



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет»

129337, Россия, Москва, Ярославское ш., д. 26, тел. +7 (495) 781-80-07, факс +7 (499) 183-44-38



УТВЕРЖДАЮ

Проректор

А.З.Тер-Мартirosян

2024 г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

по теме:

**«Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в
сейсмических районах**

Шифр № К.241-24

Арх. № 107704 /К.241-24

Директор НИИ ЭМ

Заведующий ЛИСМИиК

Шувалов А.Н.

Какуша В.А.

МОСКВА 2024

Подготовка к заключению договоров на разработку проектной документации и выполнение инженерных изысканий от имени НИУ МГСУ осуществляется только

*Дирекцией научно-технических проектов
тел.: +7 (495) 739-03-14; e-mail: ntp@mgsu.ru*

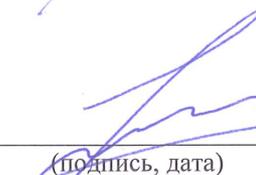
СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ:

Директор НИИ ЭМ, к.т.н.



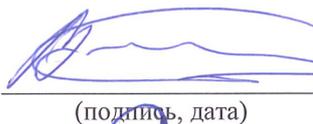
Шувалов А.Н.

Заместитель директора НИИ ЭМ



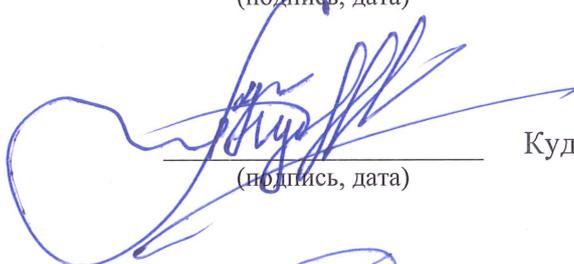
Корнев О.А.

Заведующий ЛИСМИиК



Какуша В.А.

Инженер ЛИСМИиК



Кудрявцев М.В.

Инженер ЛИСМИиК



Ким Е.А.

Инженер ЛИСМИиК



Жидков Ю.А.

Заведующий ЛНИ



Фёдоров М.В.

Зам. заведующего ЛНИ



Зайцев Д.В.

Нормоконтролер



Ковалев М.Г.



СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	6
2. ПОДГОТОВКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ НА ЖБИ-3 ГОРОД РЯЗАНЬ.....	9
3. ИСПЫТАНИЕ АРМАТУРЫ А500С И А500СП НА РАСТЯЖЕНИЕ	13
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА ВЫРЫВ ИЗ БЕТОНА	16
5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК	22
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	53
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ	54
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПРОТОКОЛЫ ИСПЫТАНИЙ	57
ПРИЛОЖЕНИЕ В. СЕРТИФИКАТЫ НА АРМАТУРУ	76
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. РАСЧЕТ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН.....	82

Всего страниц - 90

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
						3
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		



ВВЕДЕНИЕ

Данная работа выполнена в соответствии с договором №ДГЗС7-033701 от 21 декабря 2023 года по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах» между АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (Заказчик) и ООО «Инновационно-производственный комплекс МГСУ Технопарк «Строительство» (Исполнитель).

Работа выполнена совместно с Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ) в соответствии с договором №К.241-24 от 9 января 2024 года по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах» между ООО ИПК МГСУ Технопарк «Строительство» и НИУ МГСУ.

В соответствии с техническим заданием к Договору (Приложение А) был определён состав работ, включающий в себя следующие этапы выполнения:

1. Подготовка программы и методики проведения экспериментальных работ, в рамках которой разработаны следующие пункты:
 - Подробное описание объекта испытаний, с указанием наименований и области применения;
 - Цель проведения испытаний;
 - Определение количества образцов, их габариты и общие характеристики;
 - Опалубочные чертежи образцов;
 - Средства и порядок испытаний с указанием технических и программных средств, использующихся для проведения испытаний.
 - Схемы закрепления и нагружения образцов для проведения испытаний. Чертежи дополнительных оснасток, предоставляемых Заказчиком;
 - Схемы установки контрольно-измерительных приборов (КИП);
 - Режимы нагружения, перечень регистрируемых параметров и частота записи данных;
 - Требования к нормативно-технической документации при выполнении работ.Согласование параметров программы нагружения, в соответствии с исходными данными, предоставляемыми Заказчиков.
2. Изготовление образцов и подготовка к проведению испытаний:
 - Изготовление опытных образцов балок Б1-Б4 и образцов-кубов для испытаний на вырыв арматуры из бетона на заводе ЖБИ-3 в г. Рязань;

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
						4
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		



- Визуальный осмотр переданных на испытания образцов, измерение геометрических параметров, фиксация дефектов (при наличии);
- Монтаж оснастки и образцов в пространстве испытательной рамы;
- Нанесение разметки для позиционирования балки на опорах в соответствии со схемой нагружения, нанесение разметки для наклейки тензорезисторов для измерения деформаций в характерных точках согласно ПМИ;
- Подключение и калибровка измерительного и силового оборудования;
- Нагружение в соответствии с согласованной программой нагружения.

3. Обработка экспериментальных данных, подготовка протоколов испытания арматуры и написание технического отчета.

В данном отчёте приведены результаты испытаний арматурной стали классов А500С и А500СП, параметров сцепления арматурной стали с бетоном класса В25, результаты исследования трещинообразования железобетонных балок, армированных арматурой А500С и А500СП при действии кратковременных статических нагрузок.

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
						5
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В настоящее время существует множество различных профилей для арматурной стали, производимых в соответствии с требованиями государственных стандартов. АО ЕВРАЗ ЗСМК был разработан и внедрен новый вид периодического профиля с повышенным сцеплением с бетоном, регламентируемым СТО 36554501-065-2020*[1], ТУ 14-1-5226-2017 [2].

Арматура А500СП – усовершенствованная модификация арматурного проката класса А500. Вершины серповидных ребер располагаются не в одной осевой плоскости, а в двух взаимоперпендикулярных, что обеспечивает плотную компоновку зерен крупного заполнителя вокруг сердечника стержня и способствует более равномерному распределению усилий распора по сравнению с серповидным профилем европейского типа по заявлению Изготовителя [1, 2] (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 Профиль арматуры класса А500С и А500СП: а) кольцевой, б) серповидный двухсторонний, в) серповидный четырехсторонний.

Представленный класс арматуры широко применяется для армирования железобетонных конструкций, проектируемых в соответствии с СП 63.13330.2018 [3] для эксплуатации во всех климатических районах России, подвергаемых всем видам воздействий и нагрузок по СП 20.13330.2016 [4], включая особые, а также при проектировании по СП 14.13330.2018 [5] для строительства в регионах РФ с сейсмичностью до 9 баллов.

Для подтверждения заявленных улучшенных свойств арматуры А500СП, определения параметров на соответствие положениям СТО 36554501-065-2020* и рекомендациям СП 14.13330 [5] были приведены испытания, представленные в данном отчёте.

Объект испытаний:

- 1) Образцы арматуры А500СП и А500С (рисунок 1.2);
- 2) Образцы арматуры А500СП и А500С в бетонных кубах 250х250х250 мм, с анкерровкой стержней на 60 мм (рисунок 1.3);
- 3) Железобетонные балки Б1-Б4, армированные арматурой А500СП и А500С (рисунок 1.4).



Рисунок 1.2 Арматура класса А500СП и А500С



Рисунок 1.3 Образцы арматуры А500СП и А500С в бетонных кубах на вырыв, подготовленные для испытаний

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		7



Рисунок 1.4 Железобетонные балки Б1, Б4 армированные арматурой А500СП и А500С

Цель работы:

- определение прочностных и деформационных характеристик арматурной стали классов А500С и А500СП;
- определение параметров сцепления арматурной стали с бетоном класса В25;
- определение коэффициента φ_2 для расчета железобетонных элементов по второй группе предельных состояний.

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		8

2. ПОДГОТОВКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ НА ЖБИ-3 ГОРОД РЯЗАНЬ

Согласно рабочим чертежам [6] были наклеены тензометрические пленочные датчики деформаций FLA-1-11-1LJC базой 1 мм, рабочее сопротивление $120 \pm 0,5$ Ом, коэффициент тензочувствительности $2,11 \pm 1$ % (рисунок 2.1).

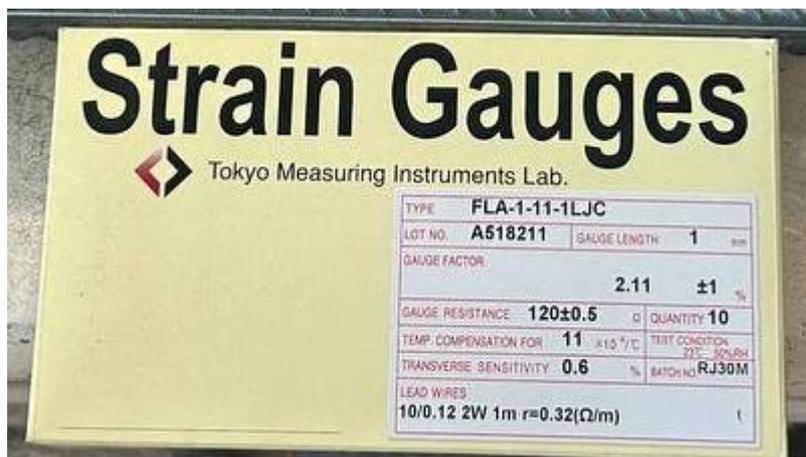
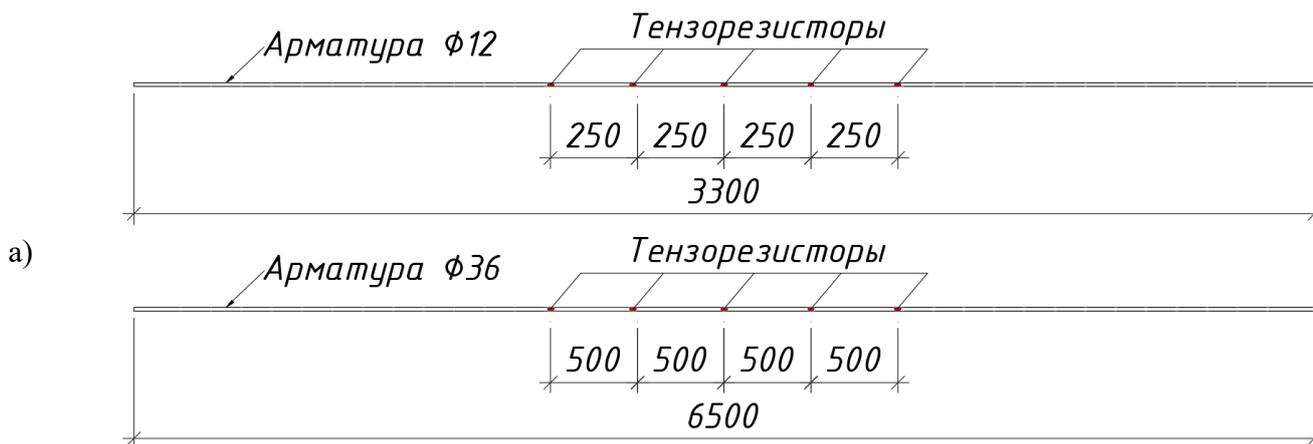


Рисунок 2.1 Используемые тензометрические датчики

Схема расклейки датчиков представлена на рисунке 2.2. Наклейка тензометрических датчиков осуществлялась в г. Мытищи, Олимпийский проспект, дом 50, строение 25 на базе лаборатории натуральных испытаний (ЛНИ), входящей в состав НИИ ЭМ.



б)



в)



Рисунок 2.3 Расклейка тензодатчиков: а) схема расклейки на арматуру; б) расположение датчика на арматуре; в) защита датчиков при транспортировке.

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		10

Доставка подготовленных арматурных стержней осуществлялась на завод железобетонных изделий ЖБИ-3 г. Рязань. Арматурные каркасы собирались в соответствии с приложением В программы и методики испытаний [6]. По согласованию с заводом изготовителем арматурные стержни хомутов и в сжатой зоне были заменены на арматурную сталь В500. На рисунках 2.3–2.6 приведены фотографии с вязки арматурных каркасов и бетонирования. Бетонирование осуществлялось за один замес 18.06.2024 г. в присутствии Исполнителей работ.

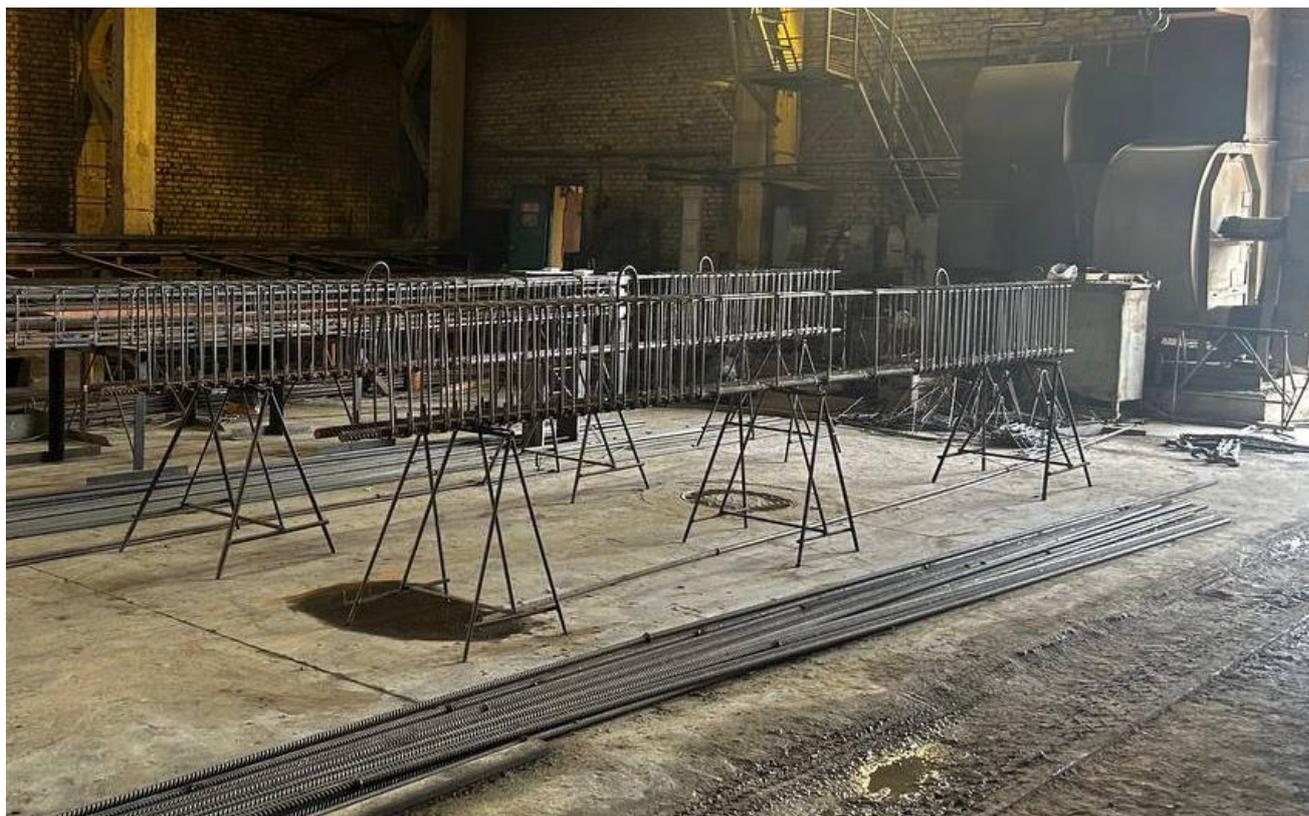


Рисунок 2.3 Арматурный каркас балок Б3-Б4

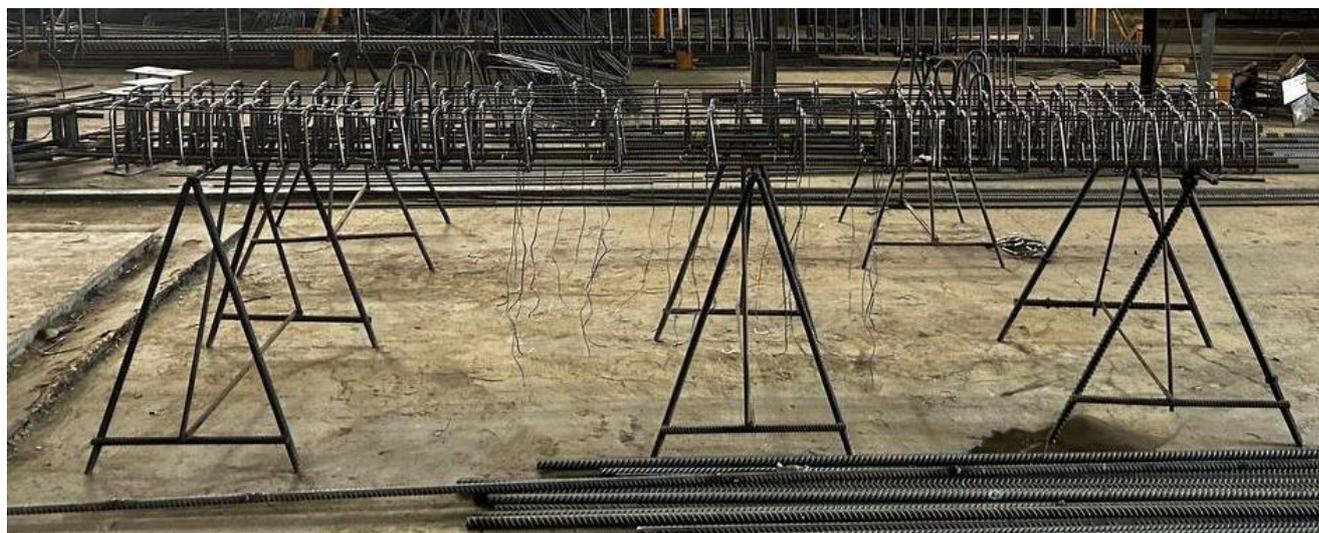


Рисунок 2.4 Арматурный каркас балок Б1-Б2

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		11

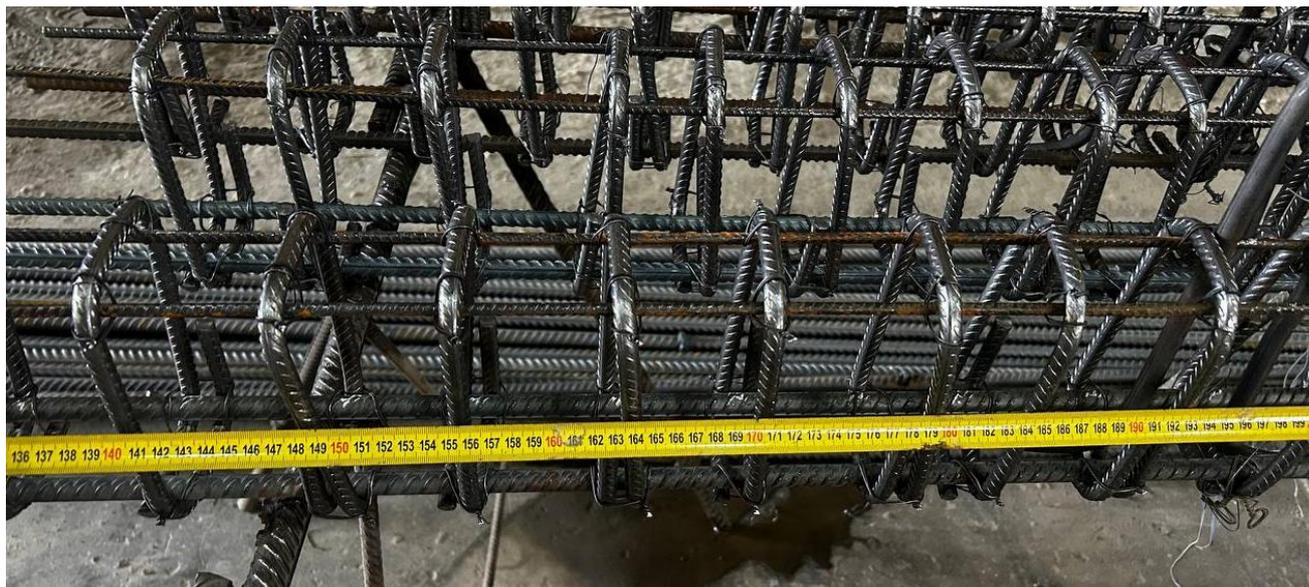


Рисунок 2.5 Шаг поперечных хомутов балок Б1-Б2

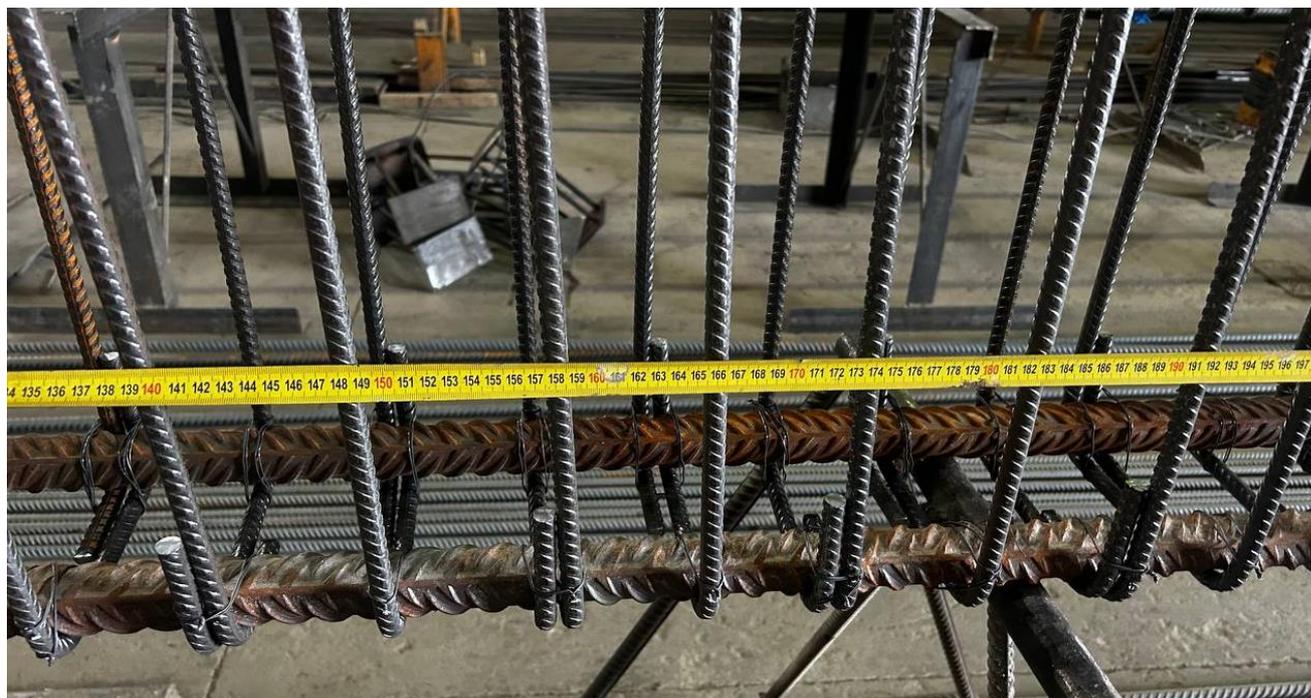


Рисунок 2.6 Шаг поперечных хомутов балок Б3-Б4

Распалубливание образцов происходило 20.06.2024 г. после пропаривания в камере ТВО. Вместе с опытными образцами были изготовлены стандартные образцы кубы 100x100x100 мм и призмы 100x100x400 мм для определения прочности бетона в период испытаний и модуля упругости. Доставка образцов в испытательную лабораторию осуществлялась 25.06.2024 г.



3. ИСПЫТАНИЕ АРМАТУРЫ А500С И А500СП НА РАСТЯЖЕНИЕ

Для проведения испытаний Заказчиком были переданы арматурные стержни класса А500СП и А500С диаметрами 12 и 36 мм. Дополнительно силами Исполнителя была приобретена арматура класса А500С диаметрами 12 и 36 мм другого производителя.

Испытание арматуры проводилось по ГОСТ 12004–81 [7], протокол испытаний представлен в приложении Б. В таблице 3.1 приведены результаты испытаний арматуры на растяжение.

Таблица 3.1 Результаты испытания арматуры на растяжение

№	Маркировка образца	Начальная площадь поперечного сечения F_n (мм ²)	Нагрузка при пределе текучести P_T (кН)	Предел текучести σ_T (МПа)	Максимальная нагрузка P_{max} (кН)	Временное сопротивление σ_B (МПа)	Относительное удлинение δ_5 (%)
1	A500C Ø12-1	113,1	61,5	543,7	70,3	621,4	21,7
2	A500C Ø12-2	113,1	61,7	545,6	69,9	618,1	21,7
3	A500СП Ø12-1	113,1	64,5	570,1	74,0	654,3	23,3
4	A500СП Ø12-2	113,1	61,7	545,2	71,4	631,3	23,3
5	A500C Ø36-1	1017,9	576,8	566,6	712,8	700,3	25,6
6	A500C Ø36-2	1017,9	576,3	566,2	712,2	699,7	26,1
7	A500СП Ø36-1	1017,9	600,7	590,1	672,9	661,1	21,7
8	A500СП Ø36-2	1017,9	602,7	592,1	676,2	664,3	25,0
9	Сжатие Ø6	28,3	10,0	353,1	19,0	672,3	10,0
10	Сжатие Ø10	78,5	48,4	616,6	50,9	648,0	-
11	Хомут Ø12-1	113,1	67,5	596,7	75,7	669,5	11,7
12	Хомут Ø12-2	113,1	66,2	585,3	75,6	668,5	11,7
13	A500C Ø12-1	113,1	67,8	599,5	78,6	695,4	21,7
14	A500C Ø12-2	113,1	68,1	601,8	78,8	696,5	21,7
15	A500C Ø36-1	1017,9	562,2	552,3	676,9	665,0	20,6
16	A500C Ø36-2	1017,9	563,0	553,1	678,0	666,1	21,7

В таблице 3.2 представлен параметр относительной площади смятия (F_R) для испытываемой арматуры.

