



## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

по теме

**«Провести экспериментальные исследования прочности и деформативности опытных образцов фрагментов железобетонных панелей и колонн, изготовленных с применением стальной опалубки Proster®21, производства Белорецкого завода сеток и настилов»**

(по договору №468/24-21-16/СК от 11.05.2016г)

Москва 2016 г.



УТВЕРЖДАЮ:  
Директор  
ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко  
доктор технических наук  
И.И. Ведяков

2016г.

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

по теме

**«Провести экспериментальные исследования прочности и деформативности опытных образцов фрагментов железобетонных панелей и колонн, изготовленных с применением стальной опалубки Proster®, производства Белорецкого завода сеток и настилов»**

(по договору №468/24-21-16/СК от 11.05.2016г)

Зам. Руководителя ЦИСС

А.А. Бубис

Заведующий лабораторией №24,  
к. т. н.

А.В. Грановский

Старший научный сотрудник

З.И. Доттуев

Старший инженер

А.И. Доттуев

Москва 2016 г.

## Содержание

1. Введение.....	3
2. Программа экспериментальных исследований. Описание опытных образцов и технологии их изготовления.....	6
3. Лабораторные испытания по определению прочности бетона конструкции.....	32
4. Экспериментальные исследования прочности и деформативности плит перекрытий, изготовленных в несъемной опалубке.....	34
5. Экспериментальные исследования прочности и деформативности колонн, изготовленных в несъемной опалубке.....	50
6. Экспериментальные исследования прочности и деформативности фрагментов стен, изготовленных в несъемной опалубке.....	71
7. Исследование прочности бетона, усиленного стальными фибрами.....	84
8. Заключение. Выводы и рекомендации.....	86
Список литературы.....	88
Приложение.....	89

## 1. Введение

Настоящий научно-технический отчет составлен по результатам выполненных экспериментальных исследований прочности и деформативности монолитных железобетонных конструкций, изготовленных с использованием несъемной опалубки **Proster®21** и стальной фибры **Streck®** производства Белорецкого завода сеток и настилов.

### Цель экспериментальных исследований:

- Проверка совместной работы бетона конструкции и металлической несъемной опалубки **Proster®21**
- Оценка влияния применения несъемной опалубки из оцинкованного горячекатаного стального листа при изготовлении монолитных железобетонных плит перекрытий, панелей и колонн на их прочность и деформативность.
- Оценка влияния стальной фибры **Streck®** на характеристики растворов и бетонов.

Несъемная опалубка **Proster®21** (рис. 1.2) в виде панели полученной методом смещенной резки с одновременным вытягиванием, с ребрами жесткости благодаря своей особенной структуре является идеальной системой для применения в монолитном строительстве. Наличие структурных ячеек в опалубке позволяет, как показал зарубежный опыт, включить стальную систему в работу конструкции как обойму, сдерживающую поперечные деформации конструкций при сжатии.

Панели несъемной опалубки **Proster®21** производятся из стального горячекатаного оцинкованного листа толщиной 0.55 мм при высоте ребра 21мм. Вес 1м<sup>2</sup> панели составляет 3,4 кгс.

Стальная фибра **Streck®** (рис. 1.1) производится методом поперечной рубки горячекатаного оцинкованного стального листа толщиной 0,8-1 мм.

Опытные образцы фрагментов плит перекрытий, стеновых панелей и колонн были изготовлены Заказчиком непосредственно в экспериментальном

цехе Центра исследований сейсмостойкости сооружений. Для контроля прочности бетона экспериментальных образцов Заказчиком одновременно с экспериментальными образцами были изготовлены кубы размером  $10 \times 10 \times 10$  см и  $15 \times 15 \times 15$  см, а также бетонные призмы  $10 \times 10 \times 40$  см.

В соответствии с программой исследований Заказчиком были изготовлены бетонные кубы и призмы, армированные стальной фиброй **Streck®** длиной 40 мм и толщиной  $0,8 \div 1,0$  мм.

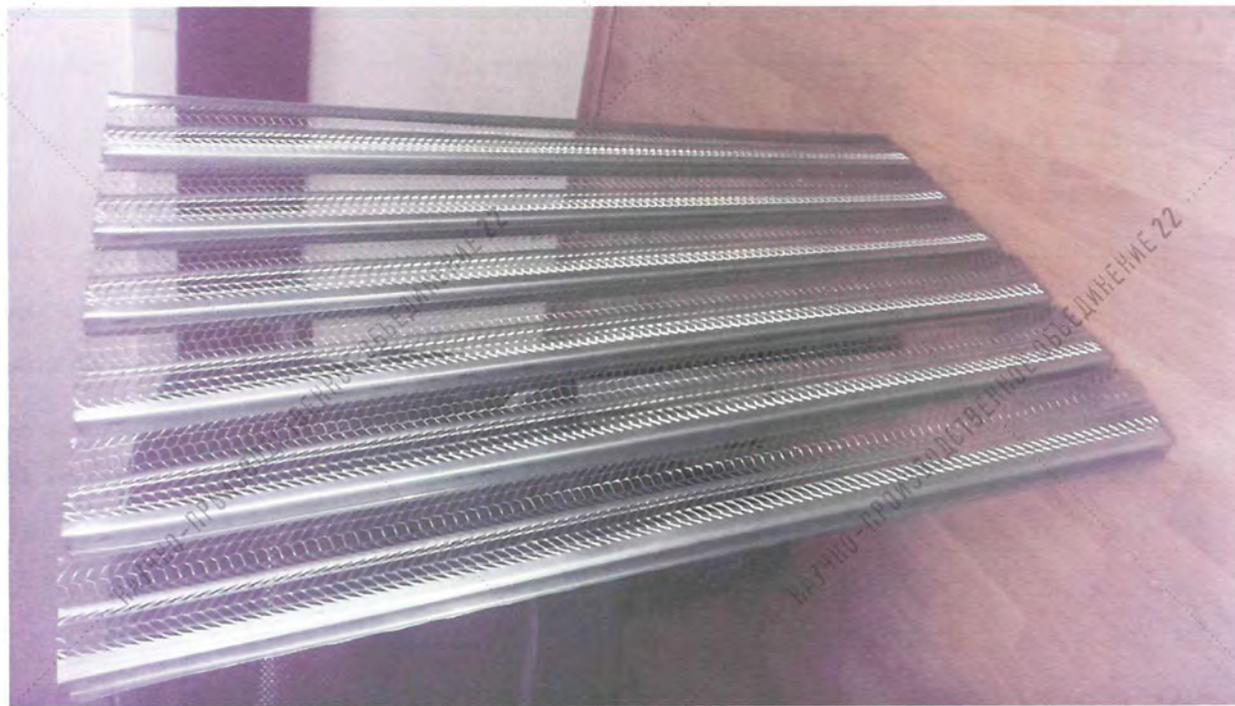
Испытания конструкций, приготовленных с использованием несъемной опалубки, производились в соответствии с методикой испытаний, изложенной по ГОСТ 8829-94 [1]. В ходе испытаний конструкций контролировались процесс их деформирования (прогибы), момент образования трещин и характер трещинообразования.



Рисунок 1.1 Стальная фибра **Streck®** (общий вид)



Рисунок 1.2 Металлическая несъемная опалубка Proster®21,  
общий вид



## 2. Программа экспериментальных исследований. Описание опытных образцов и технологии их изготовления

В соответствии с Техническим заданием к договору в экспериментальном цехе Центра исследований сейсмостойкости сооружений института были изготовлены с использованием несъемной опалубки **PROSTER®21** следующие опытные образцы монолитных железобетонных конструкций:

- плиты перекрытия;
- фрагменты железобетонных колонн квадратного и круглого сечений;
- фрагменты стен.

На рис. 2.1 показаны фрагменты образцов листов несъемной опалубки **PROSTER®21**, использованной при бетонировании указанных выше экспериментальных образцов.

Монолитные железобетонные конструкции опытных образцов изготавливались из бетонной смеси по прочности на сжатие, соответствующей бетону класса В25 (по данным паспорта завода-изготовителя бетонной смеси).

### Плиты перекрытий

Для возможности оценки влияния несъемной опалубки, использованной при бетонировании опытных образцов плит перекрытий, на прочность и деформативность конструкций было изготовлено три серии плит.

*1 серия (эталонная) – образцы марки БПД* – плиты перекрытий из монолитного бетона класса В20, изготовленные в деревянной опалубке с армированием арматурным каркасом (рис. 2.2а) из стержней Ø10А500С с ячейкой 200×200 мм. На фото рис. 2.3 показан общий вид деревянной опалубки плиты марки БПД с уложенным в нее арматурным каркасом. Размеры опытного образца - 1000×3000×200 (Н) мм.

Результаты испытаний плит I серии позволят в дальнейшем оценить влияние наличия несъемной опалубки на прочность и жесткость плит перекрытий.

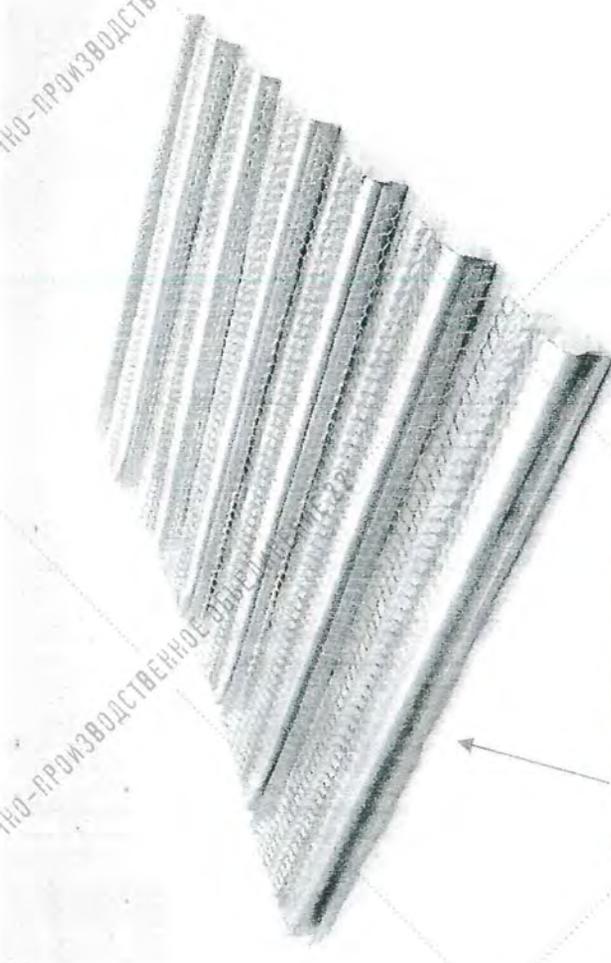
*II серия – образцы марки БПС* – плиты перекрытий из монолитного бетона класса В22,5 с геометрическими размерами и схемой армирования как и в образцах I серии. При бетонировании двух плит этой серии в качестве элемента нижней опалубки использовался перфорированный лист несъемной опалубки с расположением сплошных ребер листа (рис. 2.2б) вдоль продольных граней плиты. На фото рис. 2.4 показан общий вид опалубки плиты марки БПС с основанием из листов несъемной опалубки **Proster®21** с уложенным на нее арматурным каркасом.

*III серия – образцы марки БПС\** - плиты перекрытия из монолитного бетона класса В22,5 с геометрическими размерами и схемой армирования как и в образцах II серии. При этом в качестве элемента нижней опалубки использовался перфорированный лист несъемной опалубки **Proster®21** с расположением сплошных ребер листа (рис. 2.2в) поперек продольных граней плиты. По результатам испытаний образцов плит III серии с указанным выше расположением листов несъемной опалубки предполагалось оценить влияние расположения сплошных ребер несъемной опалубки относительно линии прогиба плит на их прочность и деформативность.

В Приложении 1 к настоящему отчету приведены чертежи схем армирования плит и положения несъемной опалубки относительно продольных граней плит, использованные при их изготовлении.

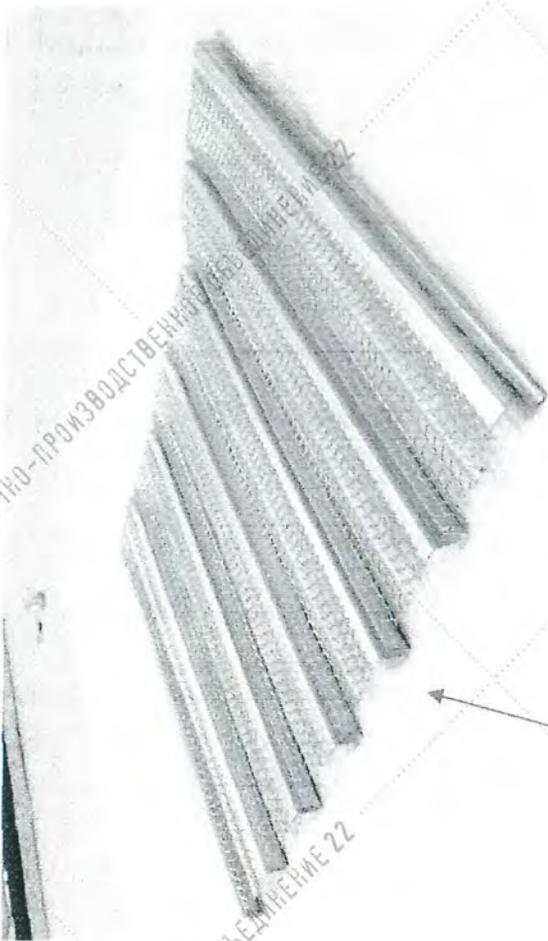
Бетонирование опытных образцов плит перекрытий I÷III серий осуществлялось с передвижного бетоноукладчика путем подачи изготовленной на заводе ЖБК бетонной смеси в заранее смонтированные конструкции опалубок плит. Уплотнение бетонной смеси, уложенной в опалубку, производилось специальным вибратором. Одновременно с образцами плит перекрытий были изготовлены контрольные образцы кубов с размерами сторон 10 и 15 см.

а)



Продольная сторона

б)



Поперечная сторона

Рисунок 2.1 Поперечное сечение листа несъемной опалубки.

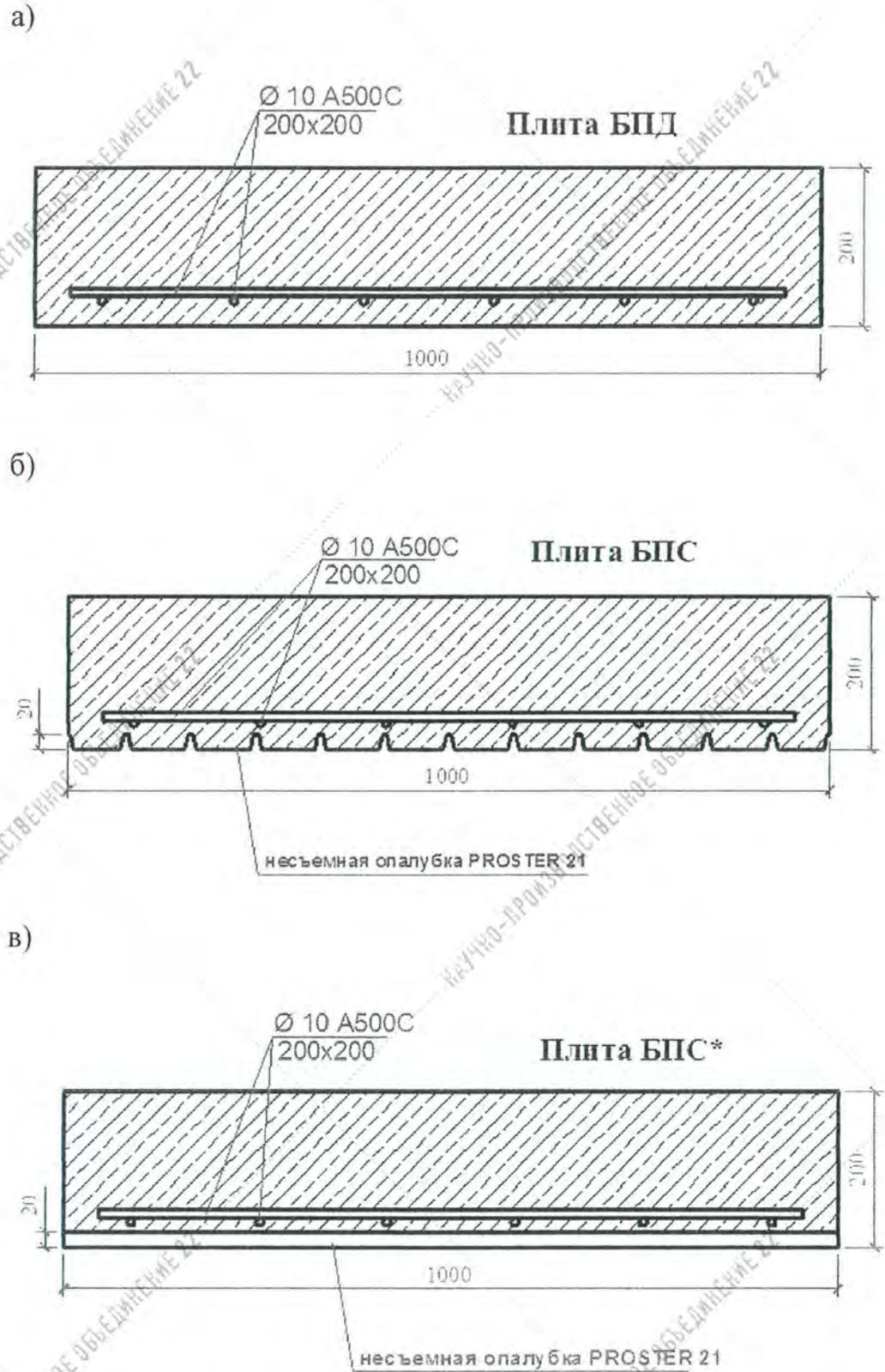


Рисунок 2.2 Поперечные сечения опытных образцов плит.



Рисунок 2.3 Общий вид опалубки плиты марки БПД с арматурным каркасом



Рисунок 2.4 Общий вид опалубки плиты марки БПС с арматурным каркасом

## Колонны квадратного и круглого сечений

Цели экспериментальных исследований прочности и деформативности железобетонных колонн, изготовленных с использованием несъемной опалубки **PROSTER®21**, состоят в следующем:

- оценка эффективности применения несъемной опалубки в качестве стальной обоймы, сдерживающей развитие поперечных деформаций в бетоне конструкций;
- оценка возможности снижения процента армирования колонн за счет наличия «эффекта обоймы» от несъемной опалубки;
- оценка изменения процесса трещинообразования в бетоне колонн, изготовленных с использованием несъемной опалубки, по сравнению с железобетонными колоннами при бетонировании в типовой опалубке.

Для проведения испытаний были изготовлены следующие серии опытных образцов колонн из бетона класса В25 (по паспорту завода-изготовителя):

- **колонны марки БКД-1** сечением 40×40 см, армированные по схеме на рис. 2.5 и 2.6 с использованием арматурных стержней Ø12 А500С и изготовленные в деревянной опалубке;
- **колонны марки БКД-2** – конструкция колонн аналогична колоннам марки БКД-1, но вместо рабочей арматуры Ø12 А500С использовались арматурные стержни Ø32 А500С (рис. 2.7, 2.8);
- **колонны марки БКС-1** сечением 40×40см без армирования. При бетонировании фрагментов колонн марки БКС-1 использовалась несъемная опалубка (рис. 2.9, 2.10);
- **колонны марки БКС-2** сечением 40×40 см с использованием в качестве арматуры стержней Ø20 А500С (рис. 2.11, 2.12);
- **колонны марки БК\*Д-1** диаметром 400 мм. Опытные образцы колонн армированы арматурными стержнями Ø25 А500С в деревянной опалубке (рис. 2.13, 2.14);

- **колонны марки БК\*С-1** – конструкция колонны аналогична колоннам марки БК\*Д-1, но бетонирование фрагментов колонн марки БК\*С-1 осуществлялось в несъемной металлической опалубке (рис. 2.15, 2.16).

#### **Фрагменты стен с размерами 20×100×100 см**

- **образцы марки БСД-1** с армированием по схеме на рис. 2.17. Образцы изготавливались в деревянной опалубке (рис. 2.18);
- **образцы марки БСС-1** изготавливались без армирования, в несъемной металлической опалубке (рис. 2.19, 2.20);
- **образцы марки БСС-2 (БСС-3)**, армированные арматурными стержнями Ø10 А500С (Ø12 А500С). Бетонирование опытных образцов осуществлялось в несъемной металлической опалубке (рис. 2.21, 2.22).

