



НИИЖБ
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



**Российский университет
дружбы народов**



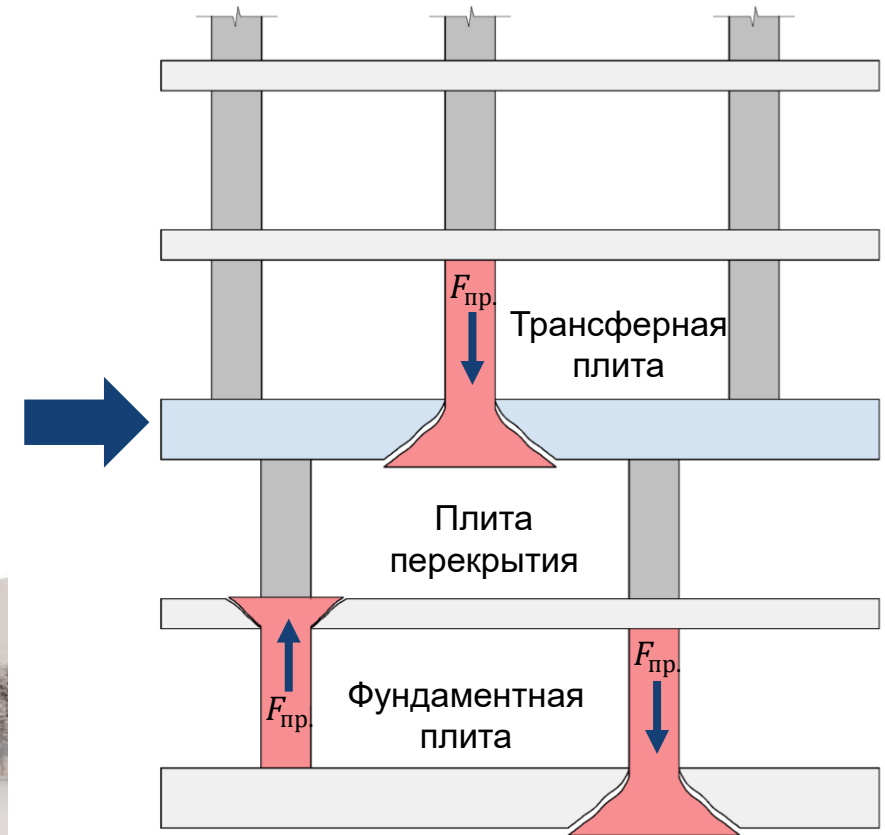
**Кафедра железобетонных
и каменных конструкций
НИУ МГСУ**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ НА ПРОДАВЛИВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ БОЛЬШОЙ ТОЛЩИНЫ

Докладчик: Трофимов Сергей Владиславович
Старший научный сотрудник НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»,
преподаватель кафедры ЖБК ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»

Москва 2026

Определение прочности на продавливание железобетонных плоских плит и плитных фундаментов в практике проектирования является непростой задачей. От результатов решения данной задачи зависит не только применяемые сечения и армирование плитных конструкций, но и выбор конструктивной схемы сооружения в целом. Появление **новых архитектурных** форм зданий, требующих формирования нескольких отличающихся объемов по высоте здания, требует решения проблемы надежности **трансферных конструкций**.



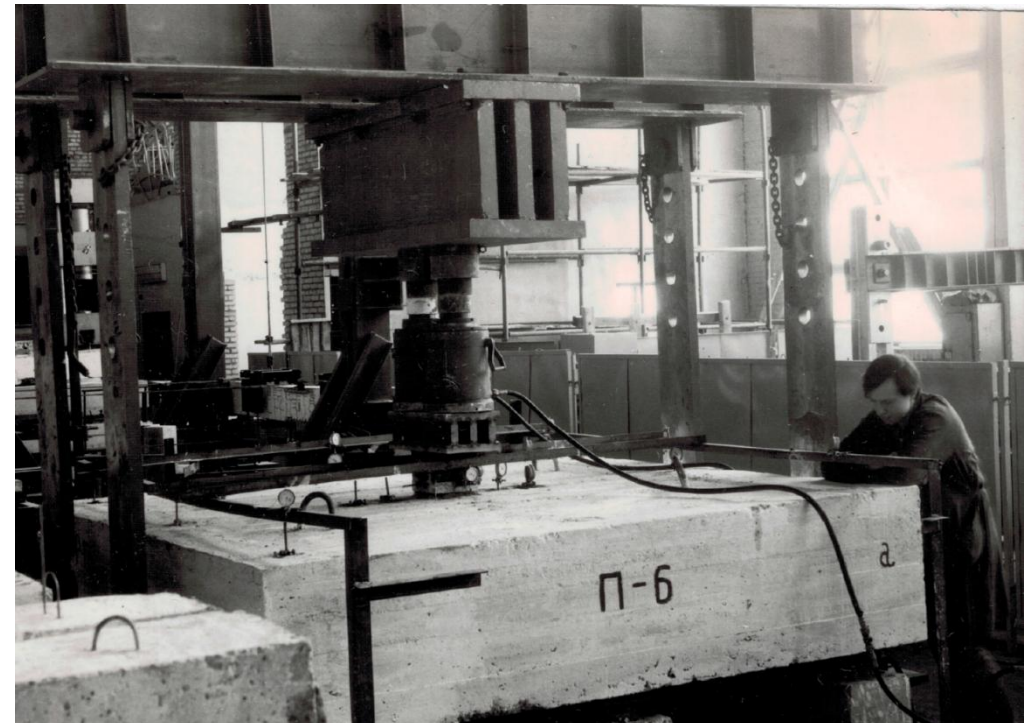
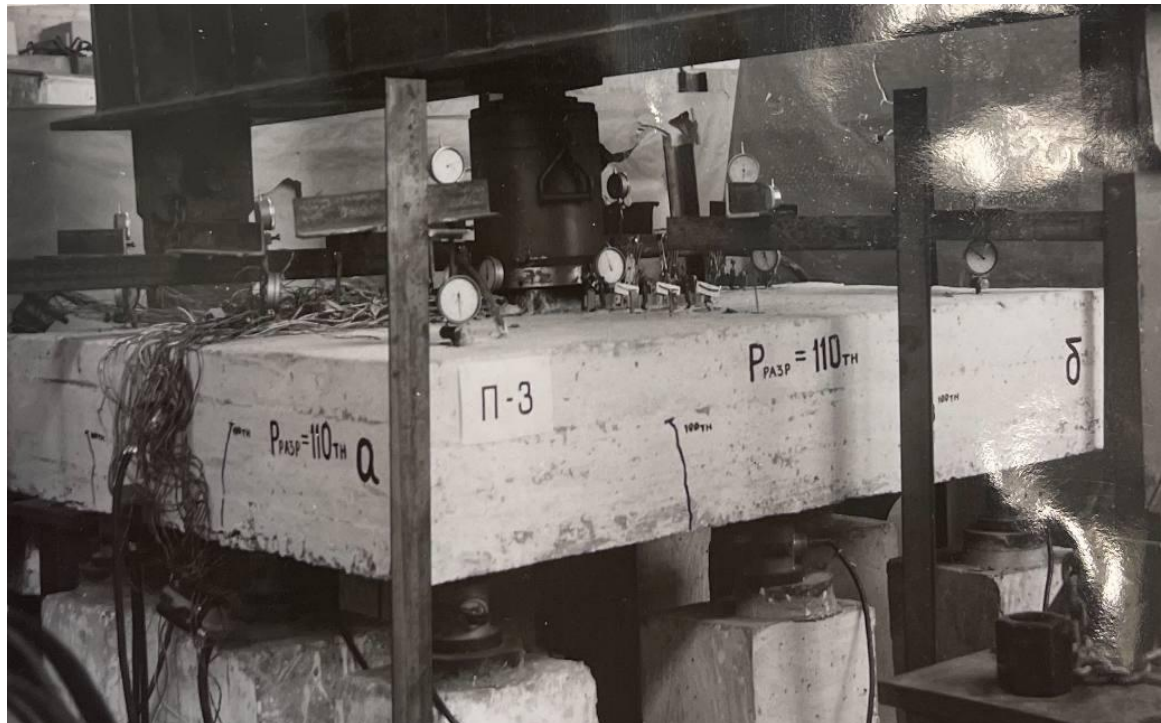
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРНОГО ЭФФЕКТА НА ПРОЧНОСТЬ ПЛИТ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ



НИИЖБ
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



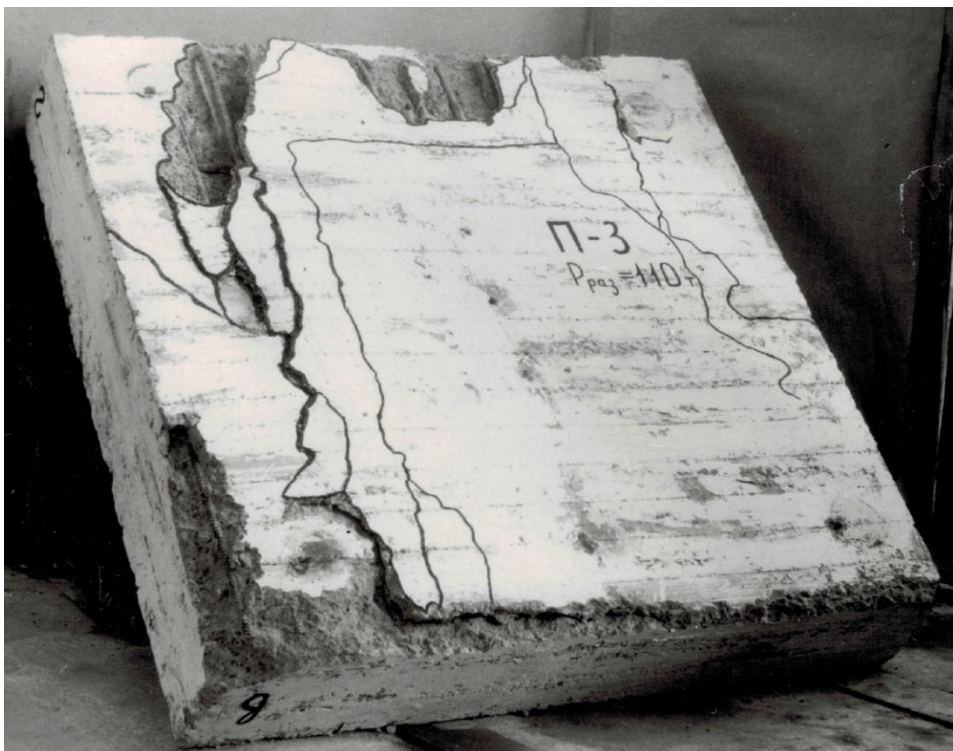
Коровин Н.Н в **1987 году** исследовал работу толстых железобетонных плит при продавливании. Толщина образцов была принята в пределах от **100** до **600** мм с градацией через 100 мм.