Таблица 3.2 Параметр F_R

№	Диаметр, мм	Наименование арматуры			
		A500СП	A500C	A500	A500C
1	12	0,101 Плавка № СБ 933478	0,084 Плавка № 2308143	0,071 Плавка № 4419645–2	-
2	36	0,107 Плавка № 540108	0,088 Плавка № 230921	0,086 Плавка № 230921	0,071 Плавка № 12309281

Сертификаты на арматурные стержни представлены в приложении В.

На рисунках 3.1–3.2 представлены диаграммы растяжения арматуры А500СП диаметрами 12 и 36 мм для определения полного относительного удлинения при максимальном напряжении (A_{gt}). Результаты приведены в таблице 3.3.

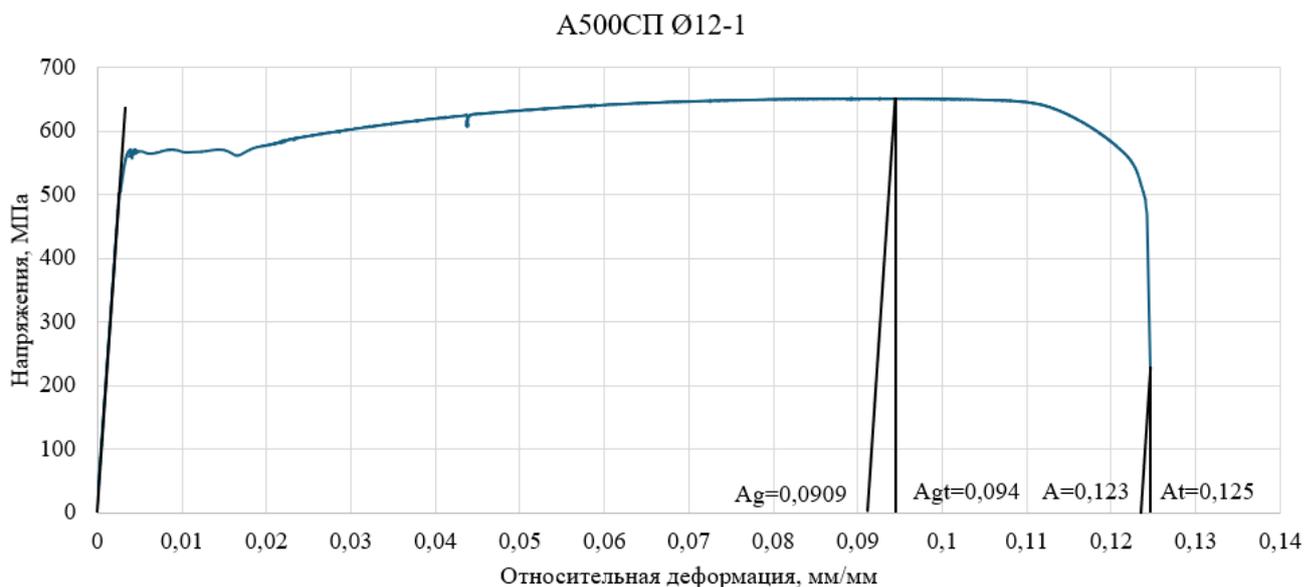


Рисунок 3.1 Диаграмма растяжения арматуры А500СП 12 диаметр, образец №1.

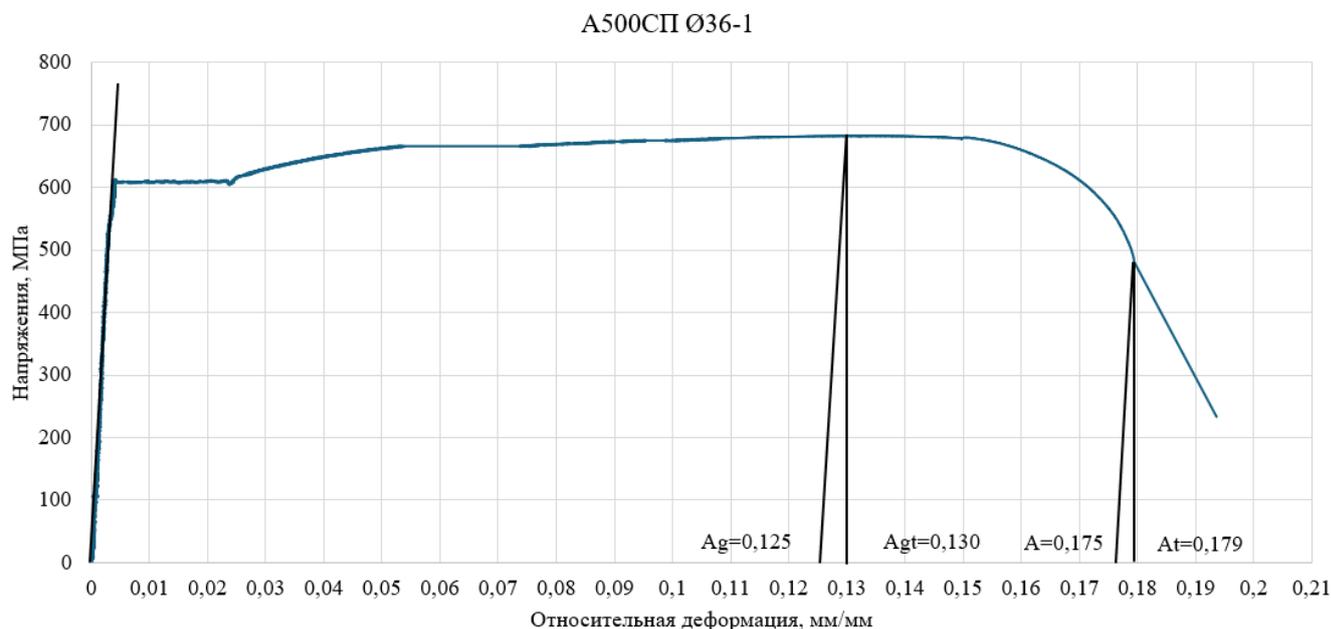


Рисунок 3.2 Диаграмма растяжения арматуры А500СП 36 диаметр, образец №1.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата
------	------	---------	-------	------



Таблица 3.3 Результаты определения относительного удлинения арматуры

№ п.п.	Маркировка арматуры	$A_{gt}, \%$	$\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}}$
1	A500СП Ø12-1	9,4	1,15
2	A500СП Ø12-2	7,3	1,16
3	A500СП Ø36-1	13,0	1,23
4	A500СП Ø36-2	15,1	1,12

По результатам проведенных испытаний арматура класса А500СП Ø12 и Ø36 поставленная Заказчиком соответствует требованиям п. 6.7.6 СП 14.13330.2018 [5]. Относительное удлинение при максимальном напряжении и отношение временного сопротивления к пределу текучести для трех представленных образцов соответствуют требованиям 9 баллов согласно СП 14.13330 изм. 2 и для одного образца соответствуют требованиям 7 баллов согласно СП 14.13330 изм. 2.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА ВЫРЫВ ИЗ БЕТОНА

В соответствии с ПМИ [6] были проведены испытания на вырыв арматурных профилей диаметром 12 диаметра по методике ГОСТ Р 57357–2016 [8]. Схема испытаний приведена на рисунке 4.1.

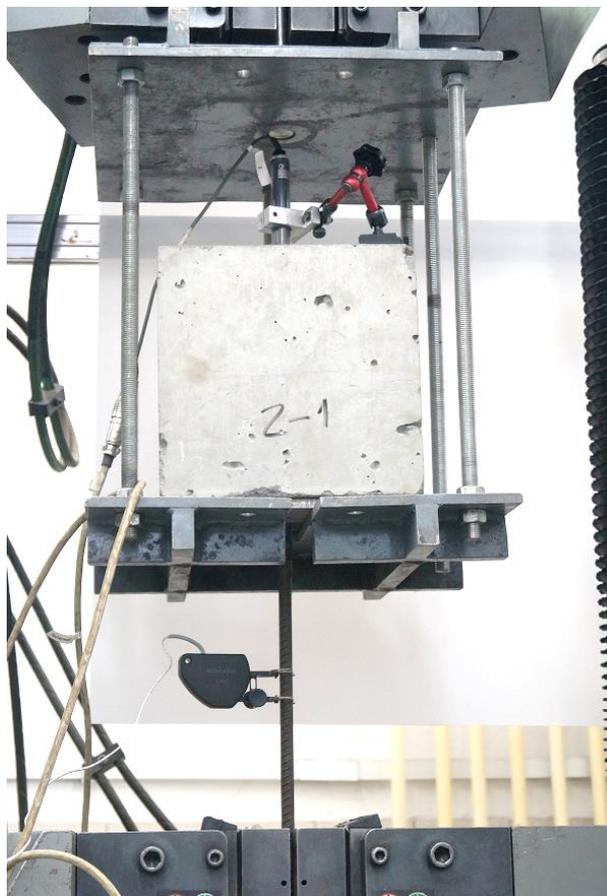


Рисунок 4.1 Схема проведения испытаний на вырыв

Перед проведением испытаний были определены фактические прочностные и деформативные характеристики бетона:

- прочность на сжатие по ГОСТ 10180–2012 [9] – 33,89 МПа;
- прочность растяжения при изгибе по ГОСТ 10180–2012 [9] – 3,35 МПа;
- модуль упругости при сжатии по ГОСТ 24452–2023 [10] – 26 618 МПа;
- призмная прочность при сжатии по ГОСТ 24452–2023 [10] – 22,6 МПа.

Результаты испытания арматурного профиля на вырыв представлены в таблицах 4.1, 4.3. В таблице 4.2 представлены параметры циклического нагружения. Обработка результатов испытаний приведена по ГОСТ Р 57357–2016 [8], по формулам 1, 2:

Прочность сцепления определялась по формуле:

$$\tau_{dm} = \frac{F_a}{5d \cdot \pi d} \quad (1)$$

Прочность сцепления, приведенная к классу бетона В25, – по формуле:

$$\tau_{dm,25} = \frac{F_a}{5d \cdot \pi d} \cdot \frac{f_{cm}}{f_c} \quad (2)$$

где $f_{cm} = 25$ МПа – заданное значение класса прочности бетона; $f_c = 32,89$ МПа – среднее значение прочности бетона.

Таблица 4.1 Результаты испытаний на вырыв при статике

№	Маркировка	Диаметр арматуры d (мм)	Максимальная сила натяжения F_a (кН)	Прочность сцепления τ_{dm} (МПа)	Прочность сцепления, приведенная к классу бетона В25, $\tau_{dm,25}$ (МПа)
1	A500C	12	49,3	21,8	16,6
2	A500C-1	12	43,3	19,2	14,6
3	A500C-2	12	52,1	23,0	17,5
4	A500СП-1	12	53,0	23,4	17,8
5	A500СП-2	12	47,6	21,1	16,0
6	A500СП-3	12	63,1	27,9	21,2

Таблица 4.2 Параметры нагружения для циклической нагрузки

Этап испытания	Испытательные нагрузки (кН)					Число циклов
	Отношение F/F_{max}	A500C	A500СП-1	A500СП-2	A500C	
1	0,2	9,5	10,9	9,9	9,9	25
2	0,3	14,3	16,4	14,8	14,8	15
3	0,4	19,1	21,8	19,7	19,5	5
4	0,5	23,9	27,3	24,7	24,3	5
5	0,6	28,6	32,8	29,6	29,2	5
6	0,7	33,4	38,2	34,5	34,0	5
7	0,8	38,2	43,7	39,4	38,8	5
8	0,9	42,9	49,1	44,4	-	5
9	1,0	47,7	54,6	49,3	-	5
10	Нагружение до разрушения					-

Таблица 4.3 Результаты испытаний на вырыв при циклике

№	Маркировка	Диаметр арматуры d (мм)	Максимальная сила натяжения F_a (кН)	Прочность сцепления τ_{dm} (МПа)	Прочность сцепления, приведенная к классу бетона В25, $\tau_{dm,25}$ (МПа)
1	A500C	12	50,6	22,4	17,0
2	A500СП-1	12	59,7	26,4	20,1
3	A500СП-2	12	54,7	24,2	18,4
4	A500C	12	40,8	18,0	13,7

По зависимости, связывающей фактическую длину анкеровки арматурного стержня с напряжением на нагруженном конце стержня, соответствующем нарушению сцепления арматурного стержня с бетоном, определяем коэффициент η_1 по формуле 3 [11]:

$$\eta_1 = \frac{\sigma_s \cdot d}{4 \cdot R_{bt} \cdot l_{an}}, \quad (3)$$

где $\sigma_s = F \cdot A_s$;

- $d=12$ мм;

- $R_{bt}=0,55 \times 3,35$ МПа;

- $l_{an}=60$ мм.

Результаты определения коэффициента η_1 представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 Результаты определения коэффициента η_1

№	Маркировка	Нагрузка при относительном сдвиге, Н	Напряжения на свободном конце арматурного стержня, Н/мм ²	η_1	τ_{dm}	F_R
Статические испытания на вырыв						
1	A500C	45000	398,09	10,80	19,90	0,084
2	A500C-1	38000	336,16	9,12	16,81	0,071
3	A500C-2	49000	433,47	11,76	21,67	0,071
4	A500СП-1	50000	442,32	12,00	22,12	0,101
5	A500СП-2	43000	380,40	10,32	19,02	0,101
6	A500СП-3	60000	530,79	14,40	26,54	0,101
Циклические испытания на вырыв						
7	A500C	43000	380,40	10,32	19,02	0,071
8	A500СП-1	49000	433,47	11,76	21,67	0,101
9	A500СП-2	49000	433,47	11,76	21,67	0,101
10	A500C	34000	300,78	8,16	15,04	0,084

Для определения касательных напряжений в момент сдвига арматурного стержня относительно бетонного куба были построены диаграммы «нагрузка - относительные деформации сдвига». Для установления начала сдвига определялись приращения перемещений ненагруженного конца арматуры за одну ступень нагружения. Этап, который соответствует резкому увеличению приращения перемещений, указывает на переход от упругих деформаций бетона к упругопластическим в контактной зоне на длине анкеровки близким к деформациям среза и трения. Диаграммы определения начала проскальзывания стержня относительно бетонного куба представлены на рисунках 4.2–4.11.

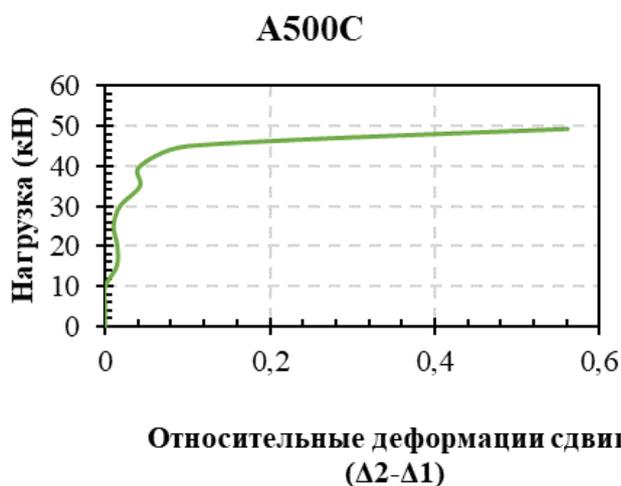


Рисунок 4.2 Статический вырыв. Арматура

A500C

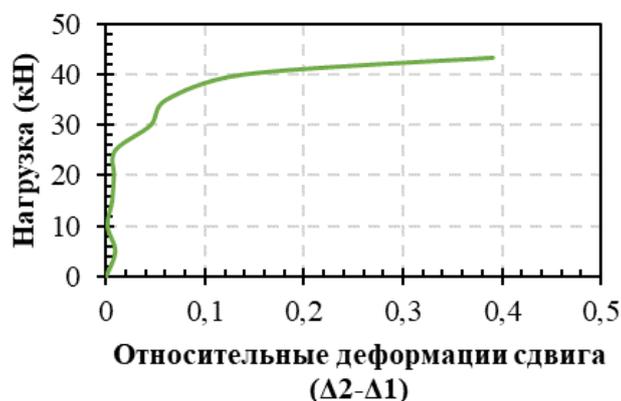


Рисунок 4.3 Статический вырыв. Арматура

A500C -1

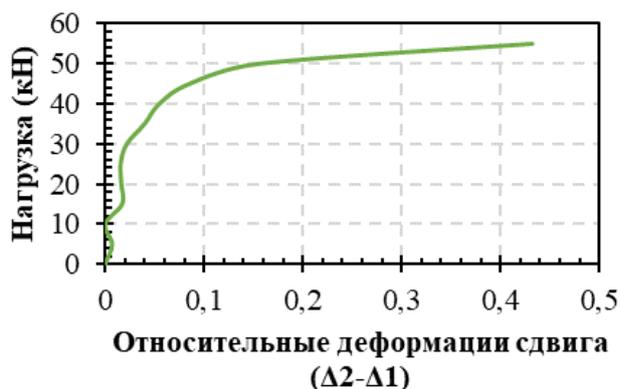


Рисунок 4.4 Статический вырыв. Арматура
A500C-2

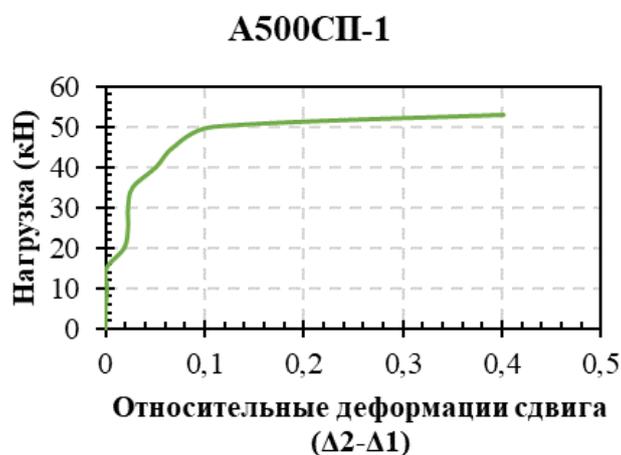


Рисунок 4.5 Статический вырыв. Арматура
A500CP-1

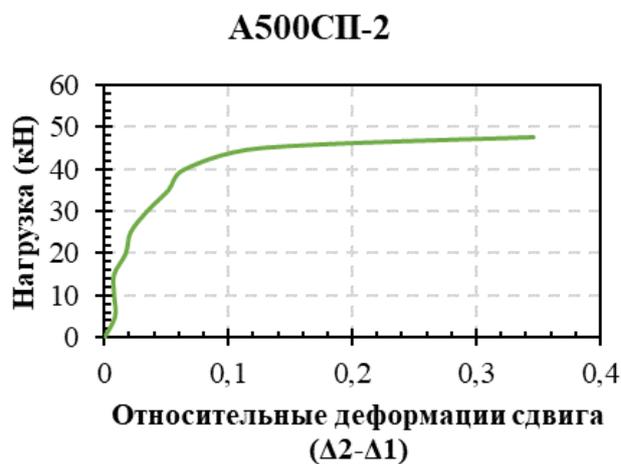


Рисунок 4.6 Статический вырыв. Арматура
A500CP-2

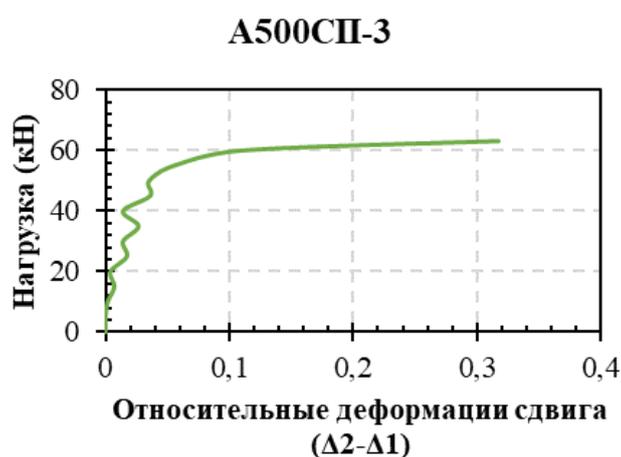


Рисунок 4.7 Статический вырыв. Арматура
A500CP-3

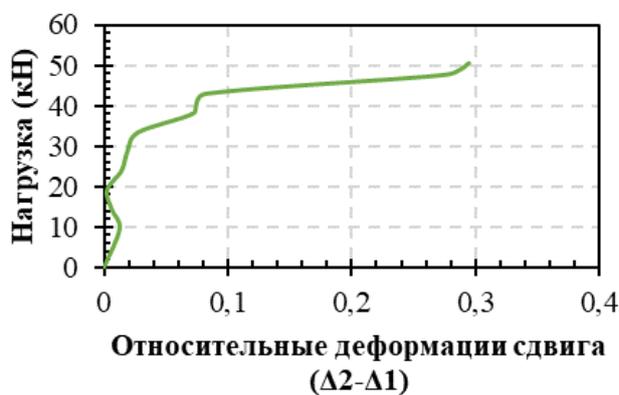


Рисунок 4.8 Циклический вырыв. Арматура A500C

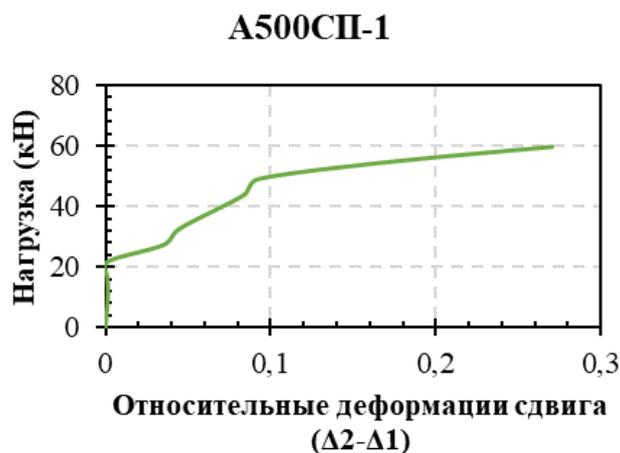


Рисунок 4.9 Циклический вырыв. Арматура A500CP-1

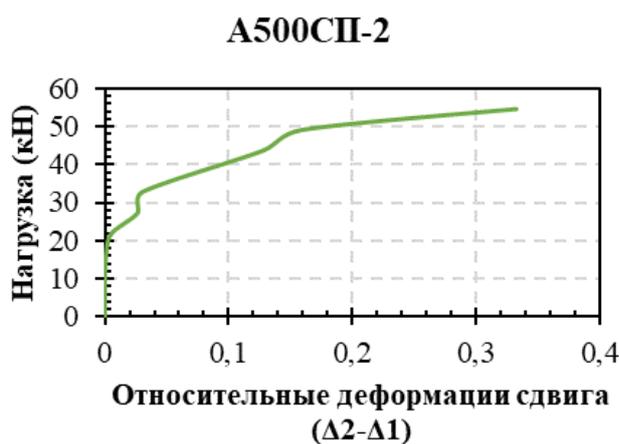


Рисунок 4.10 Циклический вырыв. Арматура A500CP-2

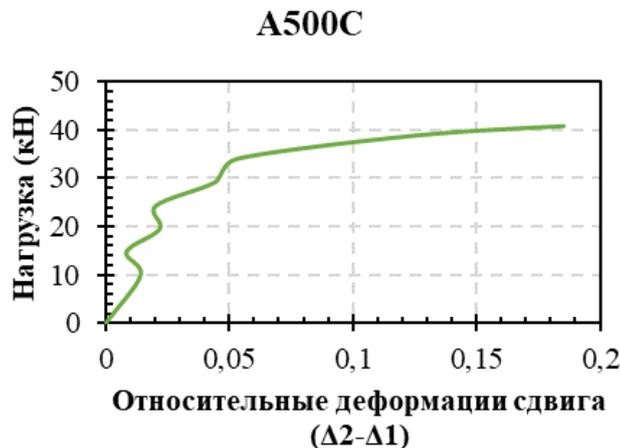


Рисунок 4.11 Циклический вырыв. Арматура A500C

На диаграммах 4.12 и 4.13 представлены зависимости средних значений коэффициента η_1 при статическом испытании на вырыв и циклическом испытании на вырыв.