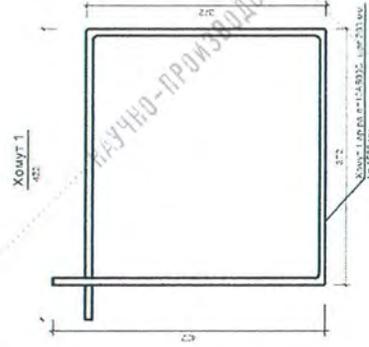
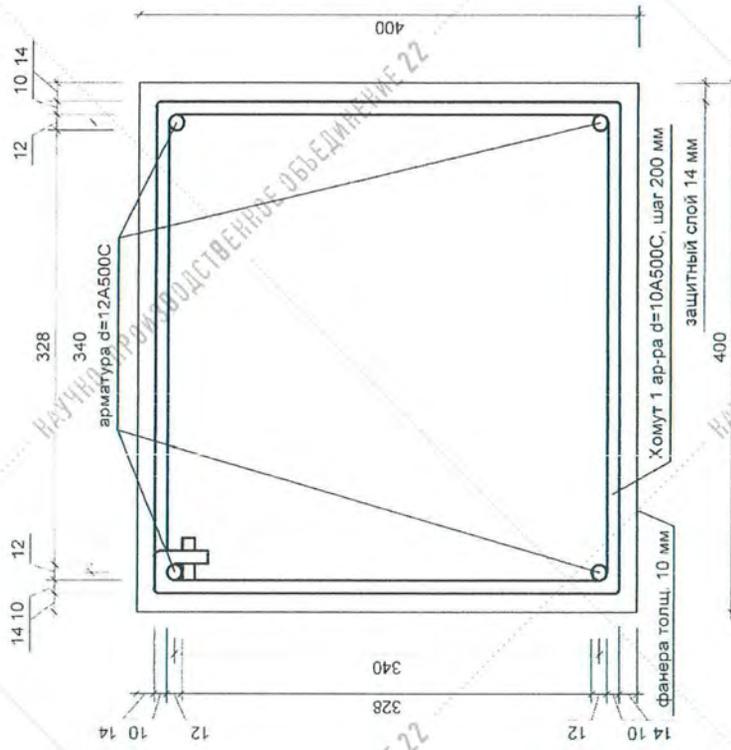


Рисунок 2.5 Схема армирования колонны БКД-1, изготовленной в деревянной опалубке

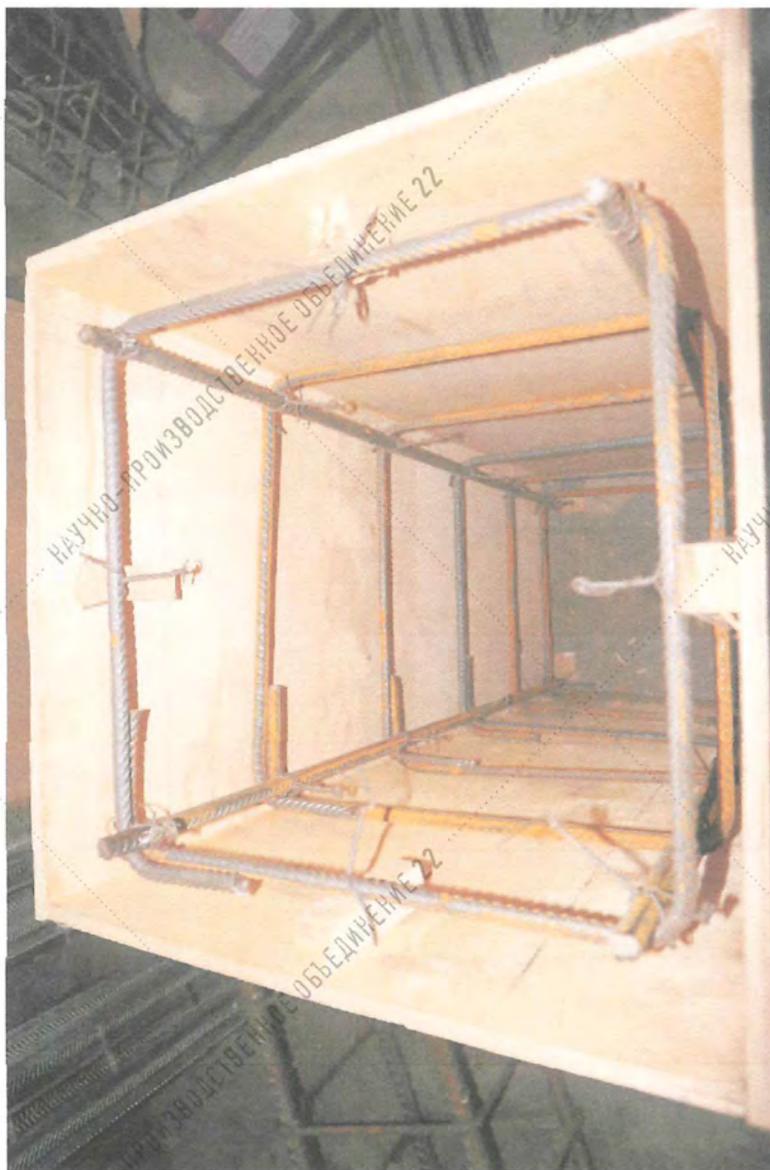


Рисунок 2.6 Арматурный каркас колонны БКД-1, изготовленной в деревянной опалубке



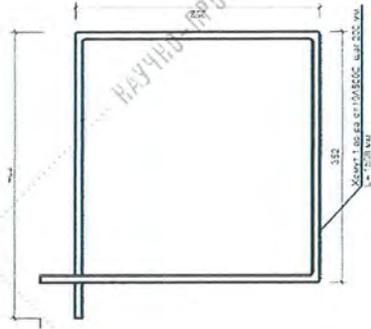
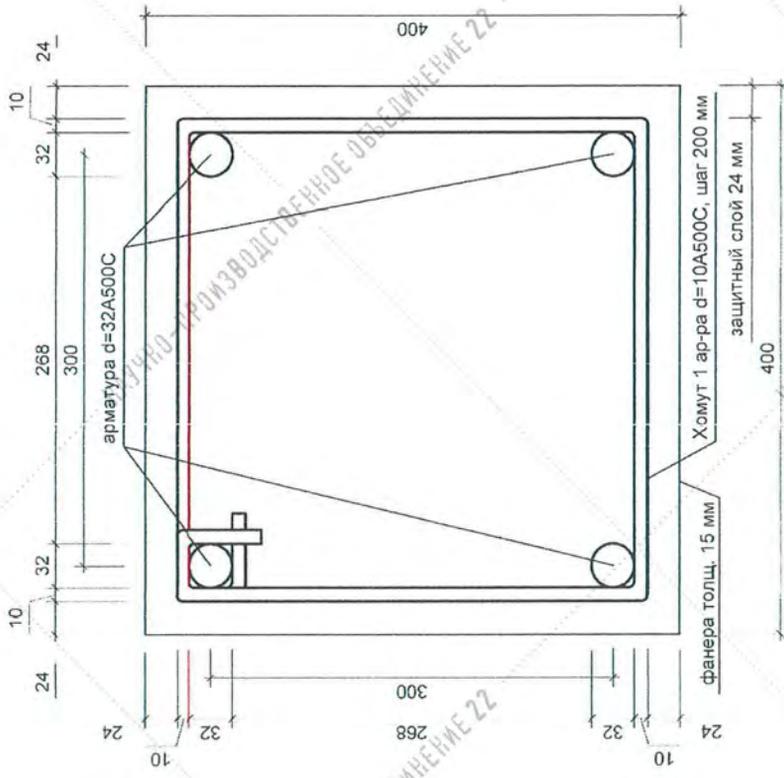


Рисунок 2.7 Схема армирования колонны БКД-2, изготовленной в деревянной опалубке

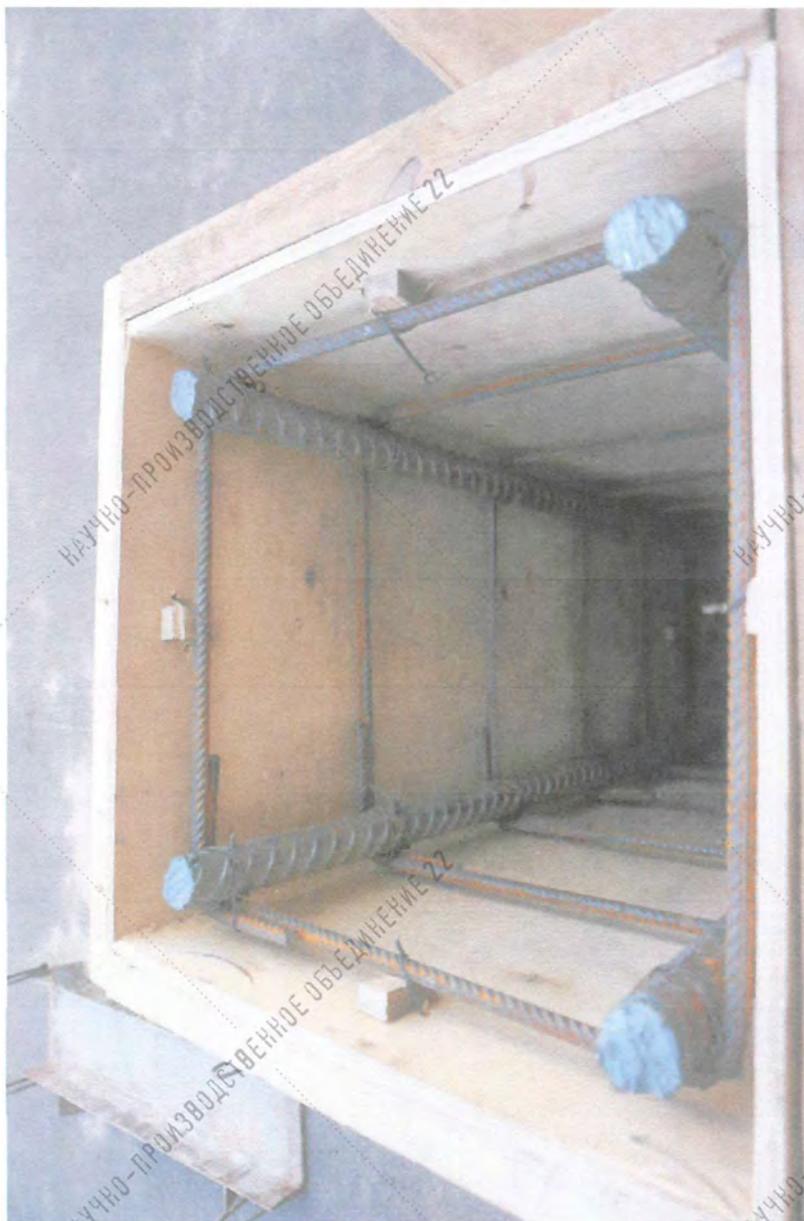


Рисунок 2.8 Арматурный каркас колонны БКД-2 изготовленной в деревянной опалубке



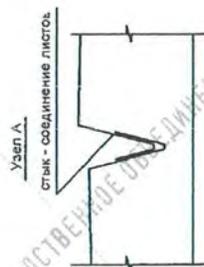
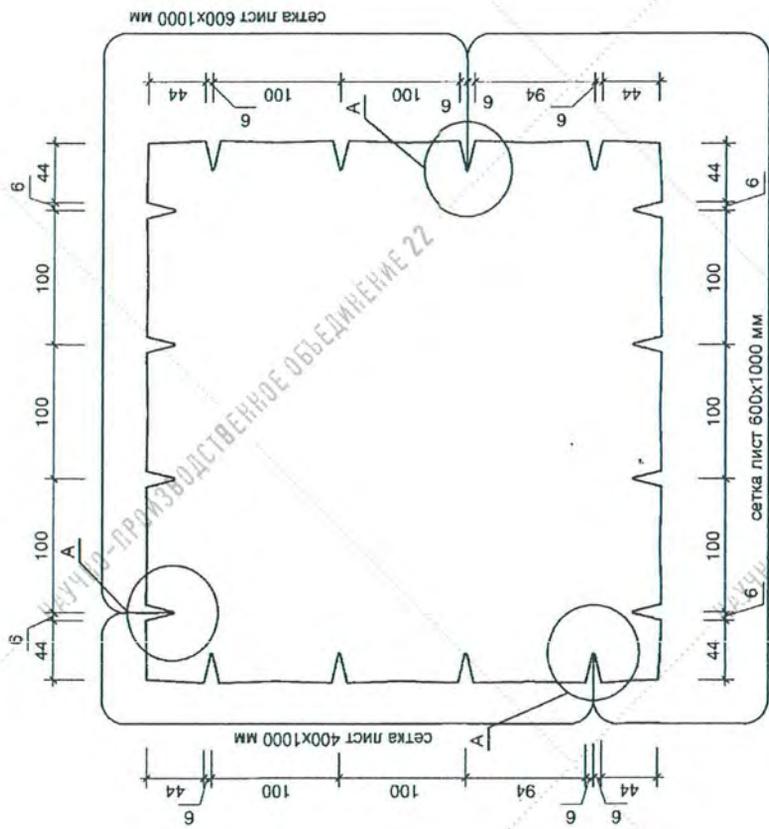


Рисунок 2.9 Схема армирования колонны БКС-1, изготовленной в несъемной опалубке (армирование отсутствует)



б)



а)

Рисунок 2.10 Несъемная опалубка колонны БКС-1.

а) Общий вид; б) Момент бетонирования

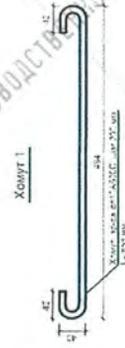
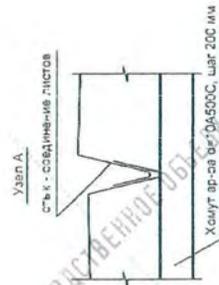
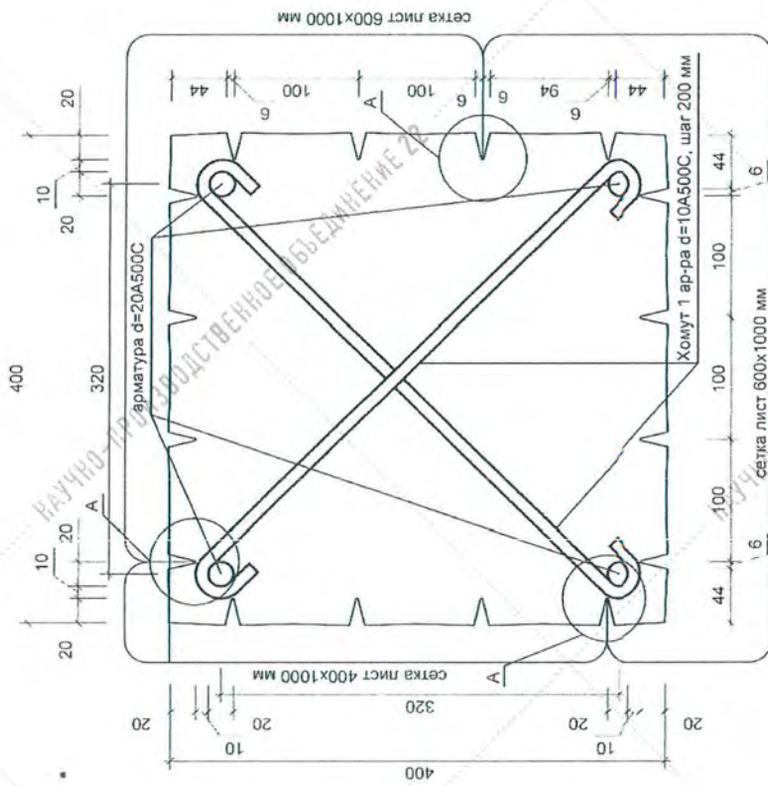


Рисунок 2.11 Схема армирования колонны БКС-2, изготовленной в несъемной опалубке



Рисунок 2.12 Арматурный каркас колонны БКС-2 (а),  
установленной в несъемную опалубку (б)

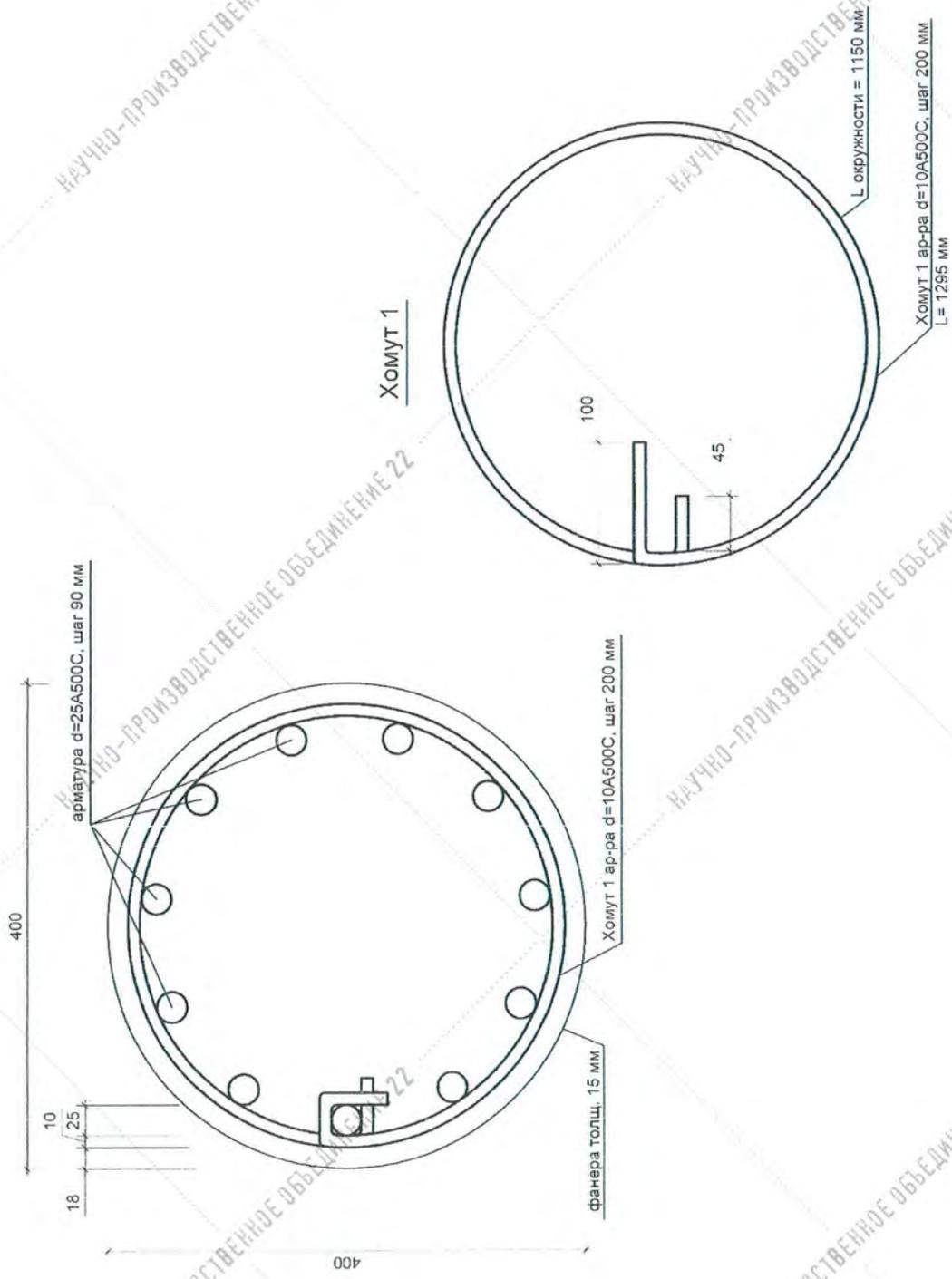


Рисунок 2.13 Схема армирования колонны БК\* Д-1, изготовленной в деревянной опалубке



Рисунок 2.14 Арматурный каркас колонны БК\* Д-1, изготовленной в деревянной опалубке



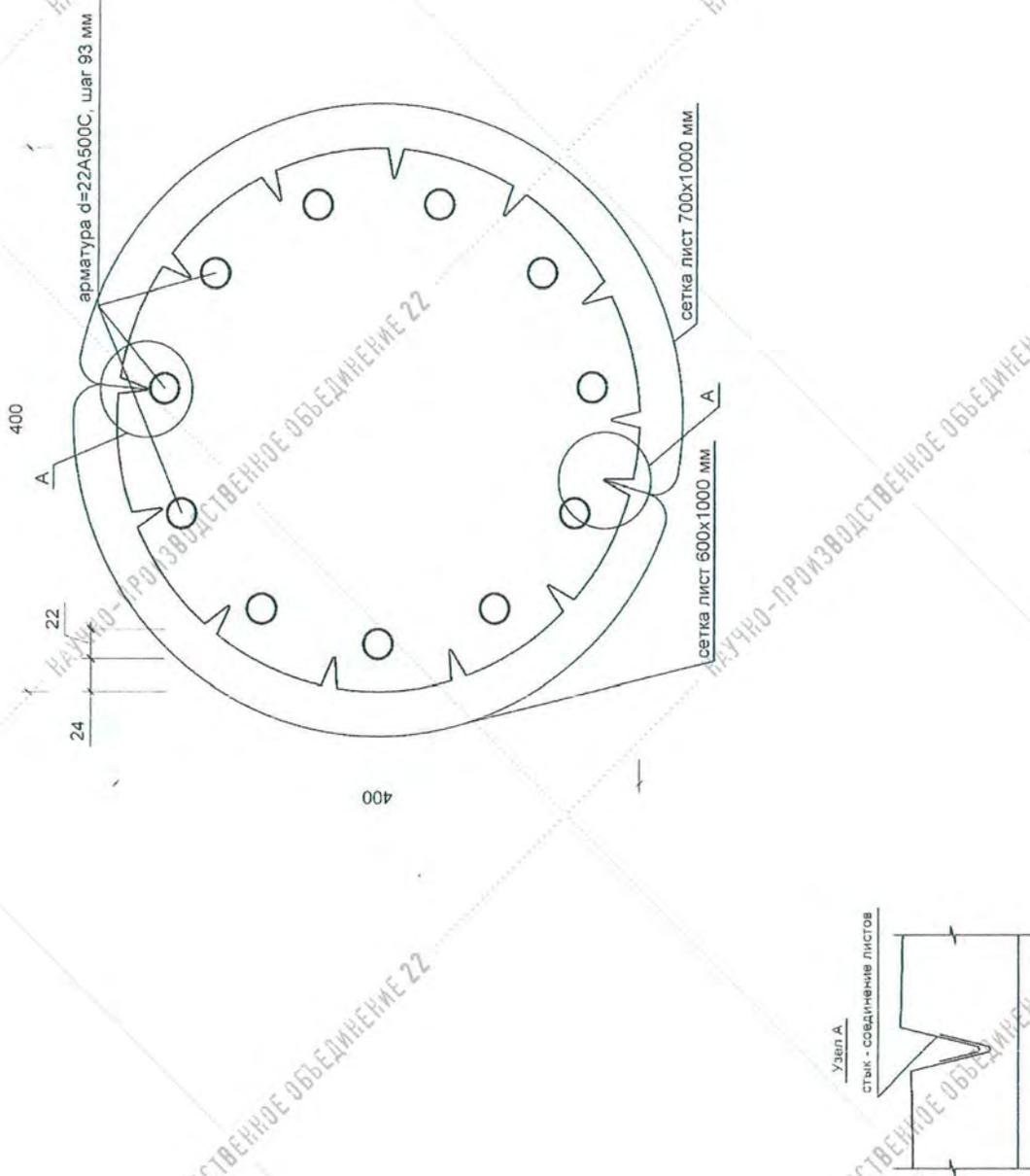


Рисунок 2.15 Схема армирования колонны БК\*С-1, изготовленной в несъемной опалубке



