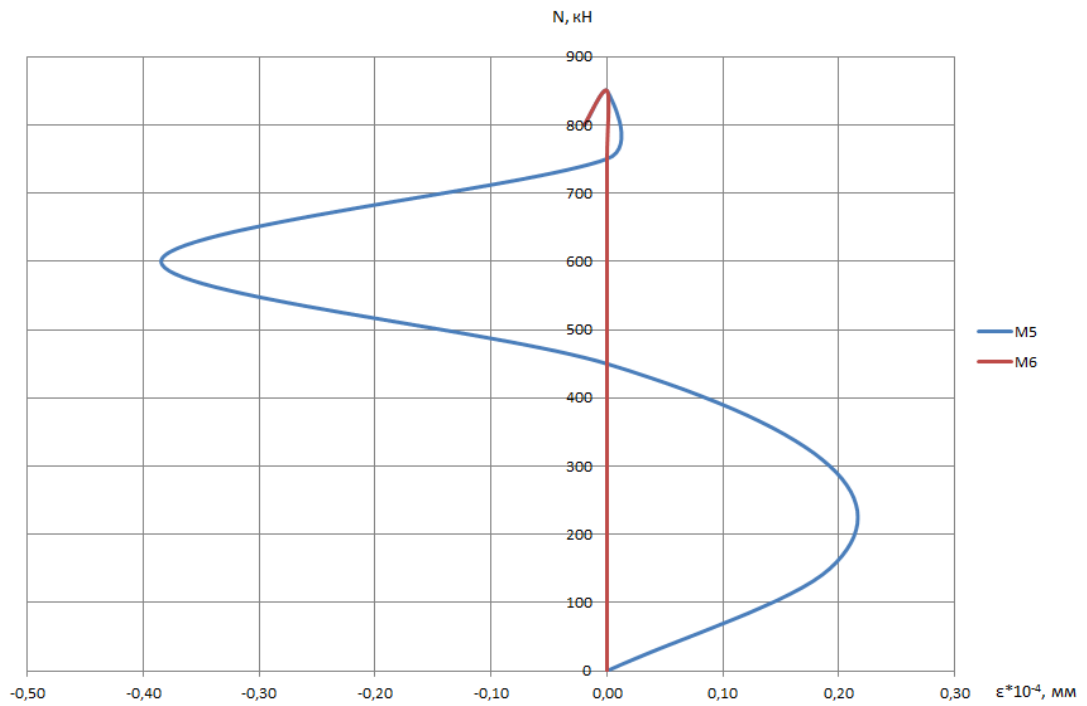
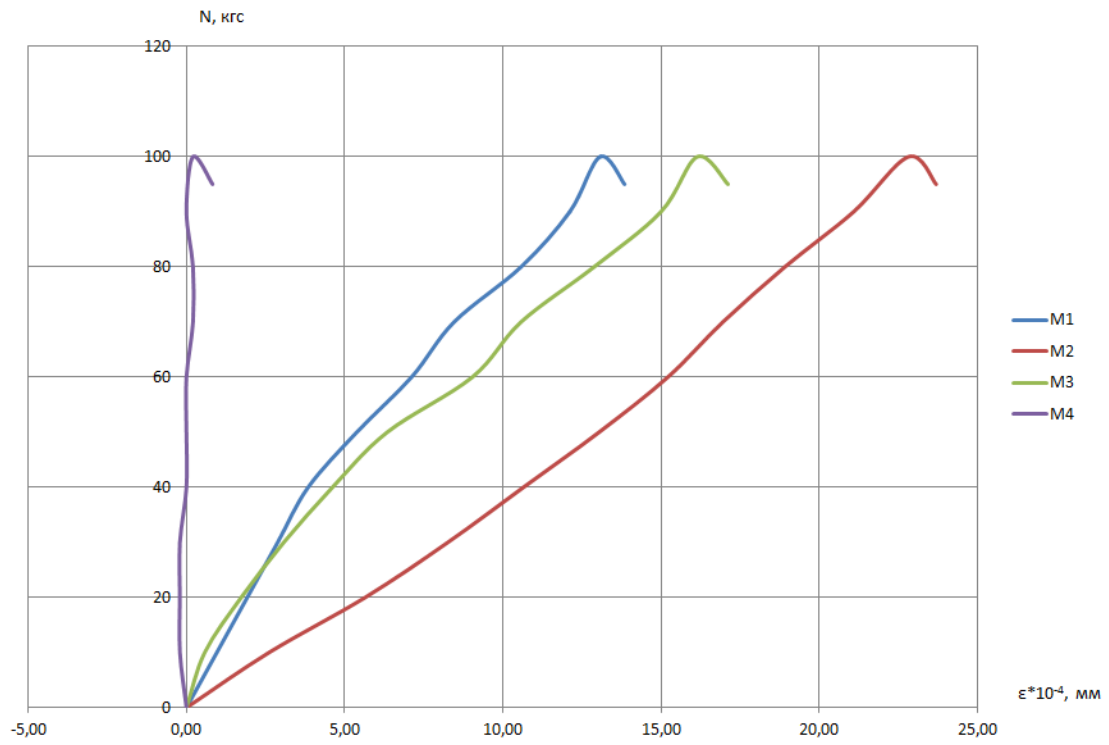


Рис.3.65. Графики зависимости «нагрузка-деформация» образца О-3, выполненного из камня марки Роготах-280

а)



б)