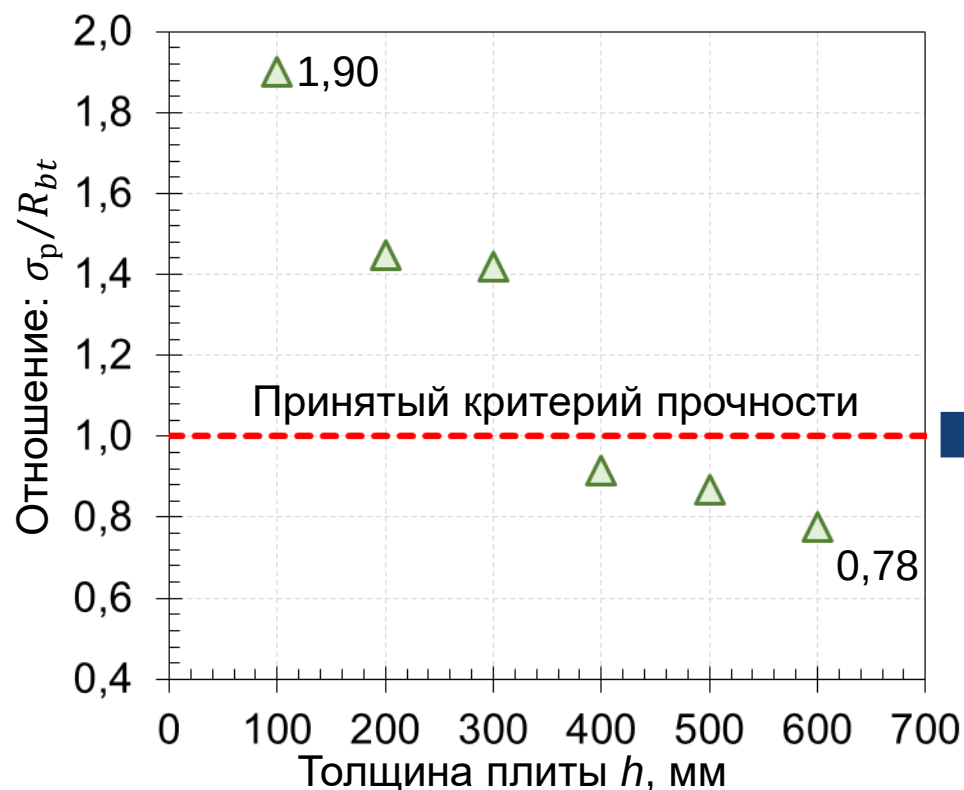
Процесс испытания Коровиным Н.Н. образцов плит марки **П3** $h = 300$ мм и **П6** $h = 600$ мм.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРНОГО ЭФФЕКТА НА ПРОЧНОСТЬ ПЛИТ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ

Коровиным Н.Н. была установлена тенденция **снижения** значений отношения **средних напряжений** отрыва на боковых поверхностях тела продавливания $\sigma_p = F/(u \cdot h_0)$ к прочности бетона на осевое растяжение R_{bt} при увеличении рабочей высоты сечения h_0 . Так, для образца толщиной 600 мм, по результатам испытаний отношение σ_p/R_{bt} составило **0,78**.



Характер разрушения образца плиты марки ПЗ $h = 300$ мм.



Прочность плит различной толщины при продавливании по результатам выполненных Коровиным Н.Н.

$$F_{b,ult} = K \cdot k \cdot R_{bt} \cdot h_0 \cdot u_m$$
$$K = 0,5 + \frac{1}{1 + 3 \cdot h_0} \quad (1)$$

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРНОГО ЭФФЕКТА НА ПРОЧНОСТЬ ПЛИТ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ



НИИЖБ
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



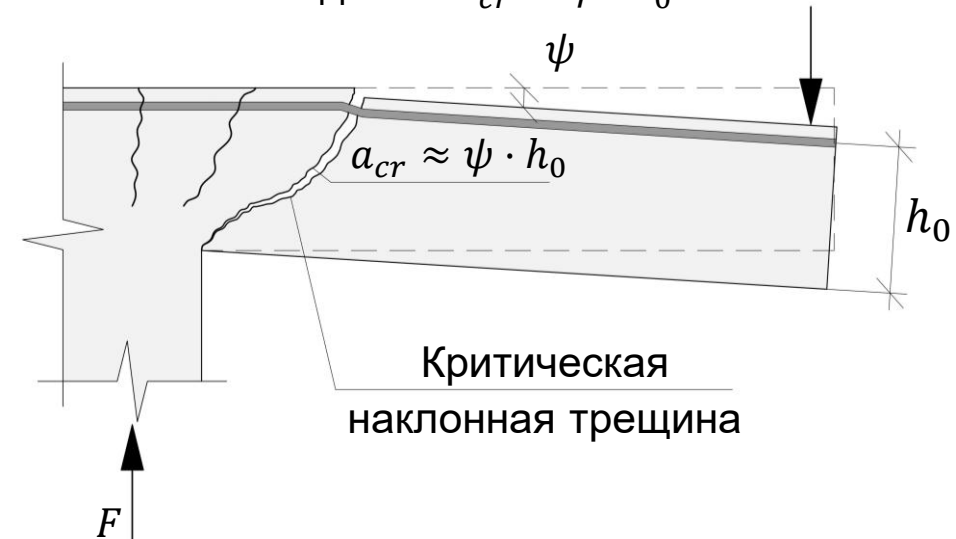
Основные концепции, объясняющие причины проявления размерного эффекта² (size effect)

На основе механики разрушения. Bažant Z.P. установлено, что, с увеличением толщины плит характер их разрушения становится более хрупким

$$\theta = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{h_0}{60}}} \quad (2)$$

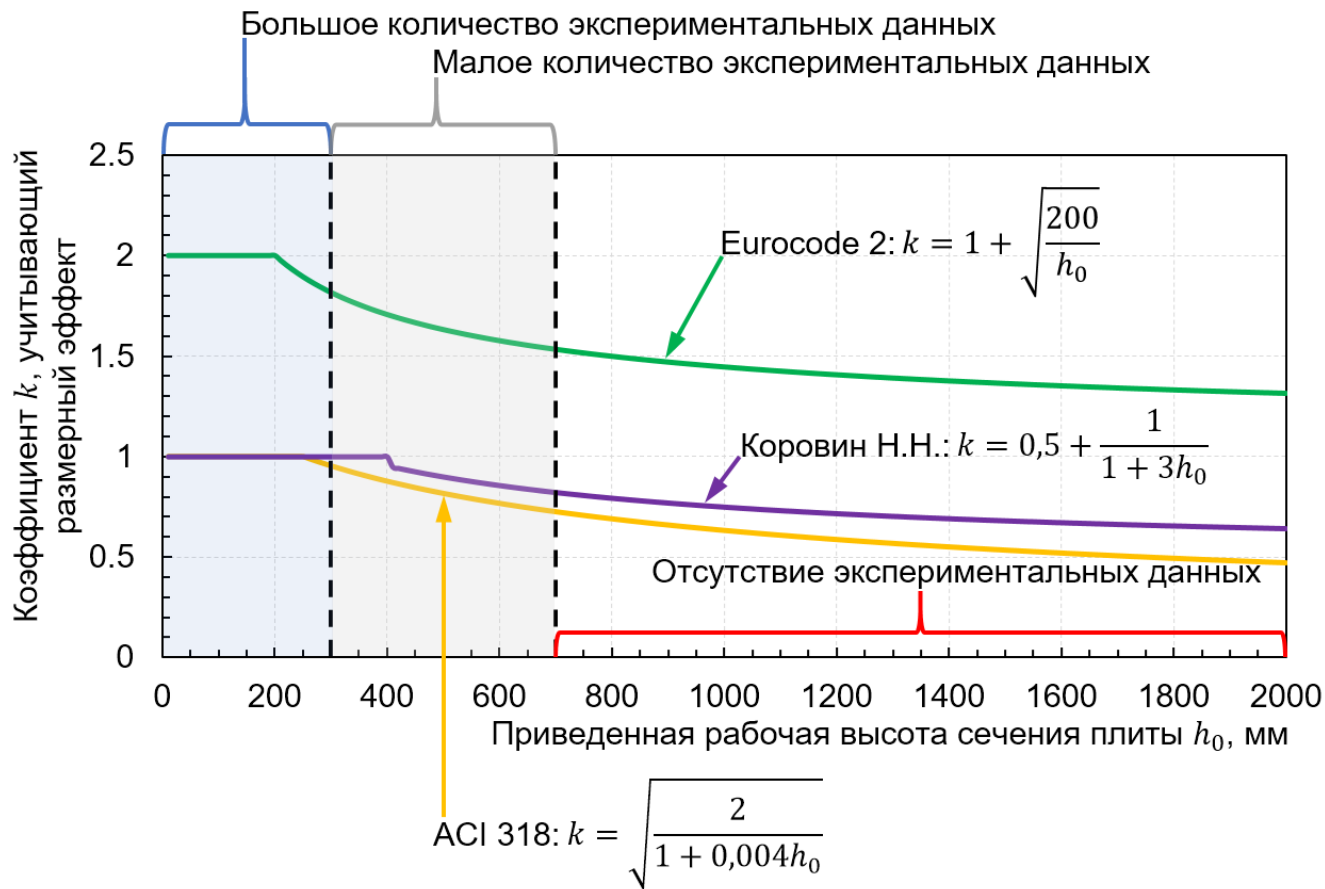
Данный коэффициент θ получил развитие в действующих нормах США ACI 318-19

Согласно теории критической наклонной трещины сдвига: $a_{cr} = \psi \cdot h_0$.



Принятая в Muttoni A. зависимость между углом поворота плиты и шириной раскрытия критической наклонной трещины.

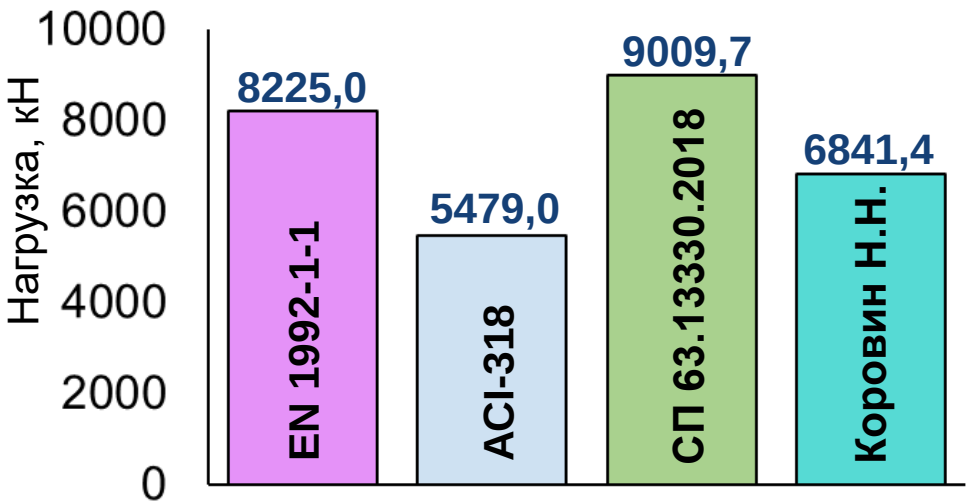
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРНОГО ЭФФЕКТА НА ПРОЧНОСТЬ ПЛИТ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ



Учет влияния размерного эффекта на несущую способность плиты при продавливании согласно EC2, ACI318 и предложенной Коровиным Н.Н. методике.

