

# Научная квалификационная работа:

## «Экспериментальное и численное исследование балок коробчатого сечения, подверженных кручению из самоуплотняющегося бетона применительно к условиям Республики Ирак»

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Абу Махади М.И..

Аспирант Аль-Брис Роаа Хилми Кадхим.

РУДН им. Патриса Лумумбы, Москва, 2025



# ВВЕДЕНИЕ

## ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

МЕТОДИКА ВНУТРЕННЕГО УСИЛЕНИЯ АРМИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОРОБЧАТЫХ БАЛОК, РАБОТАЮЩИХ НА КРУЧЕНИЕ, ИЗ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА КАРКАСНЫМИ СТАЛЬНЫМИ РЕБРАМИ ЖЕСТКОСТИ (FSSR)

## ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОРОБЧАТЫХ БАЛОК, РАБОТАЮЩИХ НА КРУЧЕНИЕ, А ТАКЖЕ ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА И ТИПА СЕЧЕНИЯ КАРКАСНЫХ СТАЛЬНЫХ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ (FSSR), ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ПОВЫШЕНИЕ КРУТИЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ.

## ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

- (i) экспериментальное исследование эффективности использования внутренних каркасных стальных ребер жесткости (FSSR) для усиления железобетонных коробчатых балок из самоуплотняющегося бетона;
- (ii) изучение влияния количества и жесткости (тип сечения) каркасных стальных ребер (FSSR) на величину увеличения сопротивления кручению;
- (iii) изучение влияния наличия предварительного напряжения на поведение при кручении в присутствии внутреннего усиления;

# Цель работы

Целью работы является экспериментальное исследование эффективности применения внутренних усиливающих каркасных стальных ребер жесткости (FSSR) в железобетонных балках, работающих на кручение, из самоуплотняющегося бетона, а также оценить влияние предварительного напряжения на работу конструкции при кручении с использованием внутреннего усиления (FSSR)..



В последнее время конструкции с балками коробчатого сечения получили широкое распространения





## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

Для достижения основных целей и задач, упомянутых выше, в качестве практической части настоящей работы была выполнена экспериментальная работа, состоящая из подготовки и испытания четырнадцати образцов, подвергнутых чистому кручению. Были изучены общее поведение, характер разрушения и схема трещинообразования. В ходе испытания каждого образца регистрировались данные, включающие нагрузку появления первой видимой трещины, предельную нагрузку, деформации в бетоне и стальной арматуре (как продольной, так и поперечной), а также деформации в усиливающих каркасных стальных ребрах жесткости (FSSR). Также изучался угол закручивания на обоих концах, в четверти и середине пролета испытываемых образцов.



# Программа экспериментальной части работы



# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Характеристики образцов (первая и вторая категория)

Группа	Обозначение образцов *		Размеры (см)					Кол-во стальных каркасных ребер жесткости (шт.)	Тип каркасных стальных ребер жесткости
	Первая категория	Вторая категория	Длина (L)	Ширина (B)	Высота (H)	Толщина полки (tf)	Толщина стенки (t)		
1	1NR	1PR	210	30	30	6	6	-----	-----
2	2N1OF	2P1OF						1	Открытое сечение
	3N3OF	3P3OF						3	
	4N5OF	4P5OF						5	
3	5N1CF	5P1CF						1	Закрытое сечение
	6N3CF	6P3CF						3	
	7N5CF	7P5CF						5	



# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

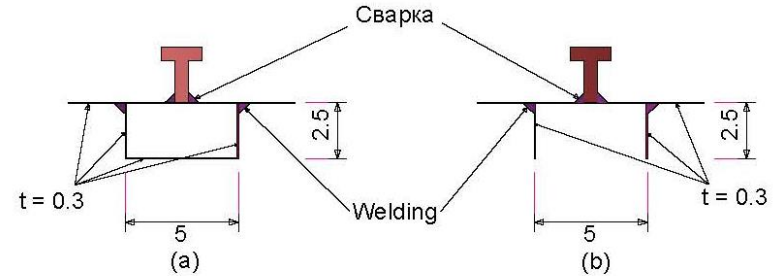
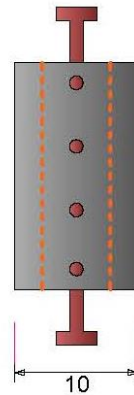
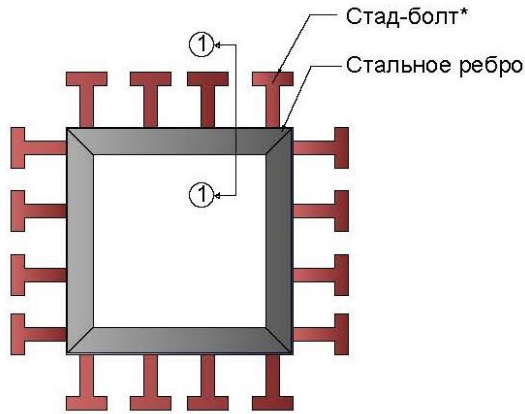
Характеристика образцов (размеры даны в см)



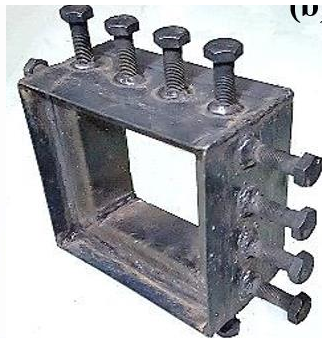


# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

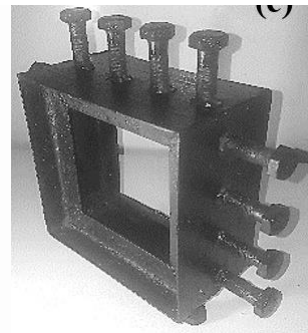
## Каркасные стальные ребра жесткости



Сечение(1-1) : (a) Закрытое сечение (b) Открытое сечение



**Закрытое сечение**



**Открытое сечение**



Применяемые электроды



# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Характеристика образцов (1 категория). Размеры даны в см

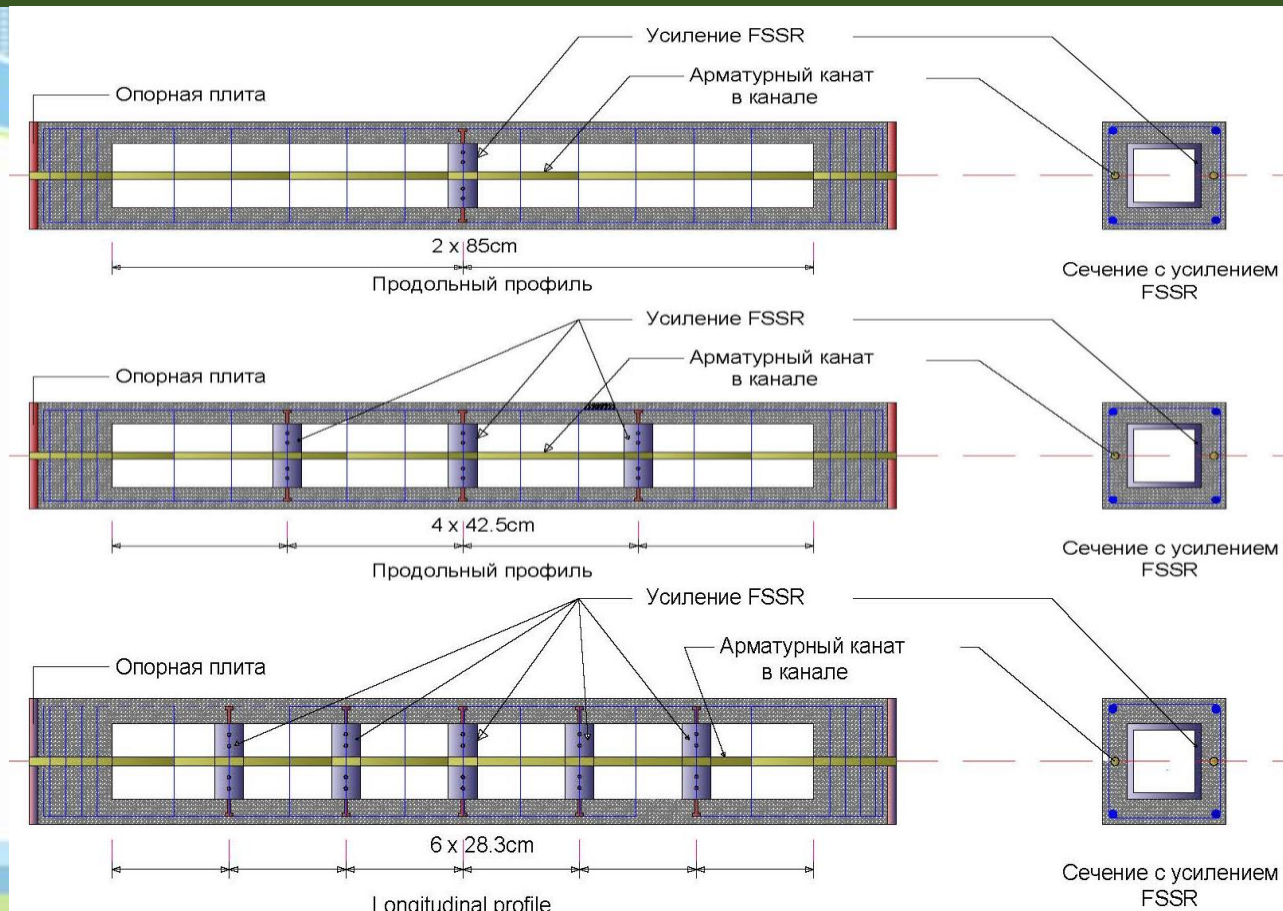
Образцы без  
прежварительного  
напряжения



# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Характеристика образцов (2 категория). Размеры даны в см

Образцы  
предварительно  
напряженные



# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. Состав самоуплотняющегося бетона



Материал	Кол-во	Рассчитано %	Предельные значения по EFNARC [7]
цемента ( $\text{kg/m}^3$ )	470	-----	350 - 600
песка ( $\text{kg/m}^3$ )	750	33 % <sup>a</sup>	< 40%
гравия ( $\text{kg/m}^3$ )	900	40 % <sup>b</sup>	< 50 %
силикатной пыли ( $\text{kg/m}^3$ )	23.5	5 % <sup>c</sup>	-----
известняковый порошок ( $\text{kg/m}^3$ )	130	-----	-----
суперпластификатора ( $\text{l/m}^3$ )	11.5	1.844 % <sup>d</sup>	< 2%
вода ( $\text{l/m}^3$ )	188	-----	-----
<sup>e</sup> В/Ц (%)	-----	30.2 % <sup>e</sup>	28 % - 38 %



# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. Испытания свежего бетона



№.	Испытание	Показатель	Ед.изм.	Результат	Предельные значения [7]
1	Испытание на <del>расплыв</del> с помощью конуса Абрамса	Заполняющая способность	мм	715	650 - 800
2	T <sub>50 см</sub> тест на <del>расплыв</del> конуса	Заполняющая способность	сек	3.3	2 - 5
3	Испытание с J-образным кольцом (J-Ring Test)	Текучесть	мм	3	0.0 - 10
4	Испытание в V-образной воронке (V-Funnel Test)	Заполняющая способность	сек	13	6 - 12
5	Испытание в V-образной воронке (V-funnel at T <sub>5 минут</sub> )	Устойчивость к расслоению	сек	23.4	<del>Увелич.</del> времени +3
6	Испытание в L-образном ящике (L-Box Test)	Текучесть	-----	0.97	0.8 – 1.0
7	Испытание в U-образном ящике (U-box Test)	Текучесть	мм	28	Около нуля (30 max)
8	-----	Плотность свежего бетона	кг/м <sup>3</sup>	2470	-----



# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. Испытания затвердевшего самоуплотняющегося бетона



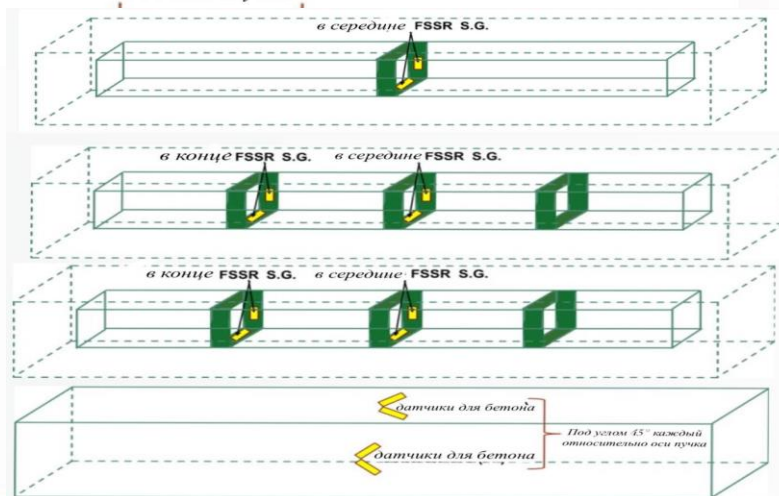
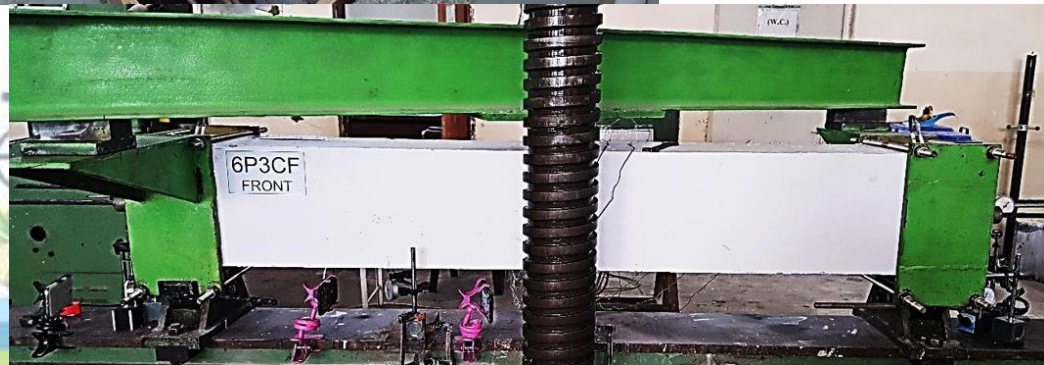
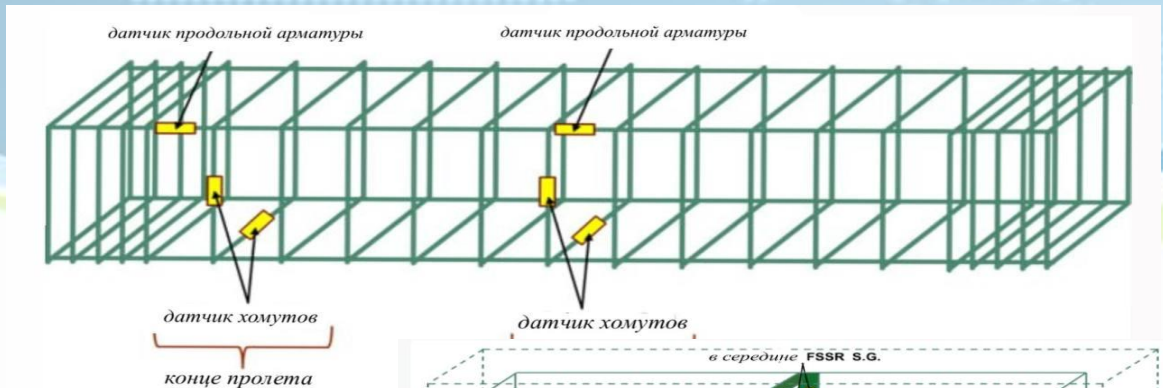
Тип бетона	Прочность на сжатие (МПа)		$f_c/f_{cu}$ (%)	$\gamma_c$ (кг/м <sup>3</sup> )	$f_x$ (МПа)	$f_t$ (МПа)	$E_c$ (МПа)	$G_c$ (МПа)	$\nu_c$
	$f_c$	$f_{cu}$							
СУБ	56	57.3	97.7	2424	6.6	2.9	41555	28192	0.263