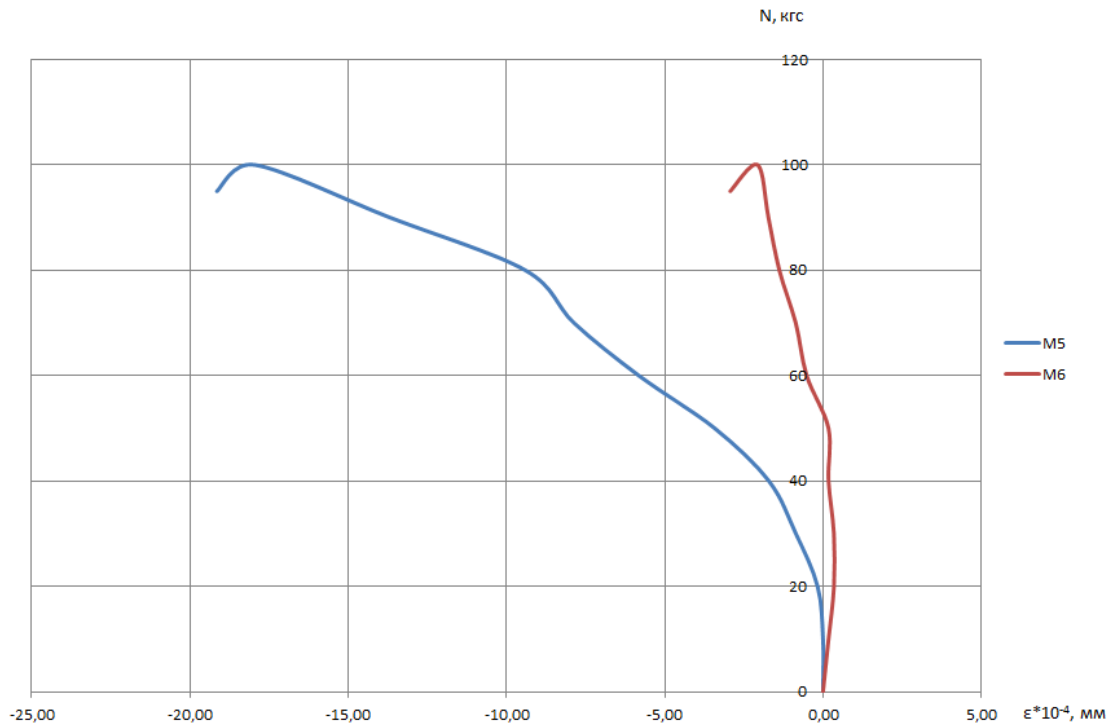
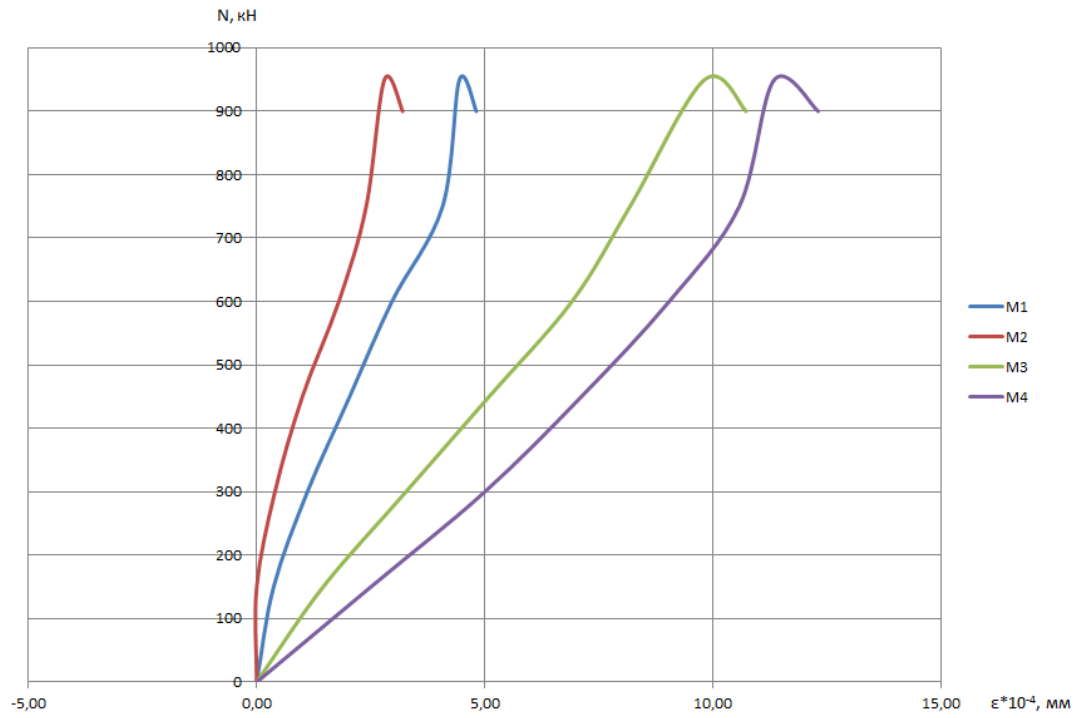


Рис.3.66. Графики зависимости «нагрузка-деформация» образца О-4, выполненного из камня марки Роготах-280

а)



б)