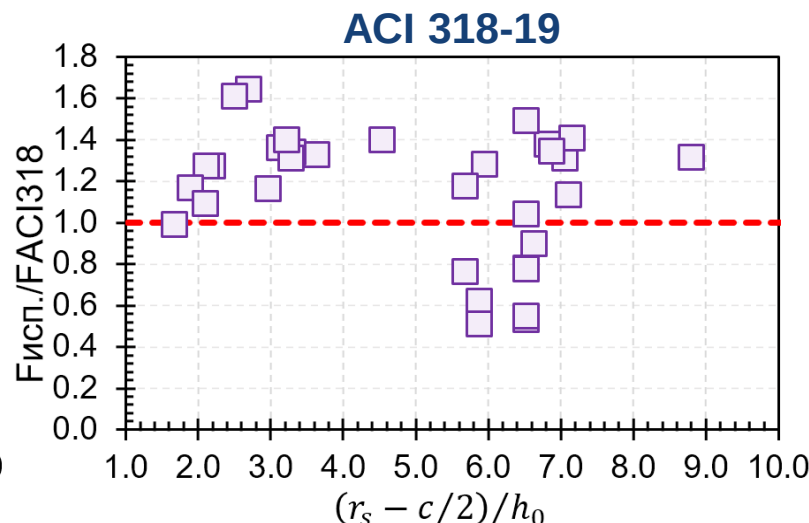
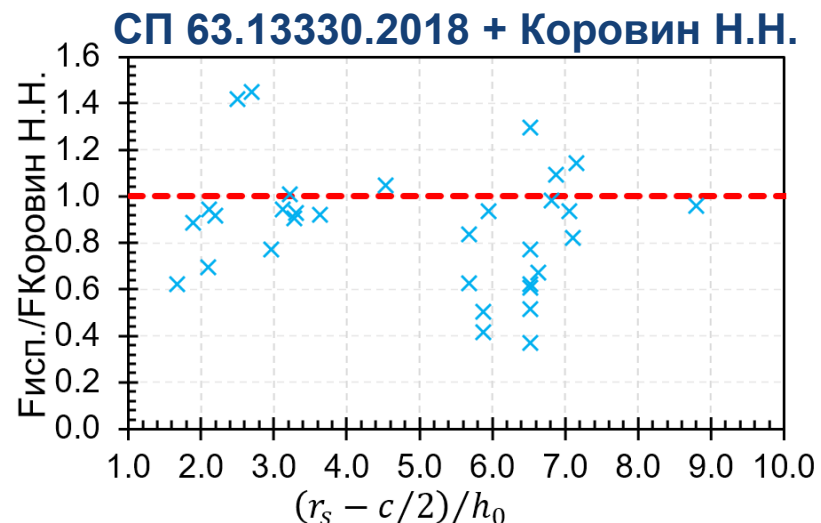
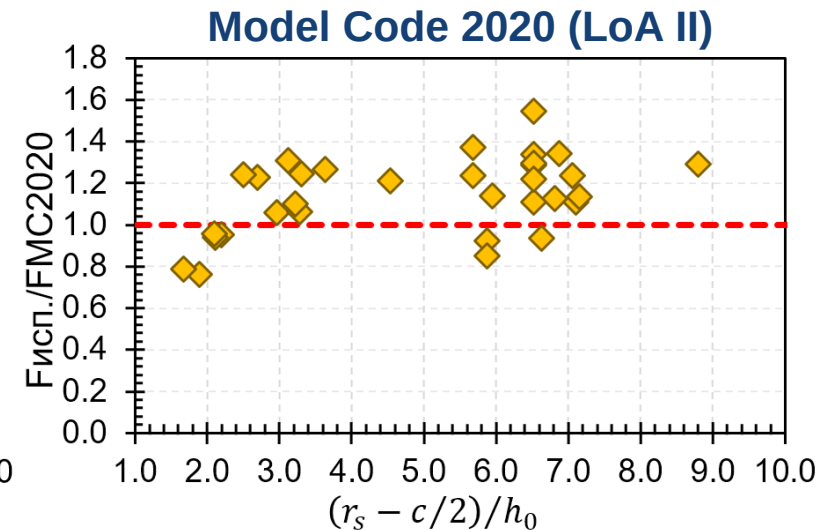
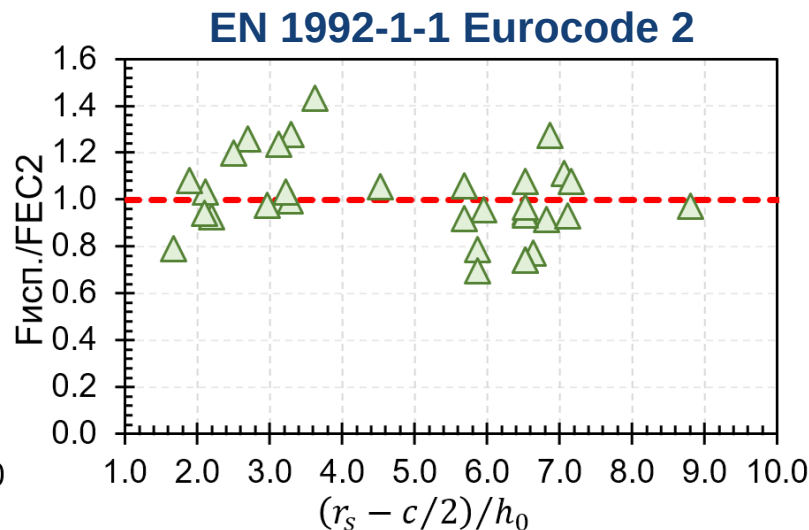
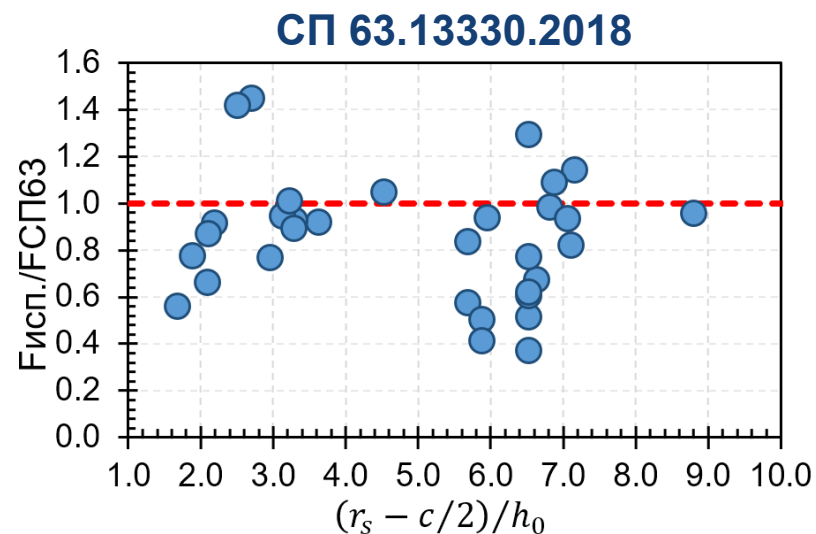
Таблица 1 – Исходные данные

Параметр	Ед. изм.	Величина
Толщина плиты	мм	1000
Размер колонны	мм	400×400
f_c	МПа	25,0
R_{bt}	МПа	1,75
μ_s	%	0,65



Сопоставление полученных значений несущей способности на продавливание плиты толщиной 1000 мм.

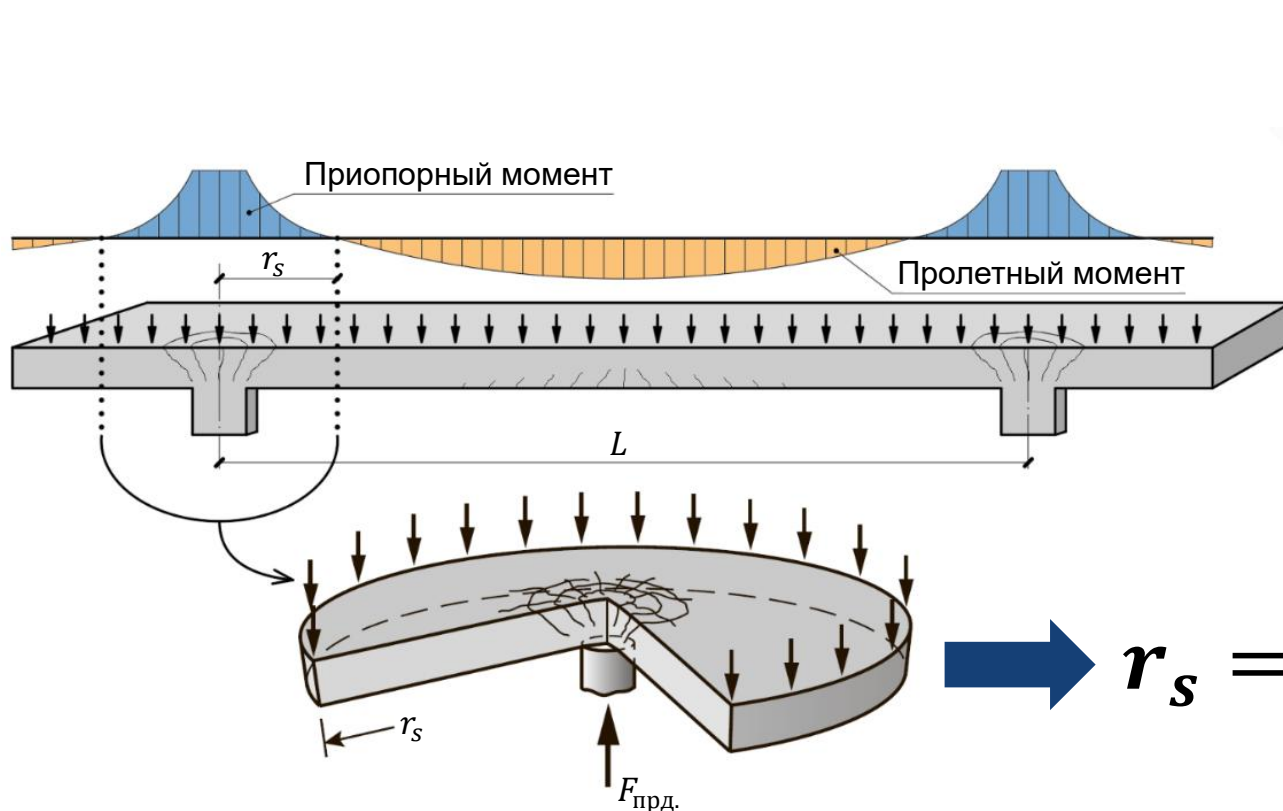
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРНОГО ЭФФЕКТА НА ПРОЧНОСТЬ ПЛИТ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ



Пролет среза = $r_s - 0,5 \cdot c$, где:
 r_s – расстояние от центра образца до места приложения нагрузки;
 c – размеры поперечного сечения квадратной колонны.