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. Изготовление образцов



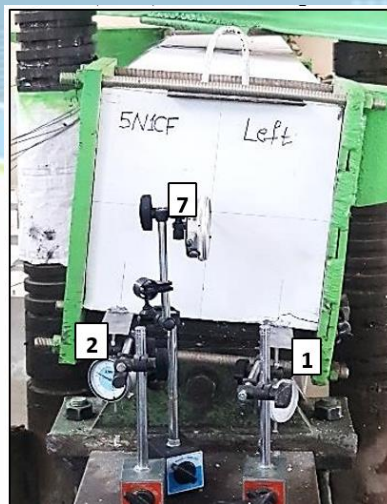


# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. Изготовление, выдерживание (уход за бетоном) и подготовка образцов с испытанию



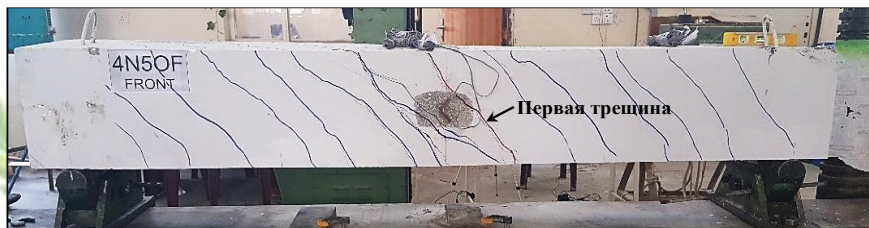


# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. Изготовление, выдерживание (уход за бетоном) и подготовка образцов с испытанию





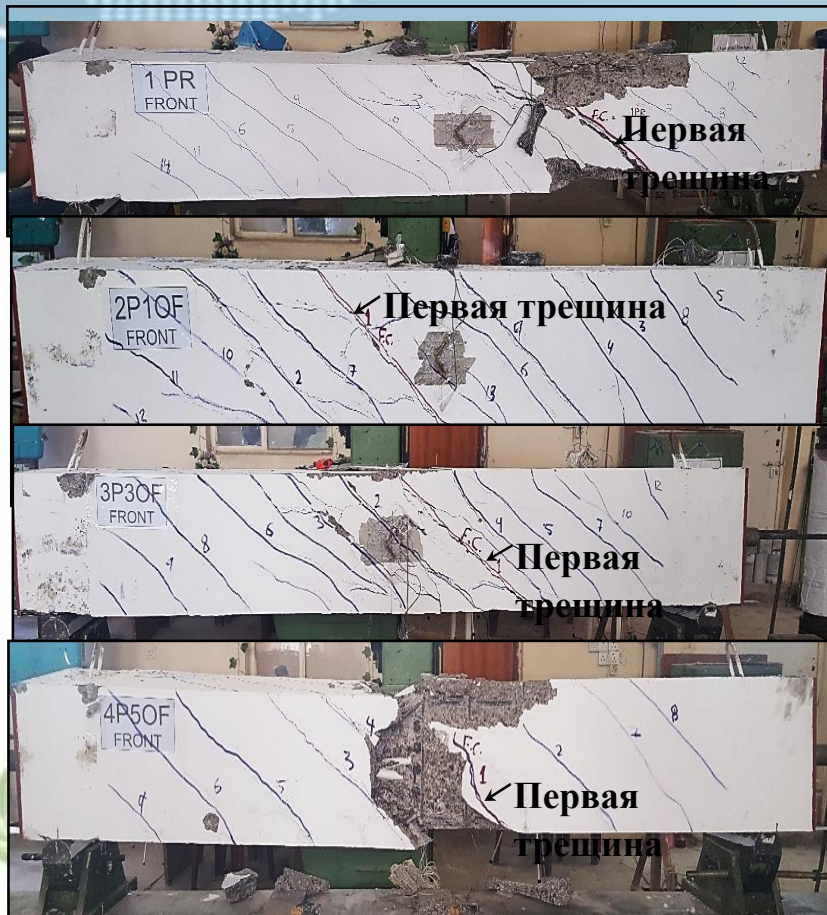
# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. Механизм разрушения



**Образцы-балки без  
предварительного напряжения**



# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. Механизм разрушения



Предварительно напряженные образцы-балки

# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. Трещинообразование и предельные нагрузки

Категория	Обозначение образца	$P_{гг}$ , кН	$P_u$ , кН	$A_{тм}$ , м	$T_{гг}$ , кН*м	$T_u$ , кН*м	Увеличение $T_{гг}$ , %**	Увеличение $T_{гг}$ , %**	Увеличение $T_{гг}$ , %***	Увеличение $T_{гг}$ , %***
Первая	1NR*	70.01	122.5	0.5	17.51	30.64	0.0	0.0	----	----
	2N1OF	92.52	162.5		23.14	40.64	32.12	32.71	----	----
	3N3OF	90.01	195.0		22.51	48.76	28.61	59.21	----	----
	4N5OF	90.0 2	237.5		22.51	59.39	28.6 3	93.93	----	----
	5N1CF	87.51	178.5		21.89	44.64	25.01	45.7 2	----	----
	6N3CF	90.01	215.0		22.51	53.76	28.61	75.5 1	----	----
	7N5CF	92.52	272.5		23.14	68.14	32.13	122.42	----	----
Вторая	1PR*	117.51	192.5	0.5	29.38	48.14	0.0	0.0	67.91	57.11
	2P1OF	122.51	242.5		30.63	60.64	4.3 2	26.02	75.01	98.0 1
	3P3OF	130.01	280.0		32.60	70.01	10.62	45.5 1	85.72	128.62
	4P5OF	127.52	345.0		31.90	86.26	8.53	79.22	82.13	181.63
	5P1CF	135.01	257.5		33.76	64.39	14.91	33.8 3	92.9 1	110.22
	6P3CF	162.51	302.0		40.63	75.51	38.32	56.91	132.12	146.51
	7P5CF	182.52	371.5		45.63	92.89	55.3 3	93.03	160.7 2	203.32



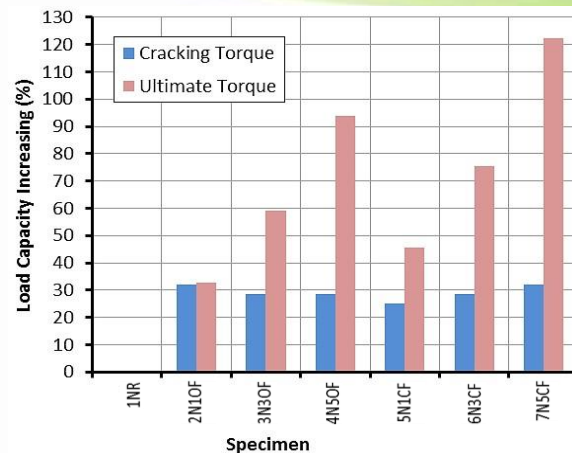
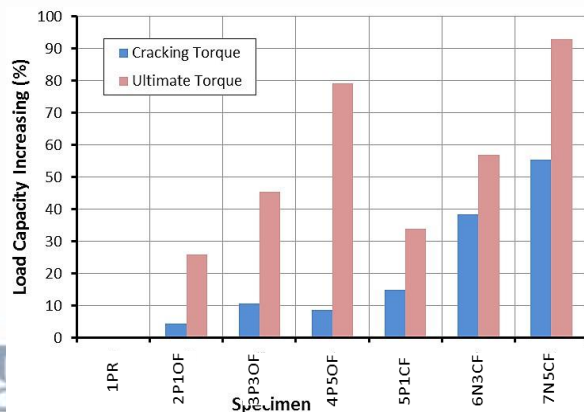