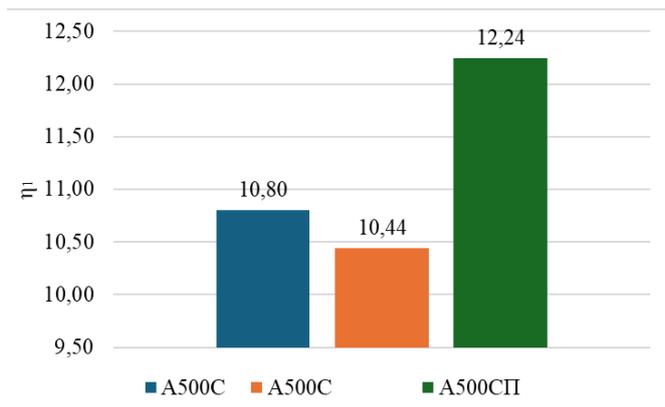


Рисунок 4.12 Статический вырыв

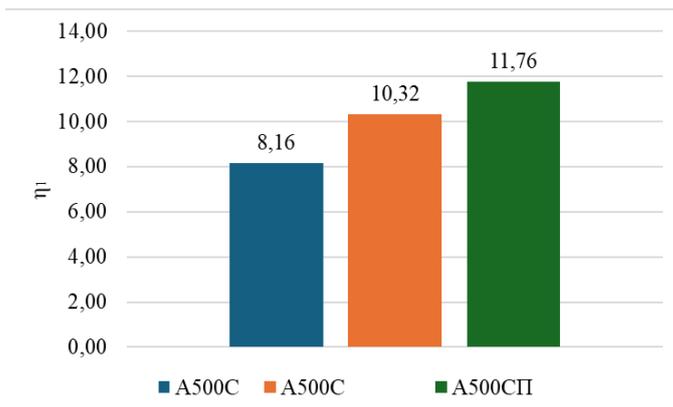


Рисунок 4.13 Циклический вырыв

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что значение коэффициента η_1 у арматуры A500СП свидетельствует о повышенной эффективности многорядного профиля по сравнению с традиционным серповидным профилем:

- подтверждаются положения СТО 36554501-065-2020* по эффективности анкеровки и повышенном коэффициенте η_1 ;
- при статическом вырыве: на 13,0-17,2% выше, чем у арматуры A500C различных российских производителей;
- при циклическом вырыве: на 14,0-44,0% выше, чем у арматуры A500C различных российских производителей.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

Для определения коэффициента φ_2 для расчета по второй группе предельных состояний (определение ширины раскрытия трещин), отвечающего за вид профиля арматурного стержня было изготовлено 8 балок, армированных арматурой класса А500СП и арматурой класса А500С с различными показателями относительной площади смятия поперечных ребер. Параметры балок приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 Параметры армирования балок

№	Маркировка	Класс арматуры	Диаметр арматуры, мм	μ , %	F_R	Размер, (ВхШхД) мм
1	1	A500C	12	0,79	0,071	220x150x3200
2	2	A500C	12	0,79	0,084	220x150x3200
3	3	A500СП	12	0,79	0,101	220x150x3200
4	3.2	A500СП	12	0,79	0,101	220x150x3200
5	4	A500C	36	1,63	0,071	550x250x6400
6	5	A500C	36	1,63	0,088	550x250x6400
7	6	A500СП	36	1,63	0,107	550x250x6400
8	6.2	A500СП	36	1,63	0,107	550x250x6400

Схема расстановки КИП соответствовала схемам представленных в ПМИ. Нагружение балок выполнялось ступенчато:

- балки 1, 2, 3, 3.2 нагружались с шагом 2,5 кН до момента образования первых трещин, далее по 5 кН до разрушения;

- балки 4, 5, 6, 6.2 нагружались с шагом 10 кН до момента образования первых трещин, далее по 25 кН до разрушения.

Съём данных с навесного оборудования (датчики перемещений) и тензорезисторов производился непрерывно с частотой записи 10 Гц.

На каждом этапе нагружения производился визуальный осмотр боковых поверхностей балки и фиксировались трещины. В таблицах 5.2–5.9 приведены ширина раскрытия и высота трещин на каждом этапе нагружения. В таблицах 5.10 и 5.11 приведены теоретические расчеты предельной нагрузки и момента трещинообразования для балок 1–6.2 по СП 63.13330.2018 [3].



Таблица 5.2 Балка №1

Нагрузка, кН	Номер трещины																																							
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм				
5	0,05		3		0,05		5																																	
7,5	0,05		5		0,05		9		0,05		7		0,05		5		0,05		9		0,05		9		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05	
10	0,1		12		0,05		14		0,1		11		0,05		9		0,05		14		14		4		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05	
15	0,15		12		0,1		15		0,1		14		0,05		15		0,05		14		14		9		0,03		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05	
20	0,2		14		0,1		15		0,1		15		0,05		15		0,05		14		14		15		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05	
25	0,2		14		0,15		15		0,15		18		0,15		14		0,1		14		14		15		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05	
30	0,25		14		0,2		15		0,15		18		0,15		14		0,1		14		14		14		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05	
35	0,25		14		0,2		17		0,25		15		0,15		15		0,1		14		14		13		0,1		0,1		0,1		0,1		0,1		0,1		0,1		0,1	
40	0,25		14		0,2		17		0,25		18		0,15		15		0,15		18		18		17		0,1		0,1		0,1		0,1		0,1		0,1		0,1		0,1	

Изм.	Лист	Нодокум.	Подп.	Дата



Таблица 5.3 Балка №2

Нагрузка, кН	Номер трещины																														
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		
	Асгс, мм	Нсгс, мм	Асгс, мм	Нсгс, мм	Асгс, мм	Нсгс, мм	Асгс, мм	Нсгс, мм	Асгс, мм	Нсгс, мм	Асгс, мм	Нсгс, мм	Асгс, мм	Нсгс, мм	Асгс, мм	Нсгс, мм	Асгс, мм	Нсгс, мм	Асгс, мм	Нсгс, мм	Асгс, мм	Нсгс, мм	Асгс, мм	Нсгс, мм	Асгс, мм	Нсгс, мм	Асгс, мм	Нсгс, мм	Асгс, мм	Нсгс, мм	
5	0,05	3	0,05	3																											
7,5	0,05	6	0,05	8	0,05	3	0,05	3	0,05	6	0,05	4	0,05	3																	
10	0,05	9	0,05	10	0,05	9	0,05	10	0,05	9	0,05	6	0,05	3	0,05	5	0,05	3	0,05	6	0,05	5	0,05	6							
15	0,1	11	0,1	10	0,1	12	0,1	13	0,1	9	0,1	8	0,05	7	0,1	11	0,1	13	0,1	11	0,1	11	0,1	10	0,05	8	0,05	10	0,1	9	
20	0,1	12	0,15	12	0,1	14	0,15	13	0,1	11	0,15	11	0,1	13	0,15	11	0,1	13	0,15	13	0,1	13	12	10	0,05	11	0,1	13	0,1	11	
25	0,1	12	0,2	12	0,1	14	0,2	13	0,1	11	0,2	13	0,1	13	0,15	11	0,2	14	0,1	13	0,15	13	12	10	0,05	11	0,2	15	0,1	11	
30	0,1	14	0,5	12	0,15	15	0,25	13	0,15	11	0,1	13	0,15	15	0,25	13	0,2	14	0,2	13	0,25	13	12	10	0,15	11	0,15	15	0,2	11	
35	0,2	14	0,3	12	0,26	15	0,3	13	0,2	11	0,1	13	0,15	15	0,25	13	0,25	14	0,2	13	0,3	13	12	10	0,15	11	0,15	15	0,25	11	

Изм.	Лист	Нодокум.	Подп.	Дата



Таблица 5.4 Балка №3

Нагрузка, кН	Номер трещины																																						
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		
	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм			
5	0,05	7	0,05	3																																			
7,5	0,05	11	0,05	6	0,05	2	0,05	8	0,05	7	0,05	5	0,05	0,05	2	0,05	4																						
10	0,05	11	0,05	6	0,05	2	0,05	8	0,05	11	0,05	5	0,05	0,05	7	0,05	10	0,05	8	0,05	3	0,05	3	0,05	4	0,05	5	0,05	4										
15	0,1	11	0,05	13	0,1	11	0,1	12	0,05	11	0,1	14	0,1	0,1	13	0,1	12	0,1	13	0,1	8	0,05	7	0,1	12	0,05	11	0,05	4	0,05	5	0,05	10	0,05	7	0,05	7	0,05	7
20	0,15	14	0,15	13	0,1	14	0,15	14	0,1	13	0,15	14	0,1	0,15	13	0,15	12	0,2	15	15	13	0,05	9	0,1	12	11	0,05	8	0,05	7	0,05	10	0,05	10	0,05	7	0,05	10	
25	0,2	14	0,2	13	0,2	14	0,25	14	0,15	13	0,2	14	0,2	0,2	13	0,2	15	0,2	15	15	13	0,05	9	0,15	12	14	0,1	8	0,05	13	0,1	14	0,1	10	0,1	11	10	12	
30	0,2	14	0,2	13	0,2	14	0,3	14	0,15	13	0,25	14	0,2	0,2	13	0,25	15	0,2	15	15	13	0,15	12	14	14	0,15	14	0,1	8	0,1	13	0,1	14	0,1	11	10	12		
35	0,3	14	0,25	13	0,25	14	0,3	14	0,2	13	0,25	14	0,25	0,3	13	0,25	15	0,3	15	15	13	0,2	12	14	14	0,2	14	0,1	8	0,1	13	0,1	14	0,1	11	10	12		

Изм.	Лист	Нодокум.	Подп.	Дата

Технический отчёт по теме:
«Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования
в сейсмических районах»

Лист

25



Таблица 5.5 Балка №3.2

Нагрузка , кН	Номер трещины																																		
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16				
	Acrc, мм	Нсрс, мм	Acrc, мм	Нсрс, мм	Acrc, мм	Нсрс, мм	Acrc, мм	Нсрс, мм	Acrc, мм	Нсрс, мм	Acrc, мм	Нсрс, мм	Acrc, мм	Нсрс, мм	Acrc, мм	Нсрс, мм	Acrc, мм	Нсрс, мм	Acrc, мм	Нсрс, мм	Acrc, мм	Нсрс, мм	Acrc, мм	Нсрс, мм	Acrc, мм	Нсрс, мм	Acrc, мм	Нсрс, мм	Acrc, мм	Нсрс, мм					
5	0,05	4	0,05	3	0,05	2	0,05	5	0,05	4	0,05	0,05	1	0,05	0,05	3																			
7,5	0,05	6	0,05	5	0,05	2	0,05	7	0,05	6	0,05	0,05	1	0,05	0,05	3	0,05	8																	
10	0,05	8	0,05	11	0,05	2	0,1	10	0,05	9	0,05	10,05	1	0,05	0,05	6	0,05	8	0,05	0,05	11	0,05	0,05	4	0,05	3	0,05	2							
15	0,1	12	0,1	13	0,1	2	0,1	13	0,1	11	0,1	3	0,1	0,1	9	0,05	11	0,05	11	0,05	11	0,05	7	7	0,05	7	0,1	3	0,1	12	0,1	12	0,25	8	
20	0,15	14	0,1	13	0,05	2	0,05	13	0,15	13	0,1	10	10	0,1	0,1	15	15	11	11	0,1	13	13	7	7	0,1	11	11	0,05	12	0,1	12	12	0,05	12	
25	0,2	14	0,2	15	0,1	2	0,1	13	0,2	13	0,05	10	10	0,1	0,1	15	15	13	13	0,15	13	13	14	14	0,1	11	11	0,1	14	14	12	12	12		
30	0,25	14	0,25	15	0,15	2	0,15	13	0,2	15	0,1	10	10	0,15	0,15	15	15	13	13	0,2	13	13	14	14	0,15	13	11	0,15	14	14	12	12	0,15	14	
35	0,3	14	0,3	15	0,2	2	0,2	13	0,25	15	0,1	10	10	0,2	0,2	15	15	13	13	0,25	14	14	14	14	0,15	13	14	0,3	14	14	12	12	0,2	14	

Изм.	Лист	Недокум.	Подп.	Дата

Технический отчёт по теме:
«Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования
в сейсмических районах»

Лист

26



Таблица 5.6 Балка №4

Нагрузка, кН	Номер трещины																																				
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		
	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм					
40	0,05	6	0,05	4	0,05	3	0,05	7	0,05	9	0,05	5																									
50	0,05	6	0,05	7	0,05	6	0,05	11	0,05	9	0,05	7	0,05	12																							
75	0,05	10	0,05	27	0,05	19	0,05	22	0,05	12	0,05	12	0,05	14	0,05	12	0,05	17	0,05	7	0,05	9	0,05	13	0,05	13	0,05	7	0,05	16	0,05	13					
100	0,1	20	0,1	25	0,05	25	0,1	27	0,1	18	0,05	22	0,1	26	0,05	12	0,1	23	0,1	22	0,05	14	0,05	20	0,05	21	0,05	25	0,05	24	0,05	24					
125	0,05	25	0,05	29	0,05	25	0,05	29	0,05	18	0,05	28	0,05	29	0,05	18	0,05	30	0,05	5	0,05	28	0,05	30	0,05	27	0,05	28	0,05	24	0,05	24	0,05	24	0,05	8	
150	0,15	28	0,1	29	0,1	25	0,15	27	0,1	20	0,1	28	0,15	29	0,1	22	0,1	30	0,1	0,1	28	0,4	14	30	0,1	27	0,05	28	0,1	24	0,1	30	0,05	13			
175	0,15	33	0,1	35	0,1	25	0,15	27	0,1	20	0,1	28	0,1	29	0,1	29	0,1	30	0,1	0,1	28	0,4	19	30	0,1	27	0,05	28	0,1	24	0,1	34	0,05	13			
200	0,2	33	0,2	35	0,15	28	0,15	31	0,1	20	0,15	34	0,15	29	0,15	29	0,1	30	0,15	0,15	28	0,1	23	30	0,15	30	0,1	28	0,15	24	0,15	34	0,05	13			
225	0,2	39	0,2	35	0,15	28	0,15	31	0,1	20	0,15	34	0,15	29	0,15	29	0,1	30	0,15	0,15	28	0,1	23	30	0,15	28	0,15	24	0,15	24	0,15	34	0,05	13			

Изм.	Лист	Недокум.	Подп.	Дата



Таблица 5.6 Балка №4

Нагрузка, кН	Номер трещины																																			
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18	
	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм				
250	0,2	39	0,25	35	0,15	28	0,2	36	0,15	20	0,15	34	0,2	29	0,15	32	0,15	33	0,25	30	0,15	28	0,1	25	0,2	30	0,2	30	0,1	31	0,2	30	0,15	34	0,05	18
275	0,2	39	0,25	35	0,15	28	0,2	36	0,15	20	0,15	34	0,2	29	0,15	32	0,15	33	0,25	30	0,15	28	0,1	25	0,2	30	0,2	30	0,1	31	0,2	30	0,15	34	0,05	18
300	0,25	39	0,25	35	0,2	30	0,25	36	0,2	20	0,25	34	0,2	29	0,2	32	0,15	33	0,3	30	0,2	28	0,15	25	0,2	30	0,25	30	0,15	31	0,2	38	0,2	34	0,2	22
325	0,25	39	0,25	35	0,2	30	0,25	36	0,2	25	0,25	34	0,2	29	0,2	32	0,15	33	0,3	34	0,2	28	0,15	25	0,2	30	0,25	30	0,15	31	0,2	38	0,2	34	0,2	22
350	0,25	39	0,3	35	0,25	30	0,3	36	0,2	25	0,25	34	0,2	29	0,25	32	0,15	33	0,3	34	0,25	28	0,2	25	0,35	30	0,3	30	0,2	31	0,25	38	0,15	34	0,2	22
375	0,25	39	0,3	35	0,3	30	0,35	36	0,2	30	0,25	38	0,2	29	0,25	32	0,15	33	0,3	34	0,3	28	0,2	25	0,35	30	0,35	30	0,2	31	0,3	38	0,2	34	0,15	32
400	0,25	39	0,35	35	0,3	30	0,4	36	0,2	30	0,25	38	0,25	29	0,25	36	0,15	33	0,3	34	0,3	28	0,25	30	0,4	30	0,4	30	0,2	31	0,3	38	0,2	34	0,25	32

Изм.	Лист	Нодокум.	Подп.	Дата

Технический отчёт по теме:
«Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования
в сейсмических районах»

Лист

28



Таблица 5.7 Балка №5

Нар руз, кН	Номер трещины																																															
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24	
	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм						
200	0,05	0,05	0,05	5	5	0,15	30	0,1	26	0,15	30	0,15	35	0,1	20	0,2	0,2	0,2	37	0,15	0,1	35	0,15	30	0,1	30	0,15	0,1	29	0,1	0,1	0,1	30	0,15	0,1	10	0,05	13	0,1	0,1	21	0,1	19	0,1	19			
225	0,05	0,05	0,25	5	5	0,15	30	0,15	31	0,25	30	0,25	35	0,2	20	0,2	0,2	37	0,15	0,15	35	0,15	30	0,15	33	0,15	0,15	0,1	29	0,1	0,1	0,1	30	0,15	0,15	19	0,1	13	0,1	0,1	25	0,1	19	0,1	19			
250	0,05	0,05	0,25	5	5	0,15	30	0,15	31	0,25	30	0,25	35	0,2	20	0,2	0,2	37	0,15	0,15	35	0,15	30	0,15	33	0,15	0,15	0,1	29	0,1	0,1	0,1	30	0,15	0,15	26	0,1	13	0,1	0,1	25	0,1	19	0,1	19			
275	0,05	0,05	0,25	5	5	0,15	30	0,15	31	0,25	30	0,25	35	0,2	20	0,2	0,2	37	0,15	0,15	35	0,15	30	0,15	33	0,15	0,15	0,1	29	0,1	0,1	0,1	30	0,15	0,15	19	0,1	13	0,1	0,1	25	0,1	19	0,1	19			
300	0,05	0,05	0,25	5	5	0,15	30	0,15	31	0,25	32	0,25	35	0,2	20	0,2	0,2	37	0,15	0,15	35	0,15	30	0,15	33	0,15	0,15	0,1	29	0,1	0,1	0,1	30	0,15	0,15	27	0,1	13	0,1	0,1	25	0,1	19	0,1	19			
325	0,05	0,05	0,3	5	5	0,15	30	0,15	31	0,3	32	0,25	35	0,2	20	0,2	0,2	37	0,15	0,15	35	0,15	30	0,15	33	0,15	0,15	0,1	29	0,1	0,1	0,1	30	0,15	0,15	27	0,1	13	0,1	0,1	25	0,1	19	0,1	19			
350	0,05	0,05	0,3	5	5	0,15	30	0,15	31	0,3	32	0,25	35	0,2	20	0,2	0,2	37	0,15	0,15	35	0,15	30	0,15	33	0,15	0,15	0,1	29	0,1	0,1	0,1	30	0,15	0,15	27	0,1	13	0,1	0,1	25	0,1	19	0,1	19			
375	0,05	0,05	0,3	5	5	0,15	30	0,15	31	0,35	32	0,25	35	0,2	20	0,2	0,2	37	0,15	0,15	35	0,15	30	0,15	33	0,15	0,15	0,1	29	0,1	0,1	0,1	30	0,15	0,15	27	0,1	13	0,1	0,1	25	0,1	19	0,1	19			
400	0,05	0,05	0,3	5	5	0,15	30	0,15	31	0,35	32	0,25	35	0,2	20	0,2	0,2	37	0,15	0,15	35	0,15	30	0,15	33	0,15	0,15	0,1	29	0,1	0,1	0,1	30	0,15	0,15	27	0,1	13	0,1	0,1	25	0,1	19	0,1	19			

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата
------	------	---------	-------	------



Таблица 5.8 Балка №6.1

Нагрузка, кН	Номер трещины																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	Асрс, мм Нсрс, мм																						
50	0,05	50	0,05	50	0,05	50	0,05	50	0,05	50	0,05	50	0,05	50	0,05	50	0,05	50	0,05	50	0,05	50	0,05
75	0,05	10	0,1	18	0,1	15	0,1	15	0,05	70	0,1	9	0,05	5	0,1	11	0,1	12					
100	0,08	25	0,1	32	0,1	28	0,07	25	0,1	24	0,08	24	14	0,05	20	7	9	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	15
125	0,05	22	0,1	32	0,2	28	0,15	27	0,1	24	0,1	28	14	0,05	28	25	9	0,08	17	0,1	29	0,1	15
150	0,1	22	0,1	32	0,15	28	0,1	27	0,1	24	0,1	28	14	0,1	33	25	9	0,1	17	0,1	35	0,1	15
175	0,1	22	0,1	32	0,2	28	0,1	27	0,1	24	0,15	28	23	0,15	33	25	9	0,1	17	0,1	35	0,15	15
200	0,1	22	0,2	32	0,2	28	0,15	27	0,1	24	0,1	28	26	0,2	33	28	9	0,1	17	0,15	35	0,15	23
225	0,1	22	0,2	32	0,2	28	0,15	27	0,1	24	0,1	28	26	0,2	33	28	9	0,1	17	0,15	35	0,15	25
250	0,1	22	0,2	32	0,2	28	0,15	27	0,1	24	0,1	28	26	0,2	33	28	9	0,1	17	0,15	35	0,15	25

Изм.	Лист	Нодокум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Технический отчёт по теме:
«Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования
в сейсмических районах»



Таблица 5.9 Балка №6.2

Нагрузка, кН	Номер трещины																																											
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18									
	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм										
40	0,05	14	0,05	12																																								
50	0,05	20	0,05	12	0,05	20	0,05	7	0,05	11	0,05	16	0,05	6	0,05	10																												
75	0,05	25	0,05	17	0,05	26	0,05	10	0,05	11	0,05	27	0,05	27	26	26	0,05	17	0,05	20	0,05	18	0,05	13	19	0,05	19	0,05	24															
100	0,05	28	0,05	26	0,05	29	0,05	13	0,05	11	0,05	27	0,05	27	26	26	0,05	20	0,05	27	0,05	23	0,05	13	19	0,05	19	0,05	24	0,05	8													
125	0,1	31	0,05	30	0,1	20	0,1	19	0,1	20	0,1	27	0,1	26	31	31	0,1	20	0,1	30	0,1	23	0,05	17	28	0,05	28	0,1	24	0,05	8	8	0,05	15	10	0,05	25							
150	0,1	31	0,05	30	0,1	202	0,1	19	0,1	24	0,1	32	0,1	26	31	31	0,1	20	0,1	30	0,1	23	0,05	21	28	0,05	28	0,1	24	0,05	8	8	0,05	15	15	0,05	30	0,1	22					
175	0,15	31	0,15	30	0,15	29	0,1	22	0,1	27	0,15	37	0,1	26	31	31	0,1	30	0,15	30	0,15	32	0,1	27	27	0,1	27	0,15	24	0,1	8	8	0,1	13	13	0,05	30	0,1	27					
200	0,15	31	0,15	33	0,15	32	0,1	29	0,1	27	0,15	33	0,1	26	31	31	0,15	30	0,15	30	0,15	32	0,1	31	30	0,15	30	0,15	30	0,1	8	8	0,1	13	13	0,05	30	0,1	27					
225	0,15	31	0,15	33	0,2	32	0,15	29	0,15	27	0,15	33	0,15	26	31	30	0,15	30	0,15	30	0,2	32	0,1	31	0,158	30	0,2	30	0,1	8	8	0,1	13	13	0,1	30	0,15	27						

Изм.	Лист	Недокум.	Подп.	Дата

Технический отчёт по теме:
«Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования
в сейсмических районах»



Таблица 5.9 Балка №6.2

Нагрузка, кН	Номер трещины																																			
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18	
	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм	Асрс, мм	Нсрс, мм		
250	0,15	31	0,15	33	0,2	32	0,15	29	0,15	27	0,15	33	0,15	26	0,1	31	0,15	30	0,15	30	0,2	35	0,1	31	0,158	30	0,2	30	0,1	8	0,1	13	0,1	30	0,15	27
275	0,2	31	0,2	33	0,2	32	0,2	29	0,2	27	0,2	33	0,2	26	0,2	31	0,2	30	0,2	30	0,2	35	0,15	34	0,2	37	0,25	30	0,15	8	0,15	13	0,1	30	0,2	27
300	0,2	31	0,2	33	0,2	32	0,2	29	0,2	33	0,2	33	0,2	31	0,2	31	0,2	30	0,2	30	0,2	35	0,15	34	0,2	37	0,25	30	0,15	8	0,15	13	0,1	30	0,2	33
325	0,25	34	0,2	33	0,25	32	0,2	29	0,2	33	0,2	33	0,25	31	0,25	31	0,25	30	0,2	30	0,3	35	0,15	34	0,2	37	0,25	32	0,2	8	0,1	13	0,1	30	0,2	33
350	0,25	34	0,2	33	0,25	32	0,2	29	0,2	33	0,2	33	0,25	31	0,25	31	0,25	30	0,2	30	0,3	35	0,15	38	0,2	38	0,25	32	0,2	8	0,1	13	0,1	30	0,2	33
375	0,3	34	0,2	33	0,25	32	0,25	29	0,25	33	0,25	33	0,3	31	0,25	31	0,3	30	0,2	30	0,35	35	0,15	38	0,2	38	0,35	32	0,2	8	0,15	13	0,1	30	0,2	33
400	0,3	34	0,2	33	0,25	32	0,25	29	0,25	33	0,25	33	0,3	31	0,25	31	0,3	30	0,2	30	0,35	35	0,15	38	0,2	38	0,35	32	0,2	8	0,15	18	0,1	30	0,2	33

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

Технический отчёт по теме:
«Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования
в сейсмических районах»

Лист

34



Таблица 5.10 Предельная нагрузка на балки

Расчет по прочности

	12 мм А500СП	12 мм А500С	12 мм А500С	36 мм А500СП	36 мм А500С	36 мм А500С	Ед. изм.
Mult=	2479,97	2438,41	2627,14	48846,39	46375,32	47275,21	кНсм
x=	3,71	3,63	4,00	19,58	18,18	18,68	см
Fult=	49,60	48,77	52,54	488,46	463,75	472,75	кН
h0=	19,00	19,00	19,00	50,00	50,00	50,00	см

Параметры материалов и конструирования

Rsc	35,3	35,3	35,3	61,7	61,7	61,7	кН/см ²
Rs	55,7	54,5	60	59,1	55,2	56,6	кН/см ²
Asc	0,57	0,57	0,57	1,57	1,57	1,57	см ²
As	2,26	2,26	2,26	20,36	20,36	20,36	см ³
Rb	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	кН/см ²
b	15	15	15	25	25	25	см
a'	3	3	3	5	5	5	см
H	22	22	22	55	55	55	см
L	300	300	300	600	600	600	см

Примечание: параметры материалов приняты по лабораторным испытаниям контрольных образцов (Приложение Б).