Графики соответствия экспериментальных и расчетных данных по нормативным документам в зависимости от отношения пролета среза к приведенной рабочей высоте плит: $(r_s - c/2)/h_0$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАЗЦОВ



Неразрезная плита перекрытия и соответствующий ей экспериментальный образец.

$r_s = ?$

Болгов А.Н.
2005 г.

$$r_s = \frac{L}{6} \text{ или } r_s = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{1}{3}} \right) \cdot L$$

Birkle G.
2004 г.

$$r_s = 0.21 \cdot L$$

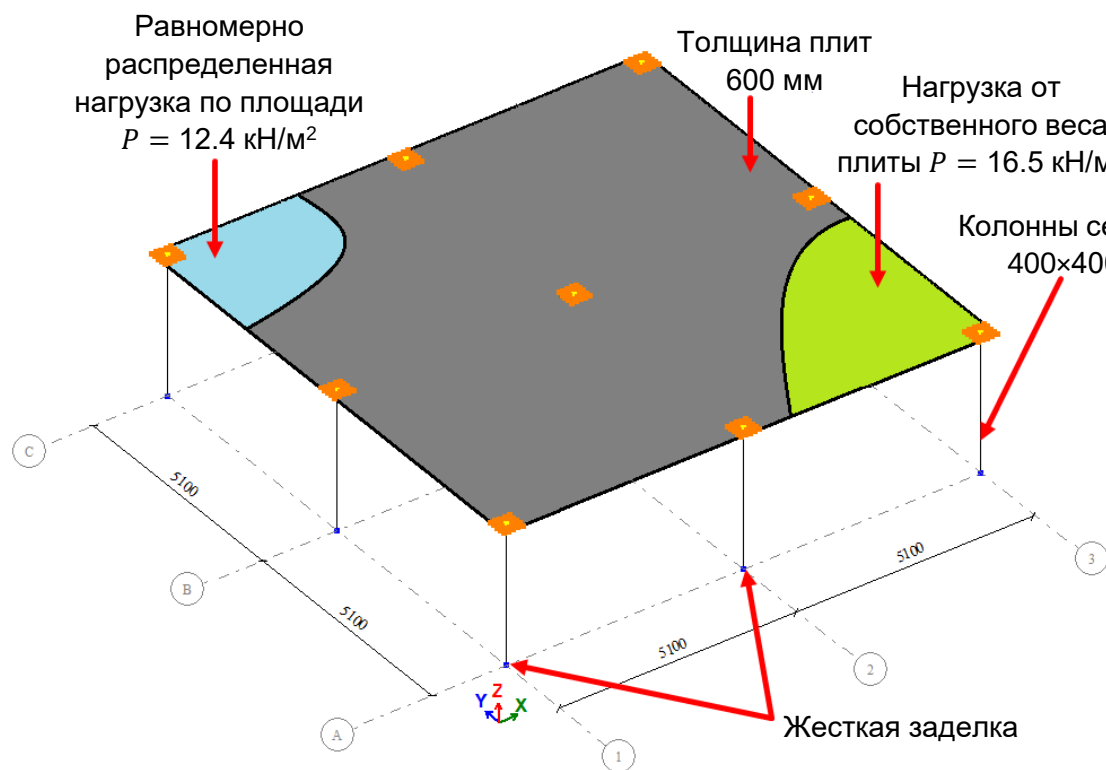
EAD 160057-00-0301 $\rightarrow r_s = 3 \cdot h_0 \dots 5 \cdot h_0$

Muttoni A.

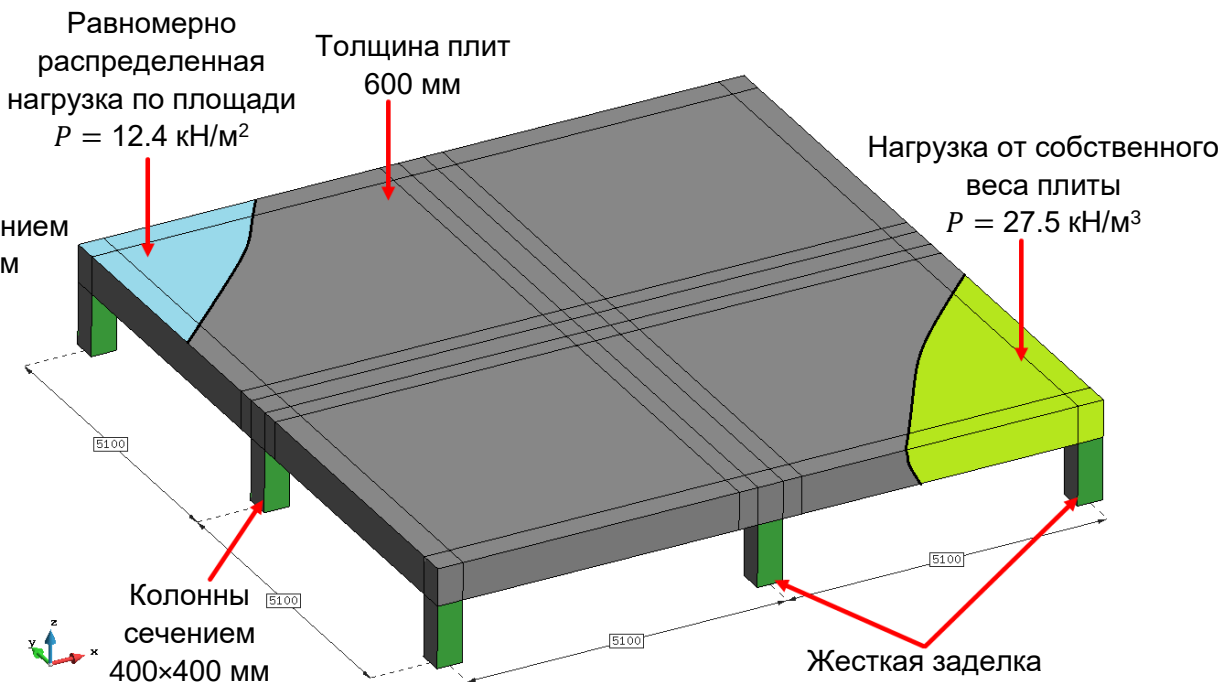
$$r_s = 0.22 \cdot L$$

Для Уровня III аппроксимации: r_s рассчитывается с использованием линейной упругой (без трещин) модели.

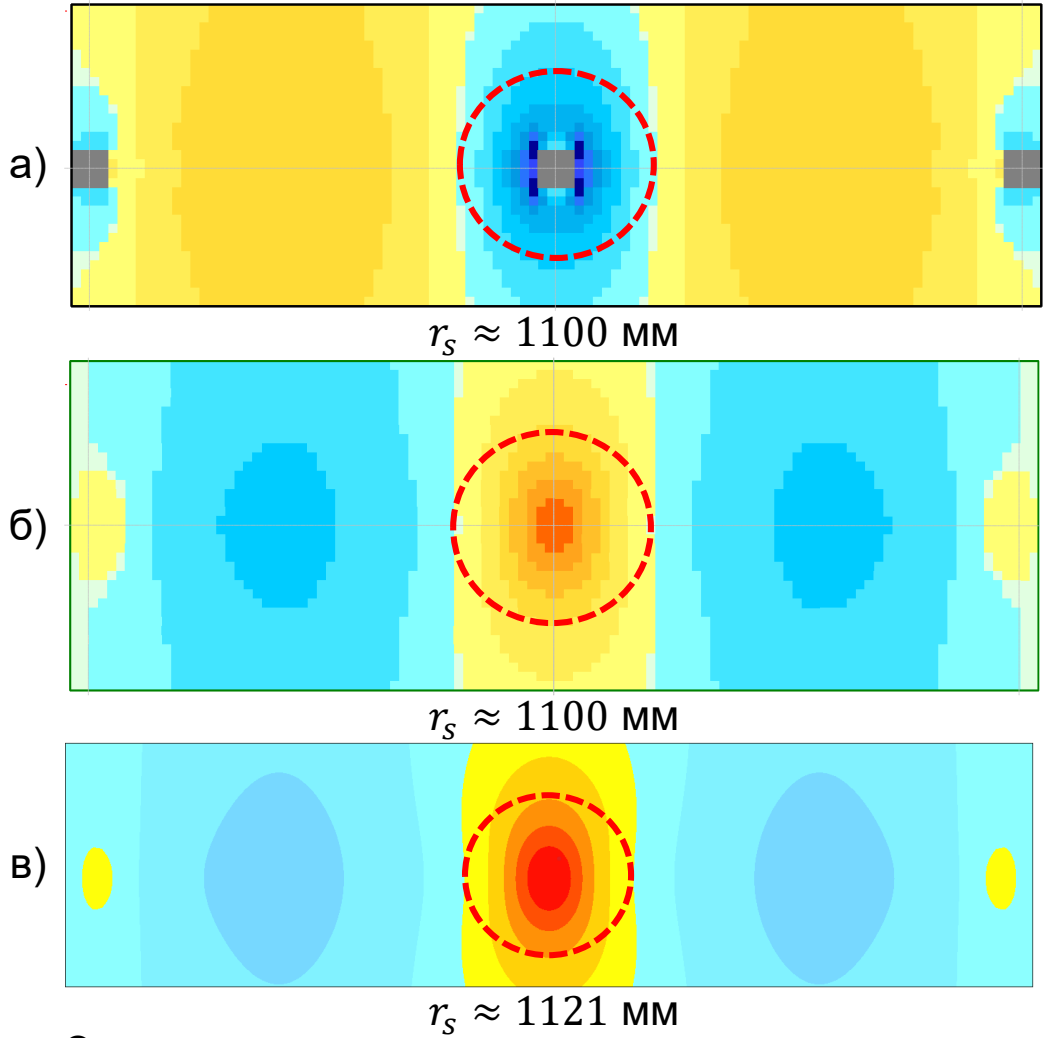
Основные параметры материала, принятые в расчетных моделях: $E_b = 32\,500$ МПа;
 $\nu_{b,P} = 0.2$



Пластино-стержневая КЭ модель.



КЭ модель, выполненная из объёмных элементов.



Определение положения линии нулевых моментов r_s при моделировании плиты: а) пластинчатыми КЭ; б) объемными КЭ в ПК ЛИРА-САПР; в) объемными КЭ в ПК АТЕНА.

Таблица 2 – Результаты значений r_s , вычисленные в соответствии с рекомендуемыми аналитическими подходами

Наименование	Величина r_s / длина консольного участка
Болгов А.Н.	$r_s = 0,5 \cdot \left(\left(1 - \sqrt{1/3} \right) \cdot 5100 \right) = 1078 \text{ мм}$
	$r_s = 5100/6 = 850 \text{ мм}$
МС 2020	$r_s = 0,22 \cdot 5100 = 1122 \text{ мм}$
EAD 160057-00-0301	$r_s = 3 \cdot 600 = 1800 \text{ мм}$
	$r_s = 5 \cdot 600 = 3000 \text{ мм}$

Для экспериментальных образцов плит толщиной $h = 600$ мм расстояние от центра приложения нагрузки до центра опирания на стальную колонну экспериментального образца плиты было принято $r_s^{\text{исп.}} = 1120 \text{ мм}$.