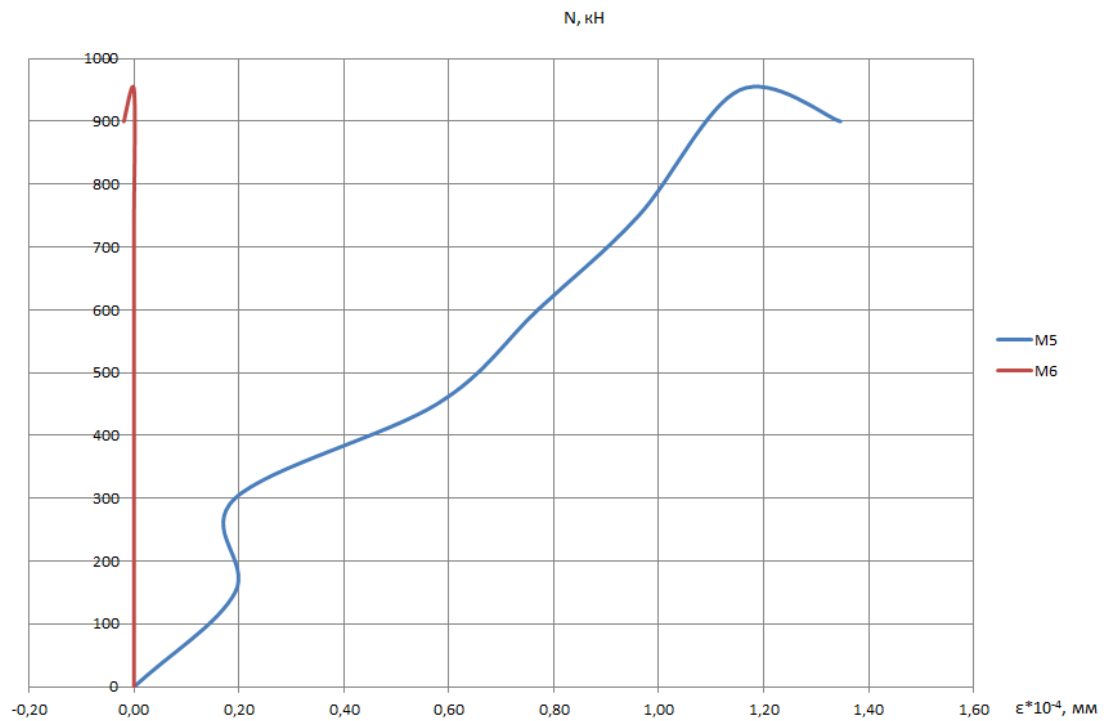
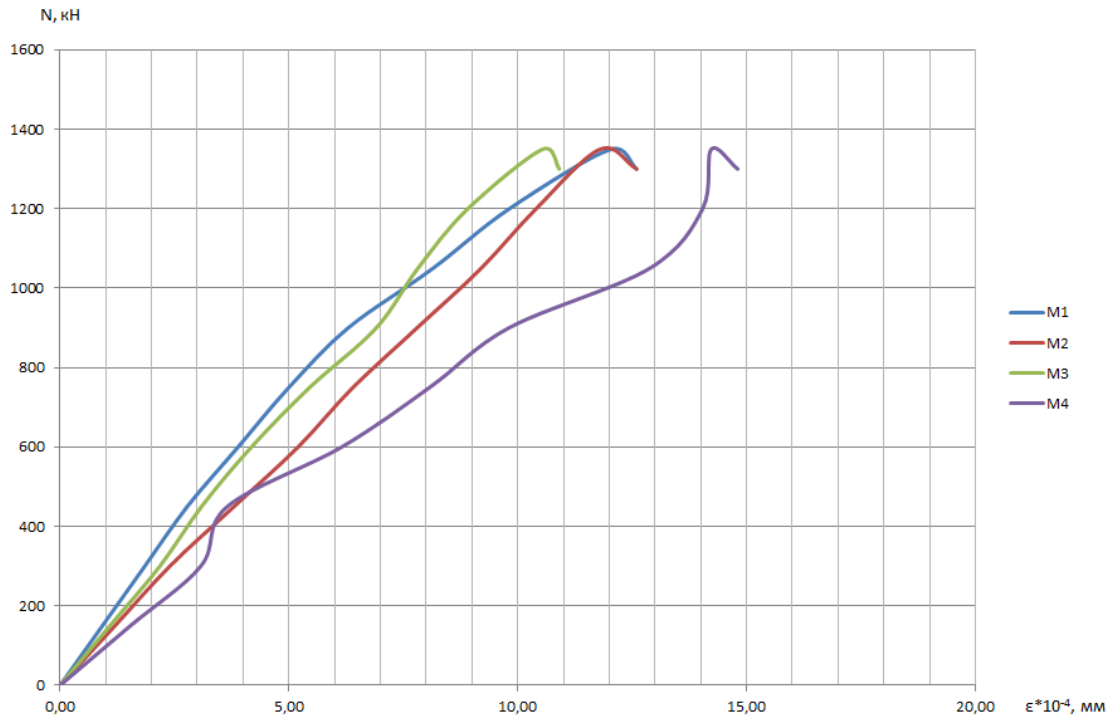


Рис.3.67. Графики зависимости «нагрузка-деформация» образца О-5, выполненного из камня марки Rogomax-280

а)



б)

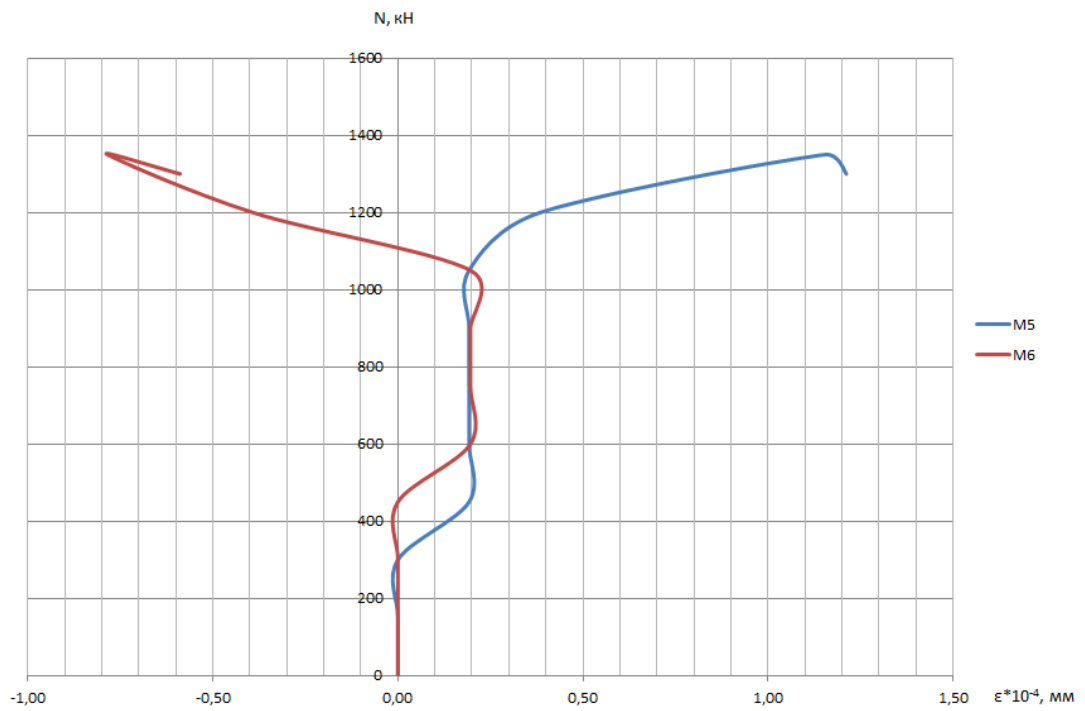
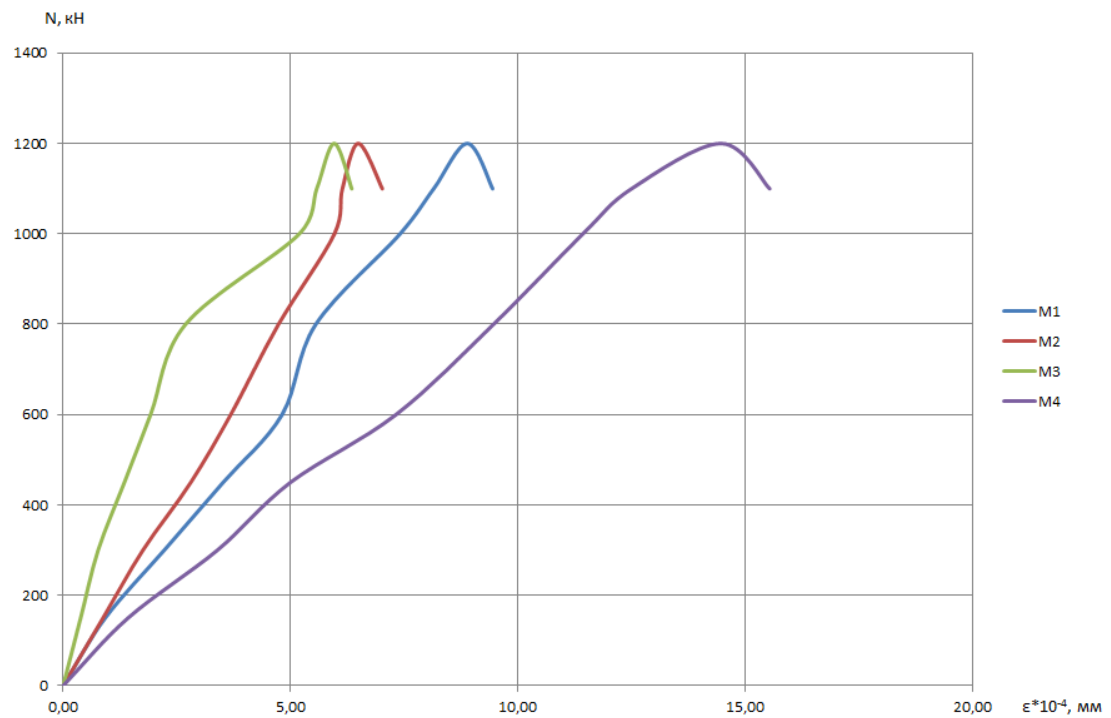