2.16 Арматурный каркас колонны БК\*С-1, изготовленной в несъемной опалубке

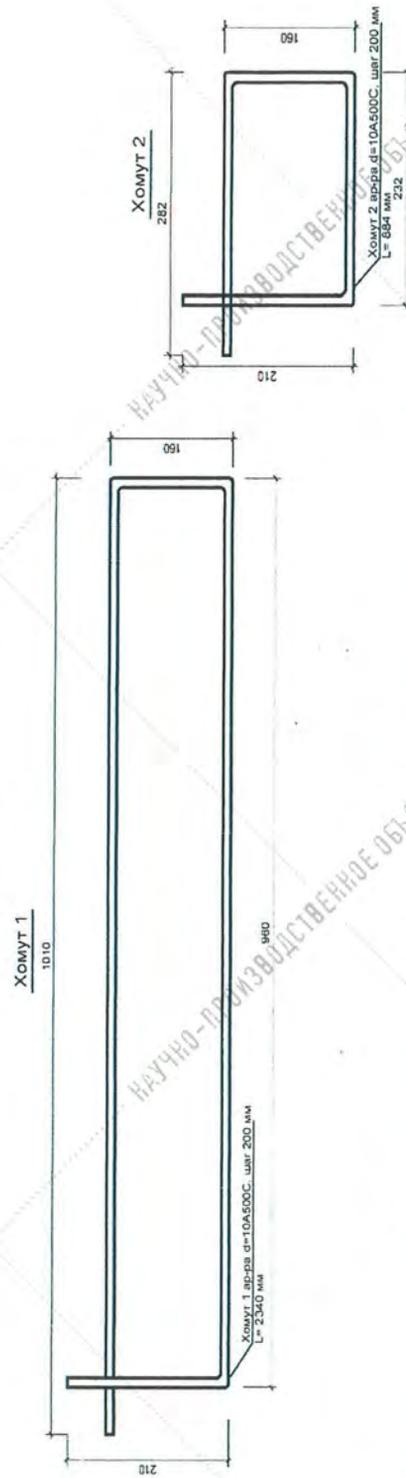
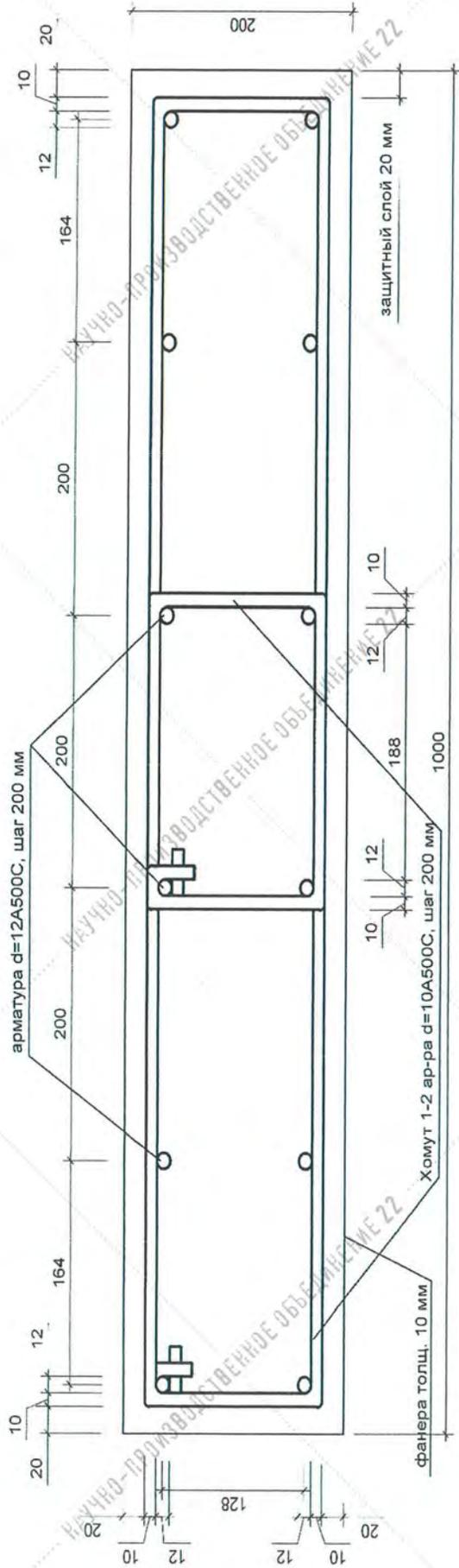


Рисунок 2.17 Схема армирования фрагмента стеновой панели БСД-1, изготовленной в деревянной опалубке



Рисунок 2.18 Арматурный каркас фрагмента стеновой панели  
БСД-1 в деревянной опалубке

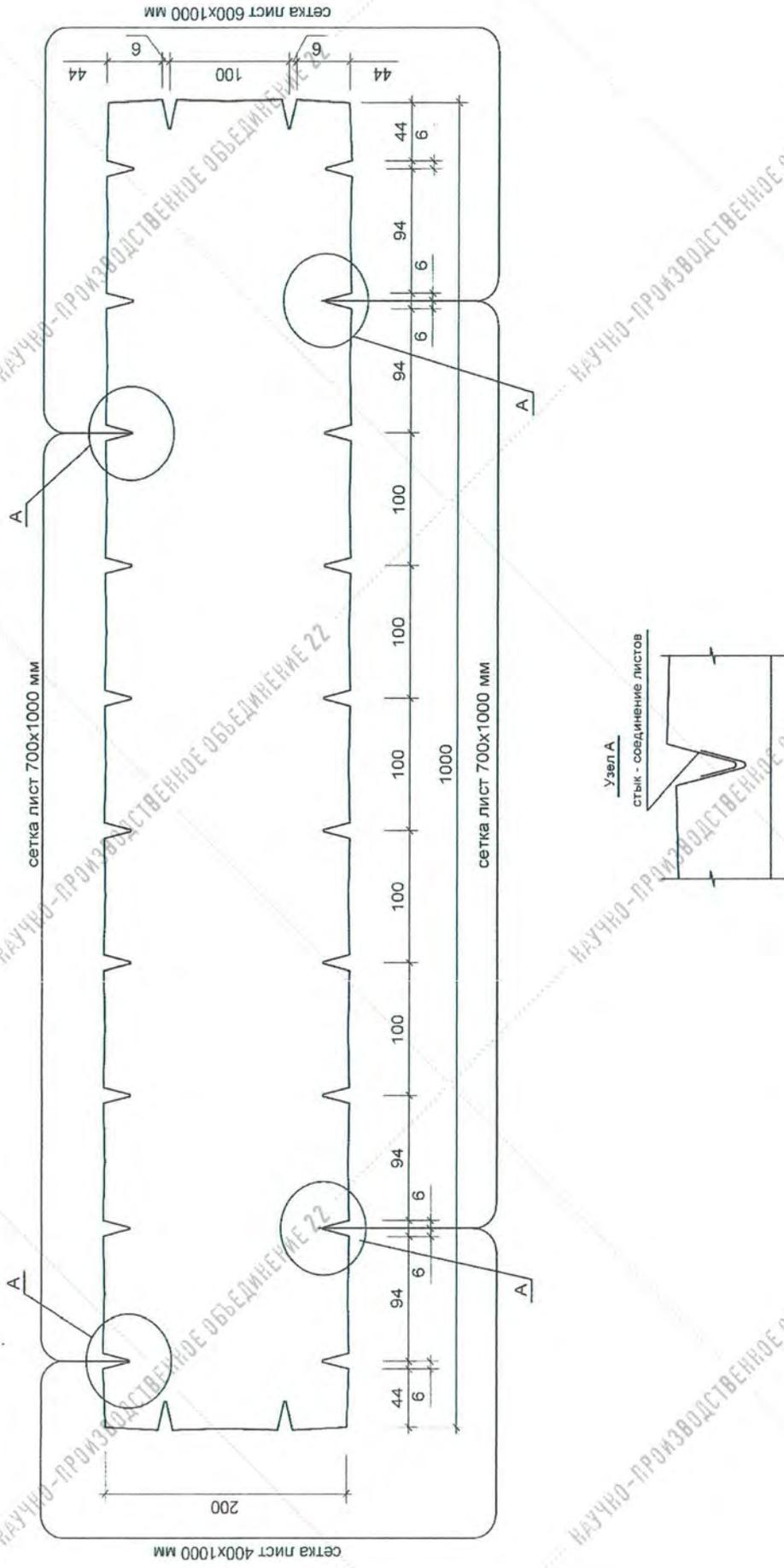


Рисунок 2.19 Схема фрагмента стеновой панели БСС-1, изготовленной в несъемной опалубке (без армирования)



Рисунок 2.20 Фрагмент стеновой панели БСС-1, изготовленной в несъемной опалубке (без армирования)

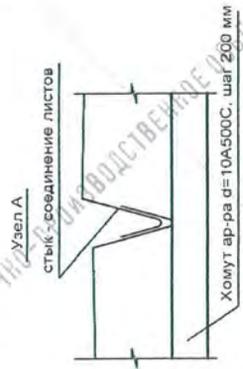
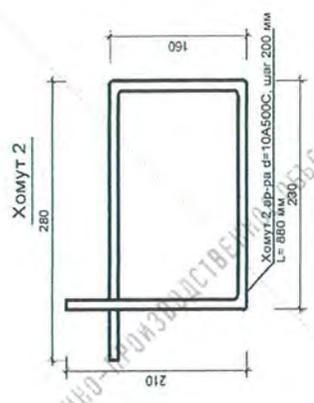
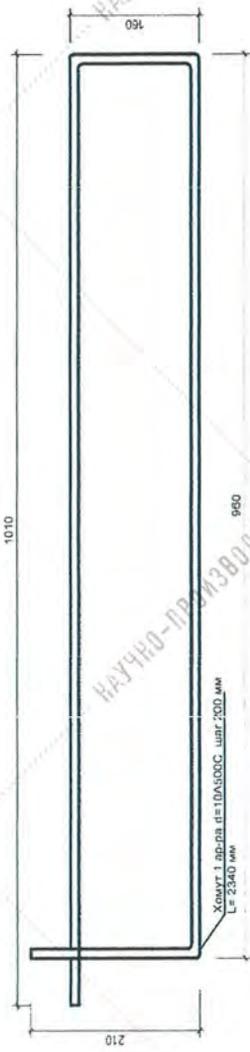
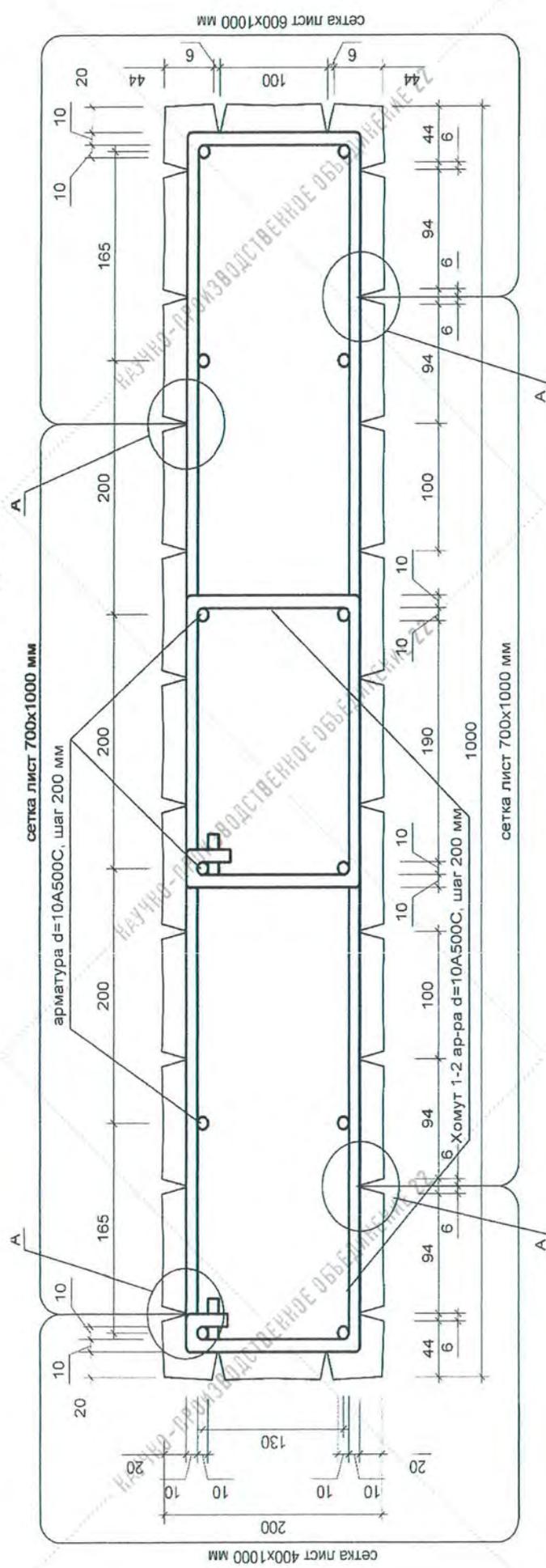


Рисунок 2.21 Схема армирования фрагмента стеновой панели БСС-2 (БСС-3), изготовленной в несъемной опалубке



Рисунок 2.22 Общий вид арматурного каркаса фрагмента стеновой панели БСС-2 (БСС-3),  
изготовленной в несъемной опалубке

### 3. Лабораторные испытания по определению прочности бетона конструкций

Определение класса бетона опытных образцов конструкций осуществлялось по двум методикам:

- по результатам испытаний на сжатие кубов с размером сторон 10 и 15 см, изготовленных одновременно с опытными образцами конструкций;
- с использованием неразрушающих методов контроля прочности бетона непосредственно на опытных образцах с использованием приборов, основанных на методе отрыва со скалыванием (ГПНВ) и методе ударного воздействия. На рис. 3.1 показан момент проведения испытаний по оценке прочности бетона колонн с использованием прибора, работающего по принципу метода отрыва со скалыванием.

По результатам испытаний кубов установлено, что по прочности на сжатие класс бетона опытных образцов конструкции колеблется в интервале от В20 до В25, по результатам инструментальной оценки прочности бетона конструкций с использованием неразрушающих методов контроля – от В17,5 до В22,5.

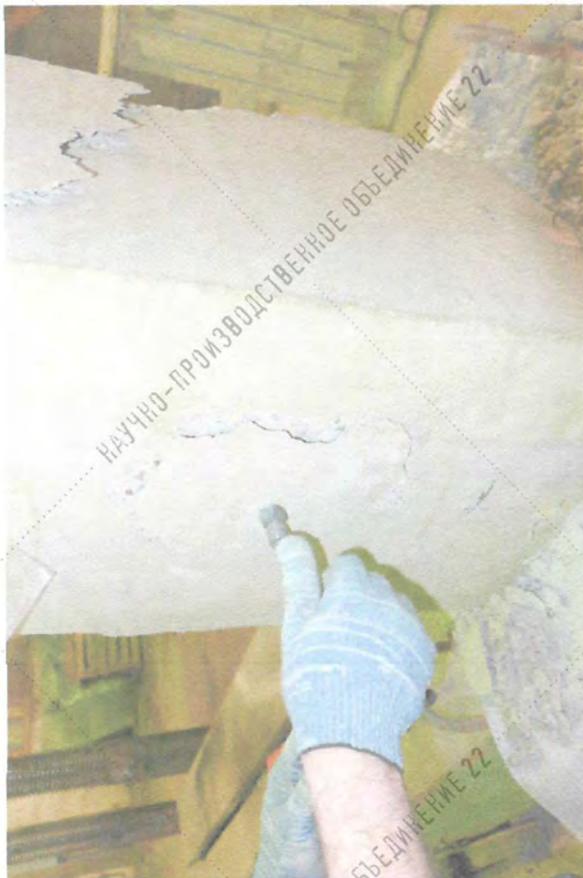


Рисунок 3.1 Определение прочности бетона по методике отрыва со скалыванием



#### 4. Экспериментальные исследования прочности и деформативности плит перекрытий, изготовленных в несъемной опалубке

В соответствии с Программой работ по договору были проведены испытания плит перекрытий с размерами сторон  $100 \times 300$  см и высотой 20 см на действие изгибающей нагрузки в соответствии с Методикой, изложенной в ГОСТ 8829-94 [1]. На фото рис. 4.1 показан общий вид экспериментальных образцов плит перекрытий марок БПД, изготовленных в деревянной опалубке и БПС – в несъемной металлической опалубке (см. Раздел 2 настоящего отчета), установленных на опорные элементы. При испытании плит перекрытий была использована расчётная модель с шарнирным опиранием конструкции на опоры (рис. 4.2). Расстояние между опорами составляло 270 см.

**Методика испытаний.** Испытания проводились с поэтапным нагружением плит, при этом на каждом шаге нагружения нагрузка на плиту увеличивалась в среднем на 550-600 кгс или  $\sim 200 \text{ кгс/м}^2$ . На рис. 4.3, 4.4 показаны моменты испытания плит перекрытия с пошаговым нагружением их бетонными блоками (вес каждого блока составлял  $\sim 285-300$  кгс). Для оценки жесткости плит перекрытий в середине их пролета с каждой стороны плиты были установлены измерительные приборы – индикаторы часового типа с ценой деления 0.01 мм. В процессе нагружения конструкций на каждом шаге приложения нагрузки фиксировались величины прогибов плит и моменты образования и ширина раскрытия трещин.

##### Результаты испытания плиты марки БПД

По результатам испытания плиты установлено следующее.

1. На рис. 4.5 приведены графики зависимости прогибов плиты от величины приложенной внешней нагрузки.
2. При нагрузке на плиту перекрытия  $q=2100 \text{ кгс/м}^2$  ( $N=5700$  кгс) вблизи опорной зоны плиты появились наклонные трещины с шириной раскрытия  $a=0.3$  мм. При этом прогиб плиты составил  $\sim 7$  мм (предельно допустимая

величина прогиба для плит пролетом менее 6.0 м составляет  $\Delta = L/200 = 1.35$  см.

3. При нагрузке на плиту перекрытия  $3200 \text{ кгс/м}^2$  ( $N=8500 \text{ кгс}$ ) ширина раскрытия трещин в приопорной зоне и середине пролета превысила  $a = 1.0$  мм. При этом прогиб плиты превысил 10 мм (рис.4.7, 4.8). При достижении указанного значения нагрузки была произведена разгрузка плиты. Остаточный прогиб, как видно из рис. 4.5, составил  $\sim 4$  мм.
4. Расчетную величину нагрузки на плиту, армированную по схеме на рис. 2.2а, вычислим по методике, изложенной в [2]:

для конструкции с одиночной арматурой условие прочности определяется по формуле:  $M \leq R_s \times A_s \times (h_0 - 0,5 \times x)$ , где

$$x = R_s \times A_s / (R_b \times b) = 4350 \times 4,71 / (0,9 \times 115 \times 100) = 1.98 \text{ см.}$$

Поскольку  $x < \xi_R \times h_0$ ,

то  $M = 4350 \times 4,71 \times (17 - 0,5 \times 1,98) = 328000 \text{ кгс/см}$ . При шарнирном опирании плиты момент  $M = q \times \ell^2 / 8$ , отсюда

$q = 328000 \times 8 / 270^2 = 36,0 \text{ кгс/см}$ . При ширине плиты 1 м расчетная нагрузка на плиту не должна превышать  $q = 3600 \text{ кгс/м}^2$ .

В соответствии с Приложением Б ГОСТ [1]:

- расчетная нагрузка по образованию трещин для данной конструкции плиты составляет:  $q_{тр} = 2100 / 1,4 = 1500 \text{ кг/м}^2$ ;
- контрольная нагрузка по прочности для изгибаемых элементов составляет  $q = 3600 \times 1,35 = 4860 \text{ кг/м}^2$ .

Таким образом, в процессе испытаний контрольное значение нагрузки по образованию трещин было достигнуто при  $q = 2100 \text{ кгс/м}^2$ , контрольное значение нагрузки по прочности  $q = 4860 \text{ кгс/м}^2$  не было достигнуто из-за большого объема дополнительного пригруза.