# Трещинообразование и предельные нагрузки



**Вращение концевой секции (поворот на опоре)**

**Откалывание защитного слоя бетона**



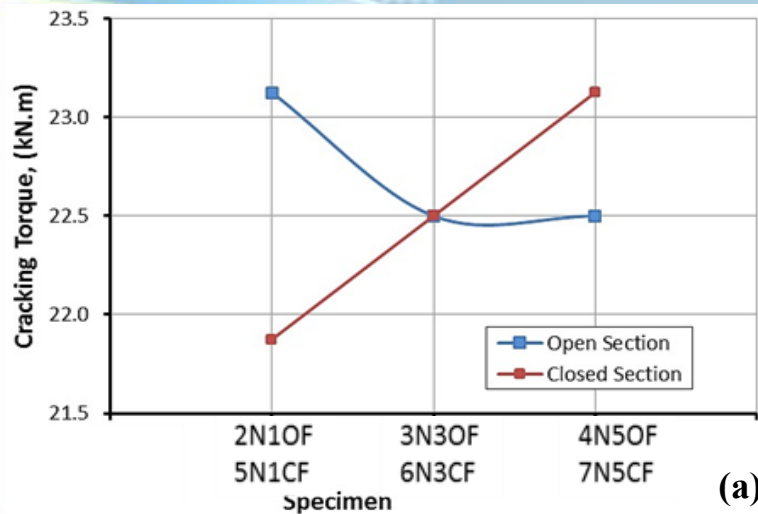
**Предварительно-напряженные образцы**

**Образцы без предварительного напряжения**

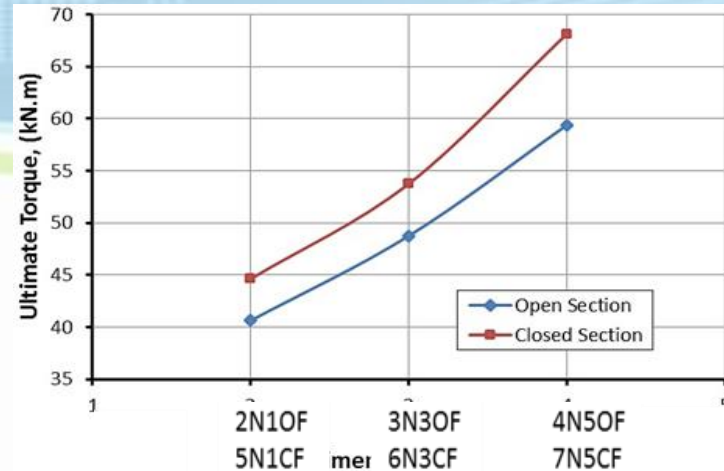
**Усиливающие элемента (FSSR) после испытания**

**Процент увеличения несущей способности**

# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. Трещинообразование и предельные нагрузки



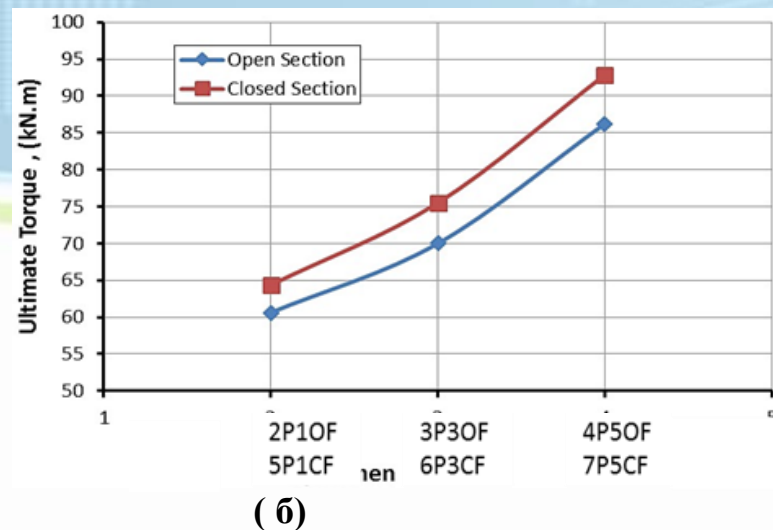
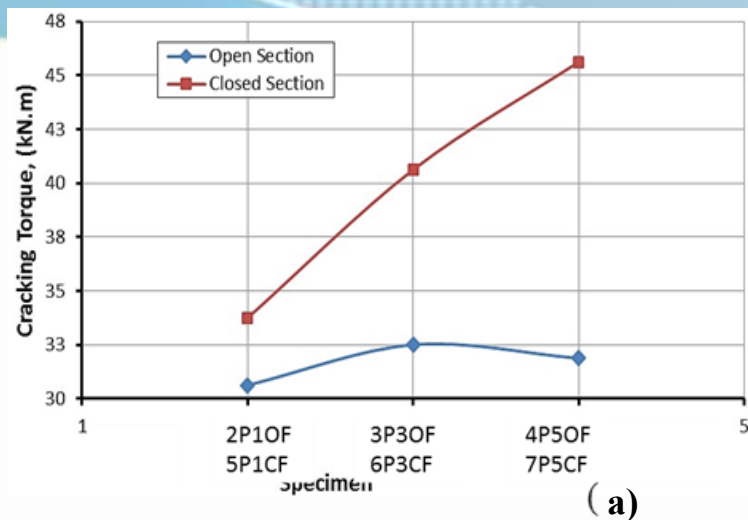
(a)



(Б)

Нагрузка образцов с усилением в виде каркасных стальных ребер жесткости (FSSRs) с открытым и закрытым сечением (первая категория): а) крутящий момент трещинообразования; б) предельный крутящий момент

# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. Трещинообразование и предельные нагрузки



Нагрузка образцов с усилением в виде каркасных стальных ребер жесткости (FSSRs) с открытым и закрытым сечением (вторая категория): а) крутящий момент трещинообразования; б) предельный крутящий момент



# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Деформации при образовании трещин и при предельной нагрузке (первая категория)

Образец	Деформации при $T_{cr}$				Деформации при $T_u$			
	$\theta_{ES}$	$\theta_{QS}$	$\theta_{MS}$	$\delta L$	$\theta_{ES}$	$\theta_{QS}$	$\theta_{MS}$	$\delta L$
1NR	0.328	0.183	0.057	0.376	3.538	2.667	1.975	3.829
2N1OF	0.441	0.200	0.063	0.346	4.358	3.501	2.964	3.558
3N3OF	0.319	0.160	0.063	0.241	4.102	3.438	2.833	3.308
4N5OF	0.218	0.103	0.052	0.256	3.908	2.913	2.581	3.129
5N1CF	0.271	0.183	0.069	0.175	3.656	3.740	3.484	3.786
6N3CF	0.275	0.258	0.103	0.271	4.054	4.657	4.845	5.817
7N5CF	0.208	0.126	0.069	0.188	3.761	3.250	3.900	4.366

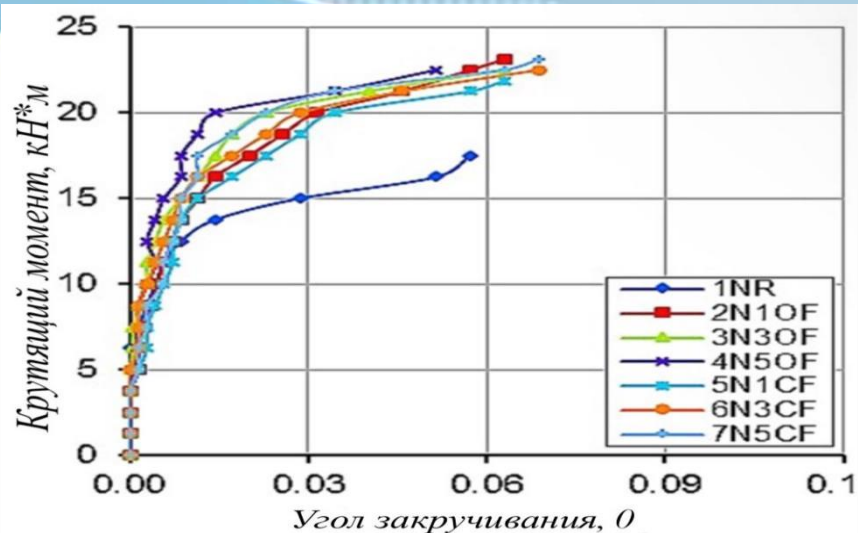
Примечание: 1-  $\theta$  – общий угол закручивания в градусах;  $\delta L$  – это продольное удлинение в мм.

2- Индекс снизу ES, QS, MS обозначает на концах пролета, в четверти пролета и в середине пролета, соответственно.