Рис.3.68. Графики зависимости «нагрузка-деформация» образца О-6, выполненного из камня марки Роготах-280

а)



б)

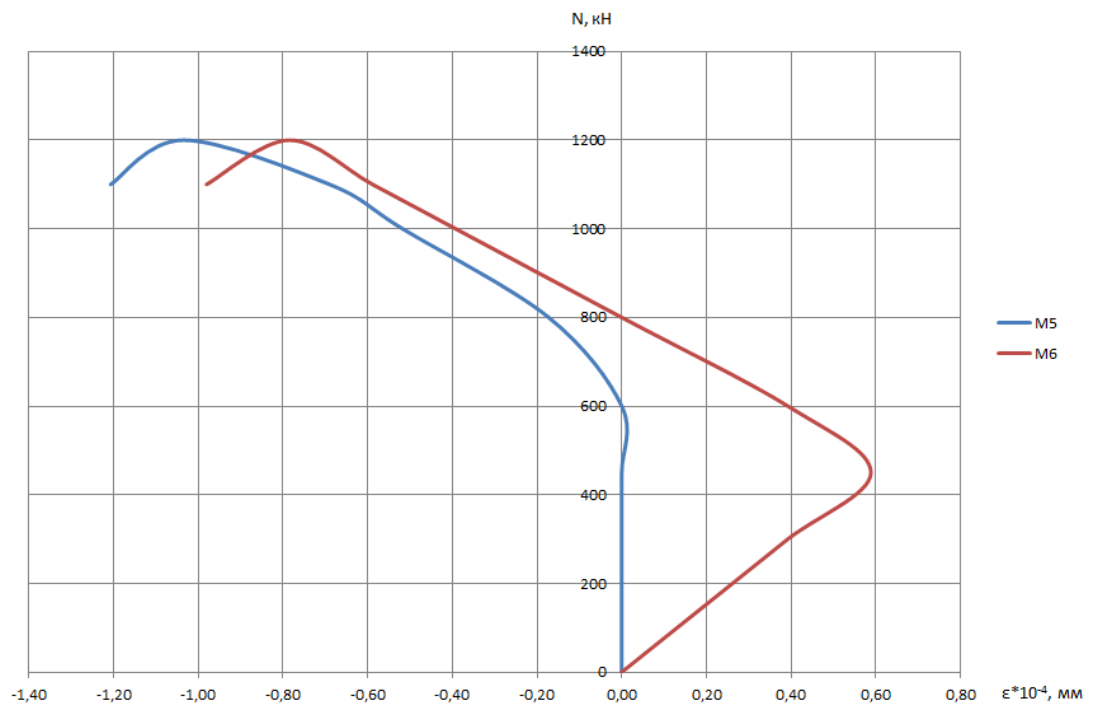
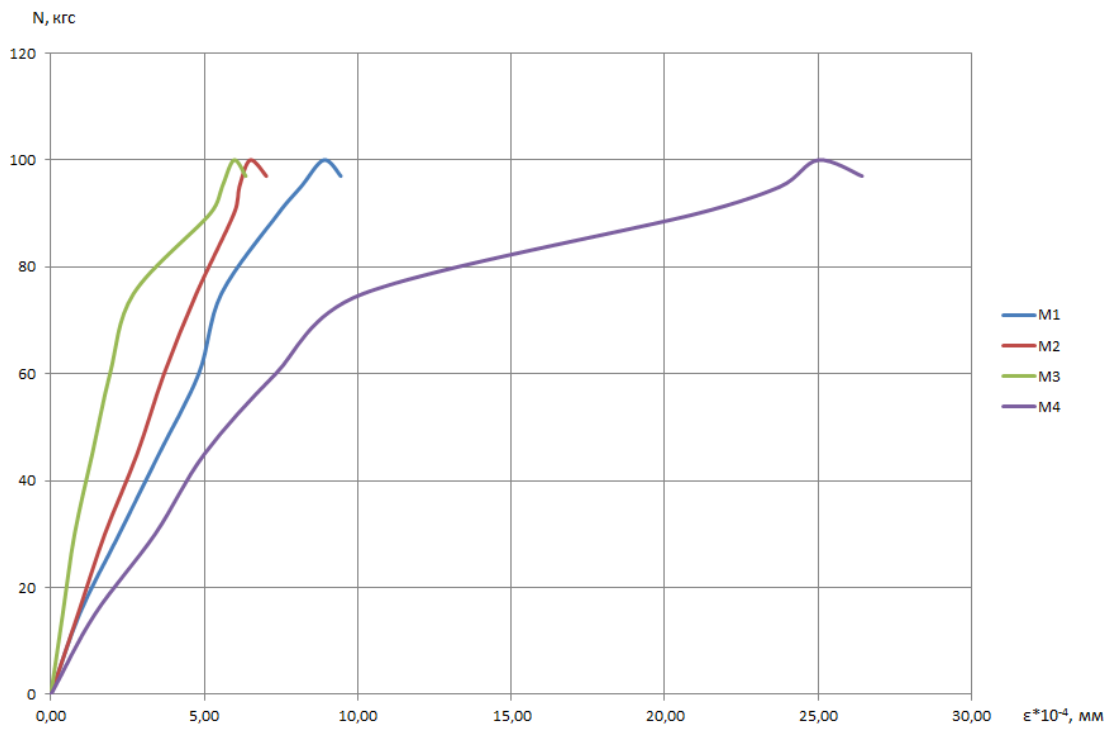