а)



б)



Рисунок 4.1 Общий вид опытных образцов плит перекрытий марок БПД (а) и БПС (б) до начала испытаний

б)



а)



Рисунок 4.2 Общий вид плиты с установленной на нее Приборами (а) и ее опорной зоны (б)

а)



б)



Рисунок 4.3. Этапы нагружения плит перекрытий в процессе их испытаний на изгиб

в)



б)



Рисунок 4.4. Этапы нагружения плит перекрытия в процессе их испытаний на изгиб

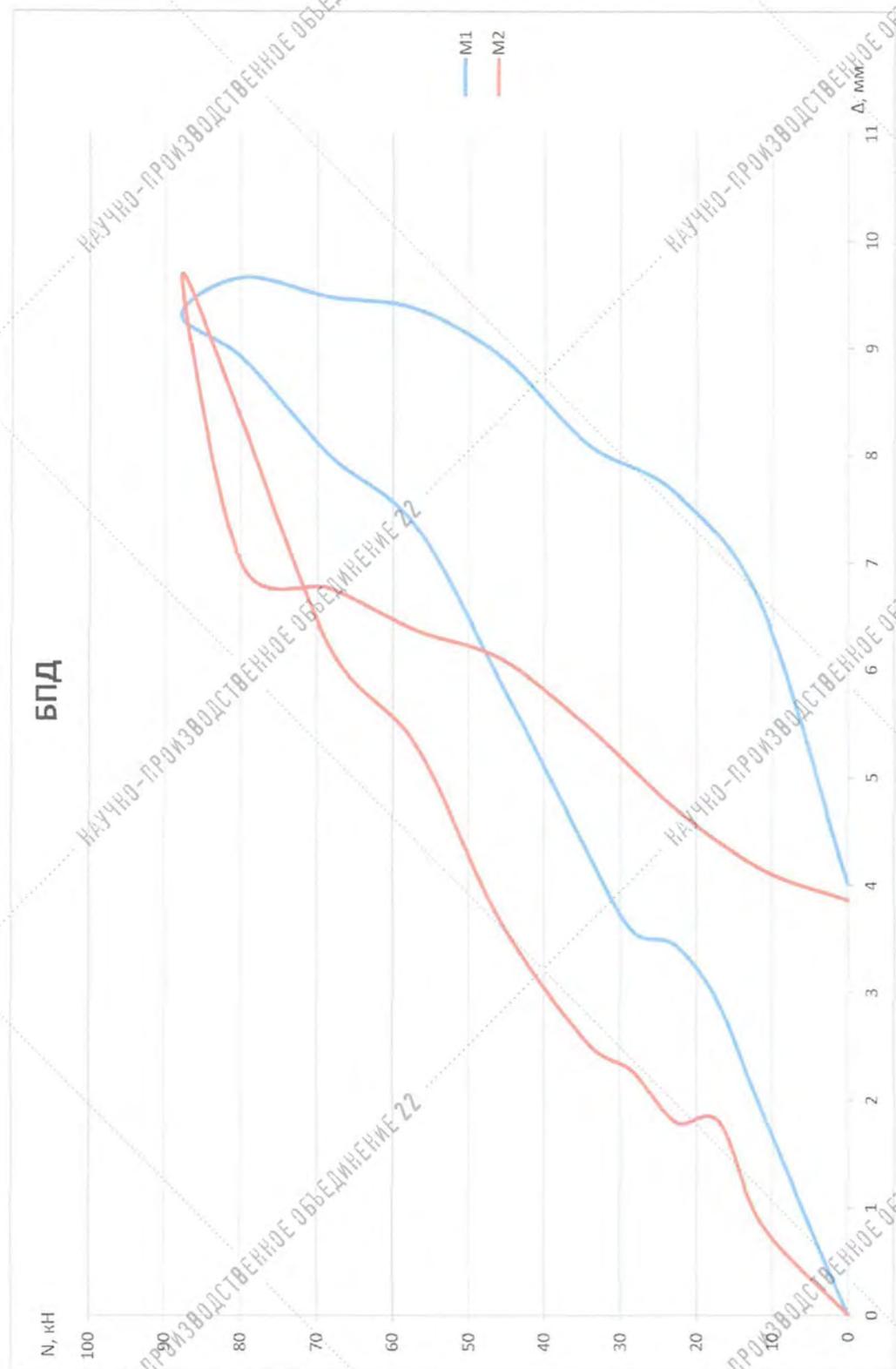


Рисунок 4.6 График зависимости «прогиб – нагрузка» при испытании образца плиты марки БПД



Рисунок 4.7 Этап образования трещин в плите при нагрузке 5700 кгс (2100 кгс/м<sup>2</sup>)



Рисунок 4.8 Характер трещин в плите перекрытия после снятия нагрузки

### Результаты испытания плит перекрытия марки БПС (в несъемной опалубке)

По результатам испытаний плит перекрытий марки БПС (БПС-1, БПС-2), изготовленных в несъемной опалубке, можно отметить следующее.

1. На рис. 4.9 показан момент испытания плиты марки БПС-1 с продольным расположением ребер несъемной металлической опалубки (рис. 2.2б) при достижении предельной на нее нагрузки.
2. На рис. 4.10 и 4.11 показаны графики зависимости «нагрузка-прогиб» для образцов марки, соответственно, БПС-1 и БПС-2.
3. При нагрузке на плиту марки БПС-1  $q = 4100 \text{ кгс/м}^2$  (11 100 кгс) и на плиту БПС-2  $q = 3700 \text{ кгс/м}^2$  (10 000 кгс) вблизи опорной зоны плиты на одной из ее продольных гранях появились волосяные продольные трещины шириной раскрытия  $a = 0.3 \text{ мм}$ . При этом прогибы плит составили  $\Delta = 7 \text{ мм}$  (плита марки БПС-1) и  $\Delta = 10.2 \text{ мм}$  (плита марки БПС-2).
4. После выдержки плиты перекрытия марки БПС-1 под нагрузкой в течение 24 часов (рис. 4.10) величина прогиба плиты составила  $\Delta = 15 \text{ мм}$  при ширине раскрытия трещины  $a = 0,7 \text{ мм}$ . Остаточный прогиб после разгрузки плит перекрытий составил  $\sim 5 \text{ мм}$  в обоих образцах.
5. В плитах перекрытия марки БПС, изготовленных в несъемной опалубке, момент образования первых трещин возрос по сравнению с плитой, изготовленной в деревянной опалубке, в 1.85 раз.
6. Значения предельных нагрузок по прочности в образцах, изготовленных в несъемной опалубке с продольным расположением ребер, возросли более, чем на 20-30%.



Рисунок 4.9 Уровень нагрузки на плиту перекрытия марки БПС

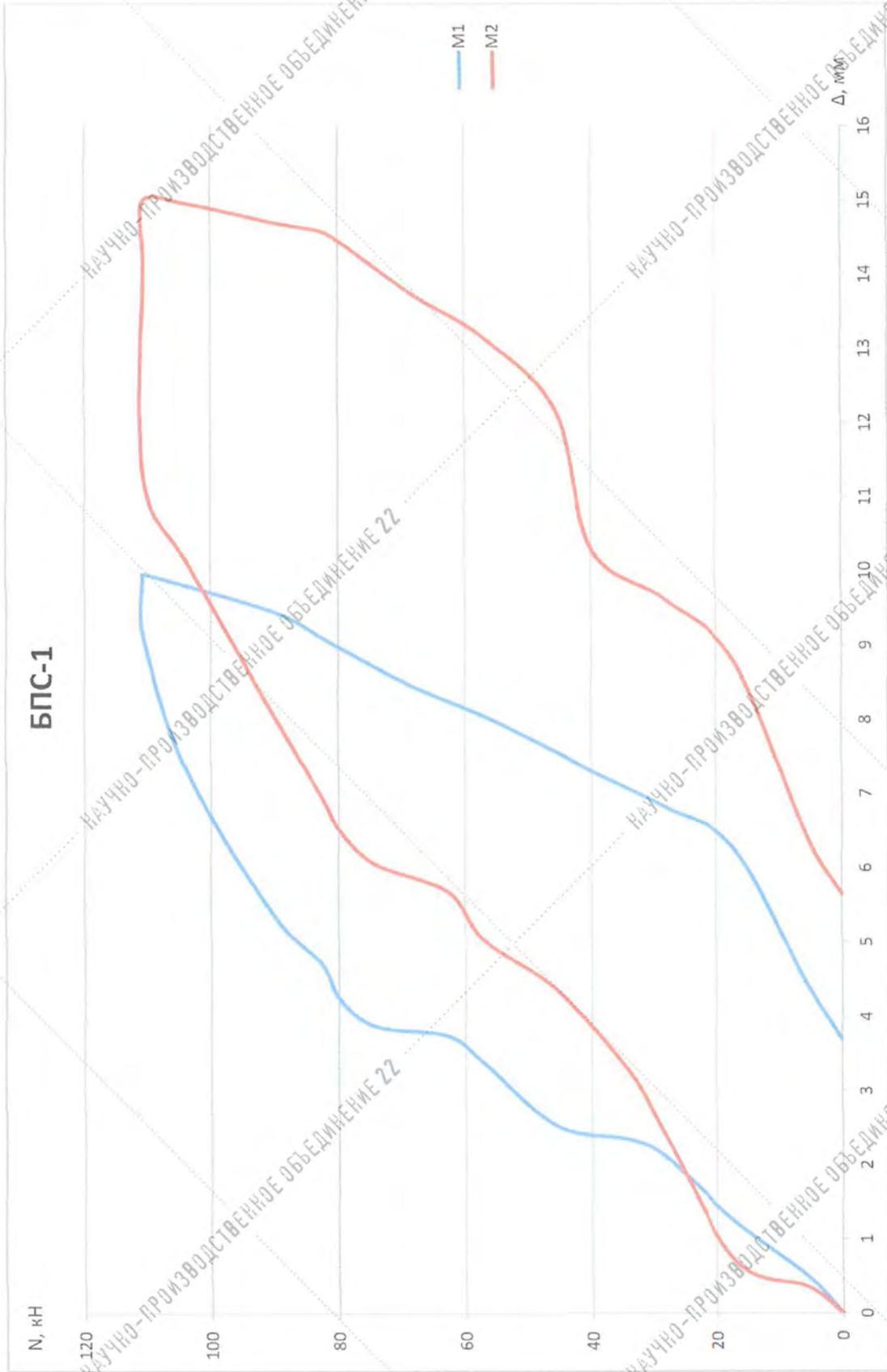


Рисунок 4.10 График зависимости «прогиб – нагрузка» при испытании образца плиты марки БПС-1

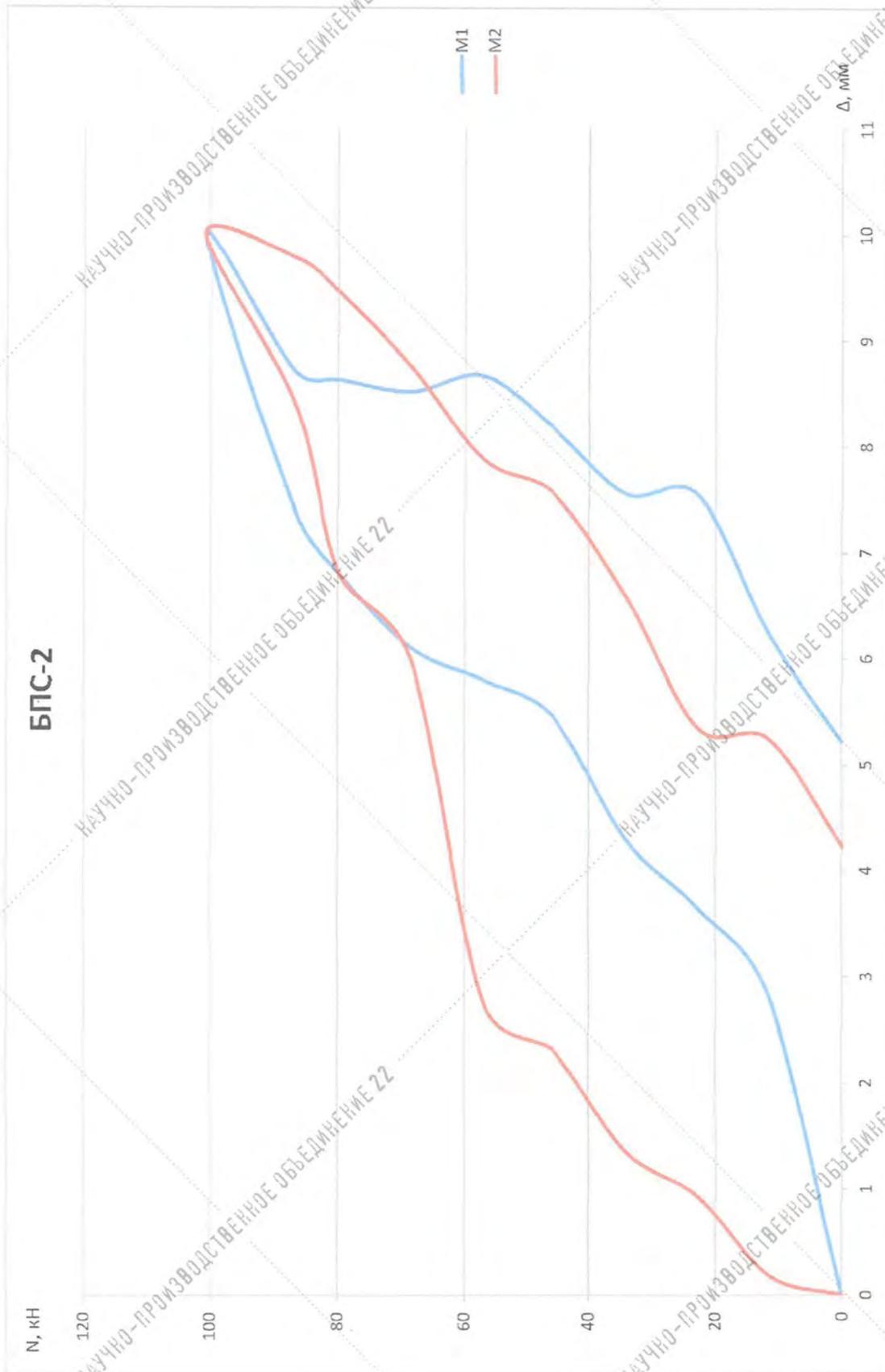


Рисунок 4.11 График зависимости «прогиб – нагрузка» при испытании образца плиты марки БПС-2

### Результаты испытания плиты перекрытия марки БПС\* (в несъемной опалубке)

По результатам испытаний плиты перекрытия марки БПС\*, изготовленной в несъемной опалубке, можно отметить следующее.

1. На рис. 4.12 показан общий вид плиты марки БПС\* с поперечным расположением ребер несъемной металлической опалубки (рис. 2.2в) в момент ее испытания.
2. На рис. 4.13 приведен график зависимости «нагрузка-прогиб» для образца марки БПС\*.
3. При нагрузке на плиту перекрытия  $q = 2300 \text{ кгс/м}^2$  (6200 кгс) произошел мгновенный разрыв соединений отдельных элементов несъемной опалубки. При этом при одной и той же нагрузке прогиб плиты по данным индикатора, установленного на одной из продольных сторон плиты, увеличился более, чем в 4 раза (с 3,6 мм до 15,4 мм). На другой грани прогиб увеличился с 8,2 мм до 10,8 мм. Указанное связано с неравномерным расположением нагрузки во время испытаний по ширине плиты.
4. В момент, близкий к скачку величин прогибов на, на продольной грани плиты с большим прогибом появились волосяные трещины с шириной раскрытия  $a = 0,34 \text{ мм}$ .
5. При достижении нагрузки на плиту  $q = 3300 \text{ кгс/м}^2$  ( $N = 8800 \text{ кгс}$ ) ширина раскрытия трещин в приопорной зоне одной из продольных граней плиты составила  $a = 1,1 \text{ мм}$ . После разгрузки величина остаточных прогибов составила в среднем 12, 2 мм.
6. Применение при изготовлении образцов марки БПС\* несъемной опалубки с поперечным расположением ребер дало незначительное увеличение нагрузки. Данная конструкция несъемной опалубки из-за сложности прогнозирования сцепления ее элементов не рекомендуется для применения.



Рисунок 4.12 Общий вид несъемной опалубки плиты марки БПС\*



Рисунок 4.13 График зависимости «прогиб – нагрузка» при испытании образца плиты марки БПС\*

## 5. Экспериментальные исследования прочности и деформативности колонн, изготовленных в несъемной опалубке

### 5.1 Результаты испытания железобетонных колонн квадратного сечения

В соответствии с программой работ были проведены испытания на сжатие монолитных железобетонных колонн сечением  $40 \times 40$  см, изготовленных с использованием типовой (деревянной) опалубки (образцы марки БКД-1 и БКД-2) и на основе применения металлической несъемной опалубки **Proster®21** (рис.1.2) - образцы марки БКС-1 и БКС-2. На фото рис. 5.1 и 5.8 показаны опытные образцы фрагментов колонн указанных выше марок в прессе до начала испытаний.

Анализ результатов экспериментальных исследований монолитных железобетонных колонн квадратного сечения позволяет отметить следующее.

1. Разрушение опытных образцов колонн произошло при напряжениях в бетоне, равных:

- БКД-1 (бетон класса В25, арматурный каркас из  $4\emptyset 12$  А500С) - 28 МПа (рис. 2.6);
- БКД-2 (бетон класса В20, арматурный каркас из  $4\emptyset 32$  А500С) - 31.2 МПа (рис. 2.7);
- БКС-1 (бетон класса В25, без армирования, несъемная опалубка) - 28.1 МПа;
- БКС-2 (бетон класса В22.5, арматурный каркас из  $4\emptyset 20$  А500С) - 31.2 МПа.

При этом первые трещины в образцах, изготовленных в деревянной опалубке, появились при нагрузках  $0.8 \times N_{\text{разр}}$ . В образцах с несъемной опалубкой момент выпучивания бетона, а, соответственно, и его разрушения, наступил при нагрузках, близких к разрушающим. На рис. 5.2, 5.3, 5.6, 5.9 и 5.11 показан характер разрушения образцов колонн, изготовленных в деревянной и несъемной опалубках.

2. В табл. 5.1 приведены результаты обработки испытаний колонн квадратного сечения, изготовленных в деревянной опалубке (БКД-1, БКД-2) и в металлической несъемной опалубке (БКС-1, БКС-2). Анализ результатов, приведенных в таблице 5.1 показывает, что применение несъемной опалубки позволяет увеличить несущую способность колонн на 17-20% по сравнению с расчетным значением несущей способности колонны, вычисленной по формуле Норм:  $N = R_b \times A_b + R_s \times A_s$ .

#### Результаты испытаний на сжатие квадратных колонн

Таблица 5.1

№.№ п.п	Марка колонн	S <sub>кол.</sub> (см <sup>2</sup> )	Армиро- вание ко- лонн	Класс бетона	e <sub>0</sub> (см)	N <sub>раз.</sub> (кН)	R <sub>эсп.</sub> (МПа)	N <sub>расч.</sub> , (кН)		%
								$\frac{N_{разр.}}{1.6}$	N <sub>норм.</sub>	
1	БКД-1	1600	4Ø12	B25	1.4	4480	28.0	2800	2560	+9
2	БКД-2		4Ø12	B20	0.63	5000	31.2	3120	3270	-5
3	БКС-1		Метал. опалубка.	B25	0.98	4500	28.1	2810	2360	+20
4	БКС-2		Метал. опалубка + 4Ø12	B22.5	0.48	5000	31.2	3120	2660	+17



Рисунок 5.1 Общий вид опытного образца колонны марки БКД-1 в прессе до начала испытания