Изм.	Лист	Недокум.	Подп.	Дата



Таблица 5.11 Определение момента трещинообразования

Расчет момента трещинообразования

	12 мм А500СП	12 мм А500С	12 мм А500С	36 мм А500СП	36 мм А500С	36 мм А500С	Ед. изм.
H	22	22	22	55	55	55	см
B	15	15	15	25	25	25	см
a	3	3	3	5	5	5	см
a'	3	3	3	5	5	5	см
Eb	26618	26618	26618	26618	26618	26618	МПа
Es	200000	200000	200000	200000	200000	200000	МПа
α	7,51	7,51	7,51	7,51	7,51	7,51	-
A	330	330	330	1375	1375	1375	см ²
Asc	0,6	0,6	0,6	1	1	1	см
As	1,2	1,2	1,2	3,6	3,6	3,6	см
Ared	351,2638064	351,2638064	351,2638064	1539,775716	1539,775716	1539,775716	см ²
h0'	19	19	19	50	50	50	см
Sred	3762,316478	3762,316478	3762,316478	39167,22237	39167,22237	39167,22237	см ³
Yt	10,71	10,71	10,71	25,44	25,44	25,44	см ⁴
I	13337,60	13337,60	13337,60	352466,73	352466,73	352466,73	см ⁴
Is	134,37	134,37	134,37	8503,75	8503,75	8503,75	см ⁴
Is'	33,89	33,89	33,89	655,74	655,74	655,74	см ⁴
Ired	13505,86	13505,86	13505,86	361626,23	361626,23	361626,23	см ⁴
Wred	1260,96	1260,96	1260,96	14216,56	14216,56	14216,56	см ³
γ	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	см
Rbt	0,18425	0,18425	0,18425	0,18425	0,18425	0,18425	кН/см ²
Wpl	1639,24	1639,24	1639,24	18481,53	18481,53	18481,53	см ³
Merc	302,03	302,03	302,03	3405,22	3405,22	3405,22	кНсм
Ferc	6,04	6,04	6,04	34,05	34,05	34,05	кН

Изм.	Лист	Недокум.	Подп.	Дата

Технический отчет по теме:
«Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования
в сейсмических районах»

Лист

36



В таблице 5.12 приведено сравнение теоретического расчета момента трещинообразования и фактического по результатам экспериментальных исследований.

Таблица 5.12 Результаты испытаний балок

№	Маркировка балок	Класс арматуры	Диаметр арматуры	F_R	$M_{срс, теор.}$	$M_{срс, эксп.}$	$\frac{M_{срс, эксп.}}{M_{срс, теор.}} \cdot 100\%$
Момент трещинообразования по первым визуальным трещинам*							
1	1	A500C	12	0,071	302,03	250	82,77 (-17,23%)
2	2	A500C	12	0,084	302,03	250	82,77 (-17,23%)
3	3	A500СП	12	0,101	302,03	250	82,77 (-17,23%)
4	3.2	A500СП	12	0,101	302,03	250	82,77 (-17,23%)
5	4	A500C	36	0,071	3405,22	4000	117,46 (+17,47%)
6	5	A500C	36	0,088	3405,22	3000	88,09 (-11,90%)
7	6	A500СП	36	0,107	3405,22	5000	146,83 (+46,83%)
8	6.2	A500СП	36	0,107	3405,22	4000	117,46 (+17,47%)
Момент трещинообразования при деформациях арматуры 0,00015 е.о.д.**							
9	1	A500C	12	0,071	302,03	377,945	125,13 (+25,13%)
10	2	A500C	12	0,084	302,03	250,935	83,08 (-16,92%)
11	3	A500СП	12	0,101	302,03	308,275	102,07 (+2,07%)
12	3.2	A500СП	12	0,101	302,03	330,47	109,42 (+9,42%)
13	4	A500C	36	0,071	3405,22	5003,78	146,94 (+46,94%)
14	5	A500C	36	0,088	3405,22	4831,48	141,88 (+41,88%)
15	6	A500СП	36	0,107	3405,22	4051,55	118,98 (+18,98%)
16	6.2	A500СП	36	0,107	3405,22	4291,93	126,04 (+26,04%)

Примечание: *момент трещинообразования определен по первым визуальным трещинам, появившимся на балках; **момент трещинообразования определен при среднем значении деформации растянутой продольной арматуры равной 0,00015 е.о.д.

На рисунках 5.1–5.32 приведены диаграммы прогибов балок во время испытаний и фотографии до и после разрушения.



Рисунок 5.1 Балка №1 до испытания



Рисунок 5.2 Балка №1 после испытания

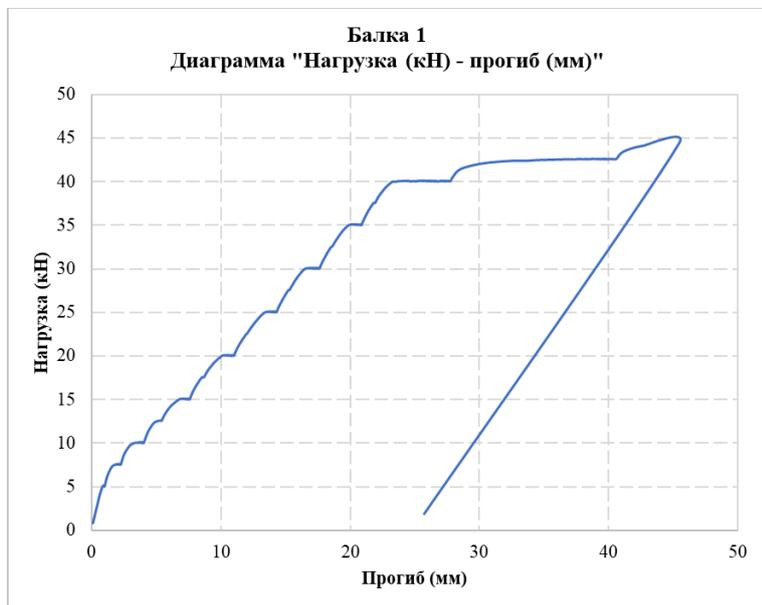


Рисунок 5.3 Балка №1. График «Нагрузка, кН-прогиб, мм»



Рисунок 5.4 Балка №1 место разрушения

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата
------	------	---------	-------	------

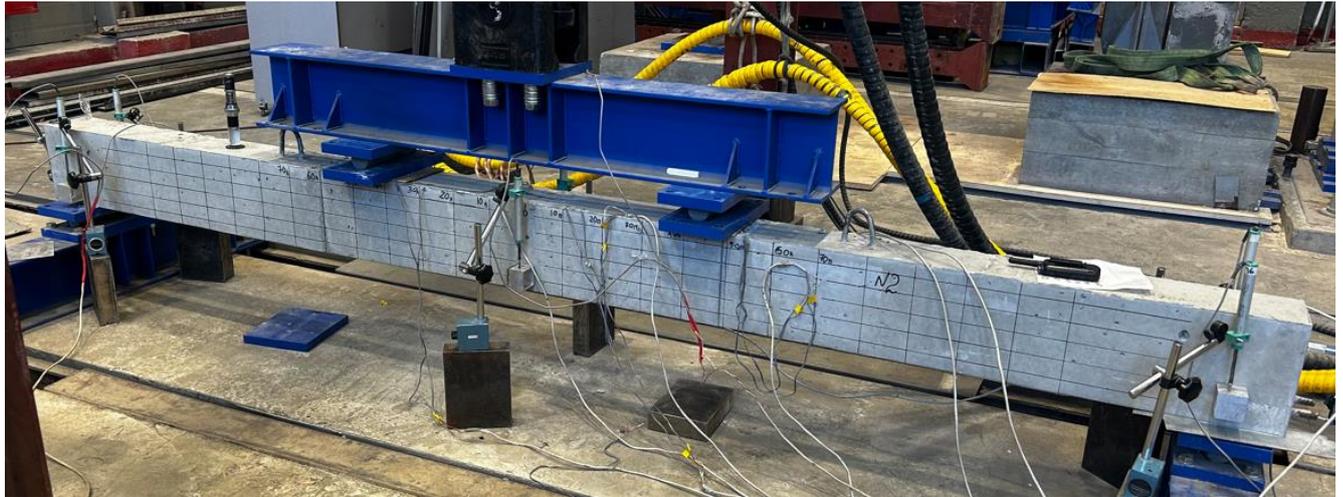


Рисунок 5.5 Балка №2 до испытания



Рисунок 5.6 Балка №2 после испытания

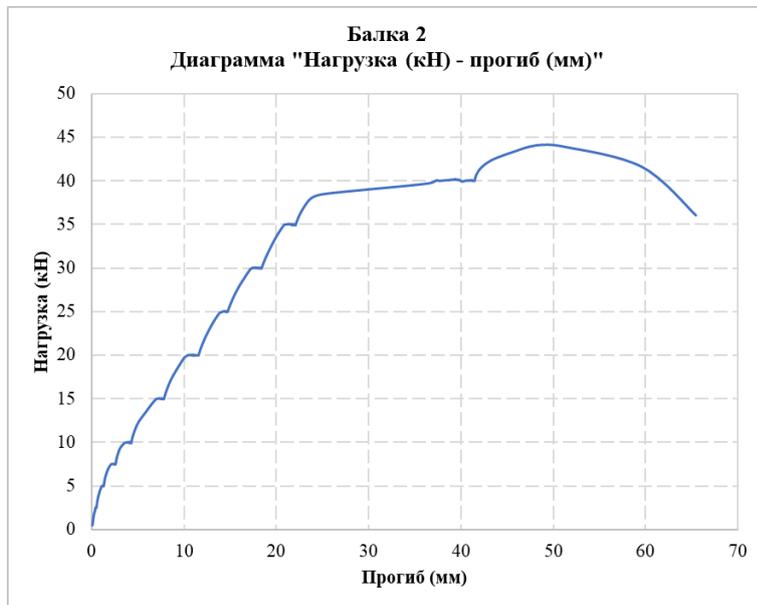


Рисунок 5.7 Балка №2. График «Нагрузка, кН-прогиб, мм»

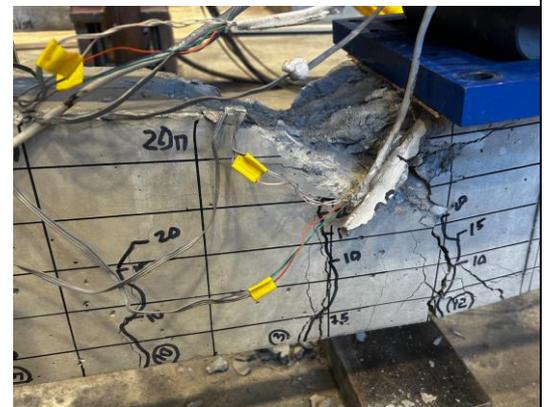


Рисунок 5.8 Балка №2 место разрушения

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата
------	------	---------	-------	------



Рисунок 5.9 Балка №3 до испытания



Рисунок 5.10 Балка №3 после испытания

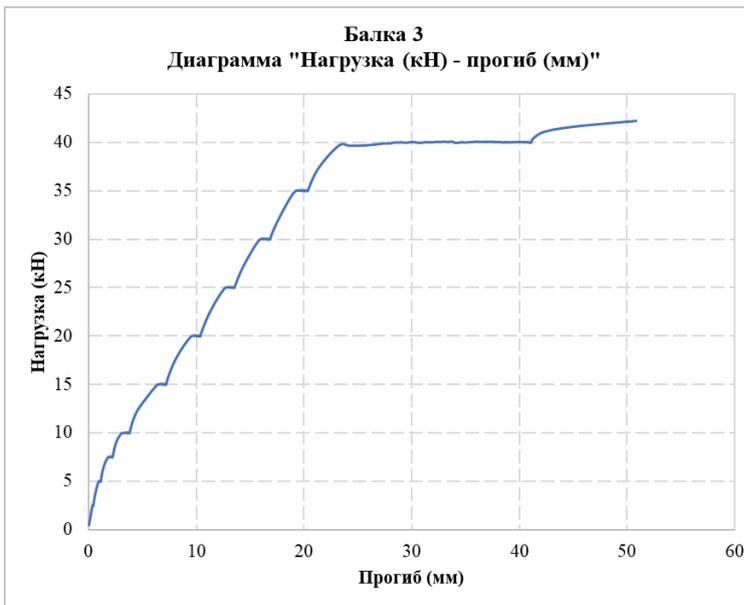


Рисунок 5.11 Балка №3. График «Нагрузка, кН-прогиб, мм»



Рисунок 5.12 Балка №3 место разрушения

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата
------	------	---------	-------	------

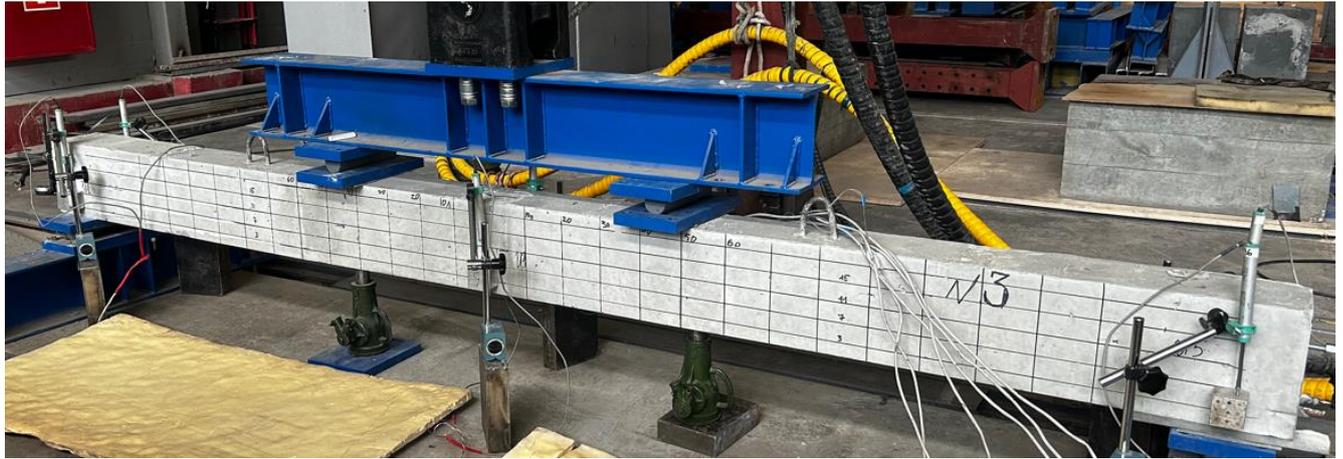


Рисунок 5.13 Балка №3.2 до испытания



Рисунок 5.14 Балка №3.2 после испытания

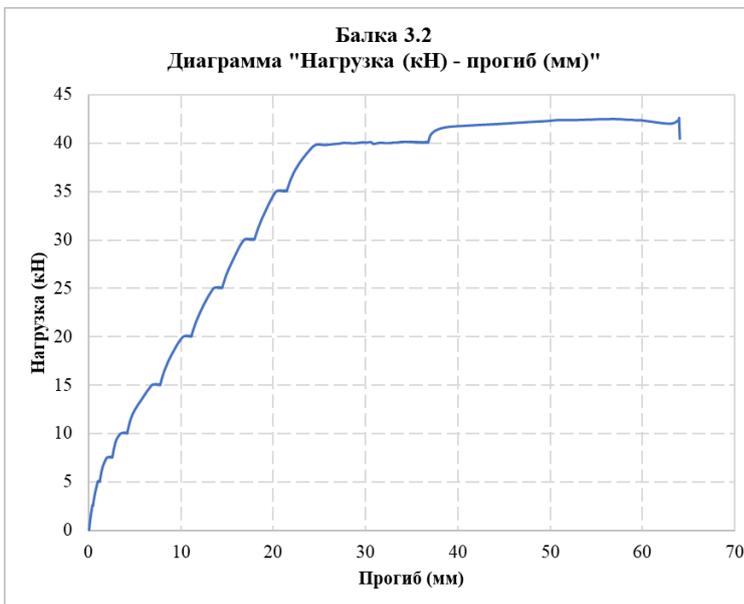


Рисунок 5.15 Балка №3.2. График «Нагрузка, кН-прогиб, мм»

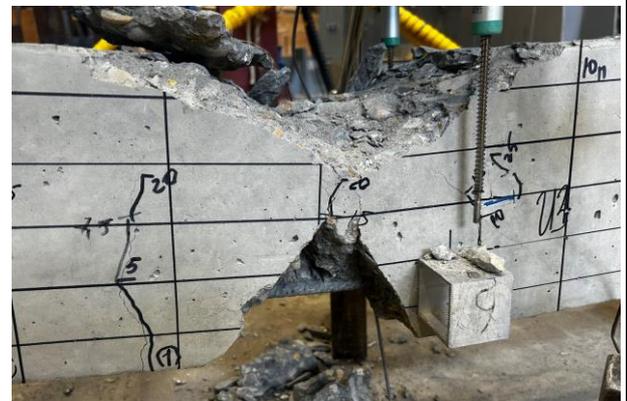


Рисунок 5.16 Балка №3.2 место разрушения

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата
------	------	---------	-------	------



Рисунок 6.17 Балка №4 до испытания



Рисунок 5.18 Балка №4 после испытания

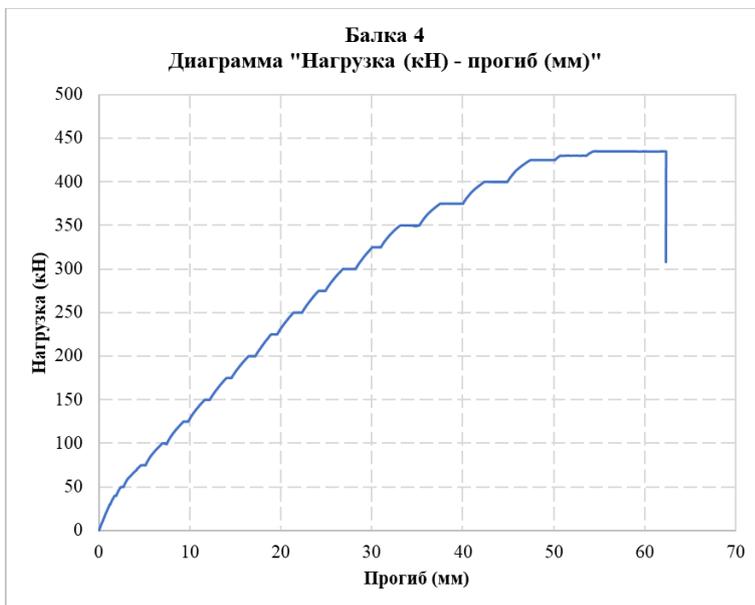


Рисунок 5.19 Балка №4. График «Нагрузка, кН-прогиб, мм»



Рисунок 5.20 Балка №4 место разрушения

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата



Рисунок 5.21 Балка №5 до испытания



Рисунок 5.22 Балка №5 после испытания

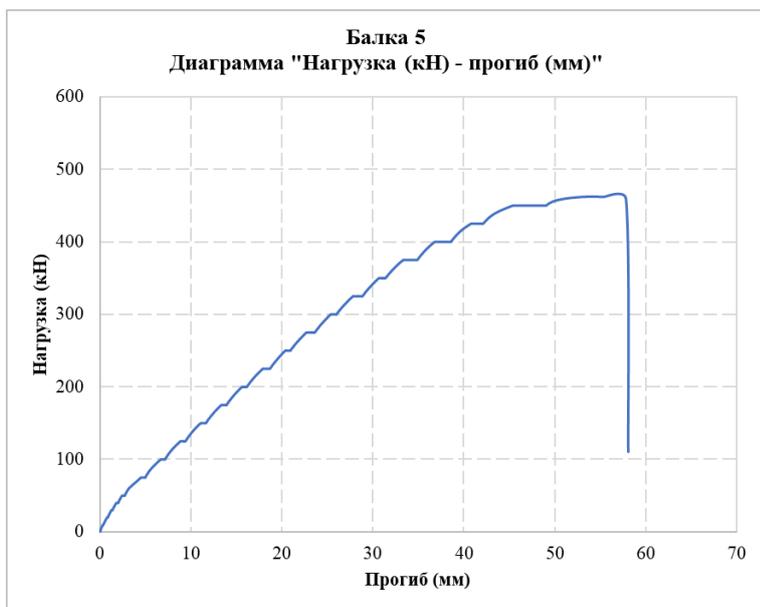


Рисунок 5.23 Балка №5. График «Нагрузка, кН-прогиб, мм»



Рисунок 5.24 Балка №5 место разрушения

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

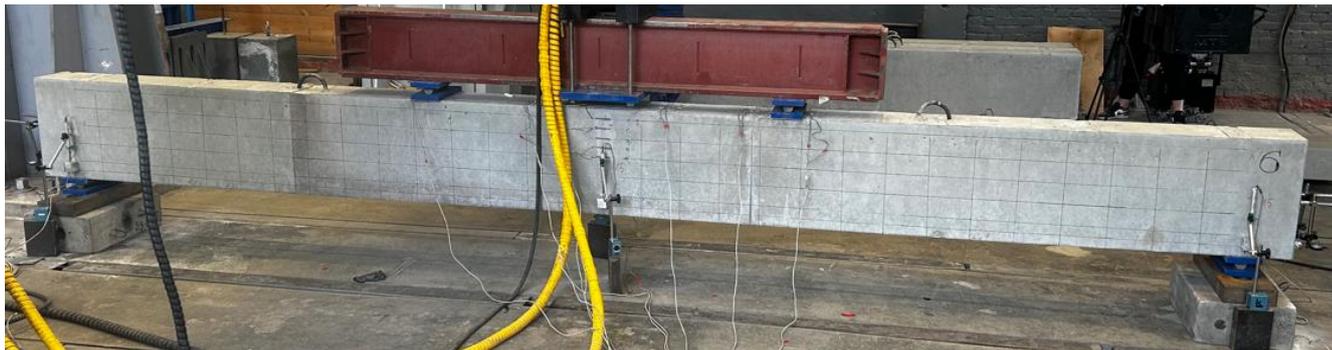


Рисунок 5.25 Балка №6 до испытания

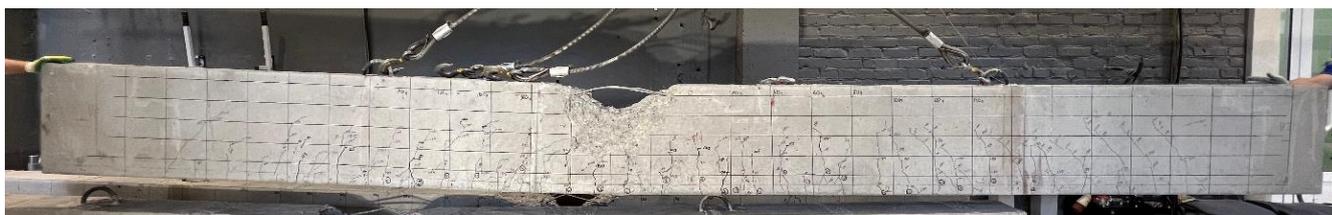


Рисунок 5.26 Балка №6 после испытания

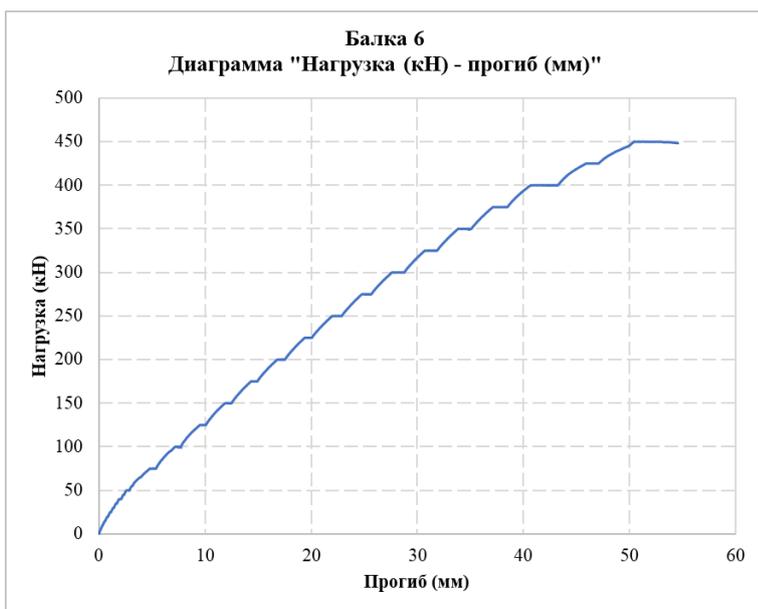


Рисунок 5.27 Балка №6. График «Нагрузка, кН-прогиб, мм»

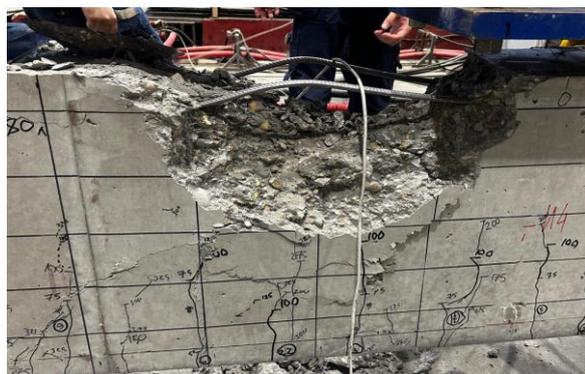


Рисунок 5.28 Балка №5 место разрушения



Рисунок 5.29 Балка №6.2 до испытания



Рисунок 5.30 Балка №6.2 после испытания

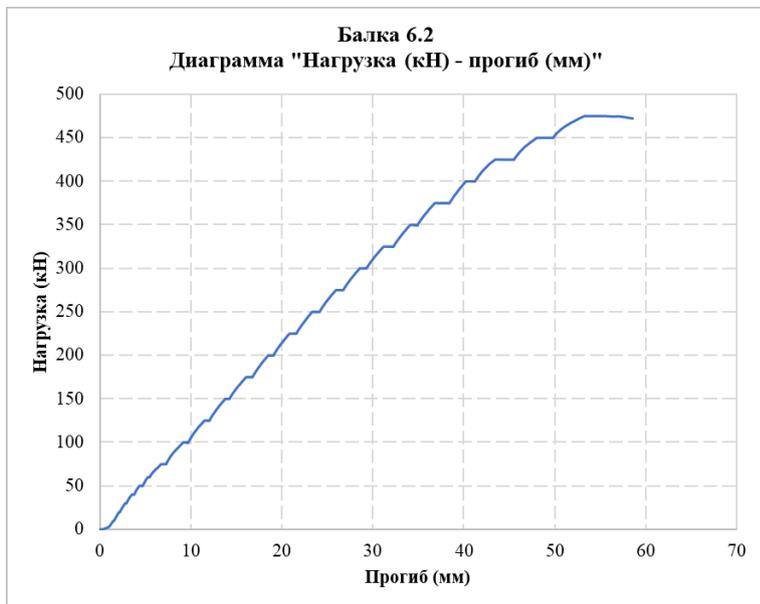


Рисунок 5.31 Балка №6.2. График «Нагрузка, кН-прогиб, мм»



Рисунок 5.32 Балка №5 место разрушения

По тензорезисторам, установленным на бетоне сжатой зоны и продольной растянутой арматуре, построим эпюры деформаций по сечению балок. Эпюры деформаций балок №1–6.2 представлены на рисунках 5.33–5.40. Для балок №1–3.2 эпюры деформаций бетона и арматуры построены при внешней нагрузке равной 35 кН, для балок №4–6.2 эпюры деформаций бетона и арматуры построены при внешней нагрузке равной 400 кН.