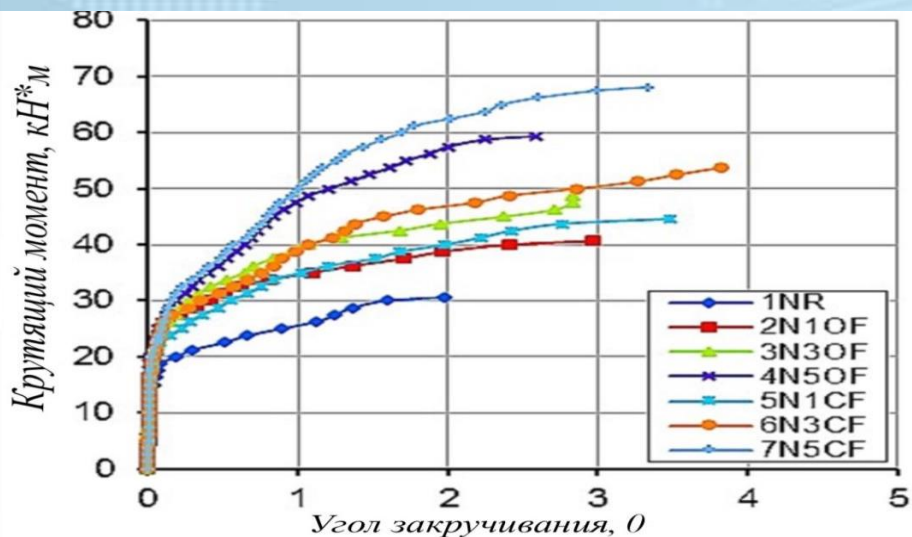


# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. Угол закручивания

Зависимость приложенного крутящего момента от угла закручивания для образцов-балок без предварительного напряжения первой категории (в середине пролета)



а) до крутящего момента  
образования трещин

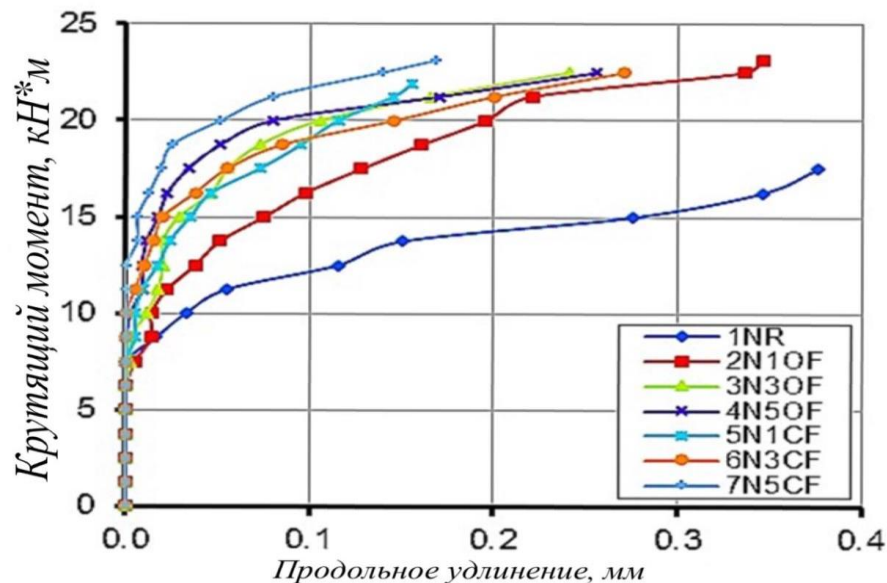


б) до предельного  
крутящего момента

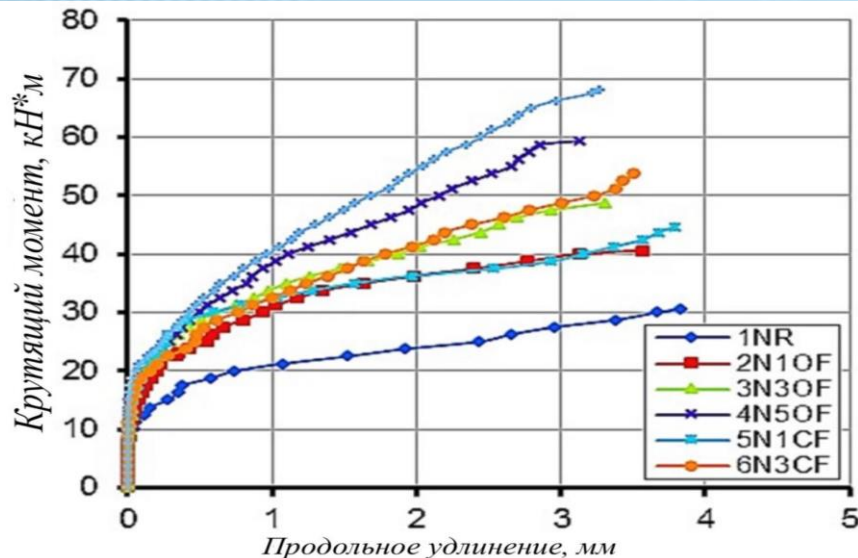


# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. Продольное удлинение

Зависимость приложенного крутящего момента от продольного удлинения образцов-балок без предварительного напряжения первой категории (на концах пролета)



а) до крутящего момента  
образования трещин



б) до предельного  
крутящего момента



# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Деформации при образовании трещин и при предельной нагрузке (вторая категория)

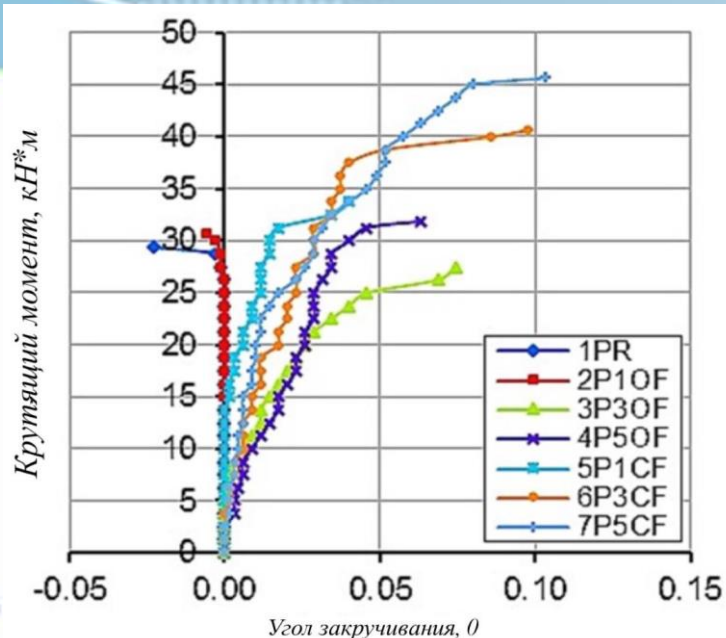
Образец	Деформации при $T_{cr}$				Деформации при $T_u$			
	$\theta_{ES}$	$\theta_{QS}$	$\theta_{MS}$	$\delta L$	$\theta_{ES}$	$\theta_{QS}$	$\theta_{MS}$	$\delta L$
1PR	0.290	0.264	-0.044	0.061	2.738	2.291	0.803	3.255
2P1OF	0.310	0.224	-0.012	-0.021	3.624	2.931	2.005	2.452
3P3OF	0.296	0.247	0.075	0.117	3.4597	2.937	2.692	2.750
4P5OF	0.207	0.179	0.070	-0.032	2.948	2.639	1.641	2.397
5P1CF	0.239	0.167	0.041	0.019	3.492	3.165	2.832	2.238
6P3CF	0.210	0.270	0.098	-0.062	3.055	2.822	1.874	2.524
7P5CF	0.193	0.310	0.161	-0.077	2.857	2.789	1.862	2.616
<p>Примечание: 1- <math>\theta</math> – общий угол закручивания в градусах; <math>\delta L</math> – это продольное удлинение в мм.</p> <p>2- Индекс снизу ES, QS, MS обозначает на концах пролета, в четверти пролета и в середине пролета, соответственно.</p>								