В этой связи при данном значении отношения пролета среза к приведенной рабочей высоте образца h_0 (1,67), как показывает ранее выполненный сопоставительный анализ данные образцы плит можно идентифицировать, как толстые.

Таблица 3 – Основные параметры экспериментальных образцов плит

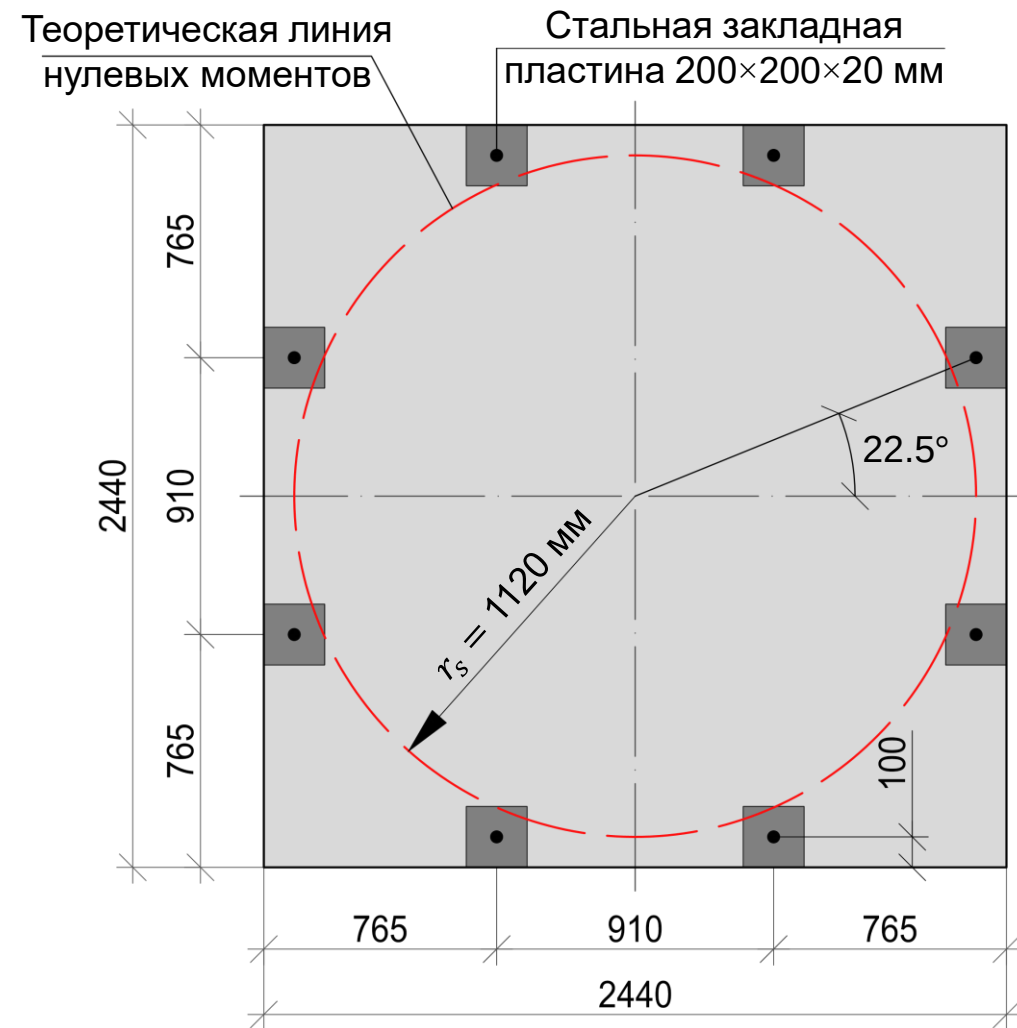
Тип	Маркировка образцов	Коэффициент продольного растянутого армирования μ_s , %	Толщина плиты, мм	Класс бетона	h_0 , мм	c , мм	$\frac{r_s - \frac{c}{2}}{h_0}$	$\frac{c}{h_0}$
1	ККТ_1	1,12	600	B25	552	400	1,67	0,72
2	ККТ_2	0,56	600	B25	552	400	1,67	0,72

Длина сторон образцов принималась по формуле (3):

$$L = 2 \cdot r_s^{\text{исп.}} + 2 \cdot 100 = 2 \cdot 1120 + 2 \cdot 100 = 2440 \text{ мм}, \quad (3)$$

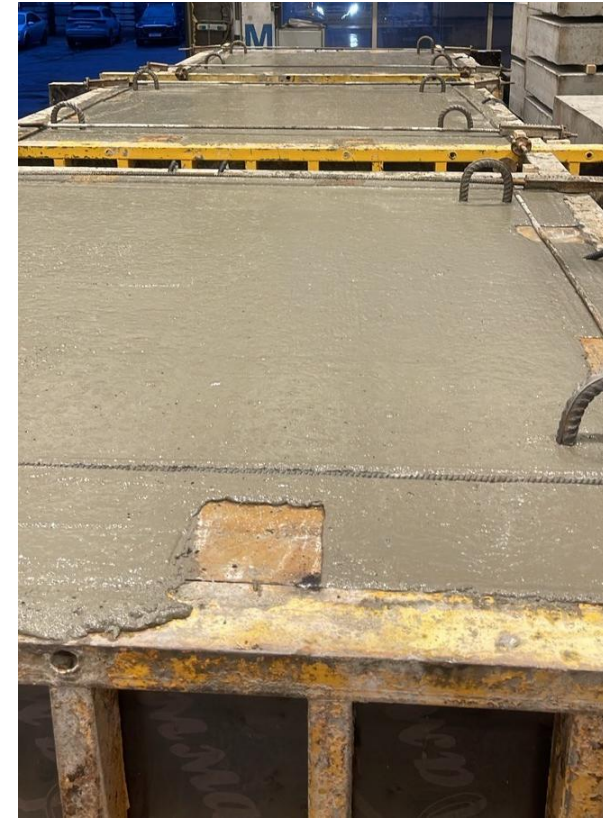
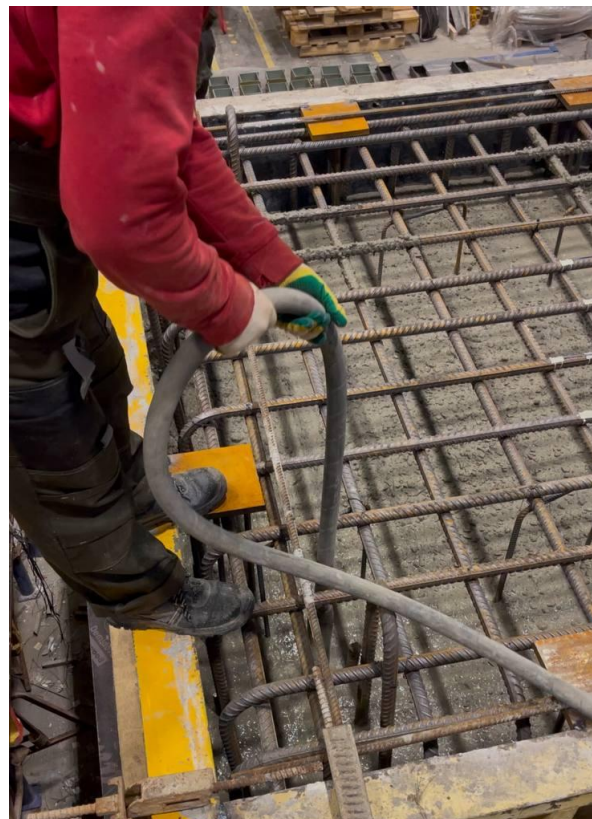
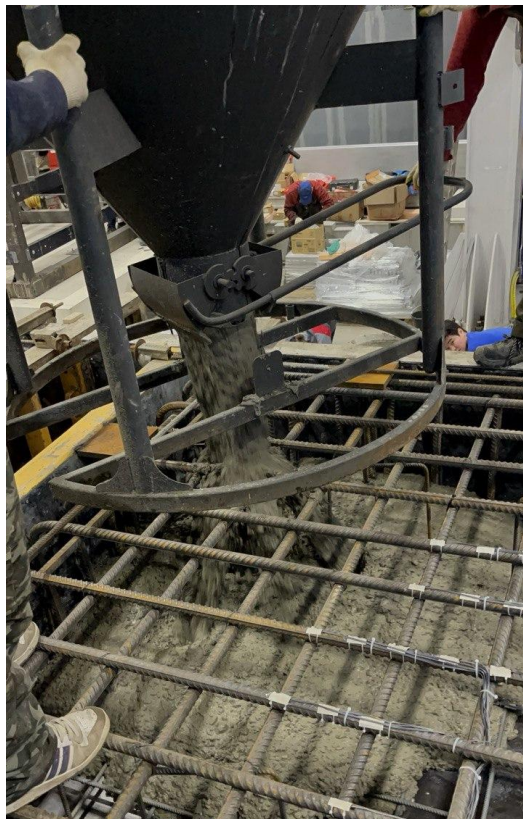
где: $r_s^{\text{исп.}}$ – расстояние от центра приложения нагрузки до центра опирания на стальную колонну экспериментального образца плиты;

100 мм – расстояние от центра приложения нагрузки до края плит, принимаемое из условия обеспечения прочности участков образцов в зоне передачи нагрузок.



Принятые геометрические размеры экспериментальных образцов марки ККТ_1 и ККТ_2.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ПЛИТ



Этапы бетонирования экспериментальных образцов плит.

ФАКТИЧЕСКИЕ ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

- Для каждой серии образцов плит изготавливались контрольные бетонные образцы:
- Кубы 100×100×100 мм – 24 шт.
 - Кубы 150×150×150 мм – 24 шт. (для образцов марки ККТ_2 – 12 шт).
 - Призмы 100×100×400 мм – 12 шт.
 - Призмы с галтелями 70×70×500 мм – 6 шт.