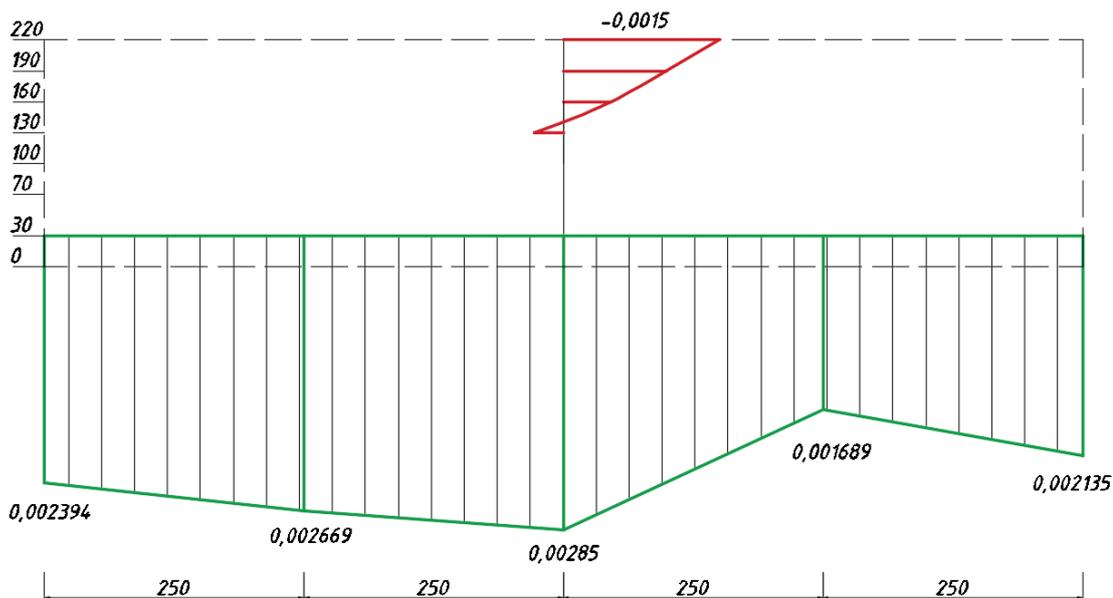


Рисунок 5.33 Эпюра деформаций бетона и арматуры. Балка №1

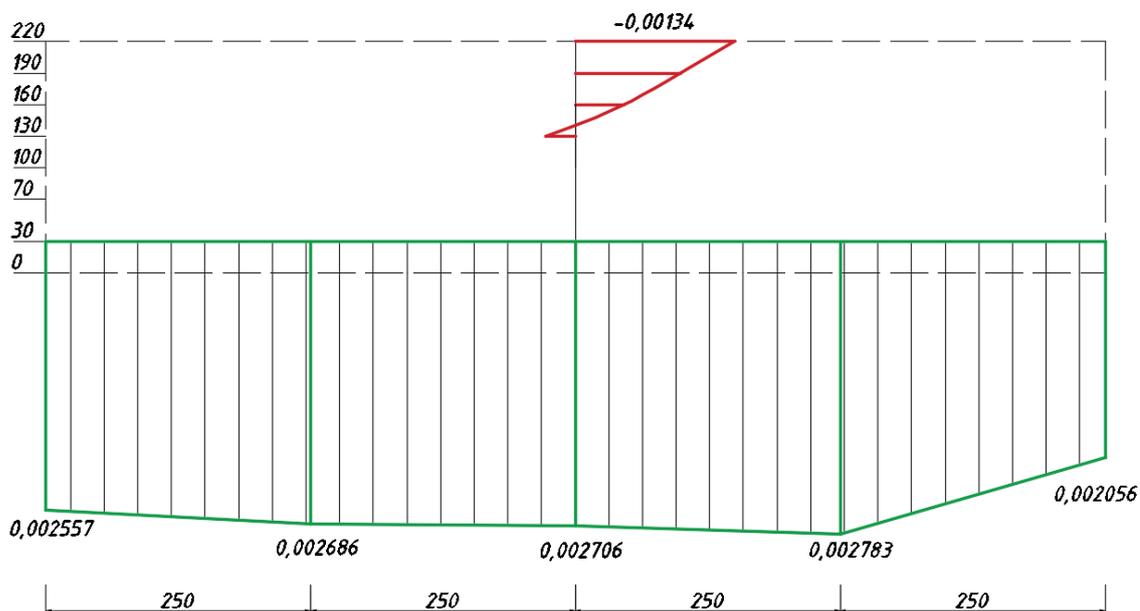


Рисунок 5.34 Эпюра деформаций бетона и арматуры. Балка №2

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

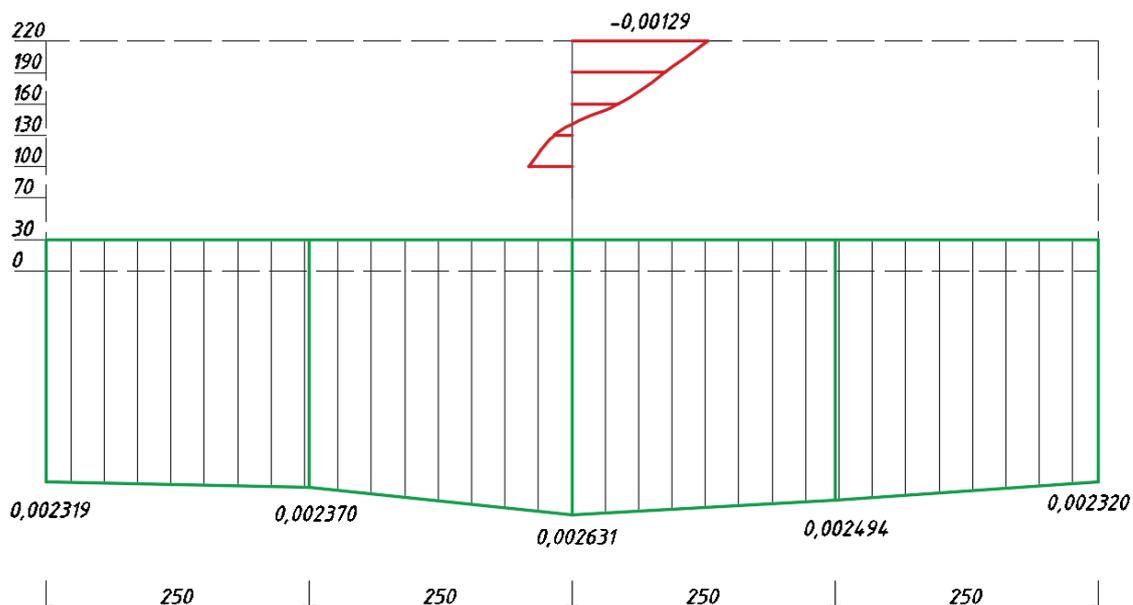


Рисунок 5.35 Эпюра деформаций бетона и арматуры. Балка №3

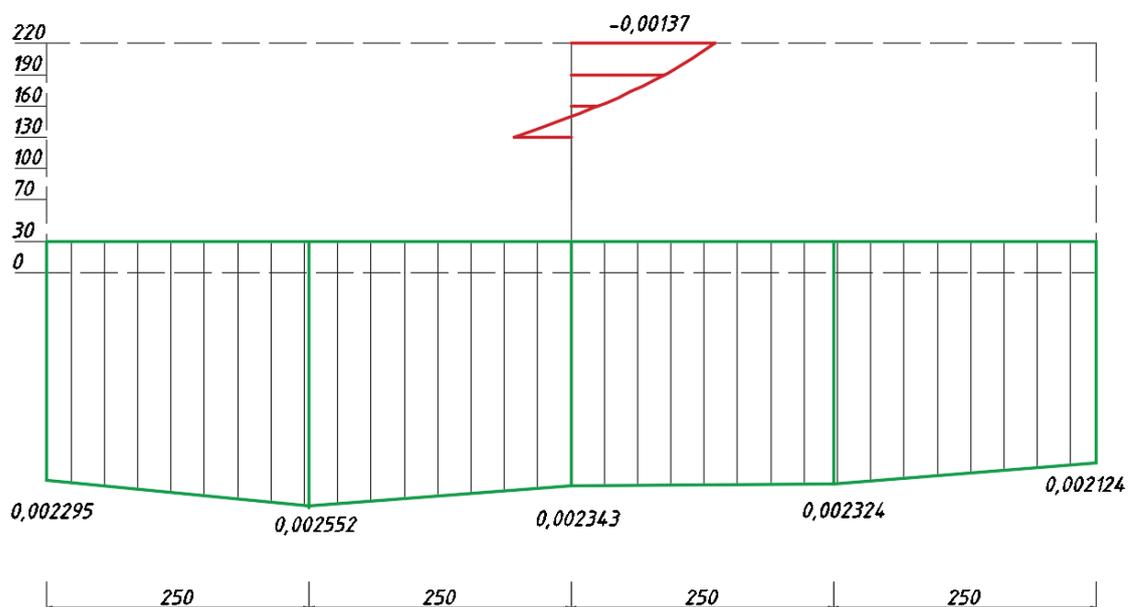


Рисунок 5.36 Эпюра деформаций бетона и арматуры. Балка №3.2

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

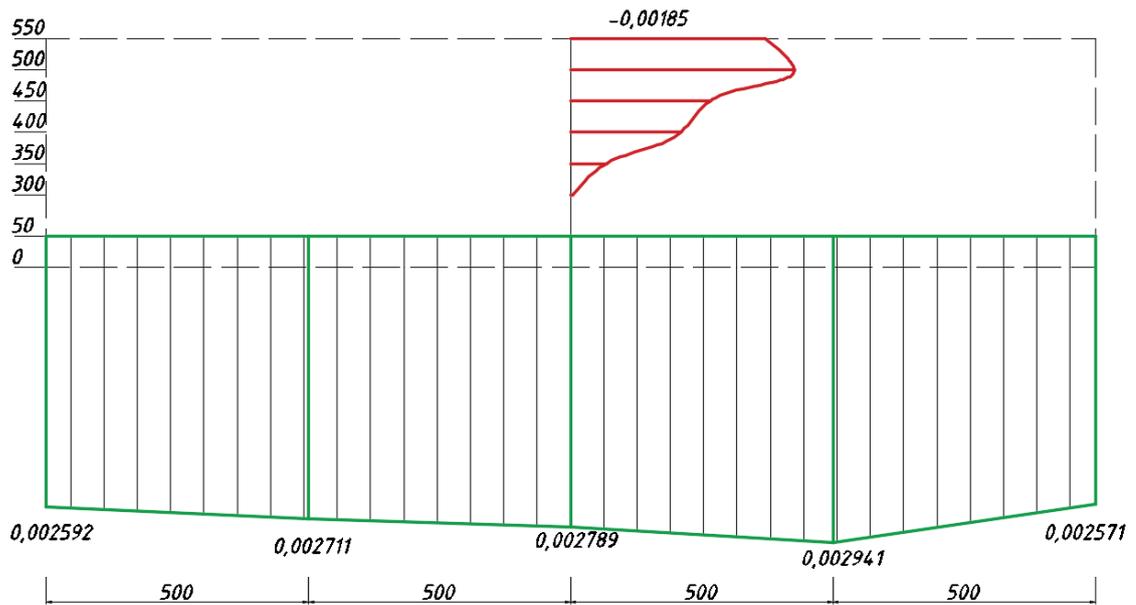


Рисунок 5.37 Эпюра деформаций бетона и арматуры. Балка №4

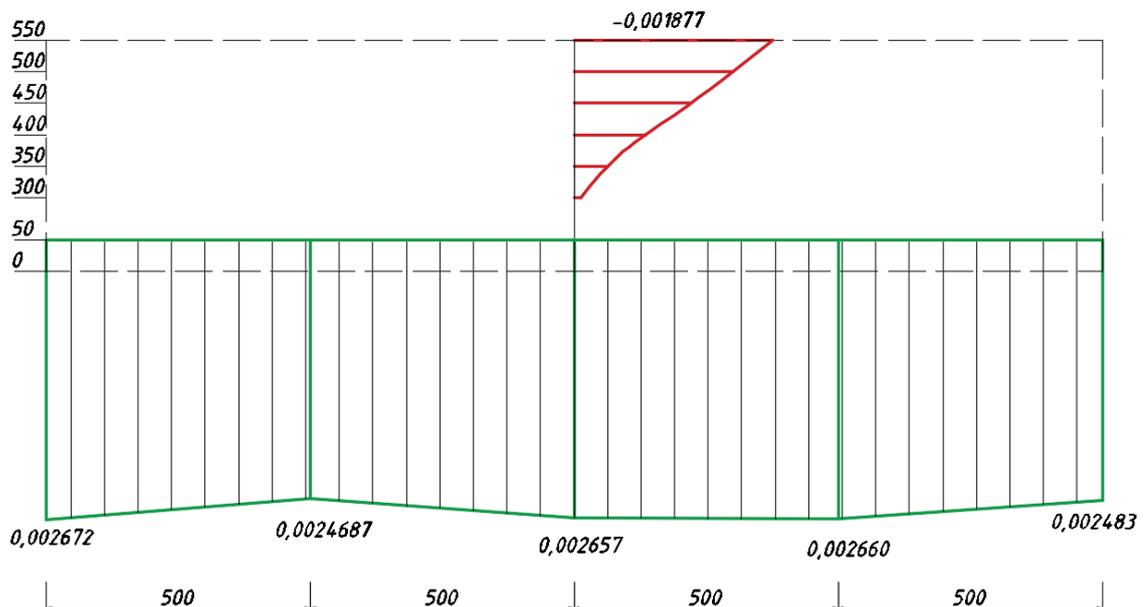


Рисунок 5.38 Эпюра деформаций бетона и арматуры. Балка №5

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

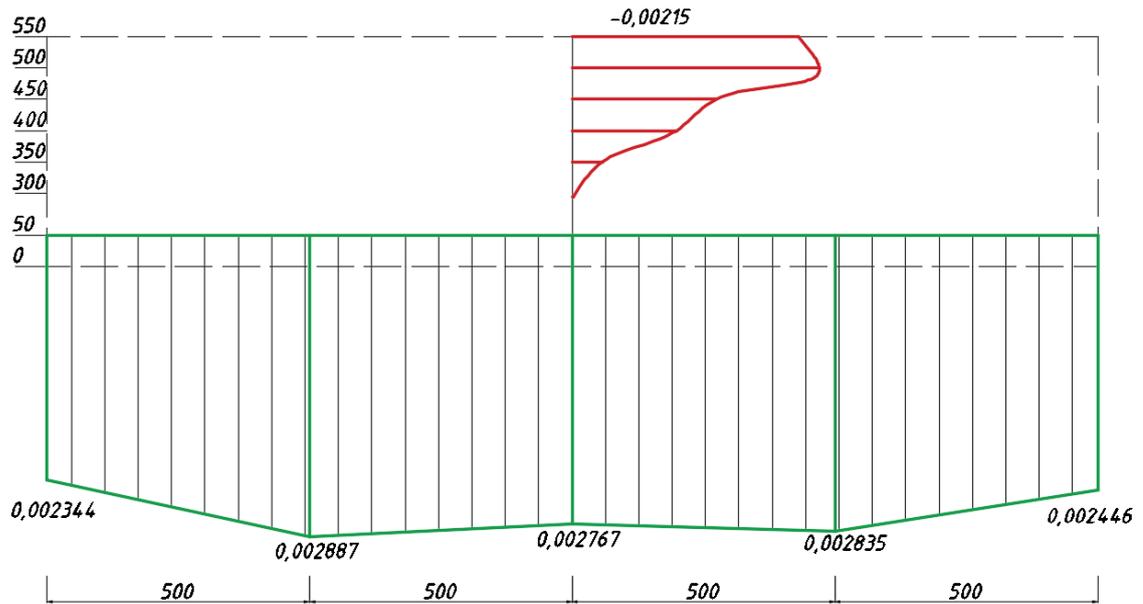


Рисунок 5.39 Эпюра деформаций бетона и арматуры. Балка №6

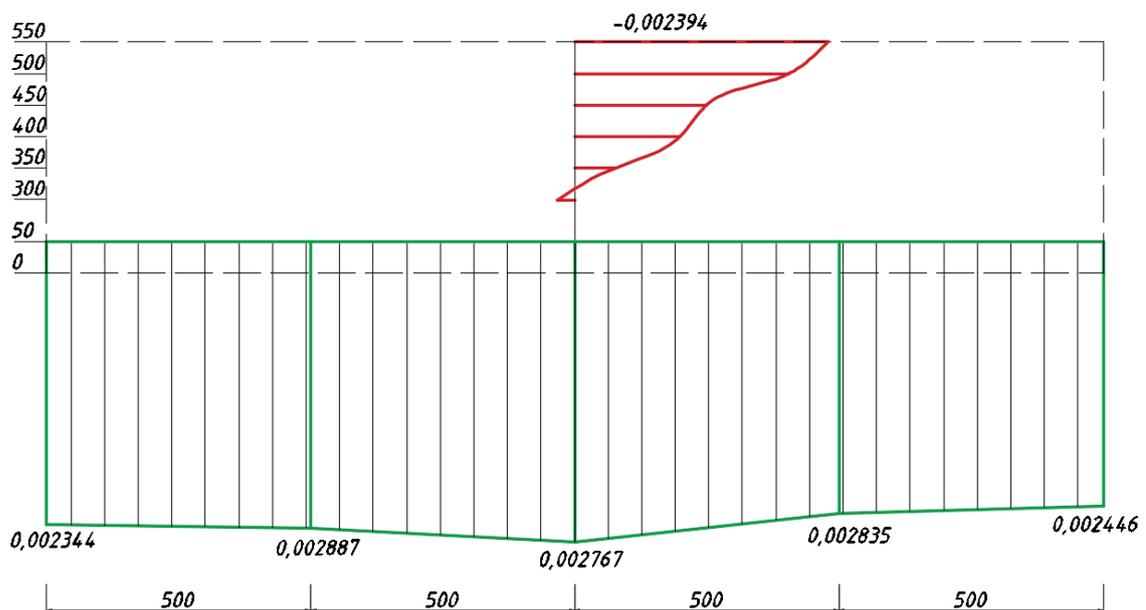


Рисунок 5.40 Эпюра деформаций бетона и арматуры. Балка №6.2

В таблице 5.13 приведены предельные деформации арматуры, при достижении которых железобетонная балка теряет несущую способность по первой группе предельных состояний.



Таблица 5.13 Предельные деформации арматуры

№	Маркировка образца	Предел текучести σ_T (МПа)	Деформация при пределе текучести ϵ_y (е.о.д.)	Среднее значение деформации при пределе текучести ϵ_y (е.о.д.)
1	A500C Ø12-1	543,7	0,0027185	0,00272325
2	A500C Ø12-2	545,6	0,002728	
3	A500СП Ø12-1	570,1	0,0028505	0,00278825
4	A500СП Ø12-2	545,2	0,002726	
5	A500C Ø36-1	566,6	0,002833	0,002832
6	A500C Ø36-2	566,2	0,002831	
7	A500СП Ø36-1	590,1	0,0029505	0,0029555
8	A500СП Ø36-2	592,1	0,0029605	
13	A500C Ø12-1	599,5	0,0029975	0,00300325
14	A500C Ø12-2	601,8	0,003009	
15	A500C Ø36-1	552,3	0,0027615	0,0027635
16	A500C Ø36-2	553,1	0,0027655	

Примечание: модуль упругости арматуры принят 200 000 МПа.

Для определения коэффициента φ_2 воспользуемся формулой из СП 63.13330.2018 [3] для расчета ширины раскрытия трещин (4):

$$a_{crc} = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot l_s \quad (4)$$

$$\varphi_2 = \frac{a_{crc}}{\varphi_1 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot l_s} \quad (5)$$

где: σ_s -напряжение в продольной растянутой арматуре в нормальном сечении с трещиной от соответствующей внешней нагрузки; l_s -базовое (без учета влияния вида поверхности арматуры) расстояние между смежными нормальными трещинами; ψ_s -коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами; φ_1 - коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки; φ_2 - коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры; φ_3 - коэффициент, учитывающий характер нагружения.

При расчетах примем следующие значения коэффициентов в формуле 4:

- $\varphi_1=1,0$;

- $\varphi_3=1,0$;

- $\psi_s \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$ – принято, как осредненные деформации по длине стержня;

- l_s – принято, как среднее значение расстояние между трещинами в зоне максимального изгибающего момента.

В таблице 5.14 приведены результаты расчетов.



Таблица 5.14 Определение коэффициента φ_2

№ п. п.	Наименование	Номера балок							
		1	2	3	3.2	4	5	6	6.2
1	φ_2 (по СП 63.13330)	0,5	0,5	-	-	0,5	0,5	-	-
2	φ_2 по СТО 36554501-065-2020*	-	-	0,4	0,4	-	-	0,4	0,4
3	$\psi_s \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$, е.о.д.	0,0023 47	0,0025 58	0,0024 27	0,0023 28	0,0027 21	0,0025 88	0,0026 56	0,0026 56
4	l_s , мм	100	100	100	100	200	200	200	200
5	$\overline{a_{crc}}$ (среднее по испытаниям)	0,196	0,218	0,25	0,23	0,285	0,293	0,25	0,257
6	a_{crc}^{max} (максимальное при испытаниях)	0,25	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,35	0,35
7	$a_{crc}^{СП63}$ (расчетное по [3])	0,41	0,41	-	-	0,438	0,438	-	-
8	$a_{crc}^{СТО}$ (расчетное по СТО 36554501-065-2020*)	-	-	0,328	0,328	-	-	0,351	0,351
9	$a_{crc}^{СП63,СТО} / \overline{a_{crc}}$	2,091	1,88	1,312	1,426	1,536	1,494	1,404	1,365

По результатам испытаний можно сделать выводы:

- экспериментально подтверждено образование трещин в зоне изгиба балок как среднее по испытаниям, так и максимальное с меньшим значением относительно расчетного значения по формулам СП 63.13330 и СТО 36554501-065-2020*.

- Разница в значениях ширины раскрытия трещины между расчетным и средними экспериментальными значениями для арматуры А500СП составила 31,2-42,6%.

- Подтверждены положения СТО 36554501-065-2020* об эффективности применения А500СП относительно расчетных значений согласно СП 63.13330.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании ТЗ к договору №К.241-24 от 09 января 2024 года на выполнение работ по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах» между АО ЕВРАЗ ЗСМК и НИУ МГСУ, в полном объеме были выполнены испытания всех образцов согласно ПМИ [6];

2. По результатам проведенных испытаний арматура класса А500СП Ø12 и Ø36, поставленная Заказчиком, соответствует требованиям п. 6.7.6 СП 14.13330.2018 [5]. Относительное удлинение при максимальном напряжении и отношение временного сопротивления к пределу текучести для трех представленных образцов соответствуют требованиям 9 баллов согласно СП 14.13330 изм. 2 и для одного образца соответствуют требованиям 7 баллов согласно СП 14.13330 изм. 2.

3. Ранее установленная возможность использования в соответствии п.8.3. СТО 36554501-065-2020 [1] коэффициента η_1 равным 2,8 (на 12% выше установленного п.10.3.24 СП 63.13330.2018 [3] значения 2,5 - для горячекатанной и термомеханически обработанной арматуры класса А), не противоречит полученным результатам, свидетельствующим о повышенной эффективности анкеровки профиля А500СП.

4. Применение коэффициента $\varphi_2 = 0,4$ (в соответствии с СТО [1]) для изгибаемых элементов, армированных А500СП, обеспечивает меньшую погрешность определения расчетного значения ширины раскрытия трещин при сравнении экспериментальными значениями. Фактическое значение ширины раскрытия трещин у балок с А500СП ниже расчетного по СП 63.13330.2018.