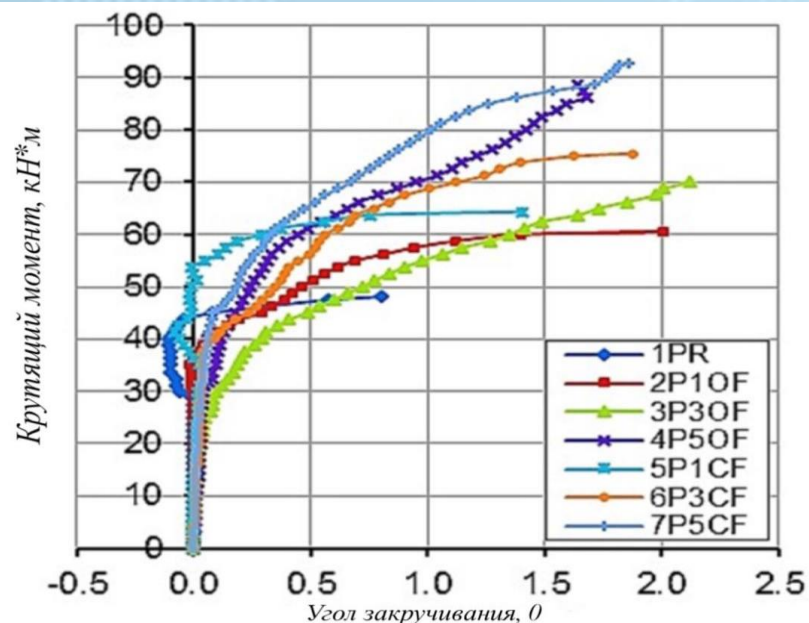


# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. Угол закручивания

Зависимость приложенного крутящего момента от угла закручивания для образцов-балок с предварительным напряжением второй категории (в середине пролета)



а) до крутящего момента образования трещин

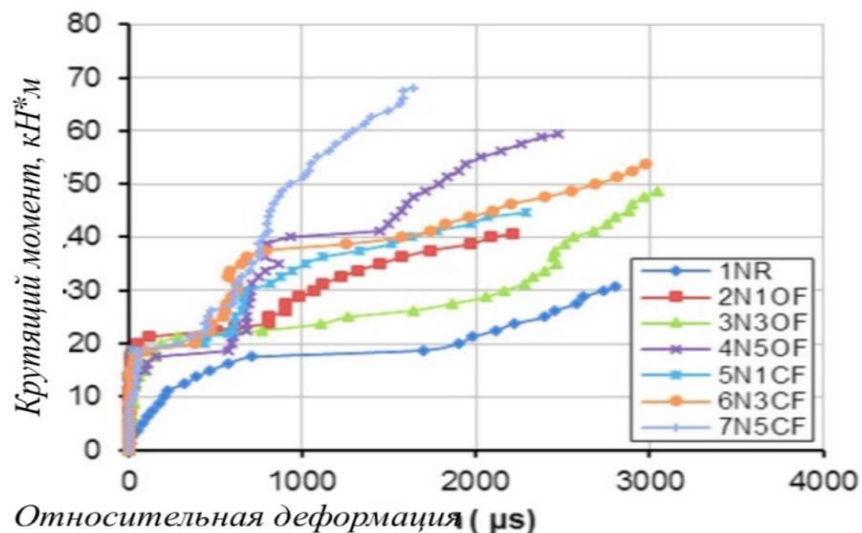


б) до предельного крутящего момента

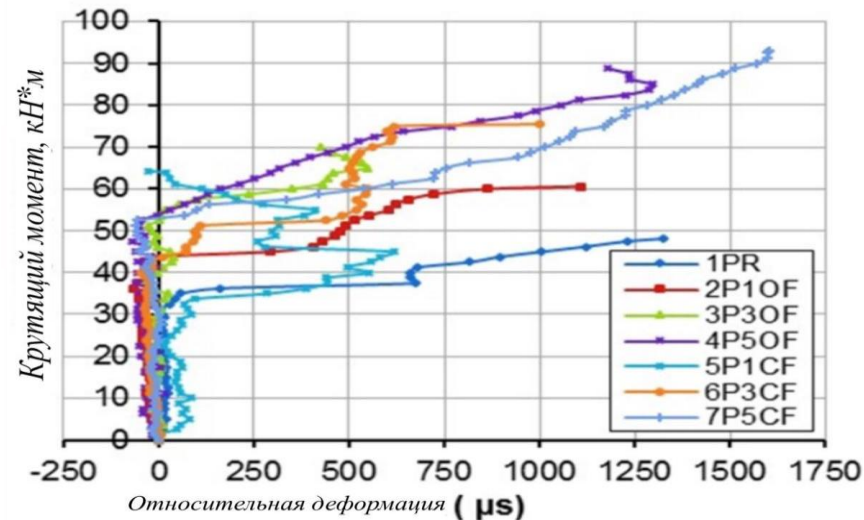




# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. Относительные деформации в стальной арматуре в середине пролета



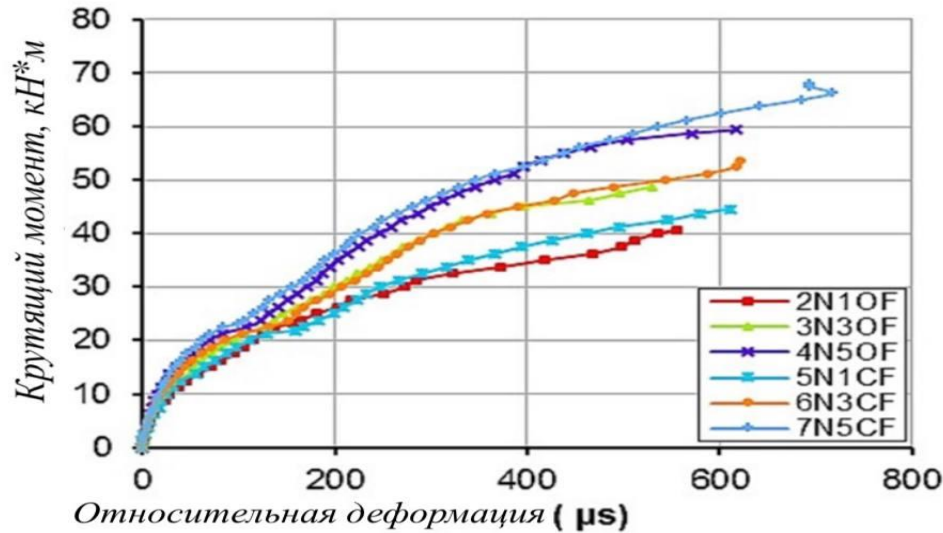
Образцы без  
предварительного напряжения



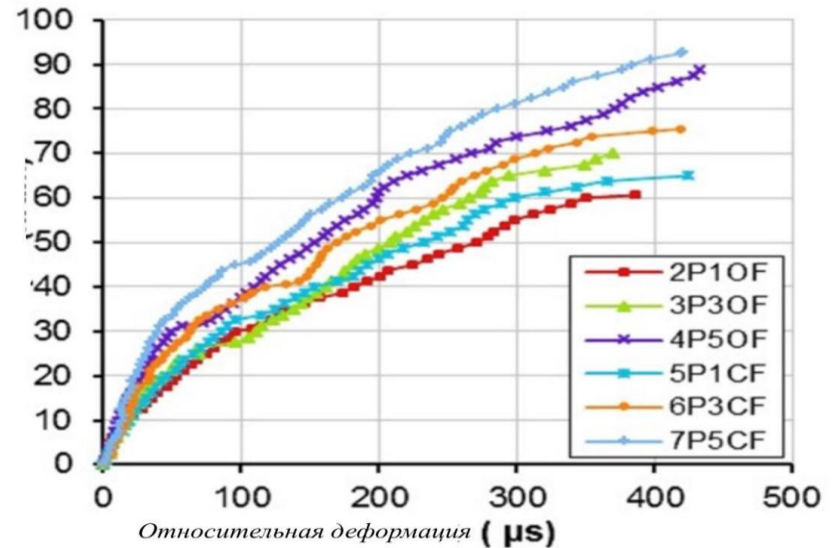
Предварительно  
напряженные образцы



# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. Деформации в каркасных стальных ребрах жесткости (FSSRs) в середине пролета



Образцы без  
предварительного напряжения



Предварительно  
напряженные образцы



## Использование регрессионного анализа для получения значения предельного крутящего момента

- $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$

$X_1$  — количество каркасных стальных рёбер жёсткости (FSSR); для балки без FSSR принимается  $X_1 = 0,5$ ;

$X_2 = 1$  для балки без FSSR; 2 для балки с рёбрами жёсткости открытого сечения; 2 для балки с рёбрами жёсткости закрытого сечения;

$X_3 = 1$  для ненапрягаемой балки; 2 для предварительно напряжённой балки.