Таблица 4 – Средние значения прочностных и деформационных характеристик бетона для образцов марки ККТ_1 и ККТ_2

Номер серии	Наименование образцов плит	Возраст бетона, сутки	R_m^{100} , МПа	R_m^{150} , МПа	R_{bm} , МПа	E_{bm} , МПа	$\nu_{b,pm}$	R_{btm} , МПа
1	ККТ_1_№1 ККТ_1_№2 ККТ_1_№3	31	49,9	48,9	43,2	31 732,0	0,17	-
		с 86 по 97	51,9	54,6	45,8	32 940,0	0,17	2,74
2	ККТ_2_№1 ККТ_2_№2 ККТ_2_№3	33	50,3	47,4	44,5	31 327,0	0,16	-
		с 74 по 82	52,7	54,2	47,9	31 253,0	0,17	2,94

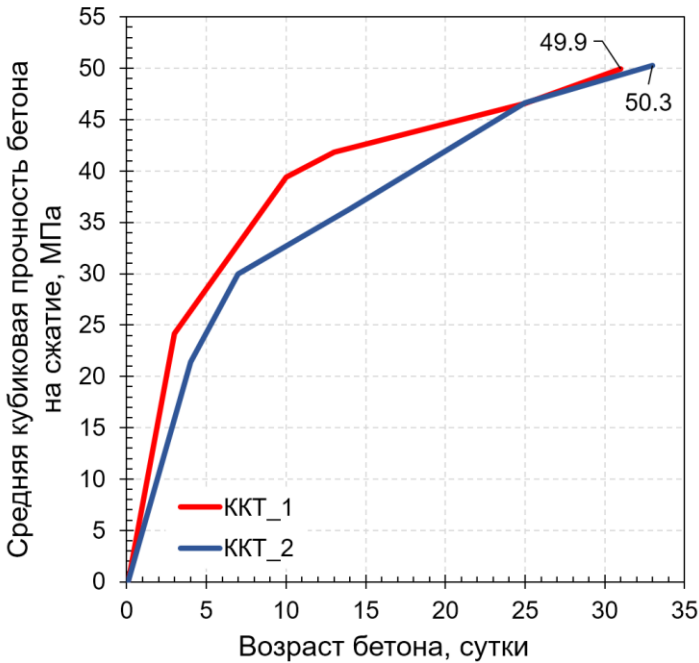
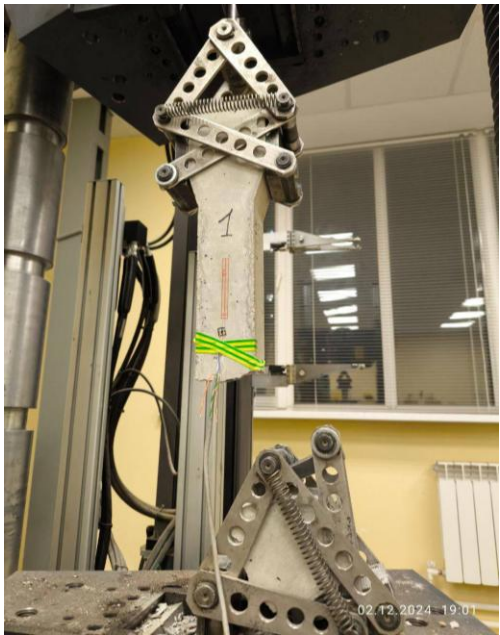


График набора прочности бетона для образцов плит двух серий.



Процесс испытания бетонных образцов на осевое растяжение.

СХЕМА ЗАКРЕПЛЕНИЯ И НАГРУЖЕНИЯ ОБРАЗЦОВ

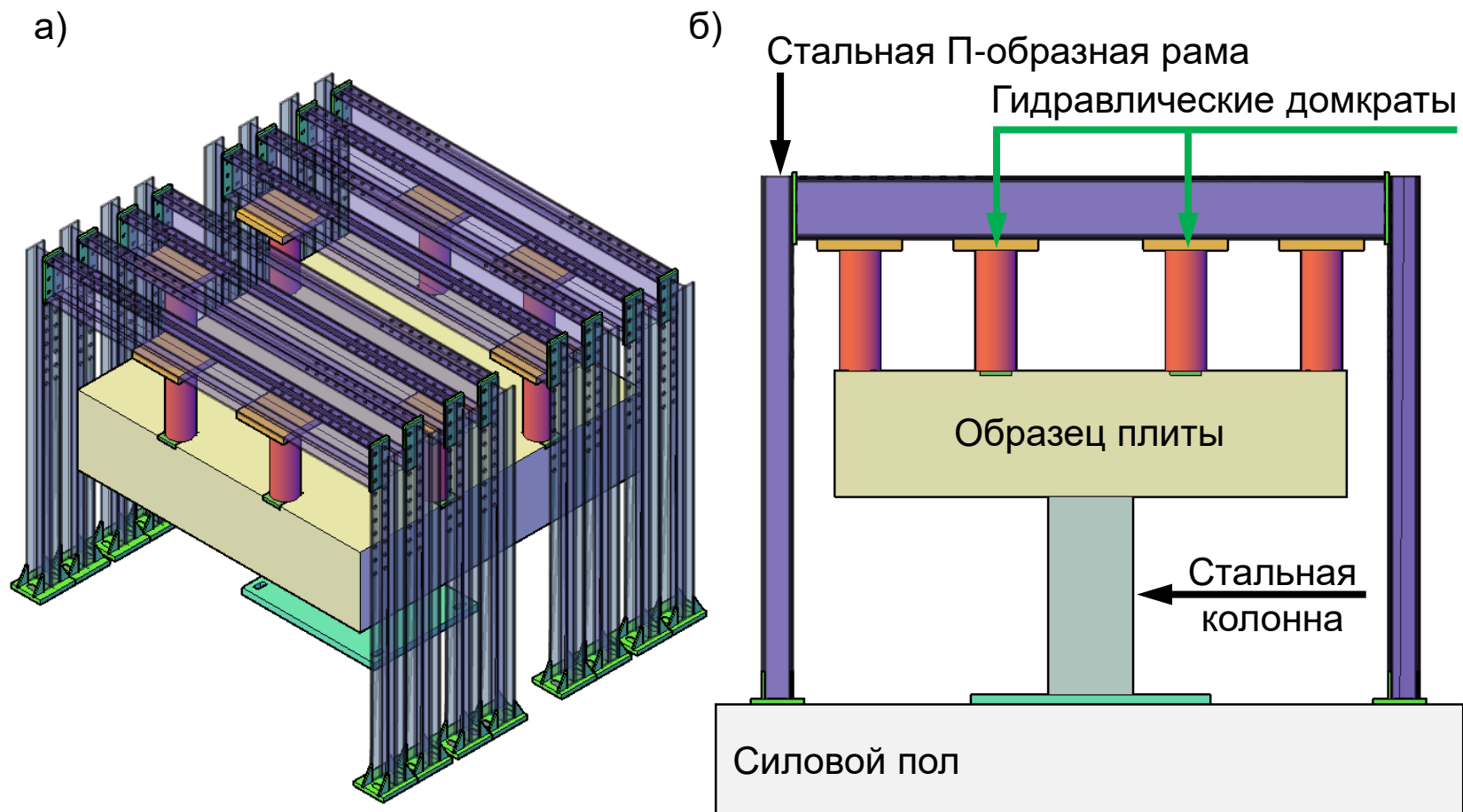


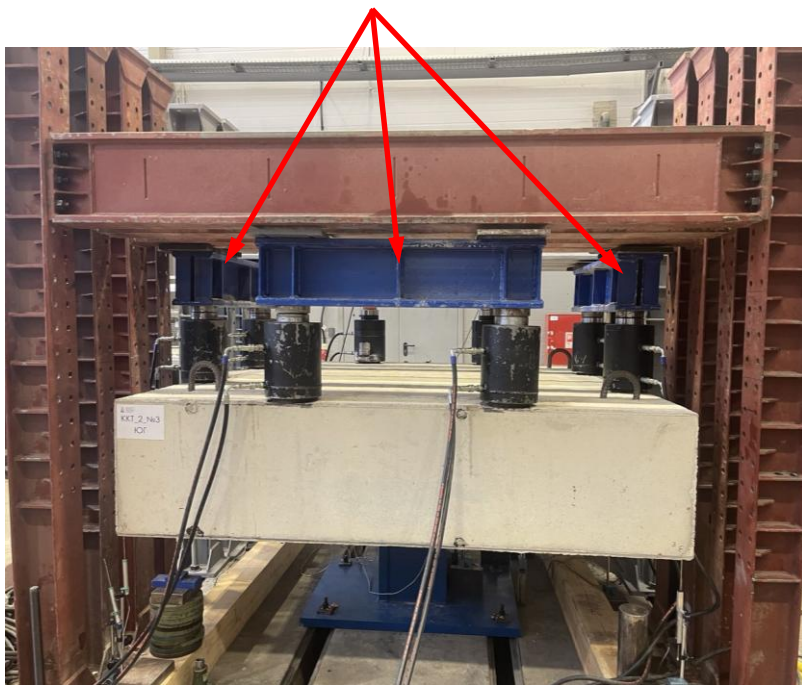
Схема нагружения экспериментальных образцов: а) Вид 3D;
б) Вид сбоку схемы испытаний.



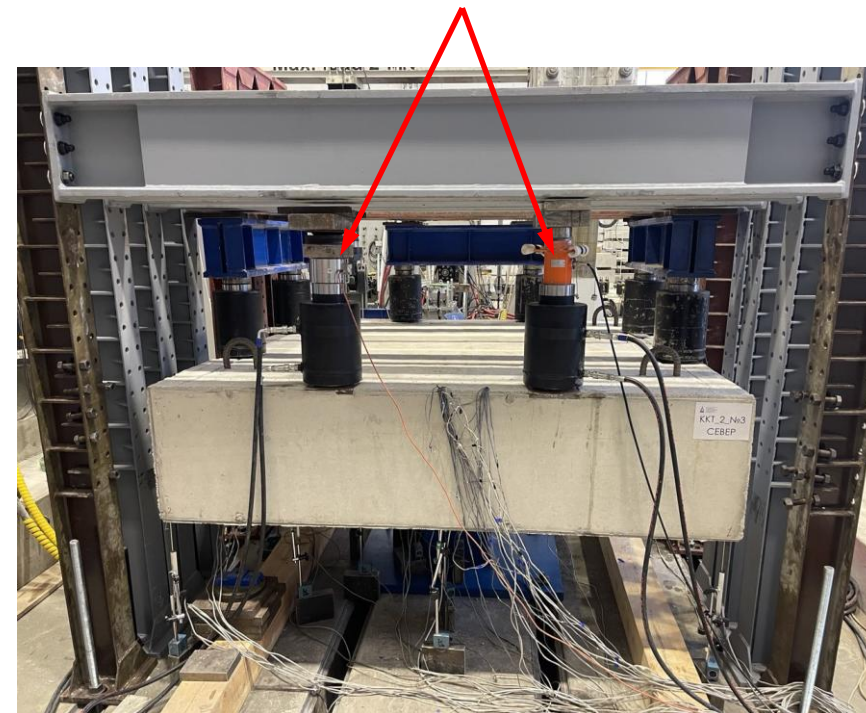
Общий вид стальной колонны с
размерами поперечного сечения
400×400 мм.

СХЕМА ЗАКРЕПЛЕНИЯ И НАГРУЖЕНИЯ ОБРАЗЦОВ

Стальные распределительные балки



Динамометр электронный



Общий вид готового экспериментального образца к испытаниям.

РАЗМЕЩЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦАХ

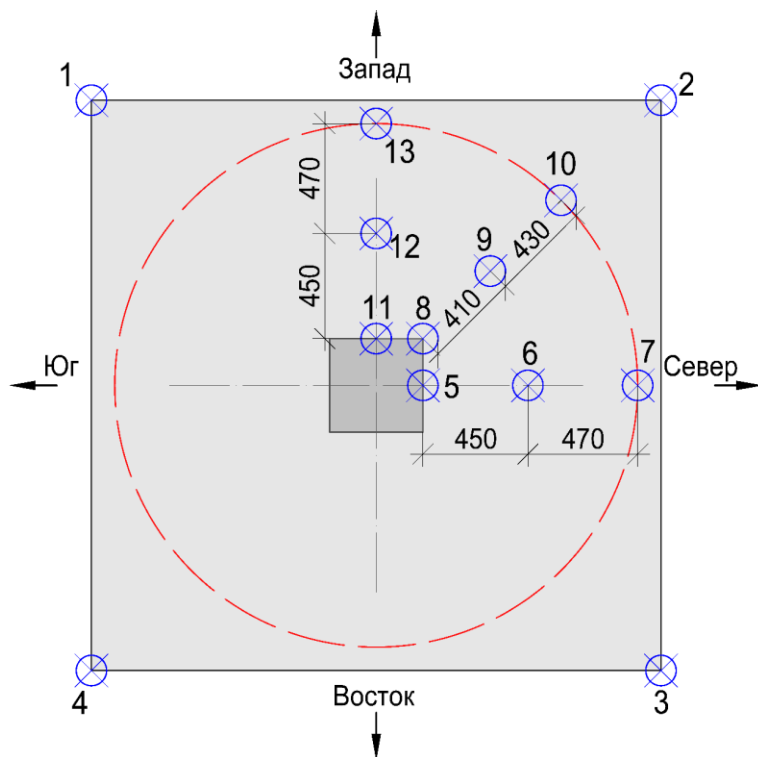


Схема расположения и маркировка цифровых индикаторов перемещений, устанавливаемых под нижнюю грань образцов

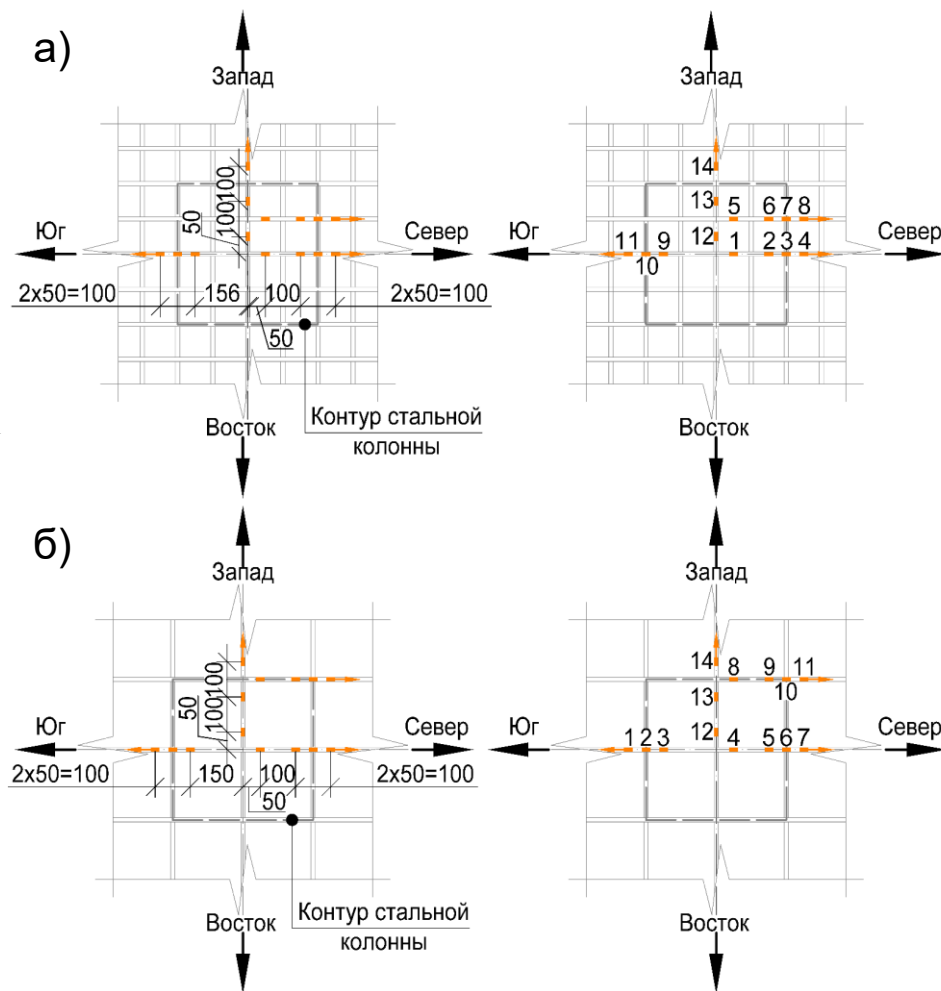


Схема расположения и маркировка тензометрических датчиков FLAB-5-11, устанавливаемых на продольные нижние арматурные стержни экспериментальных образцов плит марок: а) ККТ_1; б) ККТ_2.

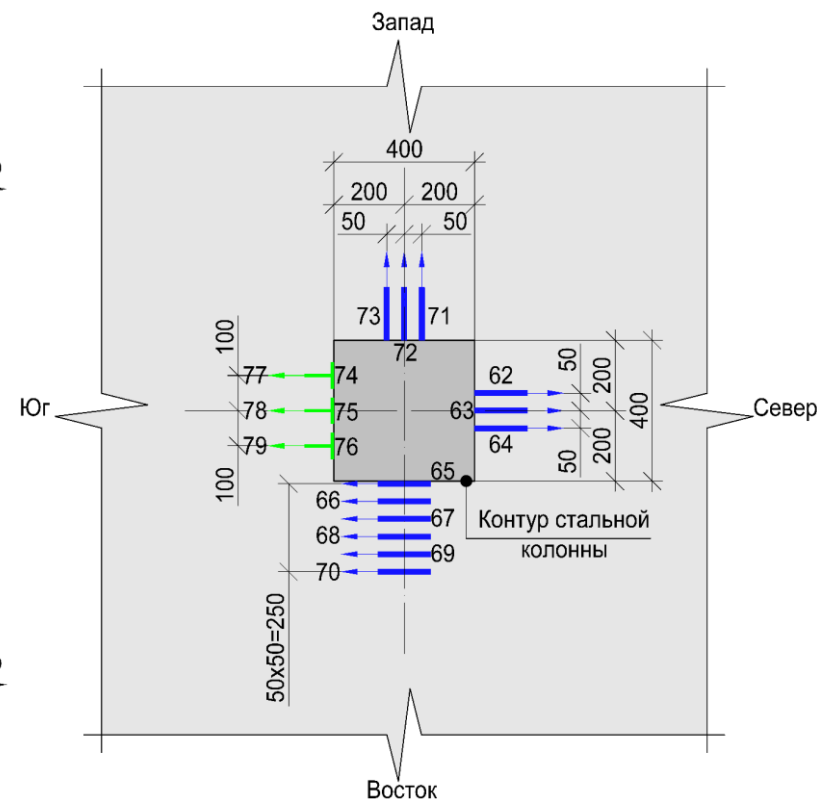


Схема расположения и маркировки тензометрических датчиков PL-90-11 и PL-60-11, устанавливаемых на нижнюю поверхность бетона в окрестности стальной колонны образцов.

РАЗМЕЩЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦАХ

СХИЕМА НАГРУЖЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

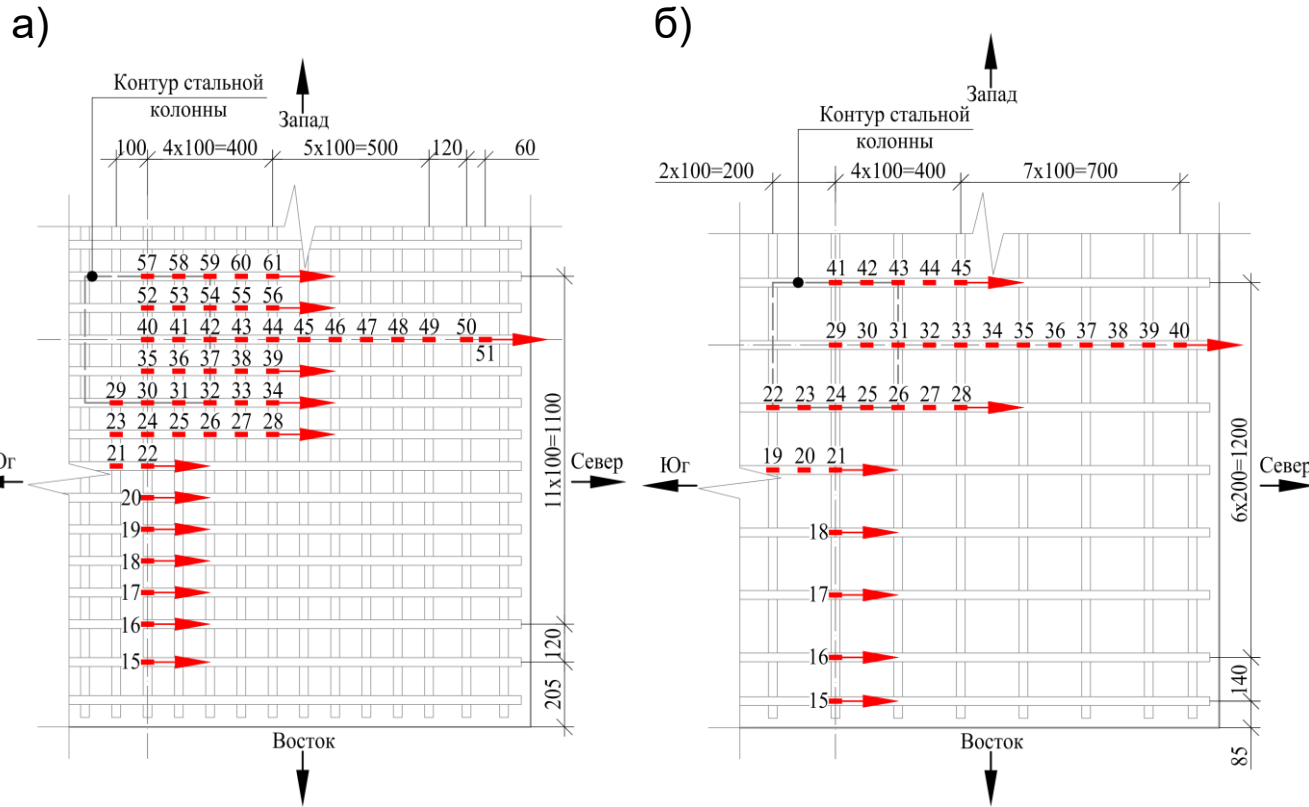


Схема расположения и маркировка тензометрических датчиков FLAB-5-11, устанавливаемых на продольные верхние арматурные стержни экспериментальных образцов плит марок: а) ККТ_1; б) ККТ_2.