					Технический отчет по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
						52
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		



СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СТО 36554501-065-2020* «Применение арматуры классов А500СП, А_у500СП и А600СП в железобетонных конструкциях», АО «НИЦ «Строительство», 2021 г.;
2. ТУ 14-1-5226-2017 «Прокат арматурный класса А500СП, А600СП с эффективным периодическим профилем», ЦССМ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина», 2017 г.;
3. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»;
4. СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия»;
5. СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах»;
6. Программа и методика испытаний по теме «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах». Этап 1. Шифр № Пр-ДГЗС7, НИУ МГСУ, к.т.н. Шувалов А. Н., Какуша В. А, 2024 г.;
7. ГОСТ 12004–81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение»;
8. ГОСТ Р 57357–2016 «Сталь для армирования железобетонных конструкций. Технические условия»;
9. ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам»;
10. ГОСТ 24452–2023 «Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона»;
11. Цыба О.О. Трещиностойкость и деформативность растянутого железобетона с ненапрягаемой и напрягаемой стержневой арматурой, имеющей различную относительную площадь смятия поперечных ребер. Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 2011 г.

					Технический отчет по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
						53
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		



ПРИЛОЖЕНИЕ А.
ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
						54
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

Приложение №1
к договору № 2547-032701
от «01» 10 2023 г.

Согласовано:
Генеральный директор ООО НПК МГСУ
Технопарк «Строительство»

Седов Д.С.

2023 г.

Утверждаю:
Технический директор

Молоканов Р.Н.

2023 г.

Техническое задание
на выполнение работ по теме:

«Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»

Перечень основных данных и требований	Основные данные и требования
1	Цель работы
2	Назначение
3	Требования к составу работ

Изучение свойств арматурного проката с многорядным расположением периодических ребер класса А500СП в сейсмических районах с целью подтверждения эффективности применения при действии статических и циклических нагрузок

Получение экспериментальных данных для оценки влияния эффективного профиля арматуры класса А500СП относительно А500С с видеофиксацией результатов и подготовкой отчета по результатам работы

3.1. Проведение 10 испытаний арматуры d10 мм классов А500СП и А500С на вырыв из бетонных элементов
3.1.1. Изготовление опытных образцов – 10 шт.
3.1.2. Механические испытания стержней классов А500СП и А500С – проверка свойств
3.1.3. Испытания на вырыв арматуры из бетонных элементов статической нагрузкой – по 3 шт. классов А500СП и А500С с целью подтверждения эффективности многорядного профиля (для демонстрации коэффициента $\eta_1=2,8$ согласно п. 8.3 СТО 36554501-065-2020*)
3.1.4. Испытания на вырыв арматуры из бетонных элементов циклической нагрузкой – по 2 шт. классов А500СП и А500С с целью подтверждения эффективности многорядного профиля

3.2. Проведение 8 испытаний арматуры d10мм и d32мм классов А500СП и А500С на изгиб внутри бетонных элементов
3.2.1. Изготовление опытных образцов – 8 шт.
3.2.2. Механические испытания стержней классов А500СП и А500С – проверка свойств
3.2.3. Испытания опытных образцов - балок на изгиб статической нагрузкой по 2 шт. d10 мм классов А500СП, А500С и по 2 шт. d32мм классов А500СП, А500С (для демонстрации коэффициента $\varphi_2=0,4$ согласно п. 7.7 СТО 36554501-065-2020*)

3.3. Видеофиксация контрольных испытаний согласно п. 3.1 и 3.2
3.3.1. Съёмка видеороликов испытаний образцов на вырыв и на изгиб согласно п. 3.1 и 3.2
3.3.2. Монтаж видеороликов и подготовка сопровождающего текста

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата
------	------	---------	-------	------

	Перечень основных данных и требований	Основные данные и требования
		<p>3.3.3. Выпуск видеоролика</p> <p>3.4. Подготовка научно-технического отчета по результатам проделанной работы</p> <p>3.5. Работы по договору (п.3.1 – п.3.4) выполняются последовательно и состоят из трех этапов: – Этап I «Разработка программы и методики проведения испытаний» – Этап II «Проведение испытаний» – Этап III «Подготовка результатов и выпуск видеороликов»</p> <p>3.6. Работы п.3.1 – п.3.4. выполняются в соответствии с разрабатываемой Программой и методикой проведения испытаний (ПМИ). Программа и методика испытаний согласовывается с Заказчиком. Количество образцов в ПМИ может быть скорректировано при согласовании с Заказчиком.</p> <p>3.7. Срок выполнения работ Этапа I: 15 рабочих дней</p> <p>3.8. Срок выполнения работ Этапа II: 50 рабочих дней (20 рабочих дней изготовление образцов + 10 рабочих дней проведение испытаний)</p> <p>3.9. Срок выполнения работ Этапа III: 20 рабочих дней</p>
4	Описание конечного результата оказанных услуг	<ul style="list-style-type: none"> - Программа и методика испытаний (Этап I) - Фото образцов и протоколы проведенных испытаний (Этап II) - Научно-технический отчет по выполненным испытаниям (Этап III) - Видеоролик с целью демонстрации проведенных испытаний и эффективности многорядного профиля арматуры А500СП (Этап III)
5	Требования к выполнению работ	<p>Качество оказываемых услуг должно соответствовать требованиям:</p> <ul style="list-style-type: none"> - СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах - СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. - ГОСТ 26433.1-89 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве» - ГОСТ 12004-81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение» - ГОСТ 34028-2016 Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия - СТО 36554501-065-2020* Применение арматуры классов А500СП, А500СП и А600СП в железобетонных конструкциях. - ГОСТ 14098-2014 Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры (с изменением №1, с Поправкой) - ТУ 14-1-5526-2017. Прокат арматурный класса А500СП, А600СП с эффективным периодическим профилем.
6	Заказчик	Акционерное общество «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»
7	Исполнитель	Общество с ограниченной ответственностью Инновационно-производственный комплекс МГСУ Технопарк «Строительство»



**ПРИЛОЖЕНИЕ Б.
ПРОТОКОЛЫ ИСПЫТАНИЙ**

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
						57
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»

Научно-исследовательский институт экспериментальной механики
Лаборатория испытаний строительных материалов, изделий и конструкций
(ЛИСМИиК НИИ ЭМ)

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, корп. 20
тел. (495) 287-49-14 (доб. 30-75), e-mail: edic@mgsu.ru

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий ЛИСМИиК

В.А. Красная

« 02 » июля 2024 г.



ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№К.241-24.К

Образцы-кубы из бетона

Испытание на сжатие в соответствии с ГОСТ 10180-2012

Настоящий протокол испытаний не может быть полностью или частично перепечатан без уведомления
Испытательной лаборатории «ЛИСМИиК»

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

Технический отчёт по теме:
«Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования
в сейсмических районах»

Лист

58

Объект испытаний	Образцы-кубы из бетона
Заказчик	АО «ЕВРАЗ ЗСМК» ИНН 4218000951
Основание для испытаний	Договор №К.241-24 от 09 января 2024 года
Методы испытаний	Испытание на сжатие в соответствии с ГОСТ 10180-2012
Дата доставки проб	25.06.2024
Количество образцов	3
Испытательное оборудование	Пресс испытательный «С» модификация 50-С8455, зав. номер 11005330 (свидетельство о поверке №С-ЕЛВ/14-12-2023/303058316 до 14 декабря 2024 г.)
Средства измерения	Весы неавтоматического действия GP-32K зав. номер 14719425 (свидетельство о поверке №С-ВЮМ/21-10-2022/206594407 до 20 октября 2023 г.); Линейка измерительная металлическая 150 мм зав. номер Л 150.00.ПС-0612 (свидетельство о поверке №С-ВЮМ/07-12-2023/300952269 до 06 декабря 2024 г.)
Оператор 1	Инженер Абдул Ахад Х.Х.
Оператор 2	Инженер Жидков Ю.А.
Дата формовки	21.06.2024
Дата испытаний	01.07.2024
Условия проведения испытаний	Температура воздуха в помещении лаборатории $t=+22(\pm 1)^\circ\text{C}$ Относительная влажность в помещении лаборатории $\varphi=50(\pm 5)\%$ Атмосферное давление $p=750(\pm 5)$ мм.рт.ст.
Количество листов протокола испытаний	3

Таблица 1. Результаты испытаний

Номер образца	Маркировка образца	Высота сечения а (мм)	Ширина сечения b (мм)	Высота образца h (мм)	Масса (г)	Плотность (кг/м ³)	Площадь сечения (см ²)	Разрушающее усилие Р (кН)	Прочность на сжатие R (МПа)
1	1	101	100	100	2343	2320	101	352,9	33,19
2	2	100	100	100	2347	2347	100	341,3	32,42
3	3	99	100	99	2335	2382	99	344,4	33,05
Среднее значение:									32,89
Прочность при сжатии по ГОСТ 10180-2012:									33,12



Рисунок 1. Образцы до испытаний

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата
------	------	---------	-------	------



Рисунок 2. Характер разрушения

Примечание:

1. Полученные результаты относятся к предоставленным Заказчиком образцам.

Оператор 1

Абдул Ахад Х.Х.

Оператор 2

Жидков Ю.А.

Страница 3 из 3 протокола испытаний №К.241-24.К

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата
------	------	---------	-------	------



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»

Научно-исследовательский институт экспериментальной механики
Лаборатория испытаний строительных материалов, изделий и конструкций
(ЛИСМИиК НИИ ЭМ)

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, корп. 20
тел. (495) 287-49-14 (доб. 30-75), e-mail: edic@mgsu.ru

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий ЛИСМИиК


В.А. Какуша

« 24 » июля 2024 г.



ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№К.241-24.ВС

Образцы-кубы из бетона с арматурой Ø12

Испытание на сцепление стальной арматуры периодического
профиля в соответствии с ГОСТ Р 57357-2016, приложение С

Настоящий протокол испытаний не может быть полностью или частично перепечатан без уведомления
Испытательной лаборатории «ЛИСМИиК»

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

Технический отчёт по теме:
«Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования
в сейсмических районах»

Лист

61



Объект испытаний	Образцы-кубы из бетона с арматурой Ø12
Заказчик	АО «ЕВРАЗ ЗСМК» ИНН 4218000951
Основание для испытаний	Договор №К.241-24 от 09 января 2024 года
Методы испытаний	Испытание на сцепление стальной арматуры периодического профиля в соответствии с ГОСТ Р 57357-2016, приложение С
Дата доставки проб	25.06.2024
Количество образцов	6
Испытательное оборудование	Универсальная испытательная машина Instron 1000HDX, зав. номер 1000HDX5555 (свидетельство о поверке №С-ВИОМ/17-10-2023/287594581 до 16 октября 2024 г.)
Средства измерения	Индикатор цифровой ИЦ-50, зав. номер В 01737 (свидетельство о поверке №С-ВИОМ/16-01-2024/308767209 до 15 января 2025 г.)
Оператор 1	Инженер Абдул Ахад Х.Х.
Оператор 2	Инженер Жидков Ю.А.
Дата испытаний	02.07.2024
Условия проведения испытаний	Температура воздуха в помещении лаборатории t=+22(±1)°C Относительная влажность в помещении лаборатории φ=50(±5)% Атмосферное давление p=750(±5) мм.рт.ст.
Количество листов протокола испытаний	4

Таблица 1. Результаты испытаний

№	Маркировка	Плавка	Диаметр арматуры d (мм)	Максимальная сила натяжения F _a (кН)	Прочность сцепления τ _{dm} (МПа)	Прочность сцепления, приведенная к классу бетона В25, τ _{dm,25} (МПа)
1	A500С (ТМК-ЯМЗ)	№2308143 f _к =0,084	12	49,3	21,8	16,6
2	A500С (ЗСМК)-1	№4419645-2 f _к =0,071	12	43,3	19,2	14,6
3	A500С (ЗСМК)-2	№4419645-2 f _к =0,071	12	52,1	23,0	17,5
4	A500СП-1	№ СБ 933478	12	53,0	23,4	17,8
5	A500СП-2	№ СБ 933478	12	47,6	21,1	16,0
6	A500СП-3	№ СБ 933478	12	63,1	27,9	21,2

Прочность сцепления определялась по формуле:

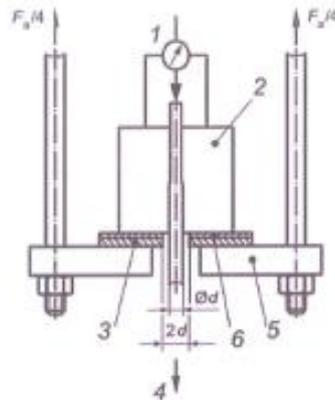
$$\tau_{dm} = \frac{F_a}{5d \cdot \pi d};$$

прочность сцепления, приведенная к классу бетона В25, – по формуле:

$$\tau_{dm,25} = \frac{F_a}{5d \cdot \pi d} \cdot \frac{f_{cm}}{f_c},$$

где f_{cm} = 25 МПа – заданное значение класса прочности бетона; f_c = 32,89 МПа – среднее значение прочности бетона (протокол №К.241-24.К).

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		62



1 - прибор измерения сдвига A_0 ; 2 - образец; 3 - стальная плита, толщина 10 мм; 4 - сила растяжения; 5 - опорная плита; 6 - резиновая несущая прокладка 5 мм

Рисунок 1. Схема испытания

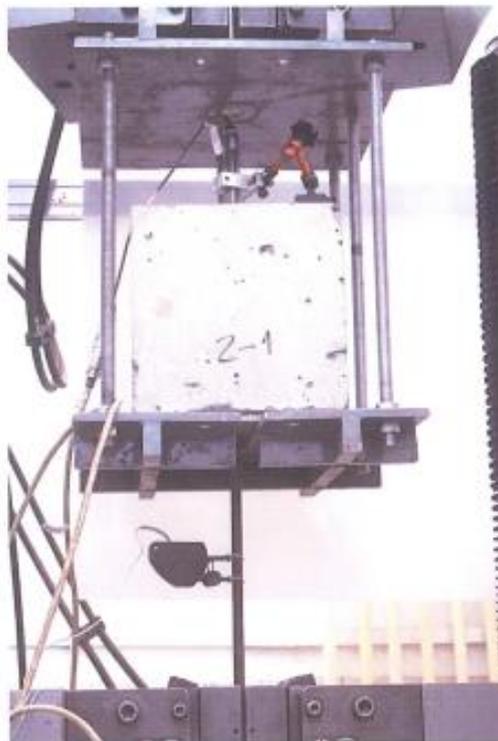


Рисунок 2. Образец в испытательной машине

Страница 3 из 4 протокола испытаний №К.241-24.ВС

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

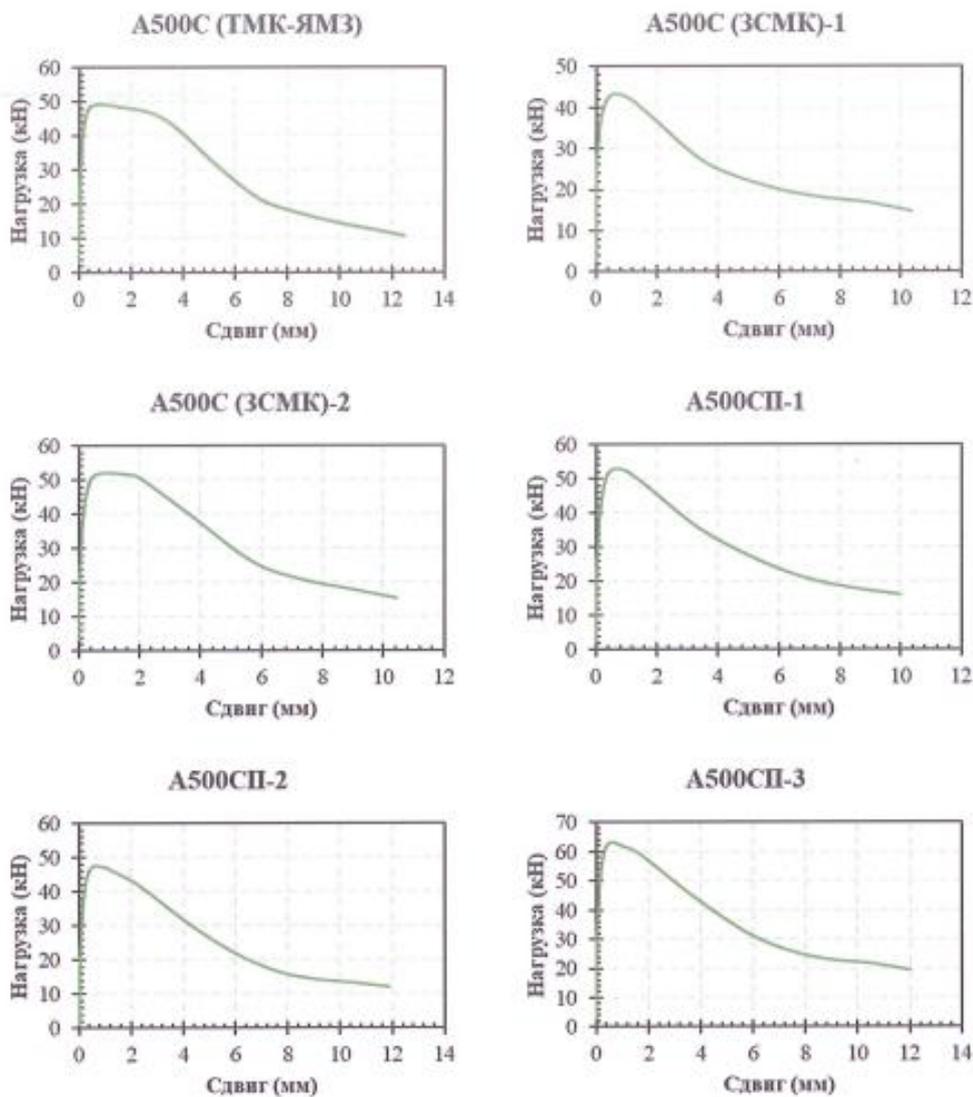


Рисунок 3. Диаграммы «Нагрузка (кН) – сдвиг (мм)»

Примечание:

1. Полученные результаты относятся к предоставленным Заказчиком образцам.

Оператор 1

Оператор 2

Абдул Ахад Х.Х.

Жидков Ю.А.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

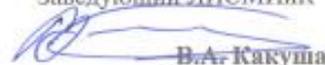
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»

Научно-исследовательский институт экспериментальной механики
Лаборатория испытаний строительных материалов, изделий и конструкций
(ЛИСМИиК НИИ ЭМ)

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, корп. 20
тел. (495) 287-49-14 (доб. 30-75), e-mail: edic@mgsu.ru

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий ЛИСМИиК


В.А. Какуза

« 24 » июля 2024 г.



ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№К.241-24.ВЦ

Образцы-кубы из бетона с арматурой Ø12
Циклические испытания на сцепление стальной арматуры
периодического профиля в соответствии с программой и
методикой испытаний, арх. №107321/К.241-24.

Настоящий протокол испытаний не может быть полностью или частично перепечатан без уведомления
Испытательной лаборатории «ЛИСМИиК»

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

Технический отчёт по теме:
«Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования
в сейсмических районах»

Лист

65

Объект испытаний	Образцы-кубы из бетона с арматурой Ø12
Заказчик	АО «ЕВРАЗ ЗСМК» ИНН 4218000951
Основание для испытаний	Договор №К.241-24 от 09 января 2024 года
Методы испытаний	Циклические испытания на сцепление стальной арматуры периодического профиля в соответствии с программой и методикой испытаний, арх. №107321/К.241-24.
Дата доставки проб	25.06.2024
Количество образцов	4
Испытательное оборудование	Универсальная испытательная машина Instron 1000HDX, зав. номер 1000HDX5555 (свидетельство о поверке №С-БИОМ/17-10-2023/287594581 до 16 октября 2024 г.)
Средства измерения	Индикатор цифровой ИЦ-50, зав. номер В 01737 (свидетельство о поверке №С-БИОМ/16-01-2024/308767209 до 15 января 2025 г.)
Оператор 1	Инженер Абдул Ахад Х.Х.
Оператор 2	Инженер Жидков Ю.А.
Дата испытаний	02.07.2024
Условия проведения испытаний	Температура воздуха в помещении лаборатории $t=+22(\pm 1)^{\circ}\text{C}$ Относительная влажность в помещении лаборатории $\varphi=50(\pm 5)\%$ Атмосферное давление $p=750(\pm 5)$ мм.рт.ст.
Количество листов протокола испытаний	4

Параметры нагружения приведены в таблице 1. Нагрузка F_{max} принималась по результатам статических испытаний (протокол №К.241-24.ВС). Результаты испытания представлены в таблице 2.

Таблица 1. Параметры нагружения

Этап испытаний	Испытательные нагрузки (кН)					Число циклов
	Отношение F/F_{max}	A500C (ЗСМК)	A500СП-1	A500СП-2	A500C (ТМК-ЯМЗ)	
1	0,2	9,5	10,9	9,9	9,9	25
2	0,3	14,3	16,4	14,8	14,8	15
3	0,4	19,1	21,8	19,7	19,5	5
4	0,5	23,9	27,3	24,7	24,3	5
5	0,6	28,6	32,8	29,6	29,2	5
6	0,7	33,4	38,2	34,5	34,0	5
7	0,8	38,2	43,7	39,4	38,8	5
8	0,9	42,9	49,1	44,4	-	5
9	1,0	47,7	54,6	49,3	-	5
10	Нагружение до разрушения					-

Таблица 2. Результаты испытаний

№	Маркировка	Плавка	Диаметр арматуры d (мм)	Максимальная сила натяжения F_u (кН)	Прочность сцепления f_{bd} (МПа)	Прочность сцепления, приведенная к классу бетона В25, $f_{bd,25}$ (МПа)
1	A500C (ЗСМК)	№4419645-2 $f_b=0,071$	12	50,6	22,4	17,0
2	A500СП-1	№ СБ 933478	12	59,7	26,4	20,1
3	A500СП-2	№ СБ 933478	12	54,7	24,2	18,4
4	A500C (ТМК-ЯМЗ)	№2308143 $f_b=0,084$	12	40,8	18,0	13,7

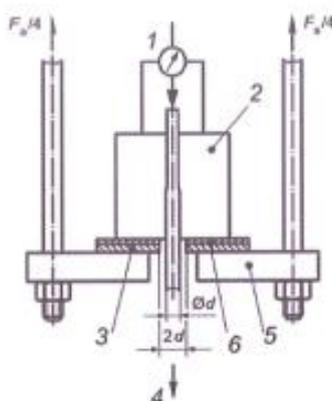
Прочность сцепления определялась по формуле:

$$\tau_{dm} = \frac{F_a}{5d \cdot \pi d}$$

прочность сцепления, приведенная к классу бетона В25, – по формуле:

$$\tau_{dm,25} = \frac{F_a}{5d \cdot \pi d} \cdot \frac{f_{cm}}{f_c}$$

где $f_{cm} = 25$ МПа – заданное значение класса прочности бетона; $f_c = 32,89$ МПа – среднее значение прочности бетона (протокол №К.241-24.К).



1 - прибор измерения сдвига A_0 ; 2 - образец; 3 - стальная плита, толщина 10 мм; 4 - сила растяжения; 5 - опорная плита; 6 - резиновая несущая прокладка 5 мм

Рисунок 1. Схема испытания



Рисунок 2. Образец в испытательной машине

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

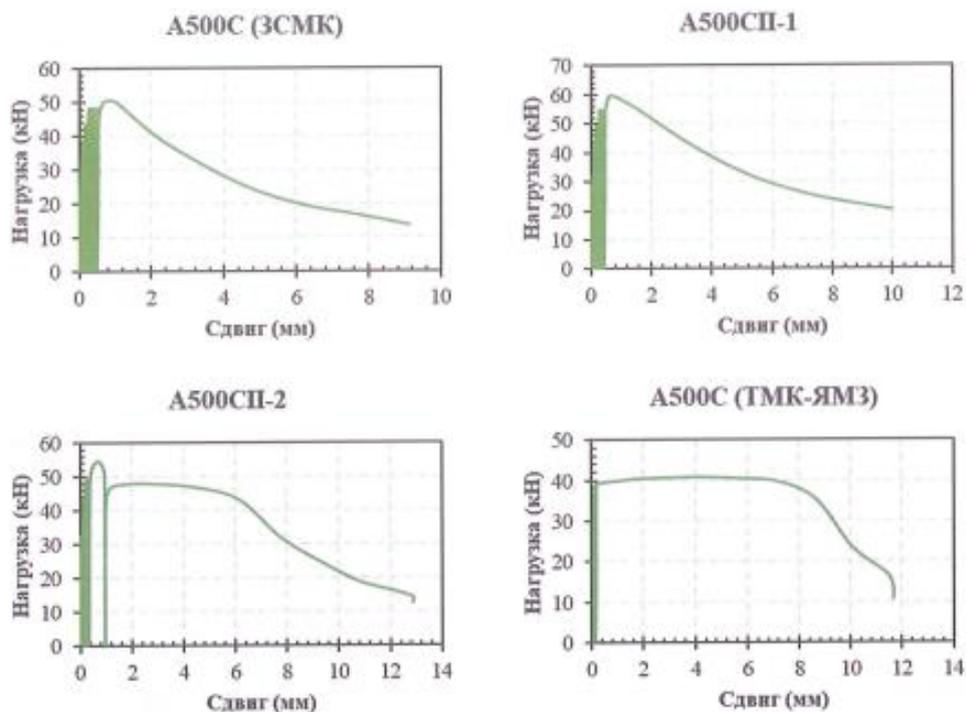


Рисунок 3. Диаграммы «Нагрузка (кН) – сдвиг (мм)»

Примечание:

1. Полученные результаты относятся к предоставленным Заказчиком образцам.

Оператор 1

Оператор 2

Абдул Ахад Х.Х.

Жидков Ю.А.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

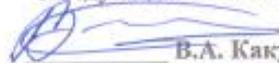
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»

Научно-исследовательский институт экспериментальной механики
Лаборатория испытаний строительных материалов, изделий и конструкций
(ЛИСМИиК НИИ ЭМ)

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, корп. 20
тел. (495) 287-49-14 (доб. 30-75), e-mail: edic@mgsu.ru

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий ЛИСМИиК


В.А. Какуша

« 18 » июля 2024 г.



ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№К.241-24.А

Образцы арматуры А500С и А500СП периодического профиля с
необработанной поверхностью диаметрами 6, 10, 12 и 36 мм
Испытание на растяжение в соответствии с ГОСТ 12004-81

Настоящий протокол испытаний не может быть полностью или частично перепечатан без уведомления
Испытательной лаборатории «ЛИСМИиК»

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

Технический отчёт по теме:
«Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования
в сейсмических районах»

Лист

69



Объект испытаний	Образцы арматуры А500С и А500СП периодического профиля с необработанной поверхностью диаметрами 6, 10, 12 и 36 мм
Заказчик	ООО ИПК МГСУ Технопарк «Строительство» ИНН 7716231837 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» ИНН 4218000951
Основание для испытаний	Договор №К.241-24 от 09 января 2024 года
Отбор образцов	Произведен Заказчиком
Методы испытаний	Испытание на растяжение в соответствии с ГОСТ 12004-81
Дата доставки проб	07.03.2024; 13.03.2024; 22.04.2024; 21.05.2024
Количество образцов	16
Испытательное оборудование	Испытательная машина Instron 1000 HDX зав. номер 1000HDX5555 (свидетельство о поверке № С-БИОМ/17-10-2023/287594581 до 16 октября 2024 года)
Средства измерений	Весы электронные GP-32K зав. номер 14719425 (свидетельство о поверке № С-БИОМ/07-12-2023/300847487 до 06 декабря 2024 года); Линейка измерительная металлическая зав. номер Л 1000.00.ПС-0613 (свидетельство о поверке № С-БИОМ/07-12-2023/300948243 до 06 декабря 2024 года)
Оператор 1	Инженер Жидков Ю.А.
Оператор 2	Инженер Ким Е.А.
Дата испытаний	18.03.2024; 02.07.2024
Условия проведения испытаний	Температура воздуха в помещении лаборатории $t=+23(\pm 1)^\circ\text{C}$ Относительная влажность в помещении лаборатории $\varphi=50(\pm 5)\%$ Атмосферное давление $p=750(\pm 5)$ мм.рт.ст.
Количество листов протокола испытаний	7

Таблица 1. Результаты испытаний

№	Маркировка образца	Диаметр d (мм)	Масса испытываемого образца m (г)	Длина испытываемого образца l (мм)	Начальная расчетная длина l_0 (мм)	Конечная расчетная длина l_c (мм)	Относительное удлинение δ_5 (%)
1	A500C (ТМК-ЯМЗ) Ø12-1	12	710	801	60	73	21,7
2	A500C (ТМК-ЯМЗ) Ø12-2	12	539	605	60	73	21,7
3	A500СП Ø12-1	12	507	581	60	74	23,3
4	A500СП Ø12-2	12	511	585	60	74	23,3
5	A500C Ø36-1	36	6185	774	180	226	25,6
6	A500C Ø36-2	36	6204	781	180	227	26,1
7	A500СП Ø36-1	36	5742	742	180	219	21,7
8	A500СП Ø36-2	36	5739	741	180	225	25,0
9	Сжатие Ø6	6	177	725	30	33	10,0
10	Сжатие Ø10	10	460	746	50	-	-
11	Хомут Ø12-1	12	379	430	60	67	11,7
12	Хомут Ø12-2	12	367	417	60	67	11,7
13	A500C (ЗСКМ) Ø12-1	12	401	450	60	73	21,7
14	A500C (ЗСКМ) Ø12-2	12	403	450	60	73	21,7
15	A500C (Тула) Ø36-1	36	6002	745	180	217	20,6
16	A500C (Тула) Ø36-2	36	5997	750	180	219	21,7

					Технический отчет по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		70

Продолжение таблицы 1. Результаты испытаний

№	Маркировка образца	Плавка	Начальная площадь поперечного сечения F_n (мм ²)	Нагрузка при пределе текучести P_t (кН)	Предел текучести σ_t (МПа)	Максимальная нагрузка P_{max} (кН)	Временное сопротивление σ_b (МПа)
1	A500C(ТМК-ЯМЗ) Ø12-1	№2308143 $f_R=0,084$	113,1	61,5	543,7	70,3	621,4
2	A500C(ТМК-ЯМЗ) Ø12-2	№2308143 $f_R=0,084$	113,1	61,7	545,6	69,9	618,1
3	A500СП Ø12-1	№СБ 933478	113,1	64,5	570,1	74,0	654,3
4	A500СП Ø12-2	№СБ 933478	113,1	61,7	545,2	71,4	631,3
5	A500C Ø36-1	№ 230921 $f_R=0,088$	1017,9	576,8	566,6	712,8	700,3
6	A500C Ø36-2	№ 230921 $f_R=0,088$	1017,9	576,3	566,2	712,2	699,7
7	A500СП Ø36-1	№540108	1017,9	600,7	590,1	672,9	661,1
8	A500СП Ø36-2	№540108	1017,9	602,7	592,1	676,2	664,3
9	Сжатие Ø6	-	28,3	10,0	353,1	19,0	672,3
10	Сжатие Ø10	-	78,5	48,4	616,6	50,9	648,0
11	Хомут Ø12-1	-	113,1	67,5	596,7	75,7	669,5
12	Хомут Ø12-2	-	113,1	66,2	585,3	75,6	668,5
13	A500C (ЗСМК) Ø12-1	№4419645-2 $f_R=0,071$	113,1	67,8	599,5	78,6	695,4
14	A500C (ЗСМК) Ø12-2	№4419645-2 $f_R=0,071$	113,1	68,1	601,8	78,8	696,5
15	A500C (Тула) Ø36-1	№12309281 $f_R=0,071$	1017,9	562,2	552,3	676,9	665,0
16	A500C (Тула) Ø36-2	№12309281 $f_R=0,071$	1017,9	563,0	553,1	678,0	666,1



Рисунок 1. Образцы до испытания

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата
------	------	---------	-------	------

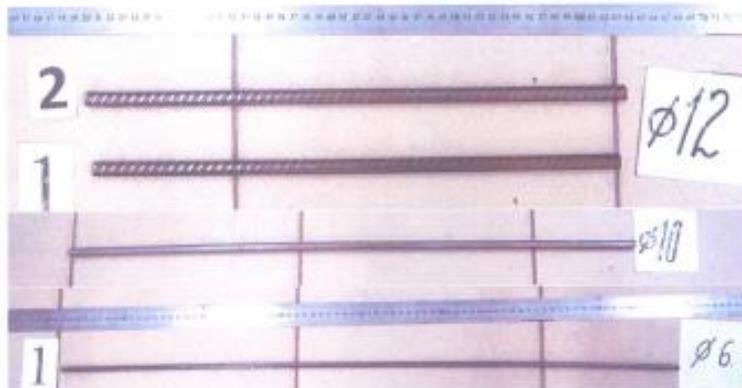


Рисунок 2. Образцы до испытания

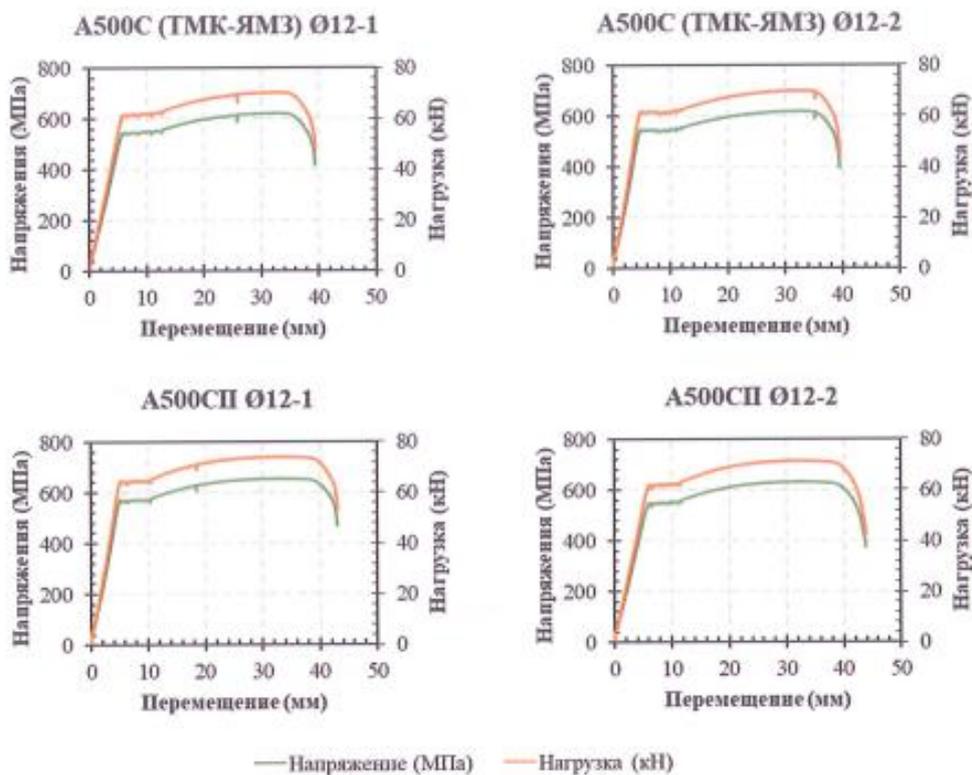


Рисунок 1. Диаграммы "Напряжение (МПа)/Нагрузка (кН) – перемещение (мм)"
для образцов №1-4

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

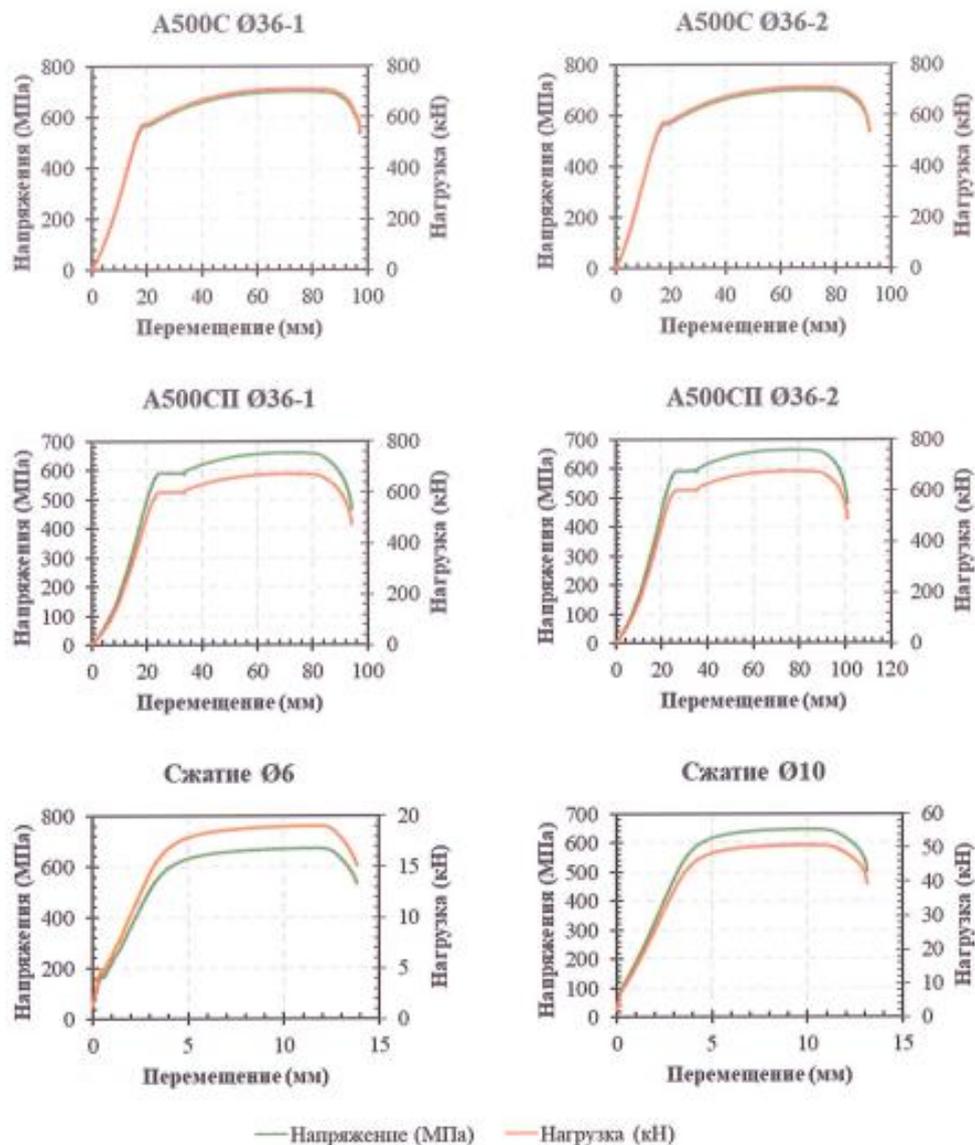


Рисунок 2. Диаграммы "Напряжение (МПа)/Нагрузка (кН) – перемещение (мм)" для образцов №5-10

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

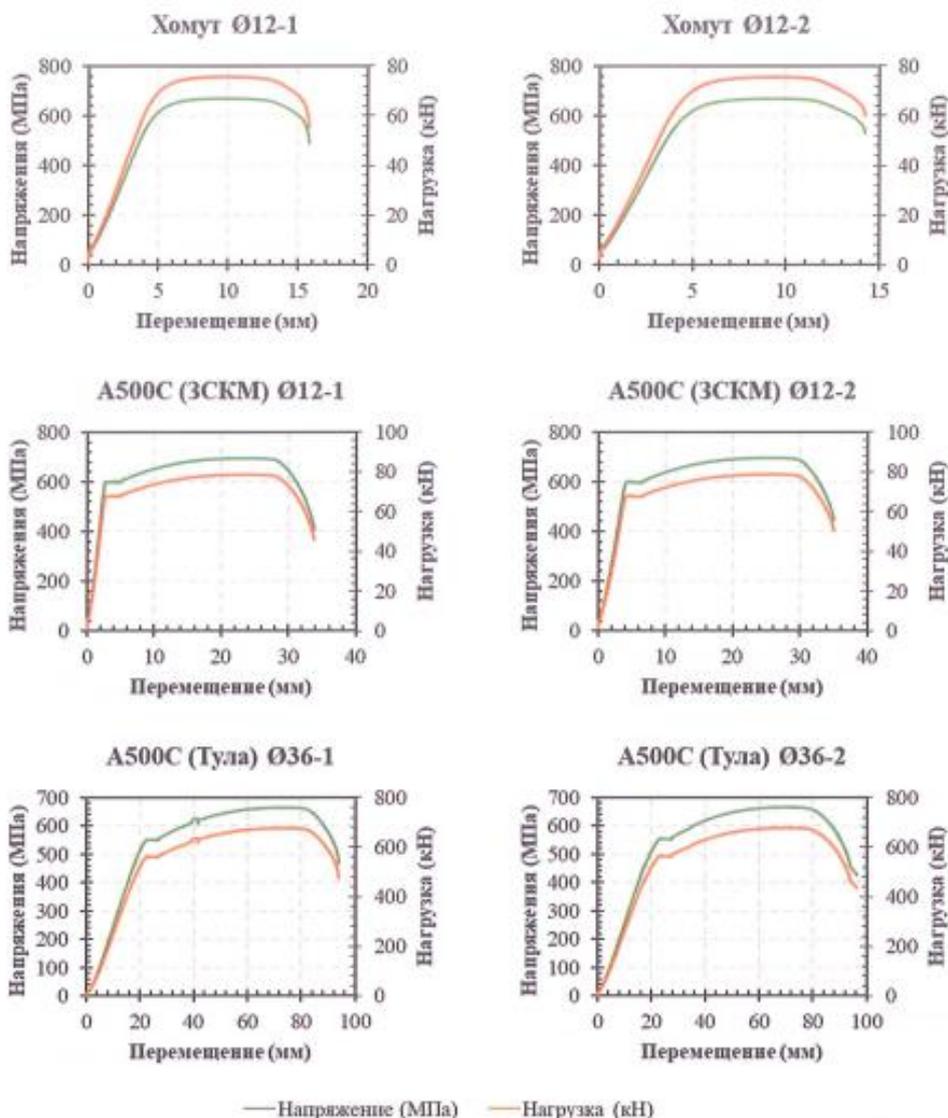


Рисунок 3. Диаграммы "Напряжение (МПа)/Нагрузка (кН) – перемещение (мм)" для образцов №11-16

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата



Примечания:

1. Полученные результаты относятся к образцам, подвергнутым испытаниям.
2. Перемещение, представленное на диаграммах, определялось по траверсе испытательной машины.
3. Для определения значений временного сопротивления σ_B и предела текучести σ_T использована номинальная площадь поперечного сечения в соответствии с п.9.12.2 ГОСТ 34028-2016.
4. Относительное удлинение образца №10 не определено, так как разрушение произошло в захвате испытательной машины.

Оператор 1

Жидков Ю.А.

Оператор 2

Ким Е.А.

Страница 7 из 7 протокола испытаний №К.241-24.А

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
						75
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		



ПРИЛОЖЕНИЕ В.
СЕРТИФИКАТЫ НА АРМАТУРУ

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
						76
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

		ООО "ТМК-ЯМЗ" 215805, Смоленская обл., Ярцево г, 1-я Литейная ул., строение 3, каб.107 Тел/факс: (48143) 5-39-17 Производственный комплекс: 215805 Смоленская обл., г. Ярцево, 1-ая Литейная ул., стр. 3. Тел/факс: (48143) 5-39-17		Грузополучатель, адрес: ООО "АбсолютСтройКомплект", 123317, г. Москва, Вн. тер. г. муниципальный округ Пресненский, пер. Стрельбищенский, д. 30, стр. 1А, ком. 322 III августа 2023 г. Нормативный документ ГОСТ 34028-2016/ СТБ 1704-2012		Сертификат качества № 5765/23 Код 2.2 Лист 1 Листов 2		
Договор (контракт): № ТМК-ЯР-1 от 21.01.2021 Заказ: №/бн Провал: № 6747		Транспортное средство: Автомобиль Ситрак № Р 452 ХА 40 Прицеп № ЕС 7332 77 Количество мест: 9		Вид грузовых мест: прокат				
Наименование продукции Прокат арматурный для железобетонных конструкций		Способ производства 2		Форма профиля 2ф		Группа предельных отклонений по массе 1 м длины ОМ1		
№ п/п	Номер партии	Номинальный диаметр, мм	Класс проката	Длина, мм	Количество пачетов, шт	Масса нетто, тонн	Точность по окальности ОВ2 Дополнительные требования: С,Н,У,К (для А500)	Условие отбора проб
1	2308143	12	A500C/SS500	11700	2	8,980		
2	2308142	12	A500C/SS500	11700	4	18,100		И1

1. Показатели качества товара													
Химический состав, %													
Номер партии	Скв	С	Mn	Si	P	S	N	Cu	As	Mo	V	Cr	Ni
2308143	0,32	0,20	0,53	0,15	0,009	0,021	0,009	0,11	0,010	0,004	0,007	0,06	0,09
2308142	0,36	0,20	0,75	0,16	0,010	0,016	0,010	0,14	0,010	0,008	0,006	0,08	0,10

2. Результаты механических испытаний проката												
Статистические показатели арматурного проката	Номер партии	Предел текучести σт, Н/мм2	Временное сопротивление разрыву σв, Н/мм2	Отношение σв/σ0,2	Относительное удлинение, %		Испыт в холодном состоянии	Относительная площадь смятия поперечных ребер, fr				
					δ5	δр			бтах			
σв, Н/мм2	2308143	550	630	1,15	20,0	8,0	Уд	0,084				
σт (σ0,2), Н/мм2	2308143	580	650	1,12	21,5	7,0	Уд	0,084				
σв/σт(σ0,2)	2308142	560	635	1,13	20,5	8,0	Уд	0,083				
δ5, %		555	635	1,14	21,5	7,5	Уд	0,083				
δр, %												
бтах, %												
fr												

3. Металл не радиоактивен, ограничений в использовании не имеет.

Испытания на сваряемость: протокол № 643 от 19.01.2023 г. "АвангардСтройЭкспертиза"
 Испытания на выносливость: протокол № 643 от 19.01.2023 г. "АвангардСтройЭкспертиза"
 Испытания на коррозионную стойкость: протокол № 643 от 19.01.2023 г. "АвангардСтройЭкспертиза"

Подпись: ОТК _____ Ф.И.О. Ильина С. Ю.

Предприятие изготовитель 33 по таблице В2 ГОСТ 34028-2016.
 Казанный в настоящем сертификате товар соответствует по качеству действующим стандартам и техническим условиям. При переписке по вопросам качества ссылаться на № сертификата



ПРИЛОЖЕНИЕ Г.
РАСЧЕТ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
						82
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

Проверка на образование трещин и ширины их раскрытия

Допущения и предпосылки. Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2012. Рассматриваются трещины нормальные к продольной оси элемента. Элемент изгибаемый. Сечение прямоугольное.

Исходные данные. $M = 1.78 \cdot 10^5$ кг·см; $M_l = 1.78 \cdot 10^5$ кг·см; $b = 15.0$ см; $h = 22.0$ см; $a = 3.0$ см; $h_0 = 19.0$ см; $a' = 3.0$ см; $h'_0 = 19.0$ см; $A_s = 2.26$ см²; $A'_s = 0.57$ см²; $d_s = 1.2$ см; бетон класса В25; $R_{bt,ser} = 15.8$ кг/см²; $R_{b,ser} = 188.6$ кг/см²; $E_b = 3.06 \cdot 10^5$ кг/см²; арматура класса А500; $E_s = 2.04 \cdot 10^6$ кг/см²; $\varphi_2 = 0.5$; $\varphi_3 = 1$; $\varepsilon_{bl,red} = 0.0015$; $a_{crc,ult} = 0.0400$ см; $a_{crc,ult,l} = 0.0300$ см.

Определение момента образования трещин, нормальных к продольной оси элемента

$$\alpha = E_s/E_b = 2.04 \cdot 10^6/3.06 \cdot 10^5 = 6.67, \quad A = bh = 15.0 \cdot 22.0 = 330 \text{ см}^2$$

$$A_{red} = A + A_s\alpha + A'_s\alpha = 330 + 2.26 \cdot 6.67 + 0.57 \cdot 6.67 = 349 \text{ см}^2$$

$$S_{t,red} = Ah/2 + A_s a\alpha + A'_s h'_0\alpha = 330 \cdot 22.0/2 + 2.26 \cdot 3.0 \cdot 6.67 + 0.57 \cdot 19.0 \cdot 6.67 = 3747 \text{ см}^3$$

$$y_t = S_{t,red}/A_{red} = 3747/349 = 10.74 \text{ см}$$

$$I = bh^3/12 + A(h/2 - y_t)^2 = 15.0 \cdot 22.0^3/12 + 330(22.0/2 - 10.74)^2 = 13332 \text{ см}^4$$

$$I_s = A_s(y_t - a)^2 = 2.26(10.74 - 3.0)^2 = 135 \text{ см}^4$$

$$I'_s = A'_s(h'_0 - y_t)^2 = 0.57(19.0 - 10.74)^2 = 39 \text{ см}^4$$

$$I_{red} = I + I_s\alpha + I'_s\alpha = 13332 + 135 \cdot 6.67 + 39 \cdot 6.67 = 14494 \text{ см}^4$$

$$W_{red} = I_{red}/y_t = 14494/10.74 = 1349 \text{ см}^3, \quad W_{pl} = 1.3W_{red} = 1.3 \cdot 1349 = 1754 \text{ см}^3$$

$$M = 1.78 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{см} > M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} = 15.8 \cdot 1754 = 0.28 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{см}$$

Вывод. Трещины образуются.

Расчет ширины раскрытия трещин

$$E_{b,red} = \frac{R_{b,ser}}{\varepsilon_{bl,red}} = \frac{188.6}{0.0015} = 1.26 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2, \quad \alpha_{s1} = \frac{E_s}{E_{b,red}} = \frac{2.04 \cdot 10^6}{1.26 \cdot 10^5} = 16.2, \quad \alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 16.2$$

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{2.26}{15.0 \cdot 19.0} = 0.008, \quad \mu'_s = \frac{A'_s}{bh_0} = \frac{0.57}{15.0 \cdot 19.0} = 0.002$$

$$x_m = h_0 \left(\sqrt{(\mu_s\alpha_{s2} + \mu'_s\alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s\alpha_{s2} + \mu'_s\alpha_{s1}a'/h_0)} - (\mu_s\alpha_{s2} + \mu'_s\alpha_{s1}) \right) =$$

$$= 19.0 \left(\sqrt{(0.008 \cdot 16.2 + 0.002 \cdot 16.2)^2 + 2(0.008 \cdot 16.2 + 0.002 \cdot 16.2 \cdot 3.0/19.0)} - (0.008 \cdot 16.2 + 0.002 \cdot 16.2) \right) = 7.2 \text{ см}$$

$$y_c = x_m = 7.23 \text{ см}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c)^2 = 2.26(19.0 - 7.23)^2 = 313 \text{ см}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a')^2 = 0.57(7.23 - 3.0)^2 = 10 \text{ см}^4$$

$$I_b = by_c^3/12 + y_c b(y_c/2)^2 = 15.0 \cdot 7.23^3/12 + 7.23 \cdot 15.0 \cdot (7.23/2)^2 = 1891 \text{ см}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s2} + I'_s\alpha_{s1} = 1891 + 313 \cdot 16.2 + 10 \cdot 16.2 = 7132 \text{ см}^4$$

$$x_t = h - x_m = 14.77 \text{ см}$$

Поскольку $x_t \geq 0.5h$, то принимается значение $x_t = 0.5h = 0.5 \cdot 22.0 = 11.00$ см.

$$A_t = bx_t = 15.0 \cdot 11.00 = 165 \text{ см}^2, \quad l_s = 0.5 \frac{A_t}{A_s} d_s = 0.5 \cdot \frac{165}{2.26} \cdot 1.2 = 43.8 \text{ см}$$

Поскольку $l_s \geq 40$ см, то принимается значение $l_s = 40.0$ см.