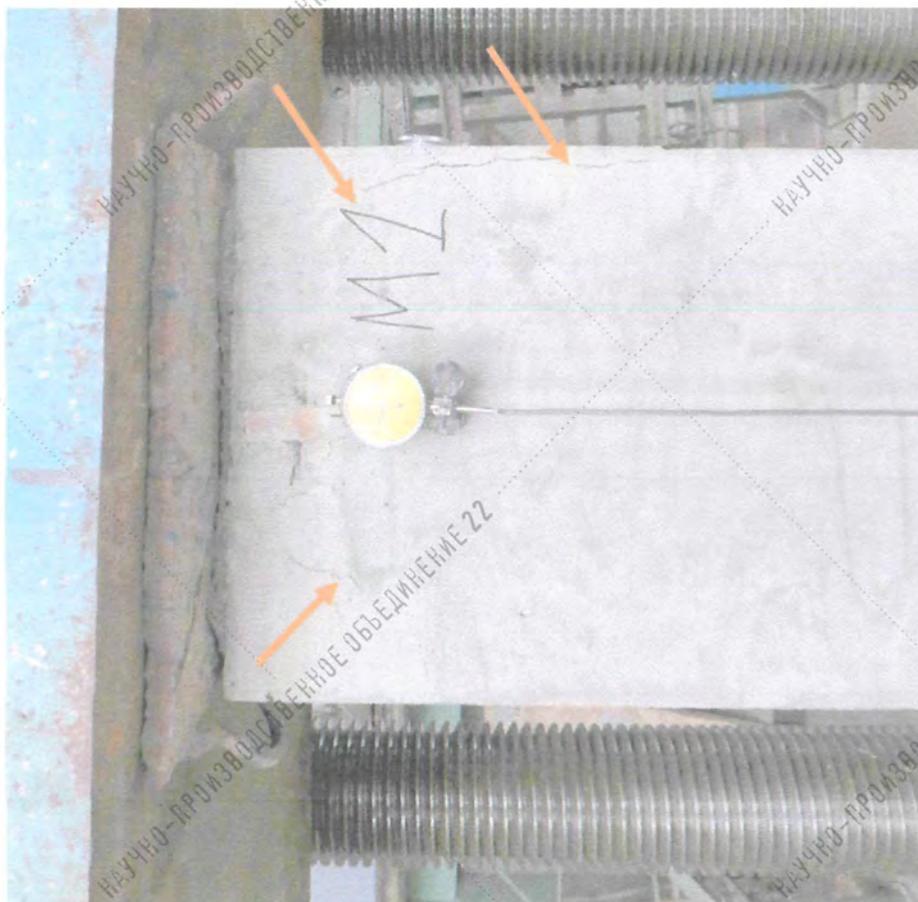


Рисунок 5.2 Характер образования трещин и разрушения образца БЖД-1

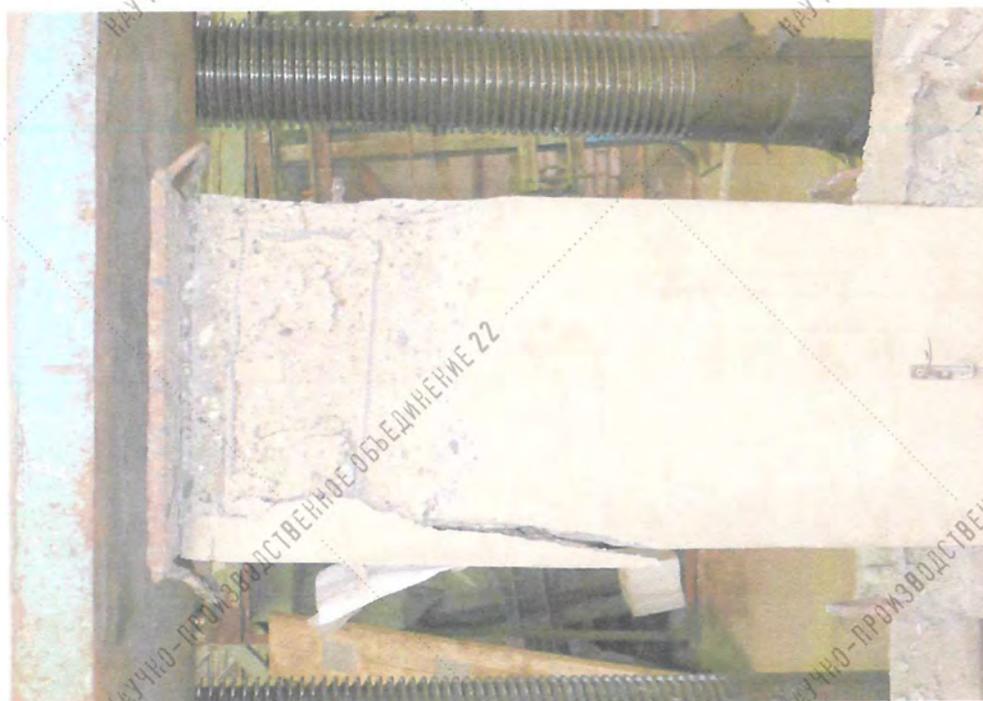


Рисунок 5.3 Характер разрушения опытного образца БКД-1

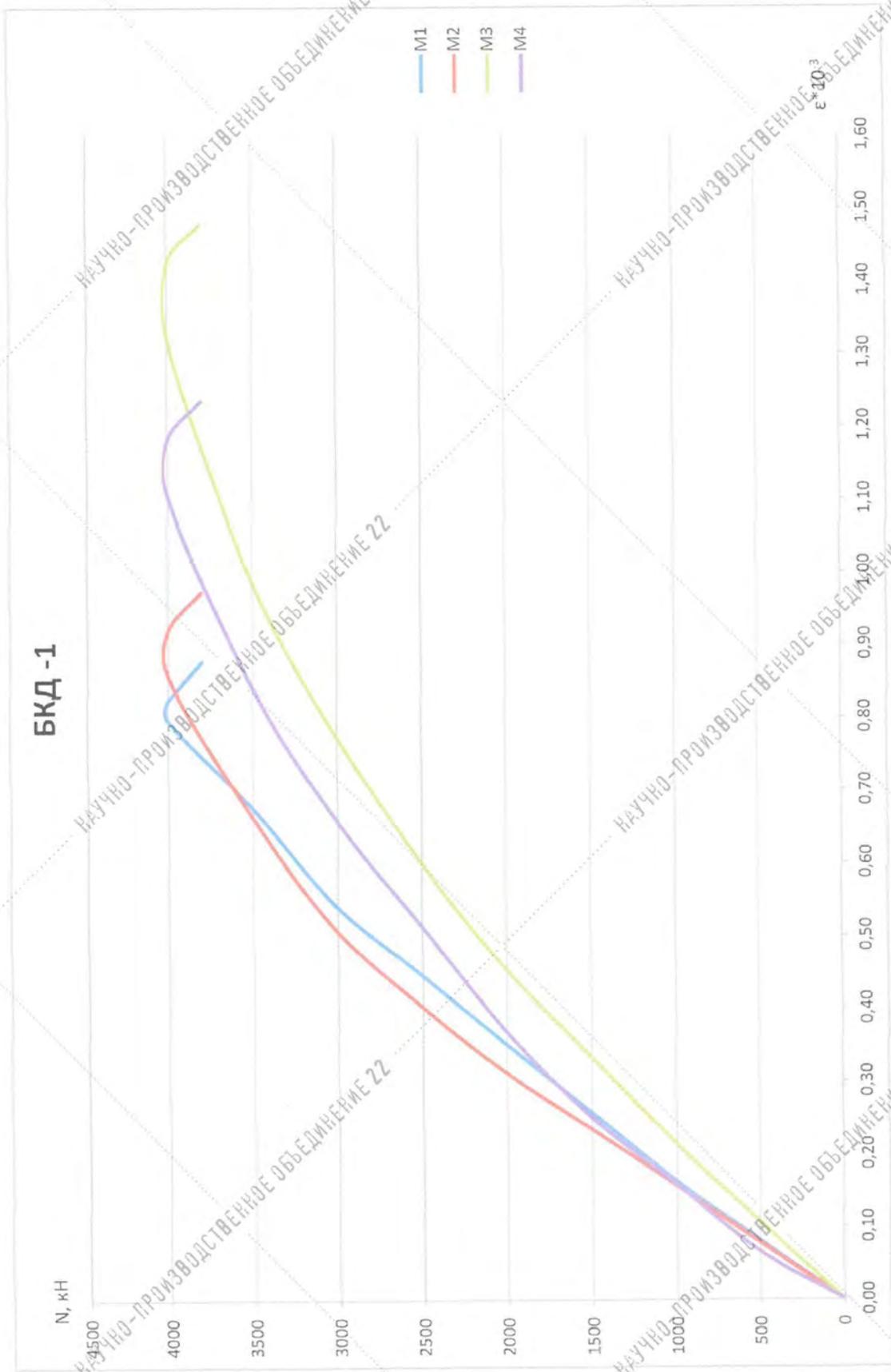


Рисунок 5.4 График зависимости «нагрузка – деформация» при испытании опытного образца колонны марки БКД-1

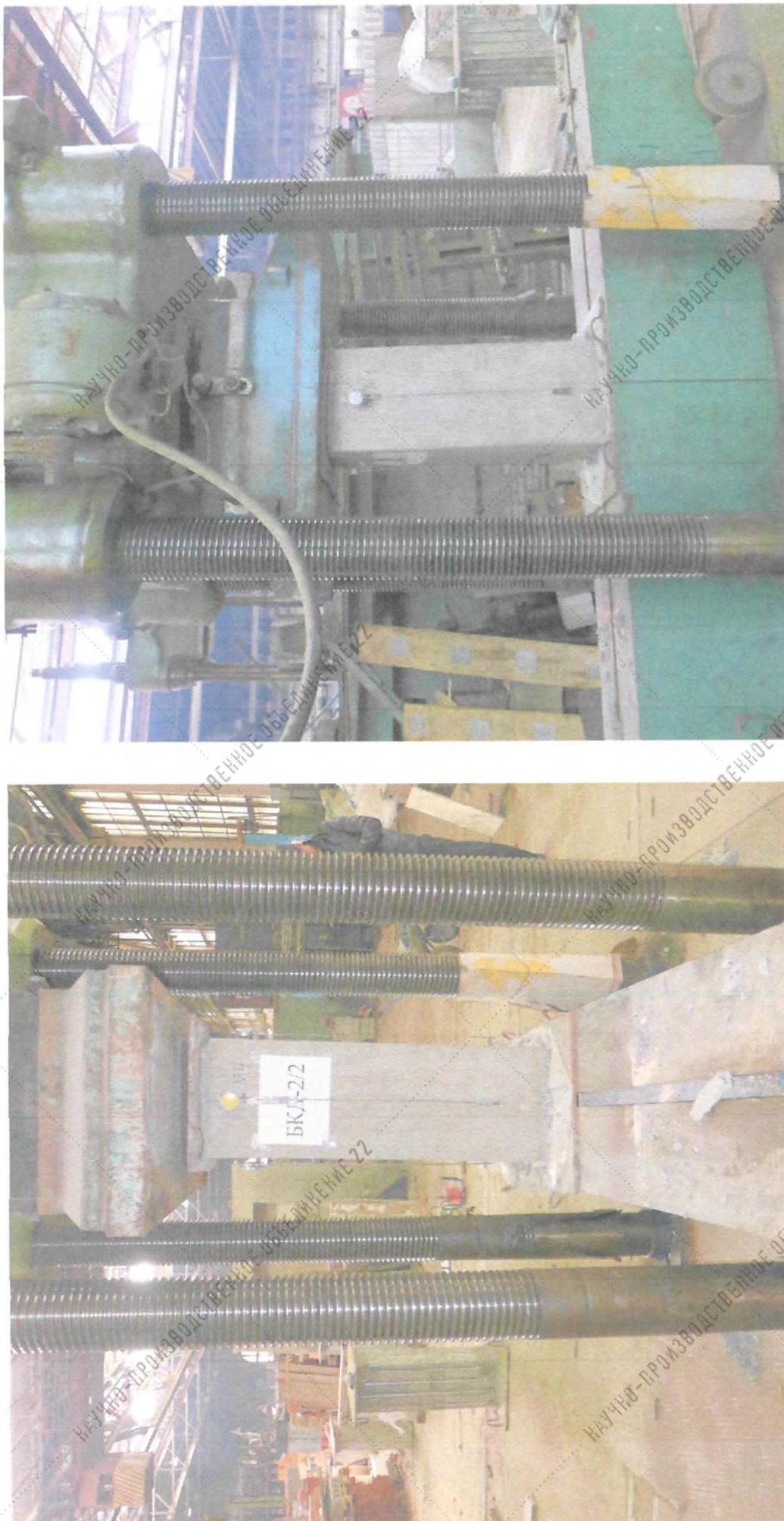


Рисунок 5.5 Общий вид опытного образца колонны марки БКД-2 в прессе до начала испытания

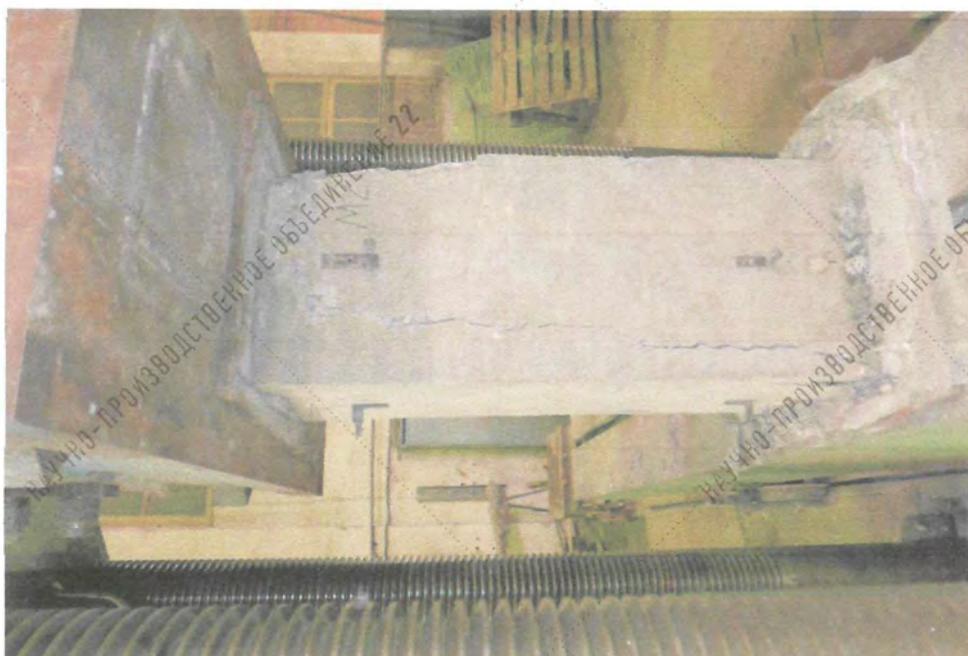


Рисунок 5.6 Характер трещинообразования и разрушения опытного образца БКД-2

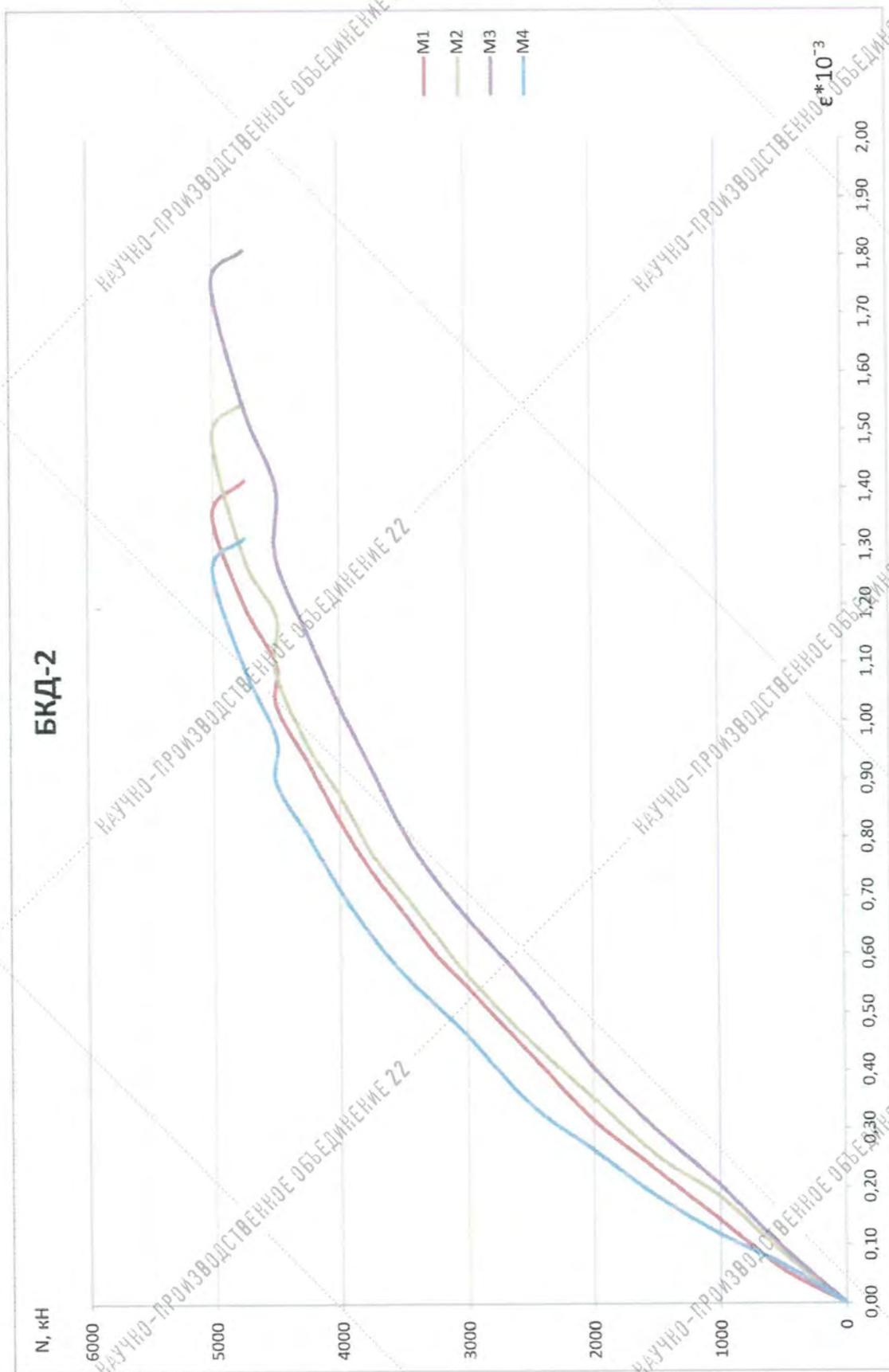


Рисунок 5.7 График зависимости «нагрузка – деформация» при испытании опытного образца колонны марки БКД-2

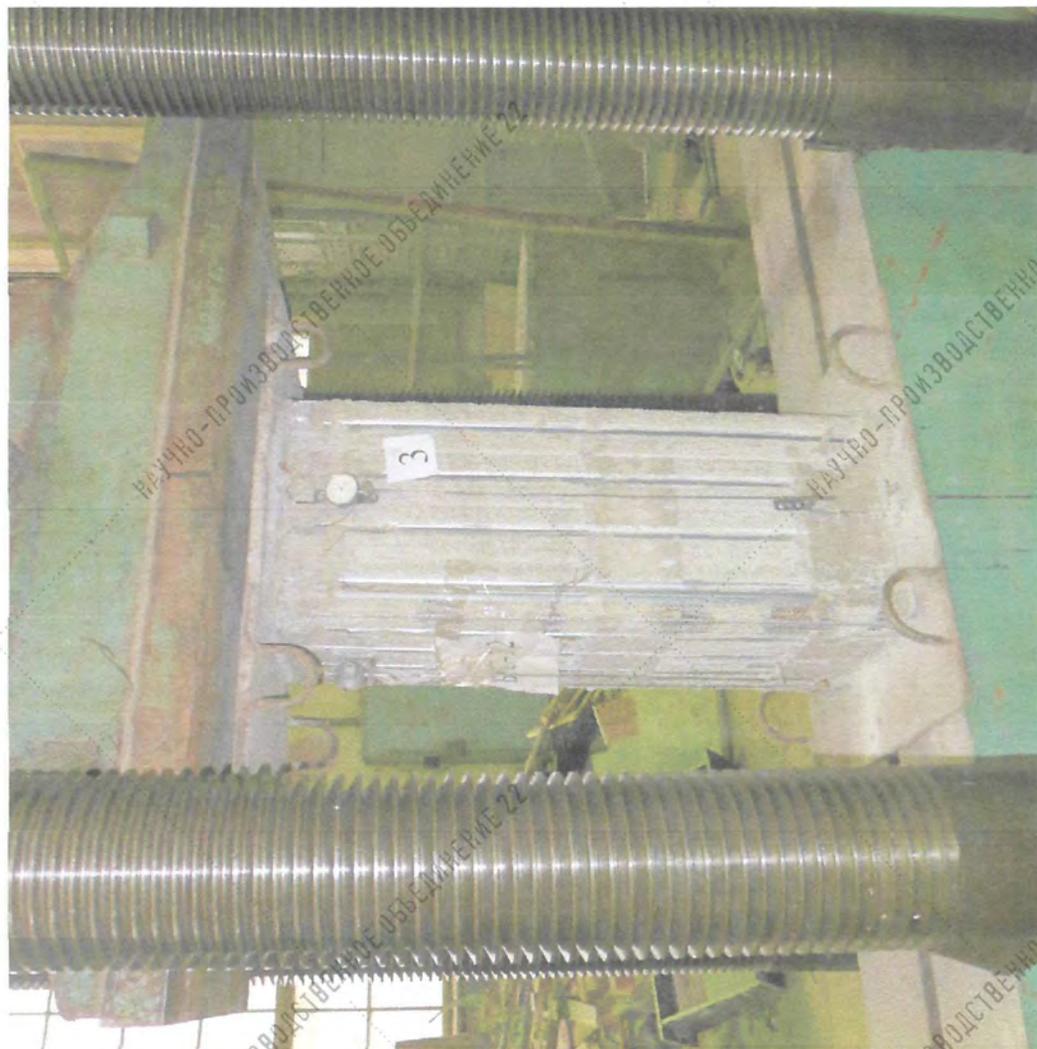


Рисунок 5.8 Общий вид опытных образцов колонн марок БКС-1 и БКС-2 в прессе до начала испытания

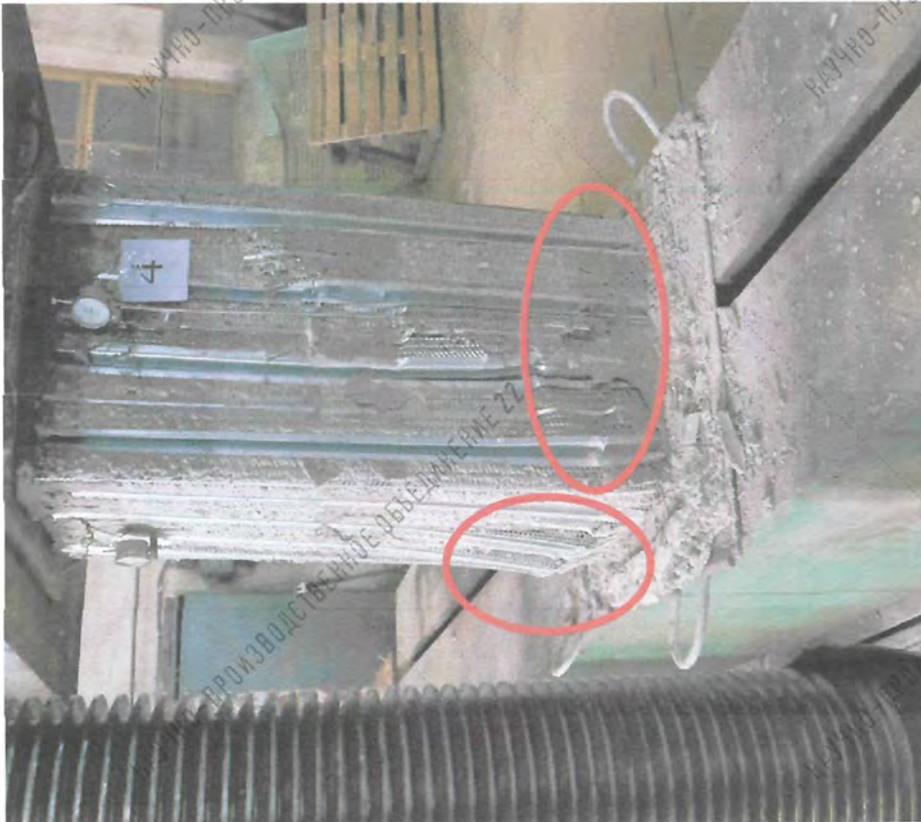
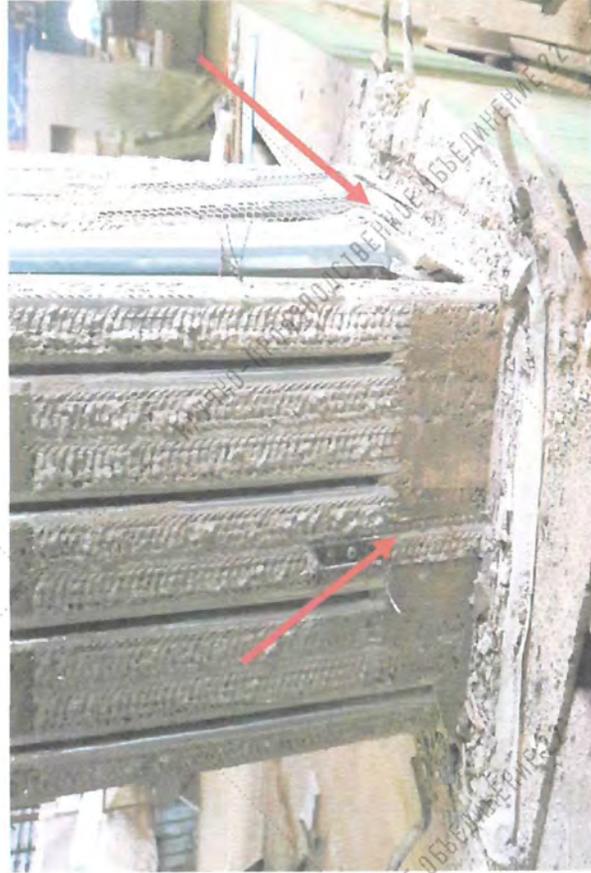