Рис.3.69. Графики зависимости «нагрузка-деформация» образца О-7, выполненного из камня марки Рогомах-280

а)



б)

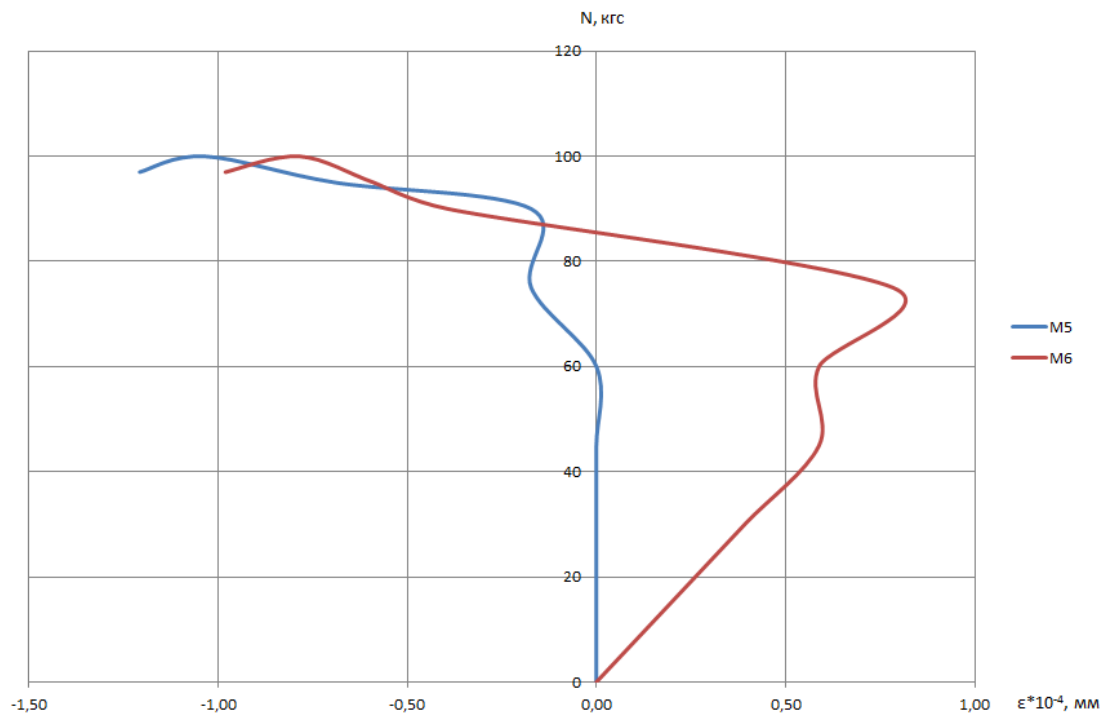
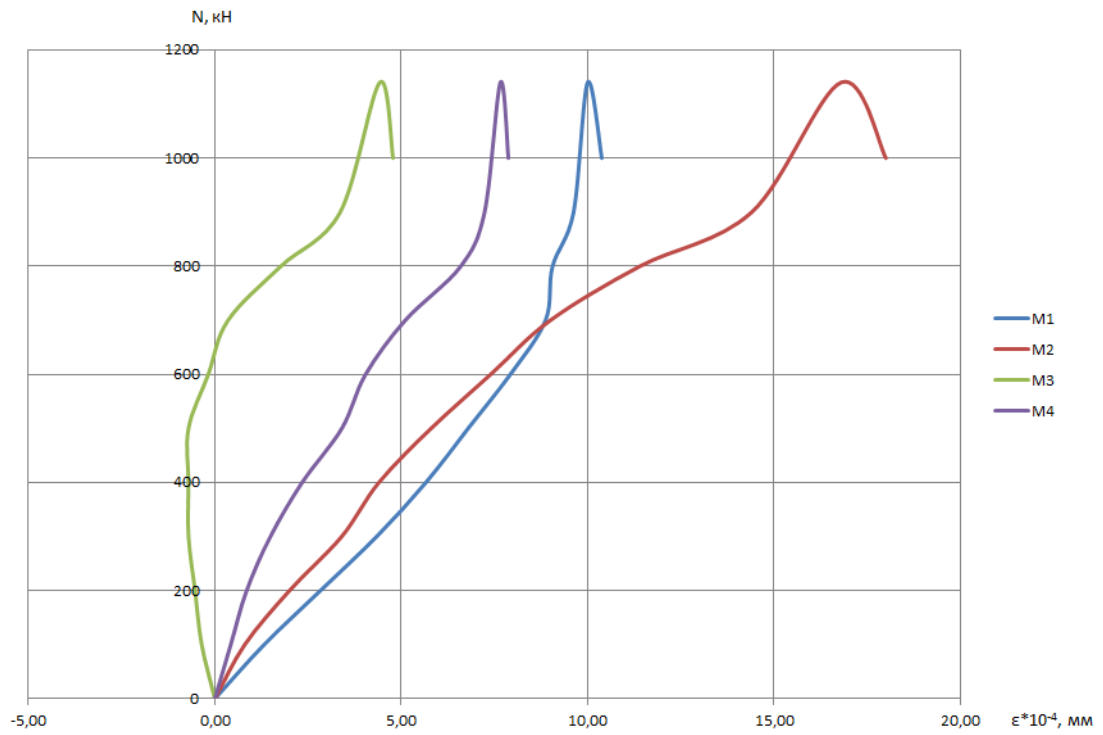


Рис.3.70. Графики зависимости «нагрузка-деформация» армированного образца О-8а, выполненного из камня марки Poromax-280