Таблица приводит результаты регрессионной статистики, полученные в Microsoft Excel

СВОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	
<i>Регрессионная статистика</i>	
Коэффициент множественной корреляции R	0.992870195
<b>R-квадрат</b>	<b>0.985791224</b>
Адаптированный R-квадрат	0.981528591
Стандартная ошибка	2.37686658
Число наблюдений	14
<i>Коэффициенты</i>	
Свободный член	-1.793060355
x1	6.068977853
x2	5.898458262
x3	21.69571429



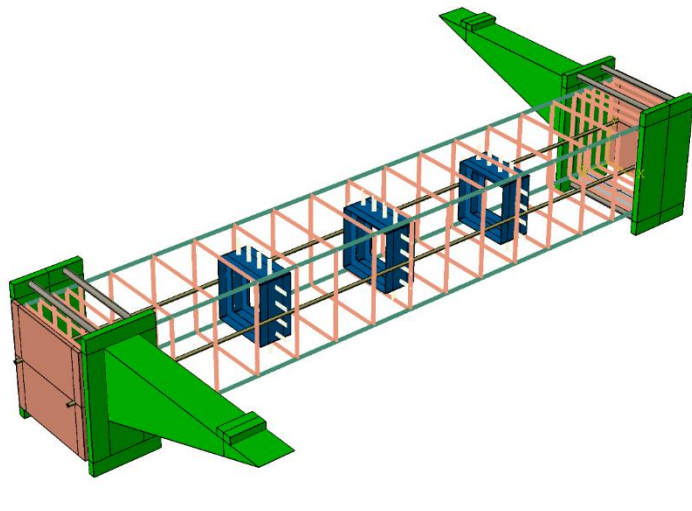


$$Tu=Y=-1.79306035531762+6.06897785349233*X_1+5.89845826235094*X_2+21.6957142857143*X_3$$

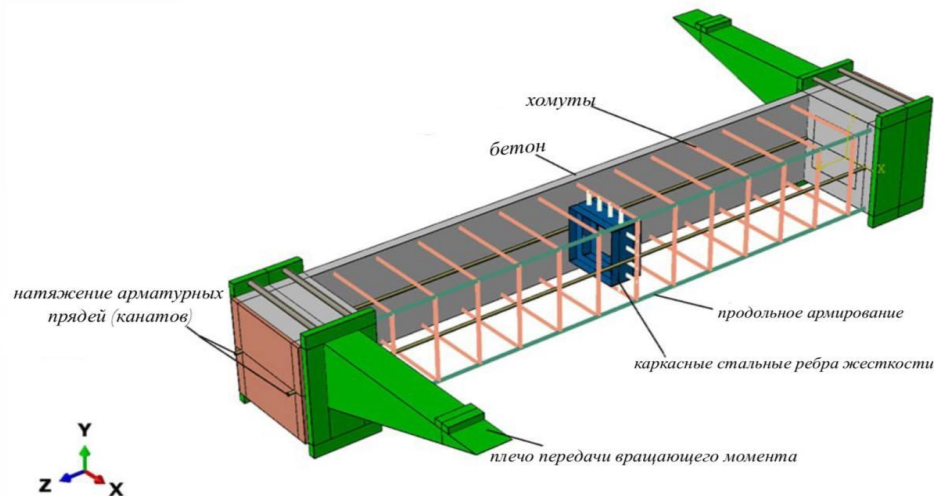
**Таблица Сопоставление результатов полученного уравнения с  
экспериментальными данными**

ID Балки	Tu эксперимент (кН×м)	x1	x2	x3	Tu по уравнению (кН×м)	Расхождение %
1NR*	30.64	0.5	1	1	28.83560112	5.9
2N1OF	40.64	1	2	1	37.76854831	7.0
3N3OF	48.76	3	2	1	49.90650402	2.4
4N5OF	59.39	5	2	1	62.04445972	4.5
5N1CF	44.64	1	3	1	43.66700657	2.2
6N3CF	53.76	3	3	1	55.80496228	3.8
7N5CF	68.14	5	3	1	67.94291798	0.3
1PR*	48.14	0.5	1	2	50.53131541	5
2P1OF	60.64	1	2	2	59.46426259	1.9
3P3OF	70.01	3	2	2	71.6022183	2.3
4P5OF	86.26	5	2	2	83.74017401	2.9
5P1CF	64.39	1	3	2	65.36272086	1.5
6P3CF	75.51	3	3	2	77.50067656	2.6
7P5CF	92.89	5	3	2	89.63863227	3.5





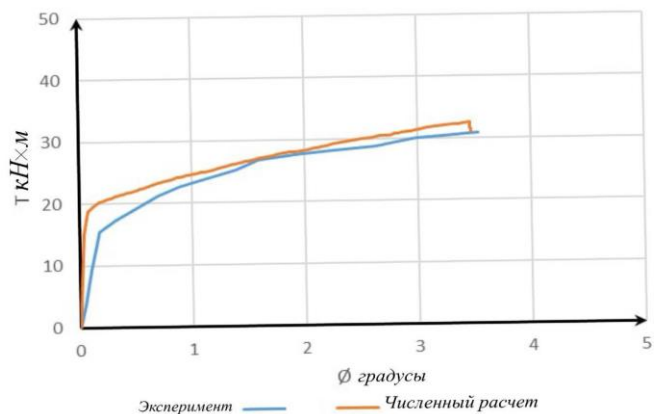
Образец без  
предварительного  
напряжения



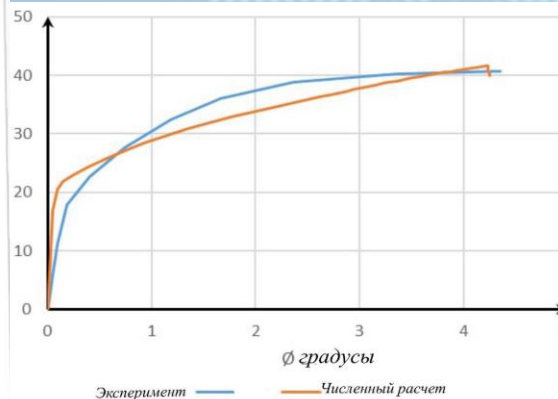
Предварительно  
напряженный образец



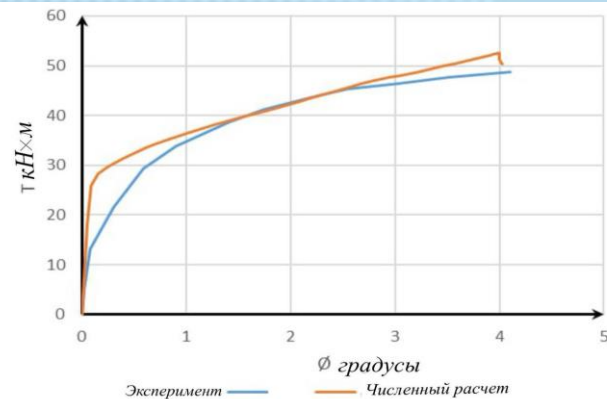
# КЭ анализ. Верификация конечно-элементов модели