Рисунок 5.9 Характер разрушения опытного образца колонны марки БКС-1

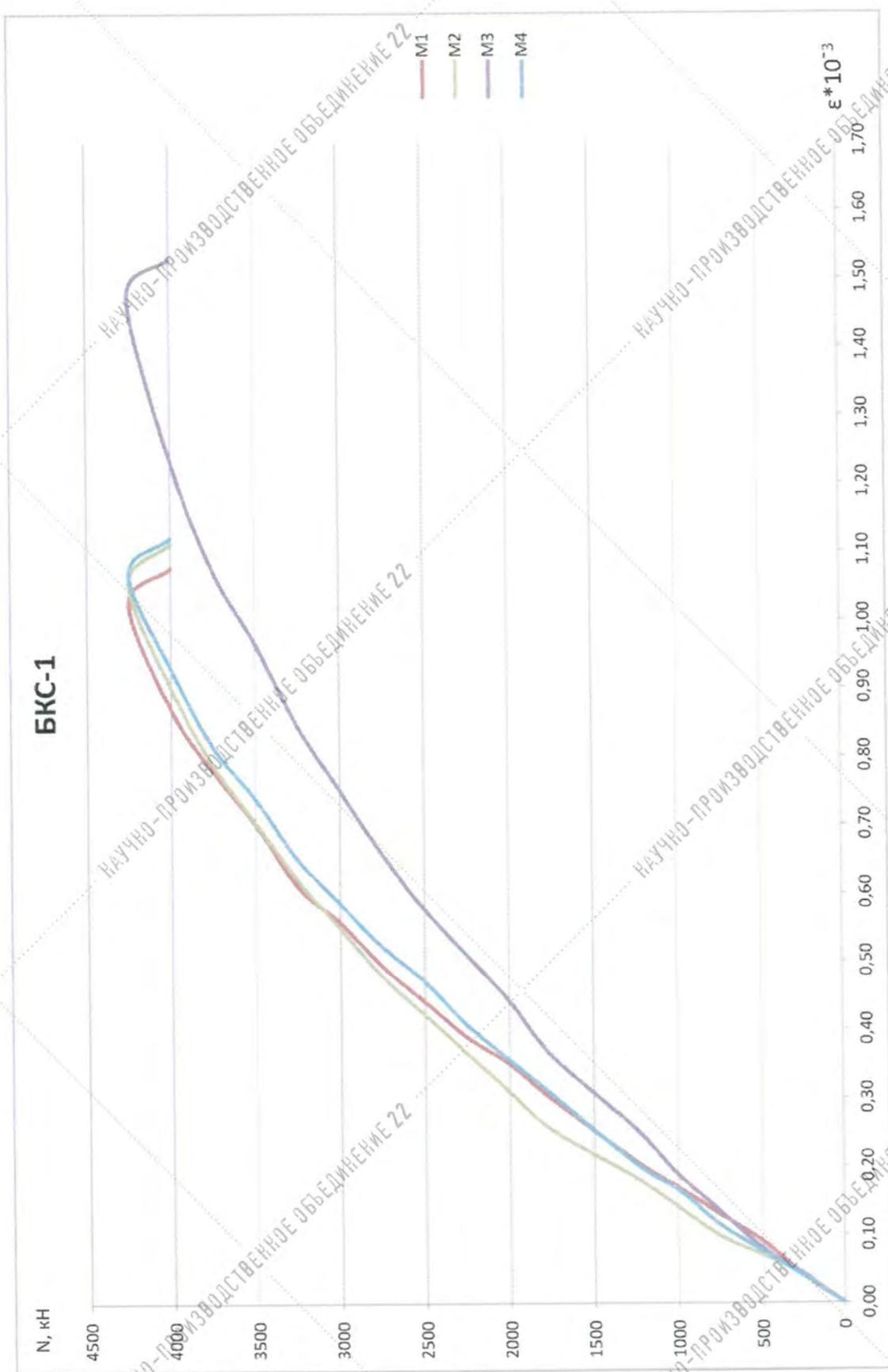


Рисунок 5.10 График зависимости «нагрузка – деформация» при испытании опытного образца колонны марки БКС-1



Рисунок 5.11 Характер разрушения опытного образца колонны марки БКС-2

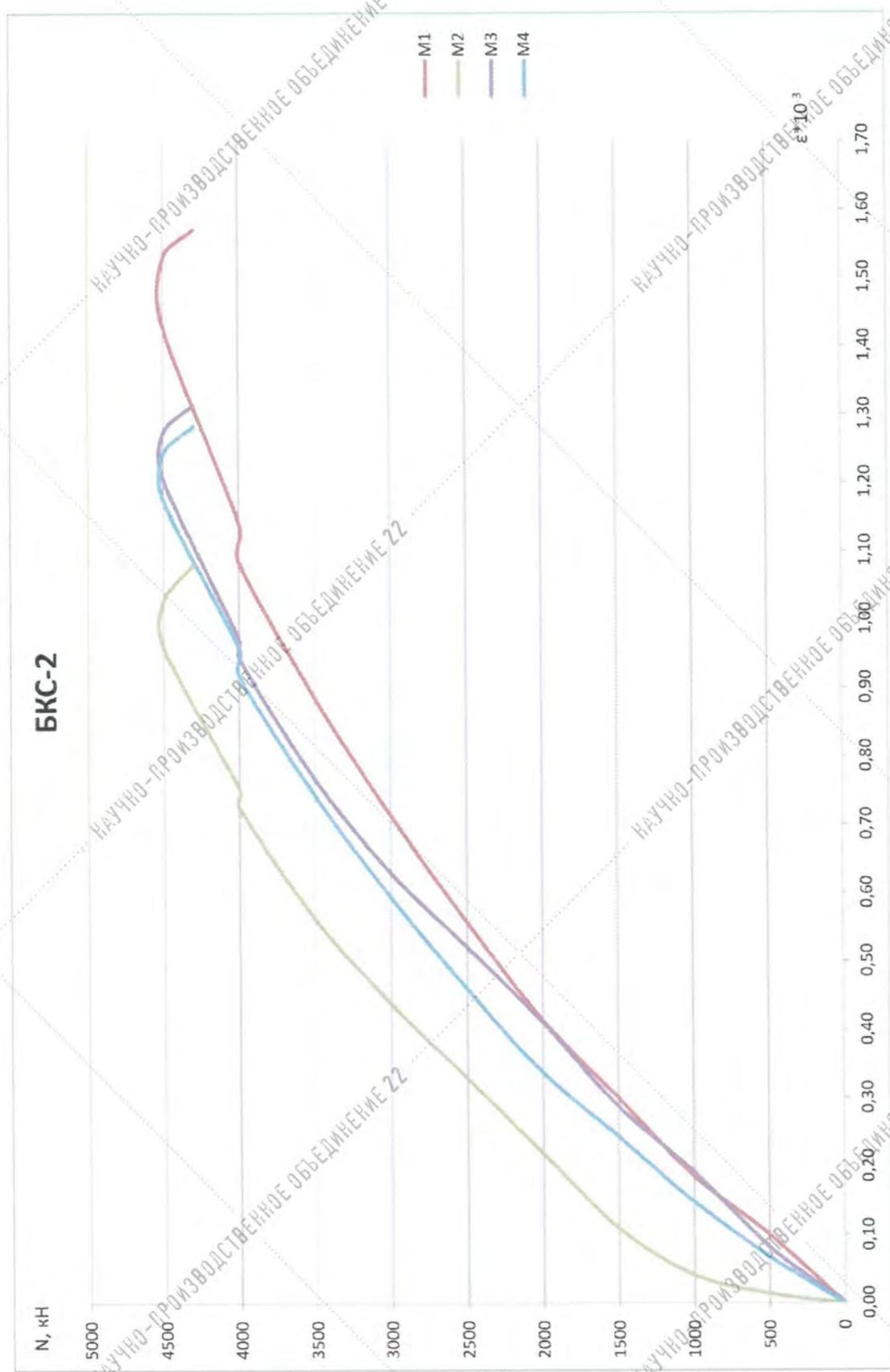


Рисунок 5.12 График зависимости «нагрузка – деформация» при испытании опытного образца колонны марки БКС-2

## 5.2 Результаты испытания железобетонных колонн круглого сечения

В соответствии с программой работ были проведены испытания на сжатие монолитных железобетонных колонн диаметром 40 см, изготовленных с использованием типовой (деревянной) опалубки (образец марки БК\*Д-1) и на основе применения металлической несъемной опалубки **Proster®21** (рис.1.2) - образец марки БК\*С-1. На фото рис. 5.13 показаны опытные образцы фрагментов колонн указанных выше марок в прессе до начала испытаний.

Анализ результатов экспериментальных исследований монолитных железобетонных колонн круглого сечения позволяет отметить следующее.

1. В таблице 5.2 приведены результаты обработки испытаний круглых колонн. Разрушение опытных образцов колонн произошло при напряжениях в бетоне, равных:

- БК\*Д-1 (бетон класса В15, арматурный каркас из 11Ø25 А500С) - 37.4 МПа (рис. 2.14);
- БК\*С-1 (бетон класса В20, арматурный каркас, несъемная опалубка 11Ø22 А500С) – 27.8 МПа (рис. 2.16).

При этом первые трещины в опытном образце БК\*Д-1, изготовленном в деревянной опалубке, появились при нагрузке  $0.75 \times N_{\text{разр}}$ . На фот рис.5.14 показан характер развития трещин в процессе нагружения опытного образца до момента его разрушения.

2. В образце с несъемной опалубкой (БК\*С-1) из-за отсутствия защитного слоя бетона в уровне верха колонны имело место более раннее разрушение образца, что связано с передачей нагрузки от пресса непосредственно на арматурные стержни. Как видно из фото на рис. 5.16, из-за передачи нагрузки от пресса непосредственно на арматурные стержни имело место их выпучивание и разрушение образца. При этом внутренне бетонное ядро колонны осталось неповрежденным. Практически несущая способность колонны в данном образце определялась прочностью арматурных

стержней на сжатие и составляла:  $N = R_s \times A_s = 4350 \times 41.8 = 182000 \text{ кгс} = 1820 \text{ кН}$ . Разрушение образца наступило при расчетной нагрузке 2200 кН. Т.е. наличие несъемной опалубки позволило исключить более раннее разрушение железобетонного образца, изготовленного с отступлениями от Норм в части расположения арматурных стержней (отсутствие защитного слоя бетона по верхней опорной поверхности колонны). В эксперименте разрушение опытного образца наступило при нагрузке 3500 кН за счет выпучивания стержней (бетон колонны в работе практически не участвовал). В этом случае расчетное значение нагрузки на колонну составило 2200 кН, нормируемое расчетное значение несущей способности колонны с учетом работы только арматуры (как это имело место в эксперименте) составило 1820 кН. Эффект от применения несъемной опалубки **Proster®21**, которая исключила раннее выпучивание арматурных стержней, составил 18%.

#### Результаты испытаний на сжатие круглых колонн

Таблица 5.2

№№ п.п	Марка колонн	S <sub>кол.</sub> (см <sup>2</sup> )	Армирование колонн	Класс бетона	e <sub>0</sub> (см)	N <sub>раз.</sub> (кН)	R <sub>эсп.</sub> (МПа)	N <sub>расч.</sub> , (кН)		%
								$\frac{N_{раз.}}{1.6}$	N <sub>норм.</sub>	
1	БК*Д-1	1256	11Ø25	B15	1.74	4700	37.4	2940	2910	0
2	БК*С-2		Метал. опалубка + 11Ø22	B20	0.15	3500	27.9	2200	1820	-18



Рисунок 5.13 Общий вид опытных образцов колонн марок БК\*Д-1 и БК\*С-1 в прессе до начала испытания

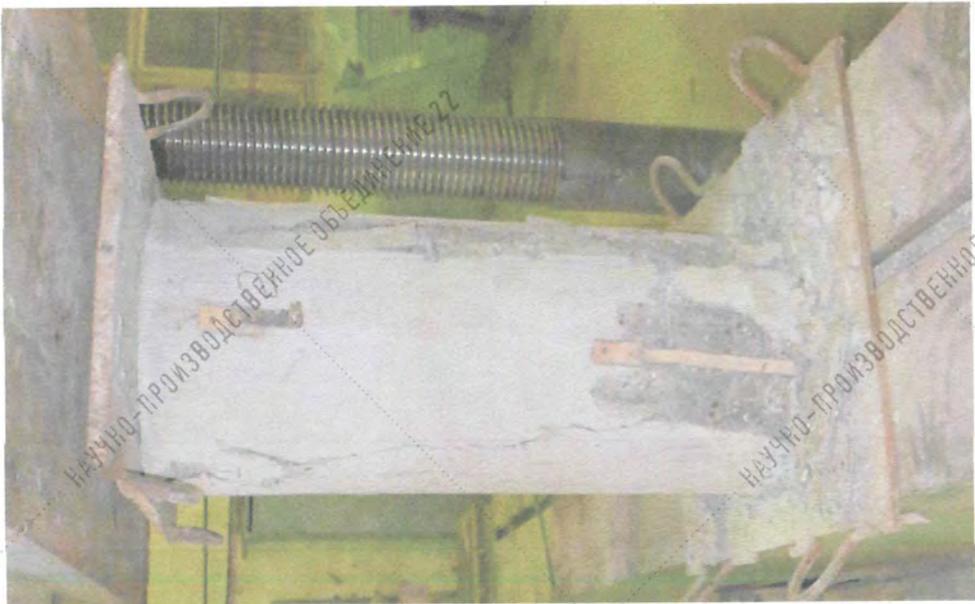


Рисунок 5.14 Характер трещинообразования и разрушения опытного образца колонны марки БК\*Д-12

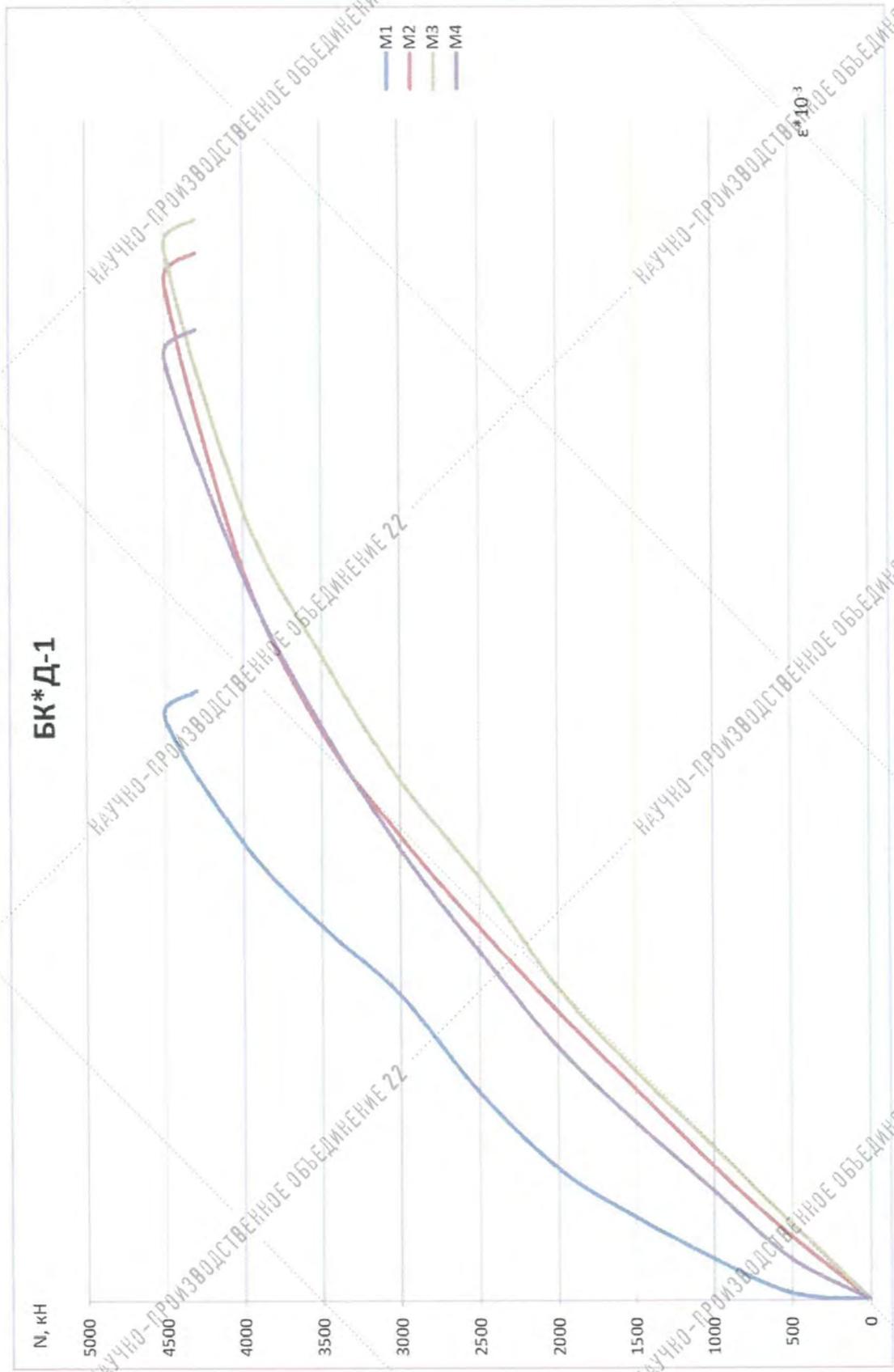


Рисунок 5.15 График зависимости «нагрузка – деформация» при испытании опытного образца колонны марки БК\*Д-1

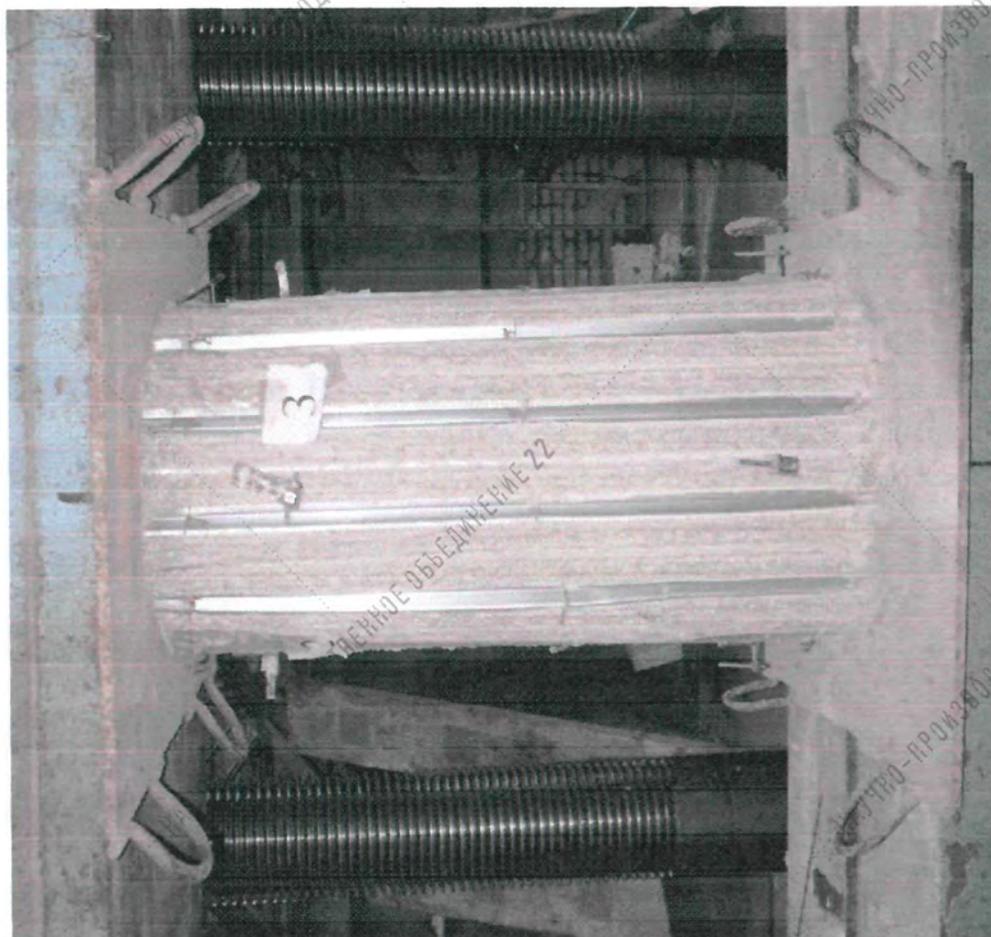
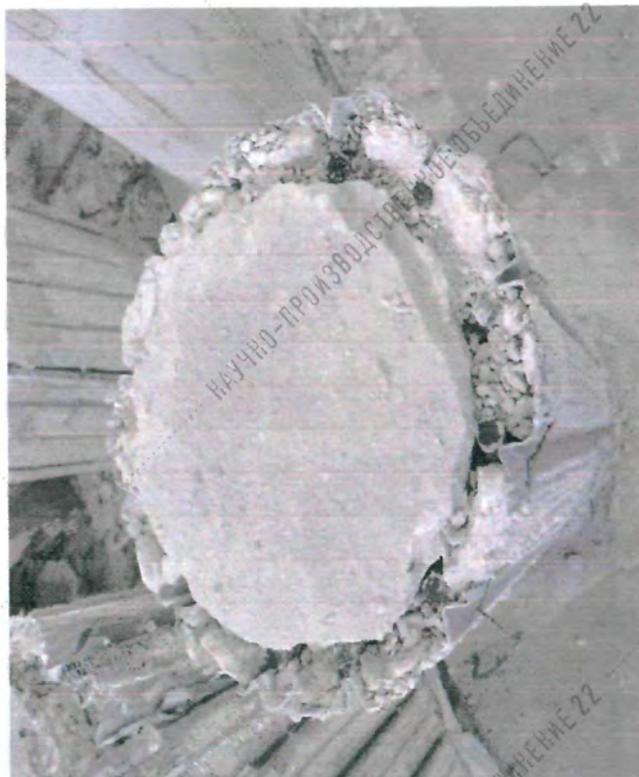