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
						83
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

Определение ширины раскрытия трещин от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок a_{crcl} при $\varphi_1 = 1.4$.

$$\sigma_s = \frac{M_l (h_0 - y_c)}{I_{red}} \alpha_{s1} = \frac{1.78 \cdot 10^5 (19.0 - 7.23)}{7132} \cdot 16.2 = 4775.0 \text{ кг/см}^2$$

$$\psi_s = 1 - 0.8 \frac{M_{crs}}{M_l} = 1 - 0.8 \cdot \frac{0.28 \cdot 10^5}{1.78 \cdot 10^5} = 0.876$$

$$a_{crcl} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.876 \cdot \frac{4775.0}{2.04 \cdot 10^6} \cdot 40.0 = 0.0574 \text{ см}$$

Определение ширины раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок a_{crc3} при $\varphi_1 = 1.0$.

$$a_{crc3} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 1.0 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.876 \cdot \frac{4775.0}{2.04 \cdot 10^6} \cdot 40.0 = 0.0410 \text{ см}$$

Определение ширины раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных (длительных и кратковременных) нагрузок a_{crc2} при $\varphi_1 = 1.0$.

$$\sigma_s = \frac{M (h_0 - y_c)}{I_{red}} \alpha_{s1} = \frac{1.78 \cdot 10^5 (19.0 - 7.23)}{7132} \cdot 16.2 = 4775.0 \text{ кг/см}^2$$

$$\psi_s = 1 - 0.8 \frac{M_{crs}}{M} = 1 - 0.8 \cdot \frac{0.28 \cdot 10^5}{1.78 \cdot 10^5} = 0.876$$

$$a_{crc2} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 1.0 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.876 \cdot \frac{4775.0}{2.04 \cdot 10^6} \cdot 40.0 = 0.0410 \text{ см}$$

Проверка расчетных условий.

$$a_{crcl} = 0.0574 \text{ см} \not\leq a_{crcl,ult,l} = 0.0300 \text{ см}$$

$$a_{crc} = a_{crcl} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.0574 + 0.0410 - 0.0410 = 0.0574 \text{ см} \not\leq a_{crc,ult} = 0.0400 \text{ см}$$

Вывод. Ширина продолжительного раскрытия трещин превышает предельно допустимую. Ширина непродолжительного раскрытия трещин превышает предельно допустимую.

Проверка на образование трещин и ширины их раскрытия

Допущения и предпосылки. Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2012. Рассматриваются трещины нормальные к продольной оси элемента. Элемент изгибаемый. Сечение прямоугольное. Характеристики арматуры класса А500СП приняты согласно СТО 36554501-065-2020*.

Исходные данные. $M = 1.78 \cdot 10^5$ кг·см; $M_t = 1.78 \cdot 10^5$ кг·см; $b = 15.0$ см; $h = 22.0$ см; $a = 3.0$ см; $h_0 = 19.0$ см; $a' = 3.0$ см; $h'_0 = 19.0$ см; $A_s = 2.26$ см²; $A'_s = 0.57$ см²; $d_s = 1.2$ см; бетон класса В25; $R_{bt,ser} = 15.8$ кг/см²; $R_{b,ser} = 188.6$ кг/см²; $E_b = 3.06 \cdot 10^5$ кг/см²; арматура класса А500СП; $E_s = 2.04 \cdot 10^5$ кг/см²; $\varphi_2 = 0.4$; $\varphi_3 = 1$; $\varepsilon_{b1,red} = 0.0015$; $a_{crc,ult} = 0.0400$ см; $a_{crc,ult,l} = 0.0300$ см.

Определение момента образования трещин, нормальных к продольной оси элемента

$$\alpha = E_s/E_b = 2.04 \cdot 10^5/3.06 \cdot 10^5 = 6.67, \quad A = bh = 15.0 \cdot 22.0 = 330 \text{ см}^2$$

$$A_{red} = A + A_s\alpha + A'_s\alpha = 330 + 2.26 \cdot 6.67 + 0.57 \cdot 6.67 = 349 \text{ см}^2$$

$$S_{t,red} = Ah/2 + A_s a\alpha + A'_s h'_0\alpha = 330 \cdot 22.0/2 + 2.26 \cdot 3.0 \cdot 6.67 + 0.57 \cdot 19.0 \cdot 6.67 = 3747 \text{ см}^3$$

$$y_t = S_{t,red}/A_{red} = 3747/349 = 10.74 \text{ см}$$

$$I = bh^3/12 + A(h/2 - y_t)^2 = 15.0 \cdot 22.0^3/12 + 330(22.0/2 - 10.74)^2 = 13332 \text{ см}^4$$

$$I_s = A_s(y_t - a)^2 = 2.26(10.74 - 3.0)^2 = 135 \text{ см}^4$$

$$I'_s = A'_s(h'_0 - y_t)^2 = 0.57(19.0 - 10.74)^2 = 39 \text{ см}^4$$

$$I_{red} = I + I_s\alpha + I'_s\alpha = 13332 + 135 \cdot 6.67 + 39 \cdot 6.67 = 14494 \text{ см}^4$$

$$W_{red} = I_{red}/y_t = 14494/10.74 = 1349 \text{ см}^3, \quad W_{pt} = 1.3W_{red} = 1.3 \cdot 1349 = 1754 \text{ см}^3$$

$$M = 1.78 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{см} > M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pt} = 15.8 \cdot 1754 = 0.28 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{см}$$

Вывод. Трещины образуются.

Расчет ширины раскрытия трещин

$$E_{b,red} = \frac{R_{b,ser}}{\varepsilon_{b1,red}} = \frac{188.6}{0.0015} = 1.26 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2, \quad \alpha_{s1} = \frac{E_s}{E_{b,red}} = \frac{2.04 \cdot 10^5}{1.26 \cdot 10^5} = 16.2, \quad \alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 16.2$$

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{2.26}{15.0 \cdot 19.0} = 0.008, \quad \mu'_s = \frac{A'_s}{bh_0} = \frac{0.57}{15.0 \cdot 19.0} = 0.002$$

$$x_m = h_0 \left(\sqrt{(\mu_s\alpha_{s2} + \mu'_s\alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s\alpha_{s2} + \mu'_s\alpha_{s1}a'/h_0) - (\mu_s\alpha_{s2} + \mu'_s\alpha_{s1})} \right) =$$

$$= 19.0 \left(\sqrt{(0.008 \cdot 16.2 + 0.002 \cdot 16.2)^2 + 2(0.008 \cdot 16.2 + 0.002 \cdot 16.2 \cdot 3.0/19.0) - (0.008 \cdot 16.2 + 0.002 \cdot 16.2)} \right) = 7.2 \text{ см}$$

$$y_c = x_m = 7.23 \text{ см}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c)^2 = 2.26(19.0 - 7.23)^2 = 313 \text{ см}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a')^2 = 0.57(7.23 - 3.0)^2 = 10 \text{ см}^4$$

$$I_b = by_c^3/12 + y_cb(y_c/2)^2 = 15.0 \cdot 7.23^3/12 + 7.23 \cdot 15.0 \cdot (7.23/2)^2 = 1891 \text{ см}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s2} + I'_s\alpha_{s1} = 1891 + 313 \cdot 16.2 + 10 \cdot 16.2 = 7132 \text{ см}^4$$

$$x_t = h - x_m = 14.77 \text{ см}$$

Поскольку $x_t \geq 0.5h$, то принимается значение $x_t = 0.5h = 0.5 \cdot 22.0 = 11.00$ см.

$$A_t = bx_t = 15.0 \cdot 11.00 = 165 \text{ см}^2, \quad l_s = 0.5 \frac{A_t}{A_s} d_s = 0.5 \cdot \frac{165}{2.26} \cdot 1.2 = 43.8 \text{ см}$$

Поскольку $l_s \geq 40$ см, то принимается значение $l_s = 40.0$ см.

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
						85
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

Определение ширины раскрытия трещин от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок a_{crcl} при $\varphi_1 = 1.4$.

$$\sigma_s = \frac{M_l (h_0 - y_c)}{I_{red}} \alpha_{s1} = \frac{1.78 \cdot 10^5 (19.0 - 7.23)}{7132} \cdot 16.2 = 4775.0 \text{ кг/см}^2$$

$$\psi_s = 1 - 0.8 \frac{M_{crс}}{M_l} = 1 - 0.8 \cdot \frac{0.28 \cdot 10^5}{1.78 \cdot 10^5} = 0.876$$

$$a_{crcl} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 1.4 \cdot 0.4 \cdot 1 \cdot 0.876 \cdot \frac{4775.0}{2.04 \cdot 10^6} \cdot 40.0 = 0.0459 \text{ см}$$

Определение ширины раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок $a_{crс3}$ при $\varphi_1 = 1.0$.

$$a_{crс3} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 1.0 \cdot 0.4 \cdot 1 \cdot 0.876 \cdot \frac{4775.0}{2.04 \cdot 10^6} \cdot 40.0 = 0.0328 \text{ см}$$

Определение ширины раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных (длительных и кратковременных) нагрузок $a_{crс2}$ при $\varphi_1 = 1.0$.

$$\sigma_s = \frac{M (h_0 - y_c)}{I_{red}} \alpha_{s1} = \frac{1.78 \cdot 10^5 (19.0 - 7.23)}{7132} \cdot 16.2 = 4775.0 \text{ кг/см}^2$$

$$\psi_s = 1 - 0.8 \frac{M_{crс}}{M} = 1 - 0.8 \cdot \frac{0.28 \cdot 10^5}{1.78 \cdot 10^5} = 0.876$$

$$a_{crс2} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 1.0 \cdot 0.4 \cdot 1 \cdot 0.876 \cdot \frac{4775.0}{2.04 \cdot 10^6} \cdot 40.0 = 0.0328 \text{ см}$$

Проверка расчетных условий.

$$a_{crcl} = 0.0459 \text{ см} \not\leq a_{crс,ult,l} = 0.0300 \text{ см}$$

$$a_{crс} = a_{crcl} + a_{crс2} - a_{crс3} = 0.0459 + 0.0328 - 0.0328 = 0.0459 \text{ см} \not\leq a_{crс,ult} = 0.0400 \text{ см}$$

Вывод. Ширина продолжительного раскрытия трещин превышает предельно допустимую. Ширина непродолжительного раскрытия трещин превышает предельно допустимую.

Проверка на образование трещин и ширины их раскрытия

Допущения и предпосылки. Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2012. Рассматриваются трещины нормальные к продольной оси элемента. Элемент изгибаемый. Сечение прямоугольное. Характеристики арматуры класса А500СП приняты согласно СТО 36554501-065-2020*.

Исходные данные. $M = 40.79 \cdot 10^5$ кг·см; $M_l = 40.79 \cdot 10^5$ кг·см; $b = 25.0$ см; $h = 55.0$ см; $a = 5.0$ см; $h_0 = 50.0$ см; $a' = 5.0$ см; $h'_0 = 50.0$ см; $A_s = 20.36$ см²; $A'_s = 1.57$ см²; $d_s = 3.6$ см; бетон класса В25; $R_{bt,ser} = 15.8$ кг/см²; $R_{b,ser} = 188.6$ кг/см²; $E_b = 3.06 \cdot 10^5$ кг/см²; арматура класса А500СП; $E_s = 2.04 \cdot 10^6$ кг/см²; $\varphi_2 = 0.4$; $\varphi_3 = 1$; $\varepsilon_{bl,red} = 0.0015$; $a_{crc,ult} = 0.0400$ см; $a_{crc,ult,l} = 0.0300$ см.

Определение момента образования трещин, нормальных к продольной оси элемента

$$\alpha = E_s/E_b = 2.04 \cdot 10^6/3.06 \cdot 10^5 = 6.67, \quad A = bh = 25.0 \cdot 55.0 = 1375 \text{ см}^2$$

$$A_{red} = A + A_s\alpha + A'_s\alpha = 1375 + 20.36 \cdot 6.67 + 1.57 \cdot 6.67 = 1521 \text{ см}^2$$

$$S_{t,red} = Ah/2 + A_s a\alpha + A'_s h'_0\alpha = 1375 \cdot 55.0/2 + 20.36 \cdot 5.0 \cdot 6.67 + 1.57 \cdot 50.0 \cdot 6.67 = 39014 \text{ см}^3$$

$$y_t = S_{t,red}/A_{red} = 39014/1521 = 25.65 \text{ см}$$

$$I = bh^3/12 + A(h/2 - y_t)^2 = 25.0 \cdot 55.0^3/12 + 1375(55.0/2 - 25.65)^2 = 351335 \text{ см}^4$$

$$I_s = A_s(y_t - a)^2 = 20.36(25.65 - 5.0)^2 = 8680 \text{ см}^4$$

$$I'_s = A'_s(h'_0 - y_t)^2 = 1.57(50.0 - 25.65)^2 = 931 \text{ см}^4$$

$$I_{red} = I + I_s\alpha + I'_s\alpha = 351335 + 8680 \cdot 6.67 + 931 \cdot 6.67 = 415406 \text{ см}^4$$

$$W_{red} = I_{red}/y_t = 415406/25.65 = 16197 \text{ см}^3, \quad W_{pl} = 1.3W_{red} = 1.3 \cdot 16197 = 21056 \text{ см}^3$$

$$M = 40.79 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{см} > M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} = 15.8 \cdot 21056 = 3.33 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{см}$$

Вывод. Трещины образуются.

Расчет ширины раскрытия трещин

$$E_{b,red} = \frac{R_{b,ser}}{\varepsilon_{bl,red}} = \frac{188.6}{0.0015} = 1.26 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2, \quad \alpha_{s1} = \frac{E_s}{E_{b,red}} = \frac{2.04 \cdot 10^6}{1.26 \cdot 10^5} = 16.2, \quad \alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 16.2$$

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{20.36}{25.0 \cdot 50.0} = 0.016, \quad \mu'_s = \frac{A'_s}{bh_0} = \frac{1.57}{25.0 \cdot 50.0} = 0.001$$

$$x_m = h_0 \left(\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1} a'/h_0) - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})} \right) =$$

$$= 50.0 \left(\sqrt{(0.016 \cdot 16.2 + 0.001 \cdot 16.2)^2 + 2(0.016 \cdot 16.2 + 0.001 \cdot 16.2 \cdot 5.0/50.0) - (0.016 \cdot 16.2 + 0.001 \cdot 16.2)} \right) =$$

$$y_c = x_m = 24.93 \text{ см}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c)^2 = 20.36(50.0 - 24.93)^2 = 12795 \text{ см}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a')^2 = 1.57(24.93 - 5.0)^2 = 624 \text{ см}^4$$

$$I_b = by_c^3/12 + y_c b(y_c/2)^2 = 25.0 \cdot 24.93^3/12 + 24.93 \cdot 25.0 \cdot (24.93/2)^2 = 129133 \text{ см}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s2} + I'_s\alpha_{s1} = 129133 + 12795 \cdot 16.2 + 624 \cdot 16.2 = 346739 \text{ см}^4$$

$$x_t = h - x_m = 30.07 \text{ см}$$

Поскольку $x_t \geq 0.5h$, то принимается значение $x_t = 0.5h = 0.5 \cdot 55.0 = 27.50$ см.

$$A_t = bx_t = 25.0 \cdot 27.50 = 688 \text{ см}^2, \quad I_s = 0.5 \frac{A_t}{A_s} d_s = 0.5 \cdot \frac{688}{20.36} \cdot 3.6 = 60.8 \text{ см}$$

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
						87
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

Поскольку $l_s \geq 40$ см, то принимается значение $l_s = 40.0$ см.

Определение ширины раскрытия трещин от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок a_{crcl} при $\varphi_1 = 1.4$.

$$\sigma_s = \frac{M_l (h_0 - y_c)}{I_{red}} \alpha_{s1} = \frac{40.79 \cdot 10^5 (50.0 - 24.93)}{346739} \cdot 16.2 = 4782.2 \text{ кг/см}^2$$

$$\psi_s = 1 - 0.8 \frac{M_{crcl}}{M_l} = 1 - 0.8 \cdot \frac{3.33 \cdot 10^5}{40.79 \cdot 10^5} = 0.935$$

$$a_{crcl} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 1.4 \cdot 0.4 \cdot 1 \cdot 0.935 \cdot \frac{4782.2}{2.04 \cdot 10^6} \cdot 40.0 = 0.0491 \text{ см}$$

Определение ширины раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок a_{crcl3} при $\varphi_1 = 1.0$.

$$a_{crcl3} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 1.0 \cdot 0.4 \cdot 1 \cdot 0.935 \cdot \frac{4782.2}{2.04 \cdot 10^6} \cdot 40.0 = 0.0351 \text{ см}$$

Определение ширины раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных (длительных и кратковременных) нагрузок a_{crcl2} при $\varphi_1 = 1.0$.

$$\sigma_s = \frac{M (h_0 - y_c)}{I_{red}} \alpha_{s1} = \frac{40.79 \cdot 10^5 (50.0 - 24.93)}{346739} \cdot 16.2 = 4782.2 \text{ кг/см}^2$$

$$\psi_s = 1 - 0.8 \frac{M_{crcl}}{M} = 1 - 0.8 \cdot \frac{3.33 \cdot 10^5}{40.79 \cdot 10^5} = 0.935$$

$$a_{crcl2} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 1.0 \cdot 0.4 \cdot 1 \cdot 0.935 \cdot \frac{4782.2}{2.04 \cdot 10^6} \cdot 40.0 = 0.0351 \text{ см}$$

Проверка расчетных условий.

$$a_{crcl} = 0.0491 \text{ см} \not\leq a_{crcl,ult,l} = 0.0300 \text{ см}$$

$$a_{crcl} = a_{crcl} + a_{crcl2} - a_{crcl3} = 0.0491 + 0.0351 - 0.0351 = 0.0491 \text{ см} \not\leq a_{crcl,ult} = 0.0400 \text{ см}$$

Вывод. Ширина продолжительного раскрытия трещин превышает предельно допустимую. Ширина непродолжительного раскрытия трещин превышает предельно допустимую.

Проверка на образование трещин и ширины их раскрытия

Допущения и предпосылки. Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2012. Рассматриваются трещины нормальные к продольной оси элемента. Элемент изгибаемый. Сечение прямоугольное.

Исходные данные. $M = 40.79 \cdot 10^5$ кг·см; $M_t = 40.79 \cdot 10^5$ кг·см; $b = 25.0$ см; $h = 55.0$ см; $a = 5.0$ см; $h_0 = 50.0$ см; $a' = 5.0$ см; $h'_0 = 50.0$ см; $A_s = 20.36$ см²; $A'_s = 1.57$ см²; $d_s = 3.6$ см; бетон класса В25; $R_{bt,ser} = 15.8$ кг/см²; $R_{b,ser} = 188.6$ кг/см²; $E_b = 3.06 \cdot 10^5$ кг/см²; арматура класса А500; $E_s = 2.04 \cdot 10^6$ кг/см²; $\varphi_2 = 0.5$; $\varphi_3 = 1$; $\varepsilon_{bl,red} = 0.0015$; $a_{crc,ult} = 0.0400$ см; $a_{crc,ult,l} = 0.0300$ см.

Определение момента образования трещин, нормальных к продольной оси элемента

$$\alpha = E_s/E_b = 2.04 \cdot 10^6/3.06 \cdot 10^5 = 6.67, \quad A = bh = 25.0 \cdot 55.0 = 1375 \text{ см}^2$$

$$A_{red} = A + A_s\alpha + A'_s\alpha = 1375 + 20.36 \cdot 6.67 + 1.57 \cdot 6.67 = 1521 \text{ см}^2$$

$$S_{t,red} = Ah/2 + A_s a\alpha + A'_s h'_0\alpha = 1375 \cdot 55.0/2 + 20.36 \cdot 5.0 \cdot 6.67 + 1.57 \cdot 50.0 \cdot 6.67 = 39014 \text{ см}^3$$

$$y_t = S_{t,red}/A_{red} = 39014/1521 = 25.65 \text{ см}$$

$$I = bh^3/12 + A(h/2 - y_t)^2 = 25.0 \cdot 55.0^3/12 + 1375(55.0/2 - 25.65)^2 = 351335 \text{ см}^4$$

$$I_s = A_s(y_t - a)^2 = 20.36(25.65 - 5.0)^2 = 8680 \text{ см}^4$$

$$I'_s = A'_s(h'_0 - y_t)^2 = 1.57(50.0 - 25.65)^2 = 931 \text{ см}^4$$

$$I_{red} = I + I_s\alpha + I'_s\alpha = 351335 + 8680 \cdot 6.67 + 931 \cdot 6.67 = 415406 \text{ см}^4$$

$$W_{red} = I_{red}/y_t = 415406/25.65 = 16197 \text{ см}^3, \quad W_{pl} = 1.3W_{red} = 1.3 \cdot 16197 = 21056 \text{ см}^3$$

$$M = 40.79 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{см} > M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} = 15.8 \cdot 21056 = 3.33 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{см}$$

Вывод. Трещины образуются.

Расчет ширины раскрытия трещин

$$E_{b,red} = \frac{R_{b,ser}}{\varepsilon_{bl,red}} = \frac{188.6}{0.0015} = 1.26 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2, \quad \alpha_{s1} = \frac{E_s}{E_{b,red}} = \frac{2.04 \cdot 10^6}{1.26 \cdot 10^5} = 16.2, \quad \alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 16.2$$

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{20.36}{25.0 \cdot 50.0} = 0.016, \quad \mu'_s = \frac{A'_s}{bh_0} = \frac{1.57}{25.0 \cdot 50.0} = 0.001$$

$$x_m = h_0 \left(\sqrt{(\mu_s\alpha_{s2} + \mu'_s\alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s\alpha_{s2} + \mu'_s\alpha_{s1}a'/h_0) - (\mu_s\alpha_{s2} + \mu'_s\alpha_{s1})} \right) =$$

$$= 50.0 \left(\sqrt{(0.016 \cdot 16.2 + 0.001 \cdot 16.2)^2 + 2(0.016 \cdot 16.2 + 0.001 \cdot 16.2 \cdot 5.0/50.0) - (0.016 \cdot 16.2 + 0.001 \cdot 16.2)} \right) = 24.9 \text{ см}$$

$$y_c = x_m = 24.93 \text{ см}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c)^2 = 20.36(50.0 - 24.93)^2 = 12795 \text{ см}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a')^2 = 1.57(24.93 - 5.0)^2 = 624 \text{ см}^4$$

$$I_b = by_c^3/12 + y_cb(y_c/2)^2 = 25.0 \cdot 24.93^3/12 + 24.93 \cdot 25.0 \cdot (24.93/2)^2 = 129133 \text{ см}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s2} + I'_s\alpha_{s1} = 129133 + 12795 \cdot 16.2 + 624 \cdot 16.2 = 346739 \text{ см}^4$$

$$x_t = h - x_m = 30.07 \text{ см}$$

Поскольку $x_t \geq 0.5h$, то принимается значение $x_t = 0.5h = 0.5 \cdot 55.0 = 27.50$ см.

$$A_t = bx_t = 25.0 \cdot 27.50 = 688 \text{ см}^2, \quad l_s = 0.5 \frac{A_t}{A_s} d_s = 0.5 \cdot \frac{688}{20.36} \cdot 3.6 = 60.8 \text{ см}$$

Поскольку $l_s \geq 40$ см, то принимается значение $l_s = 40.0$ см.

					Технический отчёт по теме: «Исследование свойств арматуры класса А500СП для проектирования в сейсмических районах»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		89

Определение ширины раскрытия трещин от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок a_{crcl} при $\varphi_1 = 1.4$.

$$\sigma_s = \frac{M_l (h_0 - y_c)}{I_{red}} \alpha_{s1} = \frac{40.79 \cdot 10^5 (50.0 - 24.93)}{346739} \cdot 16.2 = 4782.2 \text{ кг/см}^2$$

$$\psi_s = 1 - 0.8 \frac{M_{crct}}{M_l} = 1 - 0.8 \cdot \frac{3.33 \cdot 10^5}{40.79 \cdot 10^5} = 0.935$$

$$a_{crcl} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.935 \cdot \frac{4782.2}{2.04 \cdot 10^6} \cdot 40.0 = 0.0614 \text{ см}$$

Определение ширины раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок a_{crct3} при $\varphi_1 = 1.0$.

$$a_{crct3} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 1.0 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.935 \cdot \frac{4782.2}{2.04 \cdot 10^6} \cdot 40.0 = 0.0438 \text{ см}$$

Определение ширины раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных (длительных и кратковременных) нагрузок a_{crct2} при $\varphi_1 = 1.0$.

$$\sigma_s = \frac{M (h_0 - y_c)}{I_{red}} \alpha_{s1} = \frac{40.79 \cdot 10^5 (50.0 - 24.93)}{346739} \cdot 16.2 = 4782.2 \text{ кг/см}^2$$

$$\psi_s = 1 - 0.8 \frac{M_{crct}}{M} = 1 - 0.8 \cdot \frac{3.33 \cdot 10^5}{40.79 \cdot 10^5} = 0.935$$

$$a_{crct2} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 1.0 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.935 \cdot \frac{4782.2}{2.04 \cdot 10^6} \cdot 40.0 = 0.0438 \text{ см}$$

Проверка расчетных условий.

$$a_{crcl} = 0.0614 \text{ см} \not\leq a_{crct,ult,l} = 0.0300 \text{ см}$$

$$a_{crct} = a_{crcl} + a_{crct2} - a_{crct3} = 0.0614 + 0.0438 - 0.0438 = 0.0614 \text{ см} \not\leq a_{crct,ult} = 0.0400 \text{ см}$$

Вывод. Ширина продолжительного раскрытия трещин превышает предельно допустимую. Ширина непродолжительного раскрытия трещин превышает предельно допустимую.