а)



б)

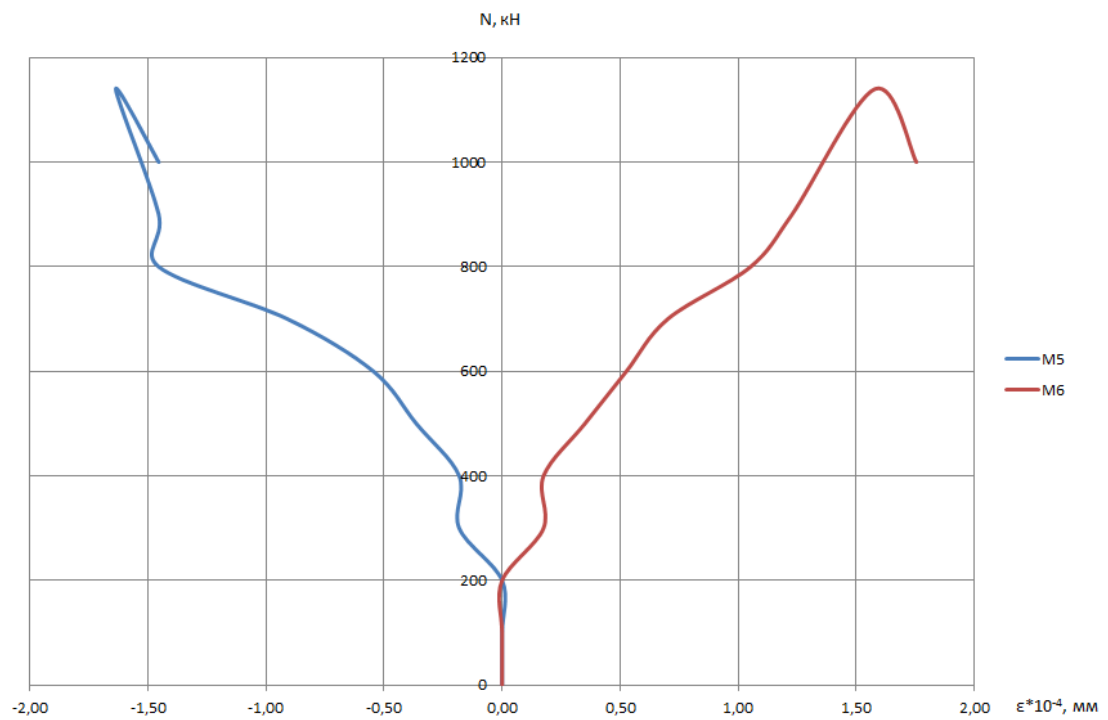
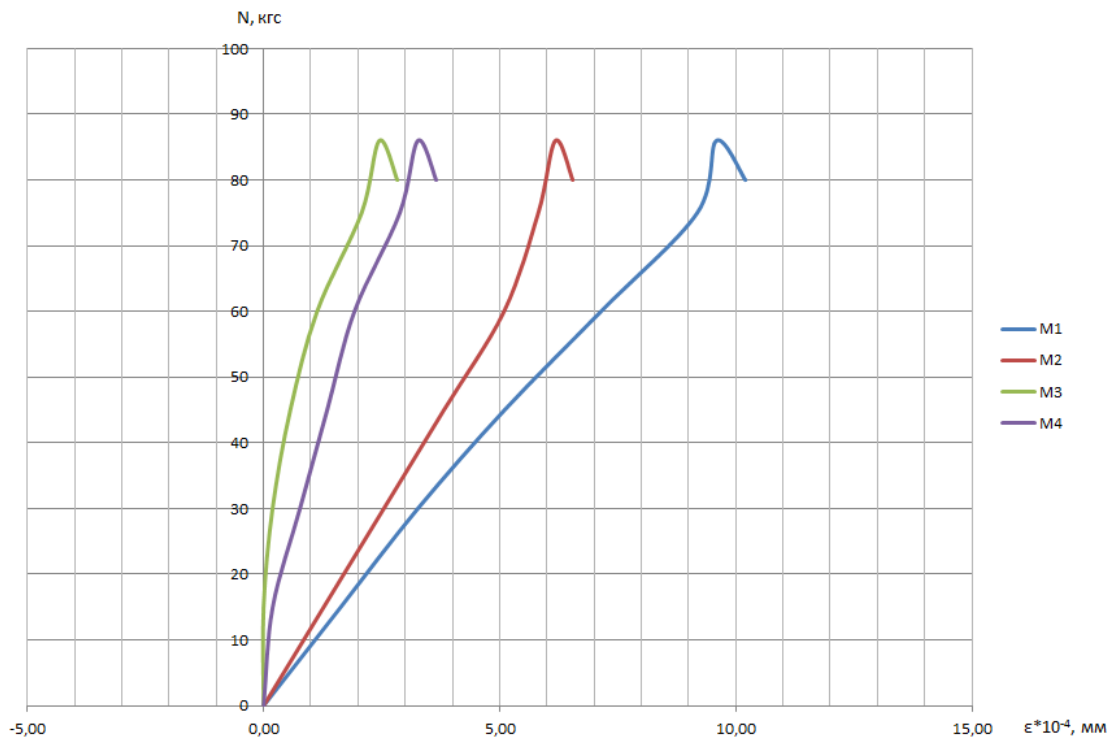


Рис.3.71. Графики зависимости «нагрузка-деформация» армированного образца О-9а, выполненного из камня марки Poromax-280

а)



б)