Рисунок 5.16 Характер разрушения опытного образца колонны марки БК\*С-1

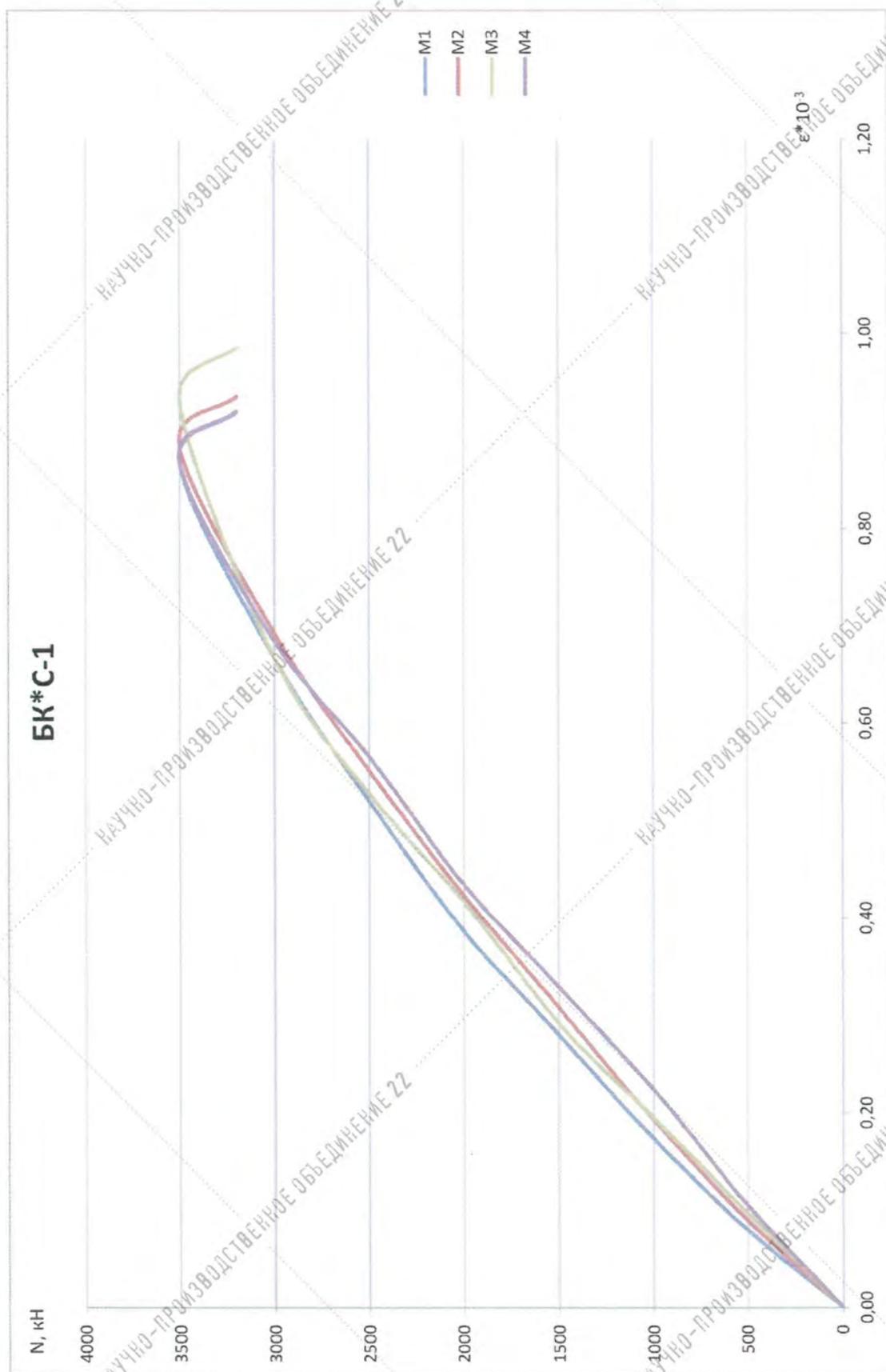


Рисунок 5.17 График зависимости «нагрузка – деформация» при испытании опытного образца колонны марки БК\*С-1

## 6. Экспериментальные исследования прочности и деформативности фрагментов стен, изготовленных в несъемной опалубке

Для оценки влияния металлической несъемной опалубки на прочность и деформативность стеновых панелей в Центре исследований сейсмостойкости сооружений было изготовлено 4 образца панелей.

При этом для возможности оценки влияния металлической несъемной опалубки на прочностные и жесткостные параметры конструкции и сравнения с аналогичными показателями стеновых конструкций один образец панели был изготовлен в деревянной опалубке (БСД-1 – рис. 6.1), один образец в несъемной опалубке без армирования (БСС-1 – рис. 6.4) и два образца – в несъемной опалубке с армированием арматурными каркасами из арматуры  $\varnothing 10$  А500С (БСС-2, БСС-3 – рис. 6.7).

По результатам испытаний фрагментов стеновых панелей установлено следующее.

1. Разрушение опытного образца фрагмента стены (БСД-1), изготовленного в деревянной опалубке происходило по стандартной схеме с разрушением бетона сжатой зоны и образованием наклонных трещин из-за неравномерного обжатия панели по ее длине (рис. 6.1, 6.2). При этом первые трещины появились при нагрузках, составляющих  $(0.8 \div 0.85) \times N_{\text{разр}}$ .

2. По результатам испытаний были построены графики зависимости «нагрузка-деформация» (рис. 6.3, 6.6, 6.9, 6.11), с помощью которых были определены эксцентриситеты приложений нагрузки по толщине и длине панелей стен (см. табл. 6.1).

3. Разрушение опытных образцов фрагментов стен, изготовленных в несъемной опалубке (рис. 6.7, 6.10), происходило при нагрузках, близких к разрушающим, за счет выпучивания сжатого бетона в средней части фрагментов стен. При этом в отдельных случаях (как видно из табл. 6.1) напряжение в бетоне превышали значения кубиковой прочности бетона.

Так в армированных образцах БСС-2 и БСС-3 при классе бетона В20 (марка

бетона М250), напряжение в бетоне фрагмента стеновых панелей составляла 27,5 МПа и 30 МПа. Указанное увеличение прочности бетона в конструкциях связана с эффектом обоймы, роль которой выполняла несъемная опалубка.

4. По результатам испытаний (см. таблицу 6.1) видно, что при использовании несъемной опалубки, расчетная несущая способность опытных образцов, полученная при обработке результатов эксперимента на 20 % -28 % выше, расчетной несущей способности фрагментов стен, вычисленной с использованием нормативных документов [2,3].

Несущая способность опытного образца фрагмента стены, изготовленного в деревянной опалубке (БСД-1), достаточно хорошо коррелируется с данными расчетов по нормам.

### Результаты испытаний фрагментов стен на сжатие

Таблица 6.1

№ п.п	Марка образца	Размеры образца (см)	Класс бетона панели	Армирование стен	N <sub>разр.</sub> (кН)	e <sub>x</sub> /e <sub>y</sub> (см)	R <sub>эсп.</sub> (МПа)	N <sub>расч.</sub> (кН)		%
								$\frac{N_{разр.}}{1.6}$	N <sub>норм.</sub>	
1	БСД-1	100×100×20	B25	12Ø12	5000	0.54/ 3.38	25.0	3120	323000	-4
2	БСС-1		B22.5	несъемная опалубка	4500	0.43/ 0.67	22.5	2810	234000	+20
3	БСС-2		B20	12Ø10	5500	0.2/ 1.56	27.5	3437	274977	+25
4	БСС-3		B20	12Ø12	5980	1.68/ 0.87	30.0	3750	293100	+28

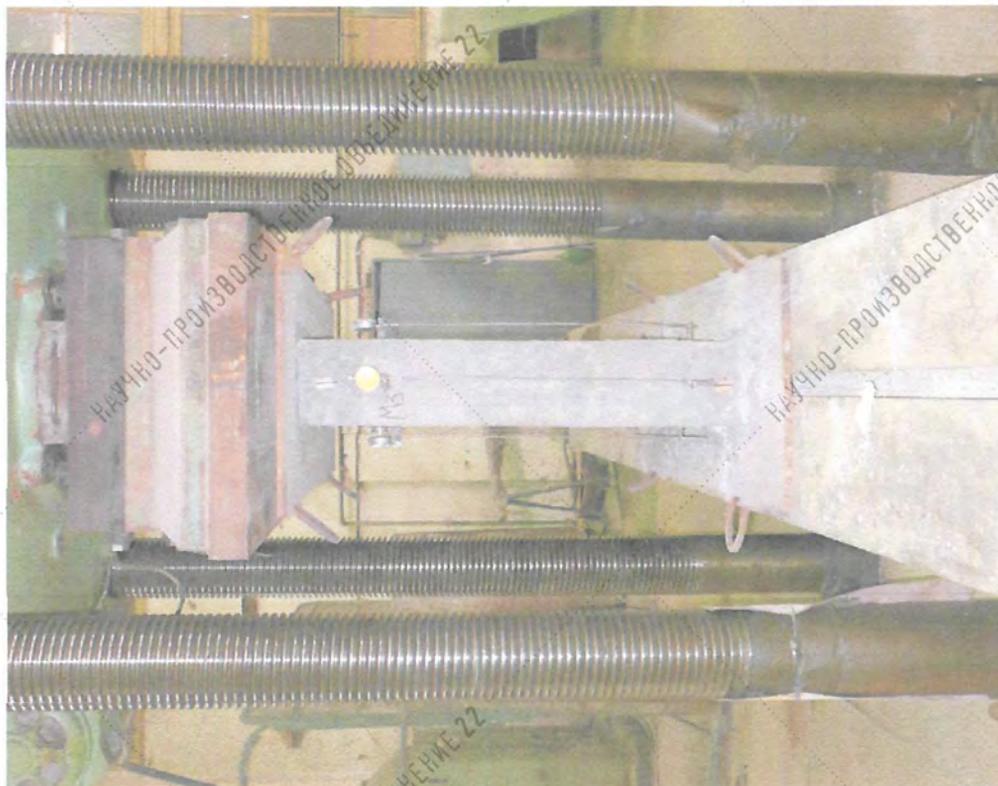


Рисунок 6.1 Общий вид опытного образца стены марки БСД-1 в прессе до начала испытания

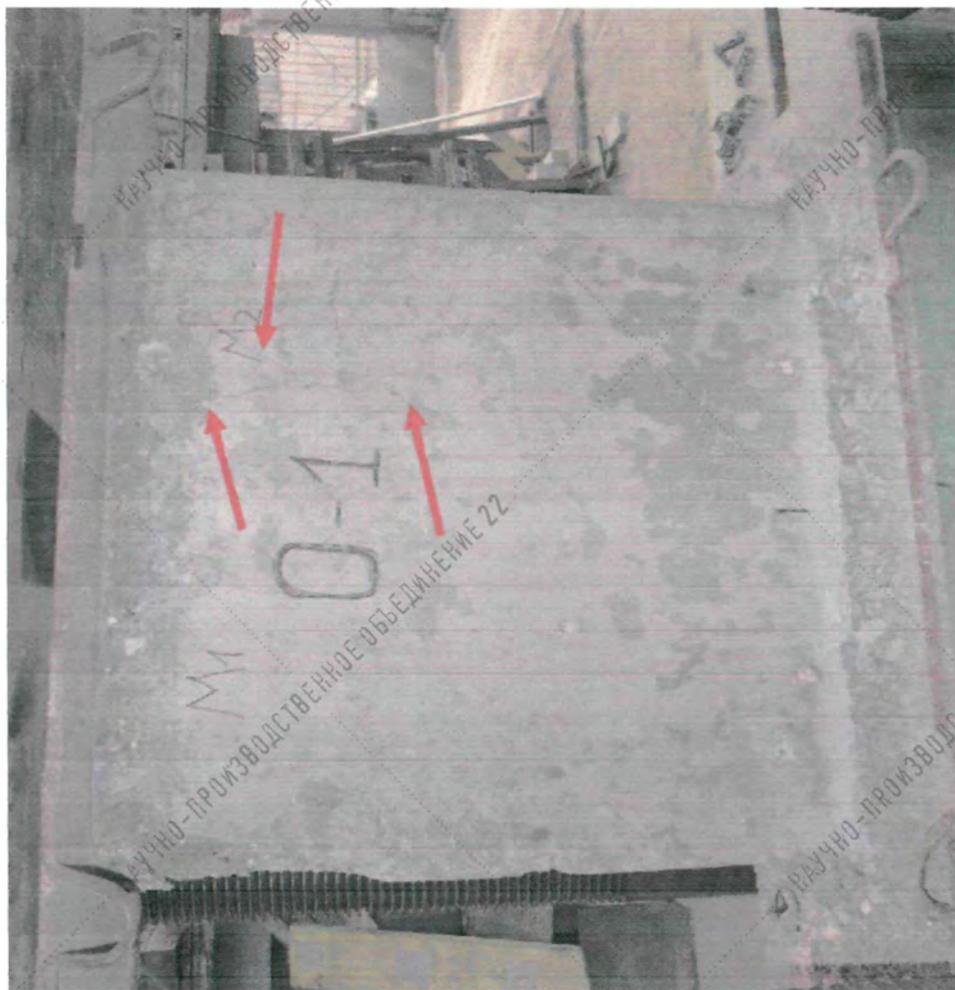


Рисунок 6.2 Характер трещинообразования и разрушения опытного образца стены марки БСД-1

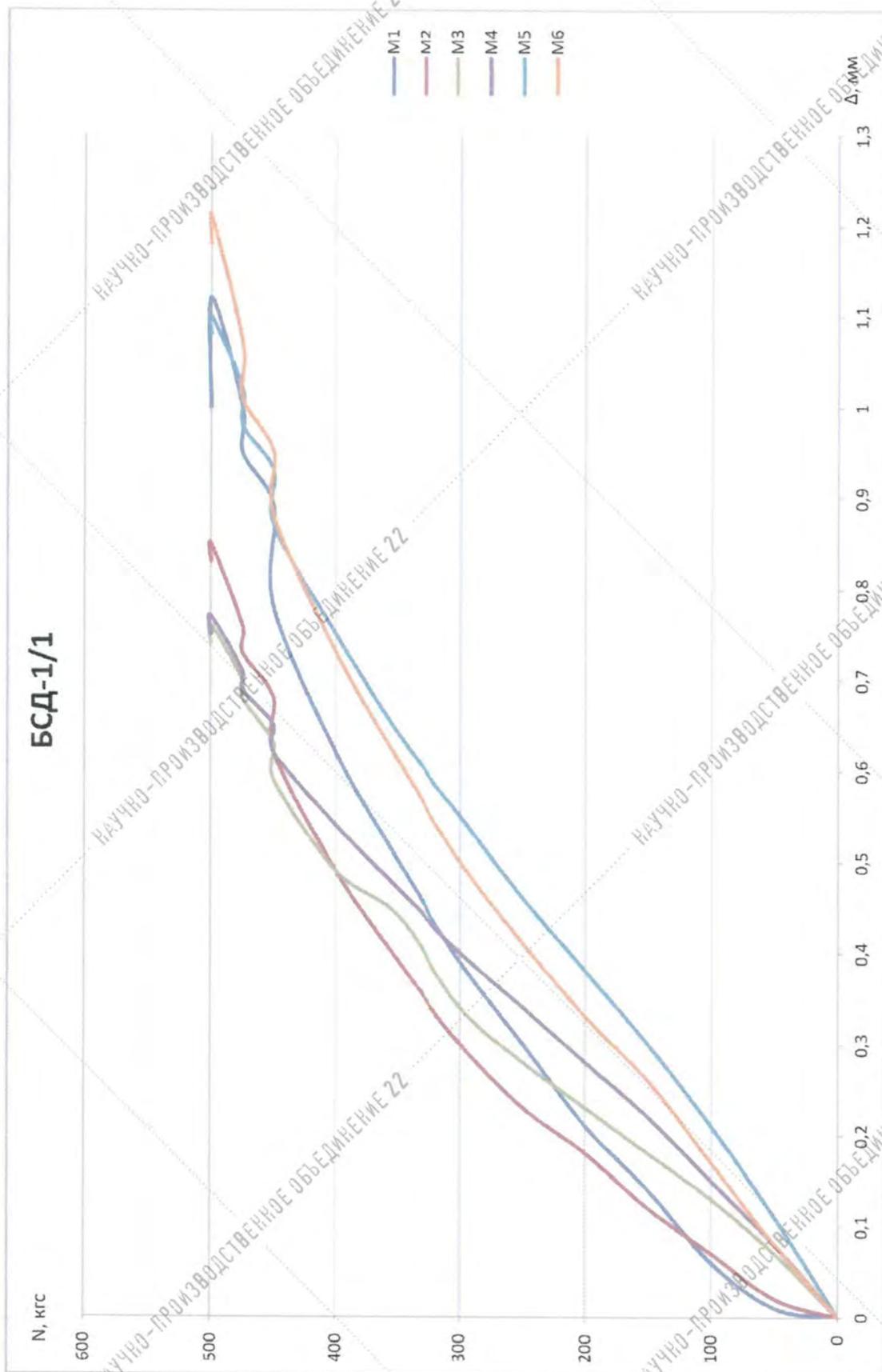


Рисунок 6.3 График зависимости «нагрузка – деформация» при испытании опытного образца стены марки БСД-1



Рисунок 6.4 Общий вид опытного образца стены марки БСС-1  
в прессе до начала испытания