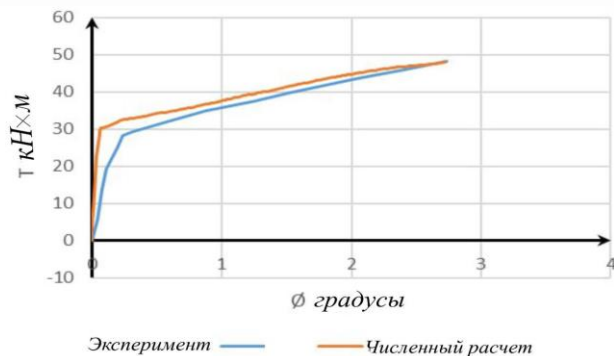
1NR балка



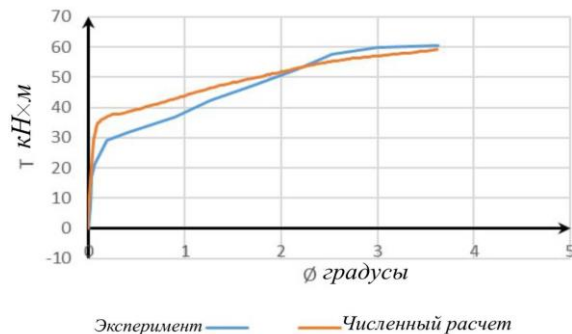
2N1OF балка



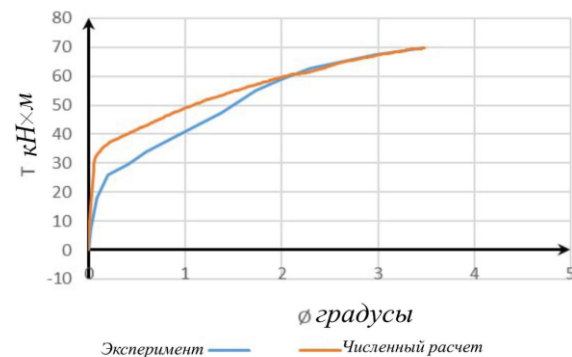
3N3OF балка



1PR балка



2P1OF балка



3P3OF балка

# КЭ анализ. Верификация конечно-элементов модели

Балка, марка	Предельный крутящий момент, $T_u$			Угол закручивания при предельном крутящем моменте, $\theta_u$		
	EXP (кН×м)	F.E. (кН×м)	FE/EXP	EXP (Град.)	F.E. (Град.)	FE/EXP
1NR*	30.63	32.549	0.001418	3.538	3.461	0.000692
2N1OF	40.63	41.666	0.000002	4.358	4.231	0.001135
3N3OF	48.75	52.531	0.002763	4.102	3.997	0.000908
4N5OF	59.38	61.052	0.00001	3.908	3.939	0.00001
5N1CF	44.63	46.96	0.00074	3.656	3.296	0.010611
6N3CF	53.75	53.255	0.00116	4.054	3.756	0.006092
7N5CF	68.13	69.87	0.000003	3.761	4.019	0.004103
1PR*	48.13	48.1	0.00065	2.738	2.726	0.00008
2P1OF	60.63	59.1	0.00252	3.624	3.618	0.00004
3P3OF	70	69.7	0.00085	3.4597	3.482	0.000003
4P5OF	86.25	88.07	0.00001	2.948	3.0425	0.000757
5P1CF	64.38	64.89	0.000291	3.492	3.625	0.001125
6P3CF	75.5	76.99	0.00002	3.055	3.22	0.002447
7P5CF	92.88	99.27	0.001919	2.857	3.174	0.011324
Среднее значение			1.024	Среднее значение		1.004
Коэффициент вариации (%)			3.012	Коэффициент вариации (%)		5.475





## Заключение

1. Применяемый метод усиления (технология) с использованием внутренних поперечных каркасных стальных ребер жесткости (FSSR) может быть эффективно использован для повышения крутильной несущей способности коробчатых балок.
2. Разрушение испытанных образцов балок происходило из-за полностью развитых диагональных трещин бетона (спиралевидные трещины при кручении), поскольку бетон достигал своей максимальной прочности на растяжение раньше других компонентов испытываемого образца балки. Поскольку коробчатое сечение по всему пролету не столь прочное по сравнению с монолитным сечением на концах, и с учетом того, что большое количество трещин распределялось по всему пролету балок, разрушение происходило вблизи центра пролета.
3. В образцах, с внутренним усилением (FSSR), диагональные трещины имеют меньшее количество и медленнее развиваются в усиленных участках, поскольку каркасные стальные ребра жесткости воспринимают часть напряжений и передают оставшуюся часть на бетон и арматуру. Место разрушения располагается между каркасными стальными ребрами жесткости (FSSR).

## Заключение

4. В целом, предельная нагрузка увеличивается при наличии внутренних усиливающих элементов (FSSR) по сравнению с контрольными образцами балок. Это увеличение прямо пропорционально увеличению количества усиливающих каркасных стальных ребер жесткости (FSSR). И это может быть связано с тем, что окончательная несущая способность образца зависит от сопротивления бетона, арматуры и внутренних усиливающих элементов (FSSR) приложенной нагрузке.

5. В целом, нагрузка трещинообразования увеличивается при наличии усиливающих каркасных стальных ребер жесткости (FSSR) по сравнению с контрольными образцами балок без усиления. Это увеличение не было явно связано с увеличением количества усиливающих внутренних элементов (FSSR), но может быть обусловлено тем, что сопротивление образцов до достижения нагрузки трещинообразования зависит в основном от вклада бетона.

6. Деформации в бетоне (как растягивающие, так и сжимающие), продольных стержнях, хомутах и каркасных стальных ребрах жесткости (в середине и конце пролета) уменьшаются с увеличением количества внутренних усиливающих элементов (FSSR) для всех образцов балок (первой и второй категории). Это означает, что деформации всех компонентов образца балки были ограничены наличием каркасных стальных ребер жесткости (FSSR).

## Заключение

7. Деформации каркасных стальных ребер жесткости (FSSR) имели небольшие значения, что указывает на их дополнительную прочность, которая может быть использована при применении бетона более высокой прочности..

8. Образцы балок второй категории (предварительно напряженные балки) имеют меньшую пластичность по сравнению с образцами балок первой категории (балки без предварительного напряжения). Это может объяснить относительно внезапное разрушение испытанных образцов балок второй категории.

9 . Была выявлена сильная корреляция между значениями предельного крутящего момента и угла закручивания, полученными из численных моделей, и значениями, полученными путем экспериментальных испытаний.



## Заключение

10. Уравнение, полученное в результате процесса регрессии, указывает на то, что прогнозируемые значения предельного крутящего момента имеют хорошую сходимость с экспериментальными результатами, испытанных балок, где разница в процентах варьировалась от 0,3% до 7%. Таким образом, это уравнение может быть использовано в будущем для сокращения времени, усилий и затрат.



# РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- ▶ **Аль-Брис Роаа хилми Кадхим**, Али Юсуф Мохамед (Изучение и оценка способов развития боковых напряжений внутри бетонных труб)/ №11 2022/ 2 ЭКОНОМИКА СТРОИТЕЛЬСТВА
- ▶ **Аль-Брис Роаа хилми Кадхим , Абу махади Мохаммед Ибрагим**, Алокозай Ахмад шоайб ( НЕЛИНЕЙНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТНОШЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК КРУЧЕНИЮ)/ Инновации и Инвестиции/112 2022
- ▶ **Аль-Брис Р.Х.К., Абу М.М., Аль-Хчаими М.Ж.Ж., Фадль М.Р.Ф.**  
(ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ УСИЛЕНИЯ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ КРУЧЕНИЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК) / Components of Scientific and Technological/2023
- ▶ **Аль-Брис Р.Х.<sup>1</sup> , Абу М.М.<sup>1</sup> , Аль-Хчаими М.Ж.<sup>1</sup>** (Исследование влияния включения порошкового известняка и мелкого кремнезема на характеристики самоуплотняющегося бетона) / Инновации и инвестиции/8 2024



# РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- ▶ **Roaa H. Al-Brees 1,2, Mohamed I. Abu Mahadi 1**, Thaar S. Al-Gasham2, \* Alaa J. Naji1,3 (Three-dimensional finite element analysis of composite steel - concrete arches)/ March 2023
- ▶ **Roaa Hilmi Kadhim Al-Brees, Mohamed Ibrahim Abu Mahadi**, Alexey Semenovitch Markovich, Darya Aleksandrovna Golishevskaya  
(An Experimental and Numerical Study of Internally Torsional Strengthening of Box Beams Made from SCC Concrete)/ June 2025
- ▶ **Roaa Hilmi Kadhim Al-Brees**,2 Paschal Chimeremeze Chiadighikaobi1 , \* Open Modal Qais Abdulrahman (A Review Study of the Mechanical Characteristics of Nano Concrete Reinforced with Hybrid Fiber)/ 21 Jun 2023
- ▶ **Al-Brees Roaa Hilmi Kadhim**, Khawla Abbas Farhan; Alaa J. Naji; H. M. Al-Jelawy (Effect of Coarse Plastic Waste Aggregates on the Performance of Concrete-Filled Steel Tube Columns and Their Life Cycle)/21 December 2023





# Спасибо за внимание