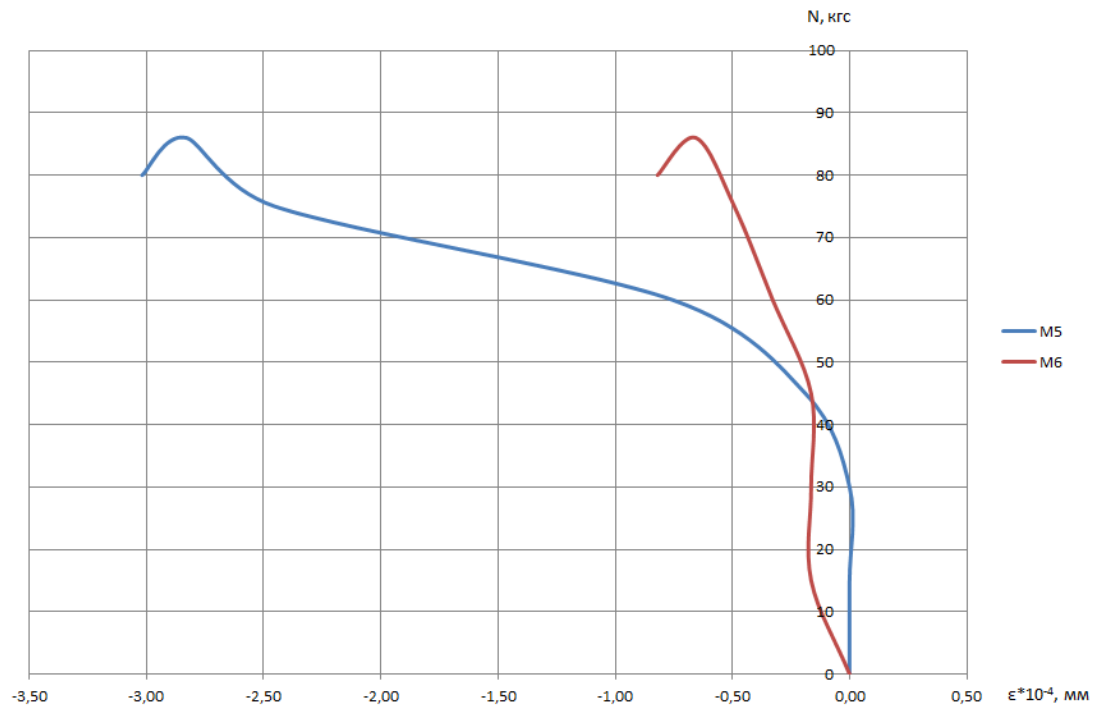


Рис.3.72. Графики зависимости «нагрузка-деформация» армированного образца О-10а, выполненного из камня марки Rogomax-280

а)



б)



Рис.3.73. Характер разрушения образцов при испытании на сжатие

а)



б)



Рис.3.74 Характер разрушения образцов при испытании на сжатие

а)



б)



Рис.3.75. Характер разрушения образцов при испытании на сжатие

а)



б)



Рис.3.76 Характер разрушения образцов при испытании на сжатие

а)



б)



Рис.3.77. Характер разрушения образцов при испытании на сжатие

– $(0,67 \div 0,74) \times N_{\text{разр}}$ – для кладки, армированной базальтовой сеткой, при растворе марки М100.

2. Разрушение опытных образцов носило хрупкий характер, при этом разрушение характеризовалось срезом (отслоением) наружного, более жесткого, слоя камня с последующим разрушением внутренних перегородок.

3. После обработки результатов испытаний кладки стен из крупноформатных камней, установлено, что:

– предел прочности (временное сопротивление) при центральном сжатии кладки простенков сечением 20x102см (Poromax-200) и 28x78,5см (Poromax-280) составил:

для кладки из камней марки М-150 (Poromax-200)

- 5,32 МПа – при марке раствора в шве М50;
- 6,63 МПа – при марке раствора в шве М100;
- 8,93 МПа – при марке раствора в шве М150;
- 7,53 МПа – при марке раствора в шве М100, с армированием кладки базальтовой сеткой;

для кладки из камней марки М-100 (Poromax-280)

- 4,5 МПа – при марке раствора в шве М75;
- 5,23 МПа – при марке раствора в шве М100;
- 7,15 МПа – при марке раствора в шве М150;
- 6,01 МПа – при марке раствора в шве М100, с армированием кладки базальтовой сеткой;

– с учетом коэффициента перехода от временного сопротивления к расчетному $k=2$ значение расчетного сопротивления сжатию кладки из ККППК составляет соответственно:

для кладки из камней марки М-150 (Poromax-200)

- 2,61 МПа – при марке раствора в шве М50;
- 3,31 МПа – при марке раствора в шве М100;
- 4,46 МПа – при марке раствора в шве М150;

- 3,75 МПа – при марке раствора в шве М100, с армированием кладки базальтовой сеткой;

для кладки из камней марки М-100 (Poromax-280)

- 2,25 МПа – при марке раствора в шве М75;
- 2,62 МПа – при марке раствора в шве М100;
- 3,57 МПа – при марке раствора в шве М150;
- 3,0 МПа – при марке раствора в шве М100, с армированием кладки базальтовой сеткой;

– с учетом объема настоящих исследований, а также принимая во внимание результаты аналогичных исследований кладки из других материалов на цементных растворах, рекомендуется расчетное сопротивление кладки сжатию из ККППК марки М150 (Poromax-200) и марки М-100 (Poromax-280) производства ОАО «Славянский кирпич» на цементном растворе принимать равными:

для кладки из камней марки М-150 (Poromax-200)

- 1,9 МПа – при марке раствора в шве М50;
- 2,4 МПа – при марке раствора в шве М100;
- 2,7 МПа – при марке раствора в шве М150;
- 2,6 МПа – при марке раствора в шве М100, с армированием кладки базальтовой сеткой;

для кладки из камней марки М-100 (Poromax-280)

- 1,8 МПа – при марке раствора в шве М75;
- 2,0 МПа – при марке раствора в шве М100;
- 2,2 МПа – при марке раствора в шве М150;
- 2,1 МПа – при марке раствора в шве М100, с армированием кладки базальтовой сеткой.

Как видно из таблицы 3.5 значения расчетных сопротивлений сжатию для кладки стен из ККППК марок М150 (Poromax-200) и марок М-100 (Poromax-280) производства ОАО «Славянский кирпич», полученные из

эксперимента, превышают расчетные сопротивления сжатию кладки по табл.2 [4] в зависимости от марки раствора в $1,33 \div 1,85$ раз. Однако учитывая малый объем исследований, а также данные результатов исследований других авторов (см. Главу 1 настоящего отчета), значения расчетных сопротивлений предлагается увеличить в среднем на 10-15% по сравнению с значениями, указанными в табл.2 СП [4].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Выводы и рекомендации

Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований прочности и деформативности кладки стен из керамических крупноформатных пустотно-поризованных камней производства ОАО «Славянский кирпич» на цементном растворе позволяет сделать следующие выводы.

1. Экспериментальные исследования прочности и деформативности кладки стен проводились с использованием крупноформатных пустотно-поризованных камней марки 11.5НФ (Poromax-200, марка М150) и 12.3НФ (Poromax-280, марка М100).