Рисунок 6.5 Характер разрушения опытного образца стены марки БСС-1

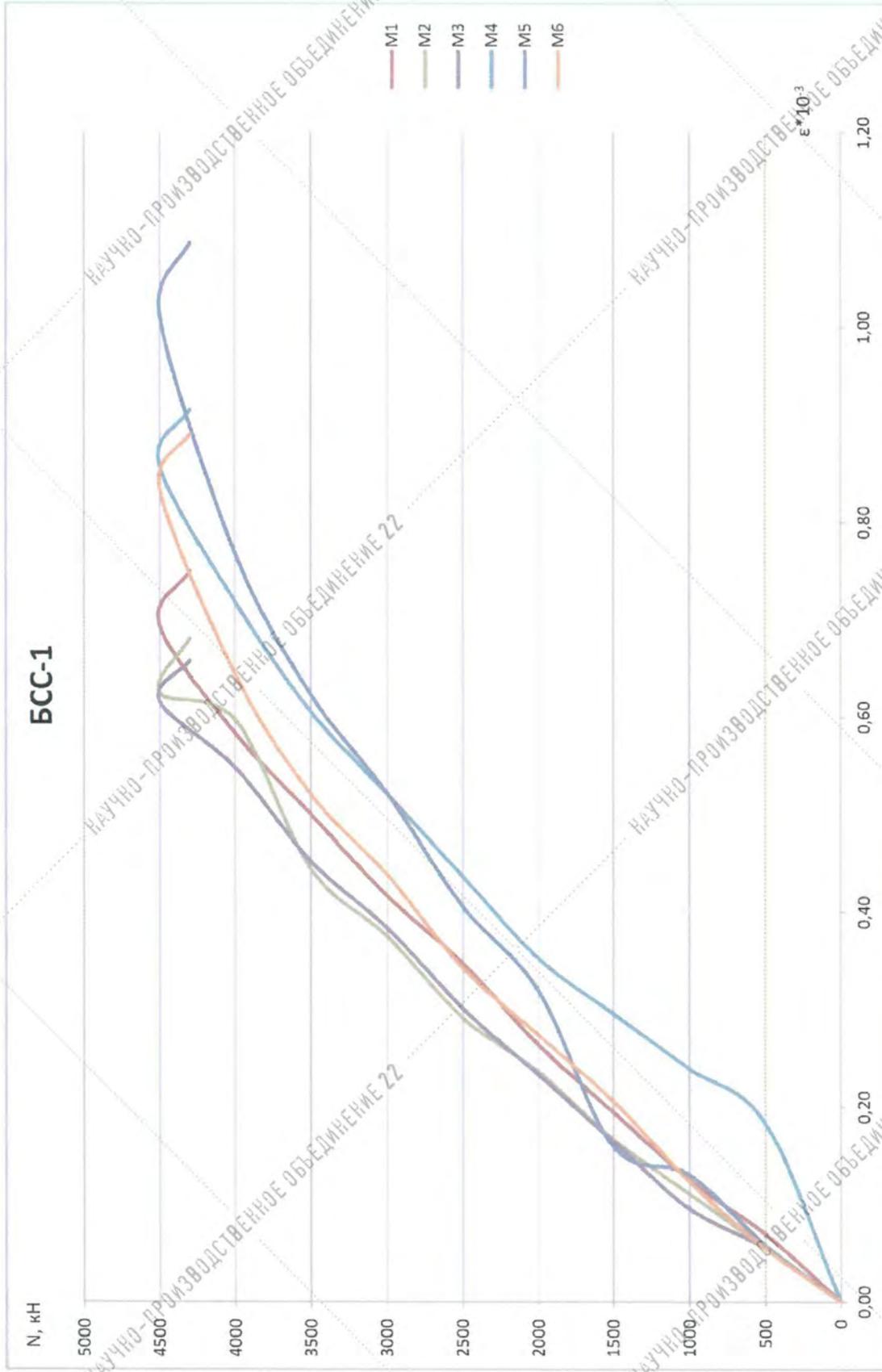
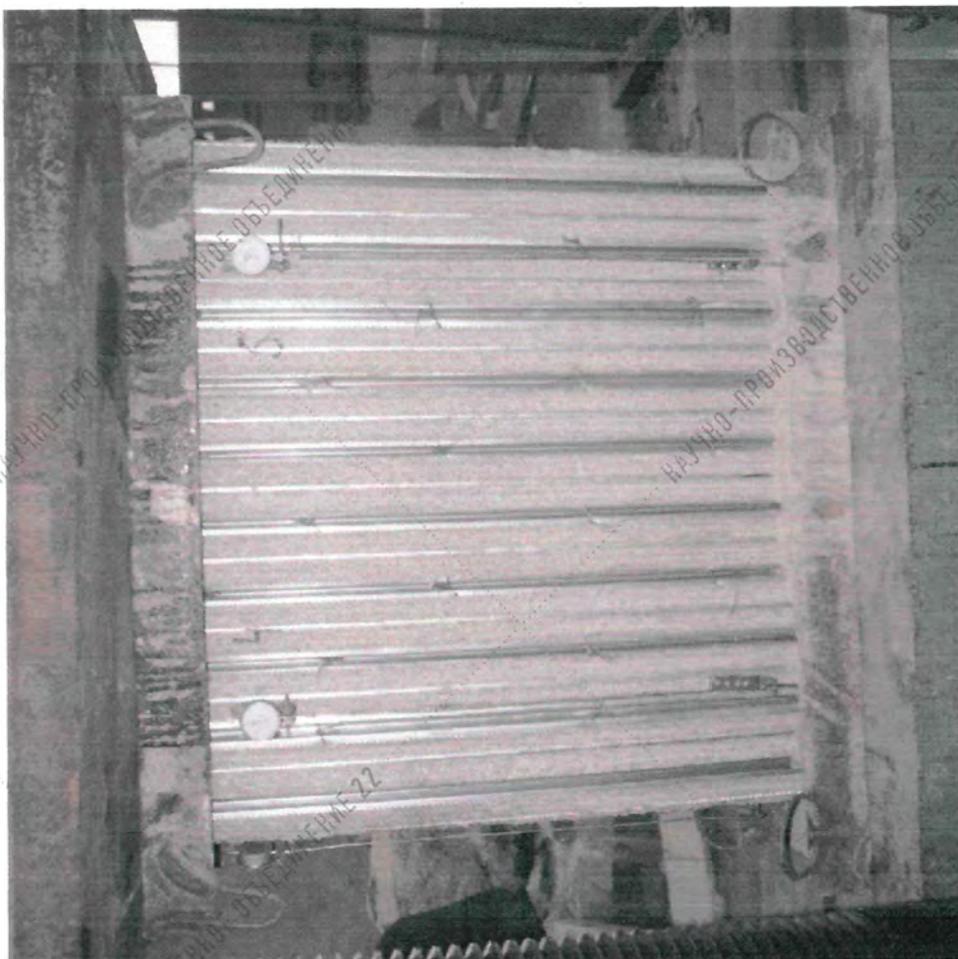


Рисунок 6.6 График зависимости «нагрузка – деформация» при испытании опытного образца стены марки БСС-1

б)



а)

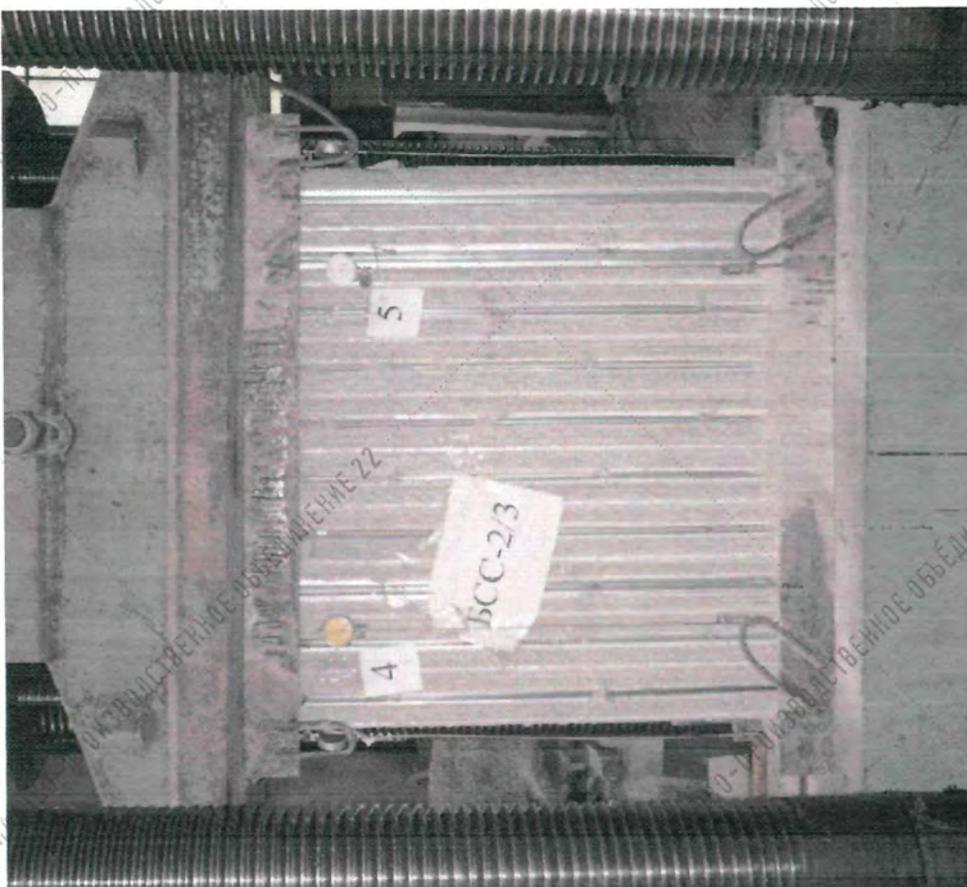


Рисунок 6.7 Общий вид опытных образцов стены марок БСС-2 (а) и БСС-3 (б) в прессе до начала испытания



Рисунок 6.7 Характер разрушения опытного образца стены марки БСС-2

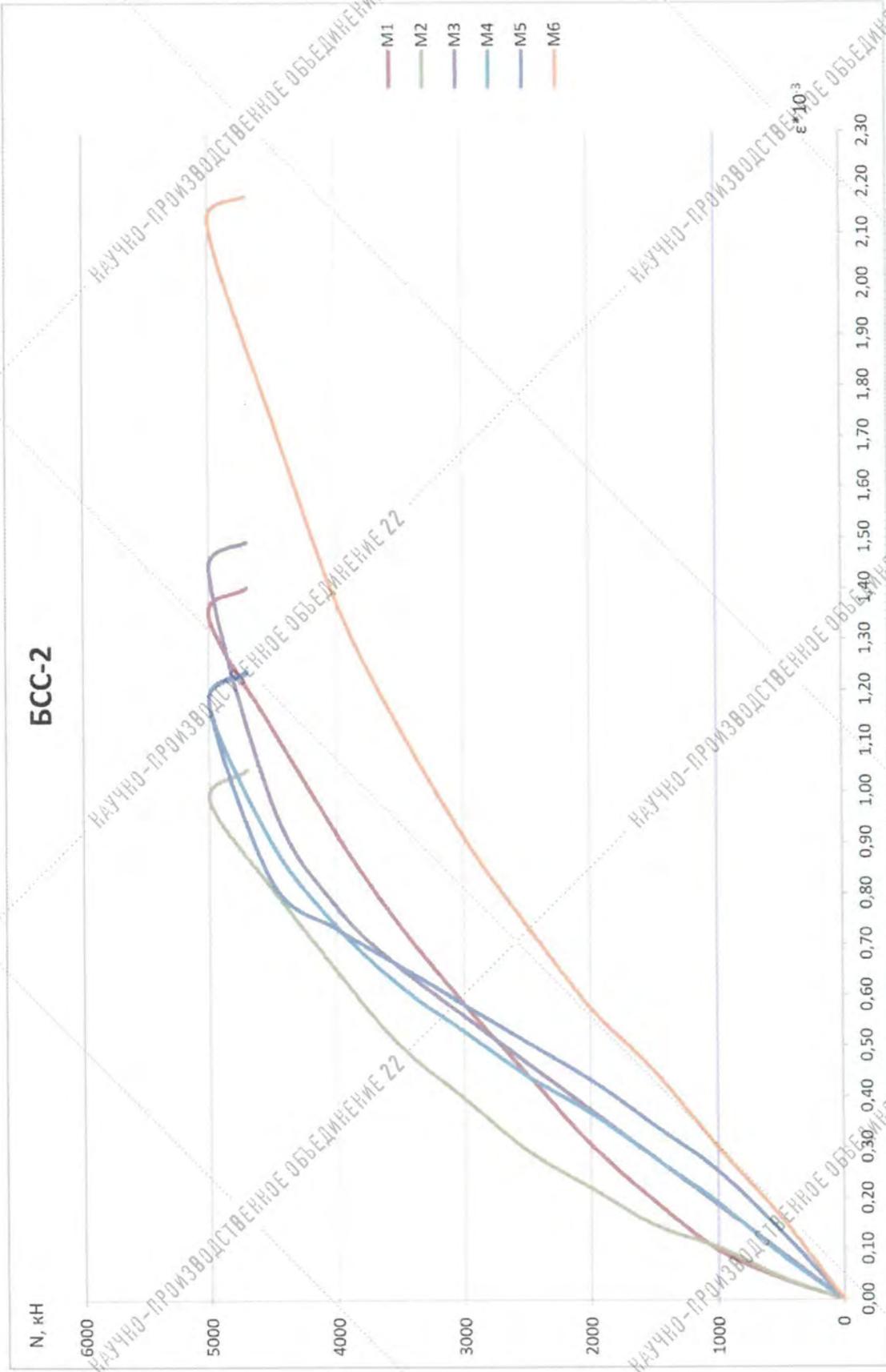


Рисунок 6.8 График зависимости «нагрузка – деформация» при испытании опытного образца стены марки БСС-2



Рисунок 6.9 Характер разрушения опытного образца стены марки БСС-3

### БСС-3

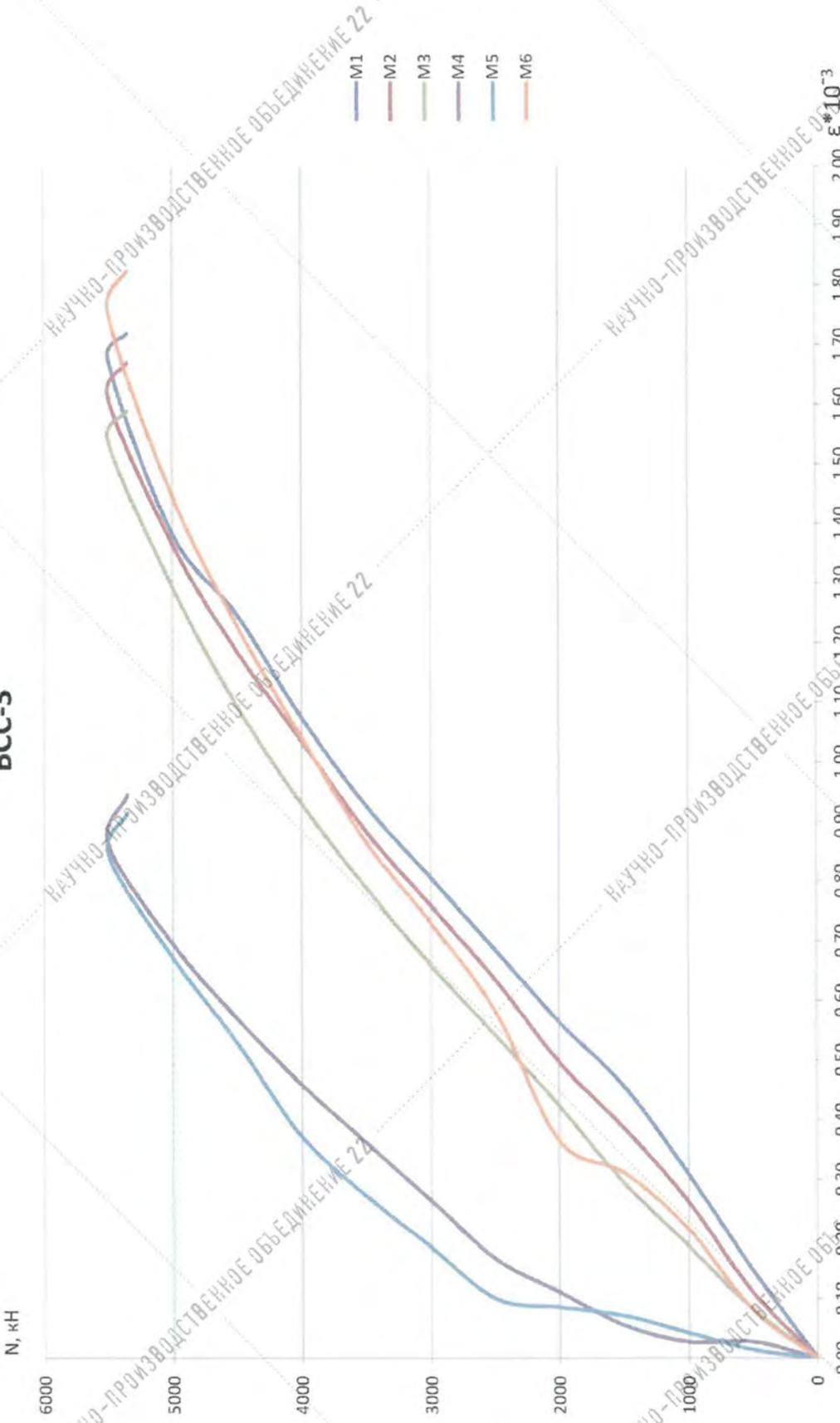


Рисунок 6.10 График зависимости «нагрузка – деформация» при испытании опытного образца стены марки БСС-3

## 7. Исследование прочности бетона, усиленного стальными фибрами Streck®

В соответствии с программой исследований Заказчиком были изготовлены бетонные кубы и призмы, армированные стальной фиброй Streck® длиной 40 мм и толщиной 0,8-1,0 мм.

Было изготовлено две серии образцов:

- **I серия:** шесть бетонных кубов с размерами сторон 100×100×100(Н) мм, три бетонных куба с размерами сторон 150×150×150(Н) мм без фибры и четыре бетонных куба с размерами сторон 150×150×150(Н) мм, армированных стальной фиброй;
- **II серия:** по три бетонные призмы без фибры и с фиброй с размерами сторон 100×100×400(Н) мм.

Содержание фибры Streck® в образцах обеих серий составляло 20,5 кг/м<sup>3</sup>.

По результатам испытаний (см. табл.7.1 и 7.2) двух серий образцов кубов и призм установлено следующее.

1. Средняя прочность на сжатие бетонных кубов и призм без использования стальных фибр составила **26,1÷26,9 МПа**, что соответствует классу бетона **B20**.

2. Средняя прочность на сжатие бетонных кубов, армированных стальными фибрами Streck®, составила **32,0 МПа**, что соответствует классу бетона **B25**, т.е. применение фибр позволило увеличить прочность бетонных кубов на 21%.

3. Как видно из табл. 7.2, средняя прочность бетонных призм при отсутствии армирования стальными фибрами Streck® составила 26.0 МПа. При использовании фибр средняя призмная прочность бетона составила 33.8 МПа. Т.е. применение стальных фибр при армировании бетонных призм привело к увеличению их прочности на 30% по сравнению с неармированными призмами.

**Вывод.** Использование в составе бетона стальных фибр **Streck®** длиной 40 мм и толщиной 0,8-1,0 мм позволяет увеличить прочность бетона на сжатие до **20%** – по данным испытаний кубов и до **30%** – по данным испытаний призм.

### Результаты испытаний кубов на сжатие

Таблица 7.1

№ п.п.	Наполнитель бетона	Размеры кубов a×b (мм)	N <sub>разр</sub> , (кН)	Коэф. k	Прочность на сжатие, R <sub>i</sub> (МПа)	Средняя прочность, (МПа)
1	2	3	8	10	11	12
1	без фибры	100×100	199,1	0,95	18,9*	26,9
2		100×100	307,9		29,2	
3		96×102	289,3		28,0	
4		98×100	237,3		23,0	
5		99×101	274,4		26,1	
6		99×99	293,1		28,4	
7		150×152	575		25,2	
8	150×151	625	27,5			
9	149×150	570	25,5			
10	с фиброй	148×150	745	1,0	33,5	32,2
11		150×150	715		31,8	
12		151×150	705		31,1	
13		146×150	710		32,4	

\* значение не учитывалось при определении средней величины R<sub>i</sub>

### Результаты испытаний призм на сжатие

Таблица 7.2

№ п.п.	Наполнитель бетона	Размеры призм a×b (мм)	N <sub>разр</sub> , (кН)	Коэф. k	Прочность на сжатие, R <sub>i</sub> (МПа)	Средняя прочность, (МПа)
1	2	3	8	10	11	12
1	без фибры	98×102	235	1,0	23,5	26,0
2		92×103	279		29,4	
3		98×100	250		25,0	
4	с фиброй	100×100	320		32,0	33,8
5		100×102	381		37,4	
6		99×100	317		32,0	

## 8. Заключение. Выводы и рекомендации

Анализ результатов экспериментальных исследований прочности и деформативности монолитных железобетонных конструкций, изготовленных в металлической несъемной опалубке **Proster®21**, позволяет отметить следующее.

1. Экспериментальные исследования проводились на опытных образцах фрагментов железобетонных панелей и колонн, изготовленных с применением стальной опалубки **Proster®21** производства Белорецкого завода сеток и настилов.

2. По результатам испытаний опытных образцов железобетонных конструкций подтвердилась совместная работа бетона и металлической несъемной опалубки **Proster®21**, а так же возможность и целесообразность учёта её влияния при расчёте конструкций;

3. По результатам испытаний плит перекрытий, изготовленных в несъемной опалубке с продольным расположением ребер, предельные нагрузки на плиты увеличились на 20-30 % по сравнению с плитами, изготовленными в деревянной опалубке. При этом момент образования первых трещин при использовании несъемной опалубки возрос по сравнению с плитой, изготовленной в деревянной опалубке, в 1,85 раза.

4. При применении металлической несъемной опалубки **Proster®21** в плитах перекрытия рекомендуется располагать ребра жесткости опалубки параллельно длинной стороне плиты;

5. Испытание конструкции монолитных железобетонных колонн, изготовленных с применением несъемной опалубки **Proster®21**, показало, что несущая способность колонн на 17-20 % выше, чем у колонн, изготовленных в деревянной опалубке. Указанное связано с эффектом обоймы, роль которой выполняет металлическая несъемная опалубка **Proster®21**.

6. По результатам испытаний фрагментов стеновых панелей изготовленных с применением несъемной опалубки **Proster®21**, установлено, что при использовании несъемной опалубки, расчетная несущая способность

опытных образцов, полученная при обработке результатов эксперимента, на 20% - 28 % выше, расчетной несущей способности фрагментов стен, вычисленной с использованием нормативных документов [2,3].

7. Испытание кубов и призм, армированных стальными фибрами Streck® длиной 40 мм и толщиной 0,8-1,0 мм, показало, что прочность бетона, армированного фибрами Streck® из расчета 20,5 кг/м<sup>3</sup>, на сжатие выше прочности неармированного бетона на 20% – по данным испытаний кубов и на 30% – по данным испытаний призм.

8. Исходя из вышеизложенного рекомендуется:

- применение металлической несъемной опалубки Proster®21 при проектировании и строительстве перекрытий зданий, пролетных строений мостов и эстакад, монолитных конструкций метрополитена;
- применение металлической несъемной опалубки Proster®21 при проектировании и строительстве вертикальных конструкций (фундаментов, стеновых конструкций, подпорных стен, колонн и т.д.) зданий и сооружений;
- применение металлической несъемной опалубки Proster®21 при разработке проектов и устройстве усиления существующих конструкций, а также в процессе реконструкции зданий и сооружений;
- применение металлической несъемной опалубки Proster®21 в особо стесненных условиях, в регионах и местностях с низкой транспортной доступностью;
- применение металлической несъемной опалубки Proster®21 как быстромонтируемой в аварийных и экстренных ситуациях;

9. Применение металлической несъемной опалубки **Proster®21** позволяет при проектировании монолитных железобетонных колонн круглого и прямоугольного (квадратного) сечений отказаться от привязки к стандартным размерам существующих инвентарных опалубочных систем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8829-94 Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости.
2. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84).
3. СП 63.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.

### **Рекомендации по расчету железобетонных конструкций с использованием металлической несъемной опалубки Proster®21**

При расчете железобетонных вертикальных конструкций (колонны, пилоны, стены, подпорные стены и т.д.) принимать в расчет в качестве рабочей продольной (как растянутой, так и сжатой) арматуры (как основной, так и дополнительной) ребра опалубки со следующими характеристиками:

- площадь сечения одного стержня растянутой и сжатой арматуры:

$$A_s = A'_s = 22,4 \text{ мм}^2;$$

- шаг рабочих стержней = 100мм;

- расчетные сопротивления стержней опалубки растяжению и сжатию для предельных состояний первой группы:  $R_s = R_{sc} = 270 \text{ МПа}$ ;

- расстояние от равнодействующей усилий в стержнях опалубки ( $A_s$  и  $A'_s$ ) до ближайшей грани сечения :  $a = a' = 20 \text{ мм}$ .