2. Кладка опытных образцов осуществлялась с использованием цементного раствора по прочности на сжатие соответствующей марки от М50 до М150. Толщина швов в кладке опытных образцов составляла 10-12мм.

3. Для оценки влияния арматурной сетки из композитного материала (базальтового волокна) кладка отдельных образцов велась с армированием на основе использования сетки марки «СБНПС ГРИДЕКС 50(25)» (маркировка по СТО 5952-022-98214589-2013*, табл. 5.1) фирмы «РЕКСТРОМ-К».

4. В связи с тем, что для выпускаемых керамических крупноформатных пустотно-поризованных камней производства ОАО «Славянский кирпич» на цементном растворе отсутствуют нормативные расчетные характеристики, то согласно указаниям СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81» допускается проектирование конструкций из этих материалов на основе результатов экспериментальных исследований.

В связи с указанным при проектировании несущих и ограждающих конструкций из керамических крупноформатных пустотно-поризованных камней производства ОАО «Славянский кирпич» на цементном растворе

следует применять расчетные характеристики кладки, указанные в ниже приведенной таблице 4.1.

5. При назначении расчетного сопротивления сжатию кладки стен из керамических крупноформатных пустотно-поризованных камней производства ОАО «Славянский кирпич» на цементном растворе учитывались результаты исследований отечественных и зарубежных авторов:

– по исследованиям проф. Соколова Б.С.[2] расчетные сопротивления кладки сжатию из ККППК в 1.0-1.92 раза выше значений, указанных в табл.2 [4]. При этом момент образования первой трещины для кладки стен из ККППК по результатам испытаний составил $(0.48 \div 0.82) \times N_{\text{разр.}}$;

– по результатам исследований немецких специалистов [5] расчетные сопротивления кладки сжатию из ККППК в 1.8 раза выше значений, указанных в табл.2 [4]. При этом момент образования первой трещины для кладки стен из ККППК при марке раствора М100 по результатам испытаний составил $0.6 \times N_{\text{разр.}}$;

– по результатам исследований ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко [6] расчетные сопротивления кладки сжатию из ККППК в 1.2-1.4 раза выше значений, указанных в табл.2 [4]. При этом авторы не анализируют в отчете наличие влияния эксцентриситета на расчетное сопротивление кладки;

– по результатам исследований Дмитриева А.С., Семенцова С.А. [7] расчетные сопротивления кладки сжатию при увеличении высоты камня с 6,5см до 19-21см за счет снижения количества вертикальных и горизонтальных растворных швов возрастает в 1.4-1.6 раза выше значений, указанных в табл.2 [4];

– по результатам испытаний, представленных в настоящем отчете, расчетные сопротивления кладки сжатию из ККППК в 1.33-1.85 раза выше значений указанных в табл.2 [4]. Однако принимая во внимание незначительный объем исследований рекомендуется назначать расчетные сопротивления кладки сжатию при проектировании стен из камней марки

11.5НФ (Рогомах-200, марка М150) и 12.3НФ (Рогомах-280, марка М100) производства ОАО «Славянский кирпич» по таблице 4.1.

6. Применение базальтовой сетки марки «СБНПс ГРИДЕКС 50(25)» (маркировка по СТО 5952-022-98214589-2013*, табл. 5.1) фирмы «РЕКСТРОМ-К» позволяет увеличить расчетные характеристики кладки при сжатии и изгибе в 1,15-1,2 раза.

**Расчетные сопротивления кладки керамических крупноформатных
пустотно-поризованных камней М100 производства ОАО «Славянский
кирпич» на цементном растворе**

Таблица 4.1

Характер перевязки кладки	Мрака раствора шва	Расчетное сопротивление кладки (МПа)	
		для обычных районов	для сейсмических районов
Центральное сжатие (R_c)			
-----	50	1.8	1.8
	75	1.9	1.9
	100	2.0	2.0
	100 (арм.)	2.2	2.2
	150	2.4	2.4
Осевое растяжение (R_t)			
1. По непереязанному сечению (нормальное сцепление)	50 100 и выше	0.08 0.13	-- 0.12
2. По переязанному сечению*	100 и выше	0.16*	0.16*
Растяжение при изгибе (R_{tb})			
1. По непереязанному сечению (главные растягивающие напряжения при изгибе)	100 150 150 (арм.)	0.13 0.17 0.17	0,13 0.17 0.17
2. По переязанному сечению	100 -150 150 (арм.)	0.20 0.24	0.20 0.24
Срез (R_{sq})			
По непереязанному сечению (касательное сцепление)	100 и выше	0.16*	0.19**

* из-за отсутствия экспериментальных данных значения приняты по СП 15.13330.2012

** из-за отсутствия экспериментальных данных значения приняты по СП 14.13330.2014 с учетом экспериментальных данных, полученных в настоящем отчете

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.
2. Фабричная К.А. Прочность каменной кладки из пустотелых керамических камней при центральном сжатии. Диссерт..... на соискание степени канд. техн. наук. Казань, 2013, С.130.
3. СТБ EN 1052-2-2009 Государственный стандарт Республики Беларусь. Методы испытания каменной кладки. Часть 2 – Определение прочности на растяжение при изгибе.
4. СП 15.13330.2012 Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81.
5. D3.0.3. Stress-strain-relation of perforated bricks (Rilem-specimen). Enhanced Safety and Efficient Construction of Masonry Structures in Europe (ESECMaSE). University of Kassel 2004.
6. Отчет «Технические решения стеновых конструкций жилых зданий с применением керамических поризованных пустотелых камней». М, ЦНИИСК, 2010.
7. Дмитриев А.С., Семенцов С.А. каменные и армокаменные конструкции, 1965.
8. Научно-технический отчет по теме: «Проведение экспериментальных исследований прочности и деформативности кладки стен из крупноформатных рядовых поризованных камней 10.7 МФ и 14.3 МФ производства Рябовского завода керамических изделий с разработкой альбома технических решений и рекомендацией по применению данной продукции в строительстве промышленных и гражданских зданий в различных районах РФ, в т.ч. сейсмоопасных». Том 1. Договор № 11641/24-46-12. 2012 г. С.95.
9. ГОСТ 5802-80. Растворы строительные. Методы испытаний.

10. ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия.
11. ГОСТ 18105-2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
12. ГОСТ 24992-81. Конструкции каменные. Методы определения прочности сцепления в каменной кладке.
13. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*.
14. ГОСТ 8829-94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости.
15. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81). М, 1989.