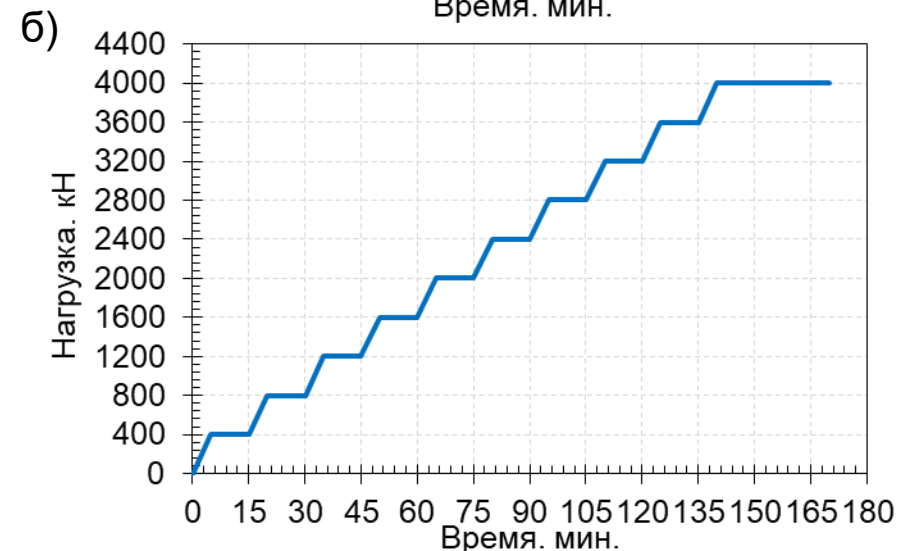
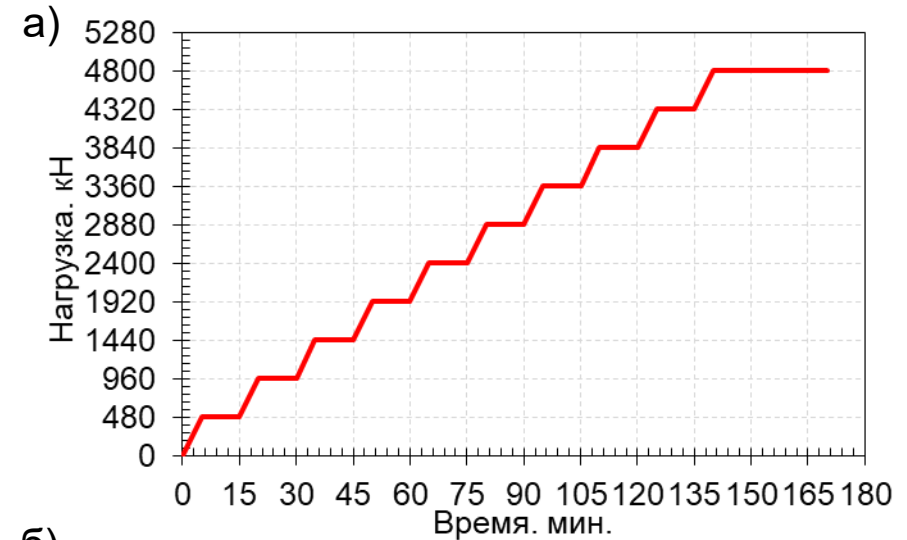


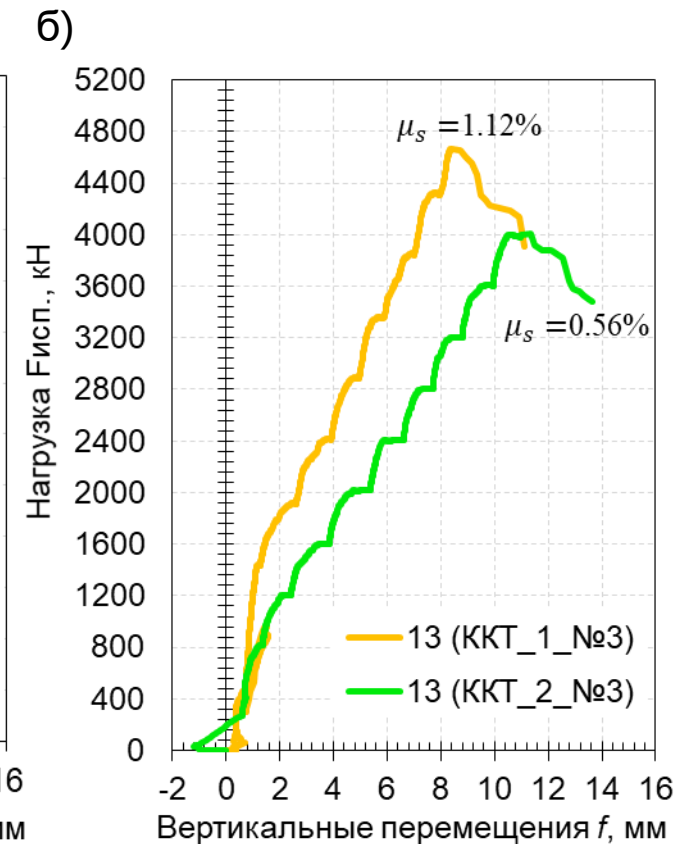
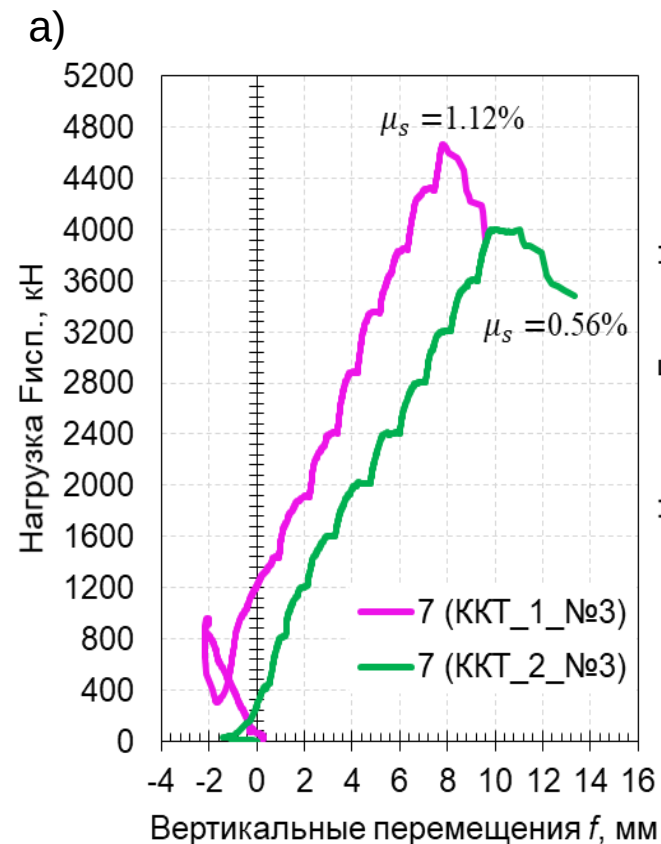
Схема нагружения во времени экспериментальных образцов плит марок: а) ККТ_1; б) ККТ_2.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛИТ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ

Таблица 5 – Значения разрушающих нагрузок, полученных по результатам испытаний образцов плит двух серий на продавливание

№ серии	Марка образца плиты	Значение разрушающей нагрузки $F_{исп.}$, кН	Среднее значение в серии $F_{исп.}^m$, кН
Первая	ККТ_1_№1	4678,08	4537,65
	ККТ_1_№2	4271,44	
	ККТ_1_№3	4663,44	
Вторая	ККТ_2_№1	3881,84	4095,36
	ККТ_2_№2	4401,36	
	ККТ_2_№3	4002,88	

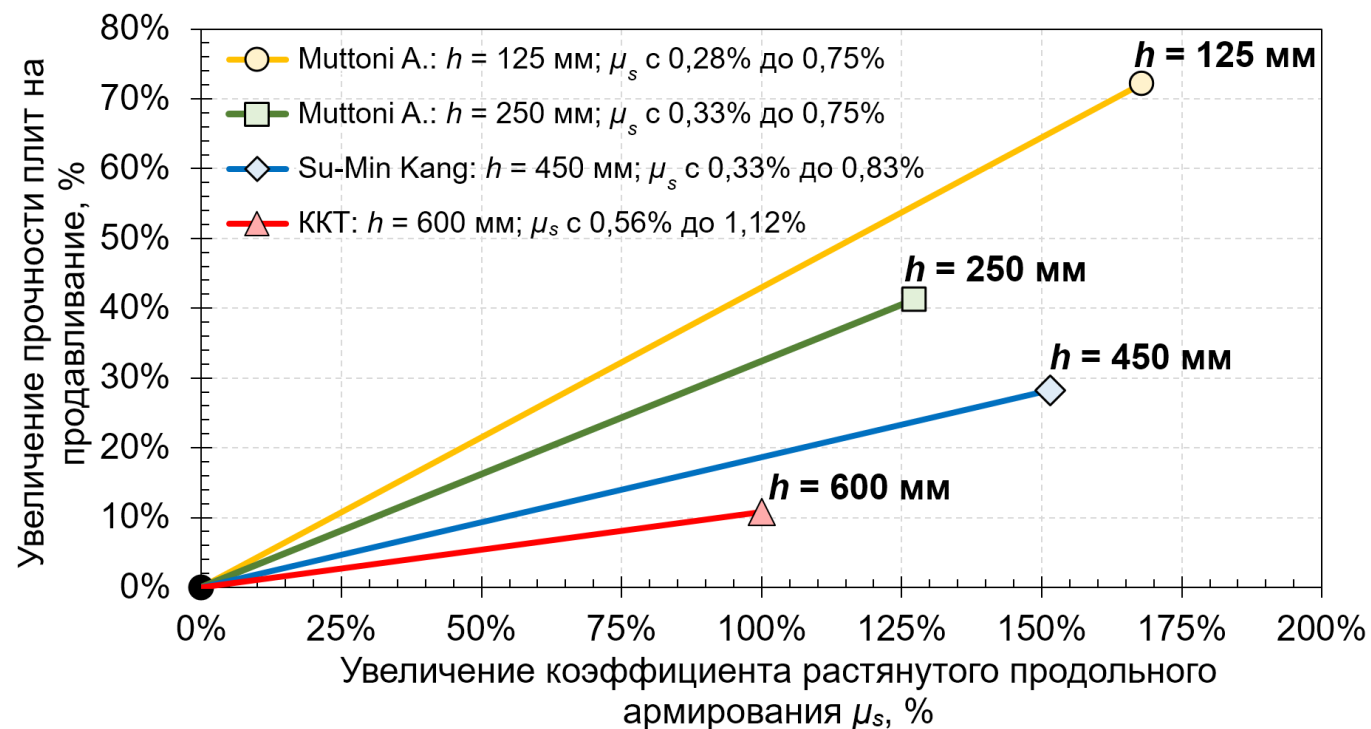
При увеличении μ_s с 0,56% до 1,12% средняя фактическая прочность плит на продавливание повысилась с $F_{исп.} = 4095,36$ кН до $F_{исп.} = 4537,65$ кН. Установлено, что увеличение процента продольного растянутого армирования для плит толщиной 600 мм в 2,0 раза не приводит к пропорциональному повышению несущей способности на продавливание. Прирост несущей способности составил всего **10,8%**.



Сопоставление полученных вертикальных перемещений в контрольных точках: (а) №7, (б) №13 для образцов плит марки ККТ_1_№3 и ККТ_2_№3 в процессе их нагружения.

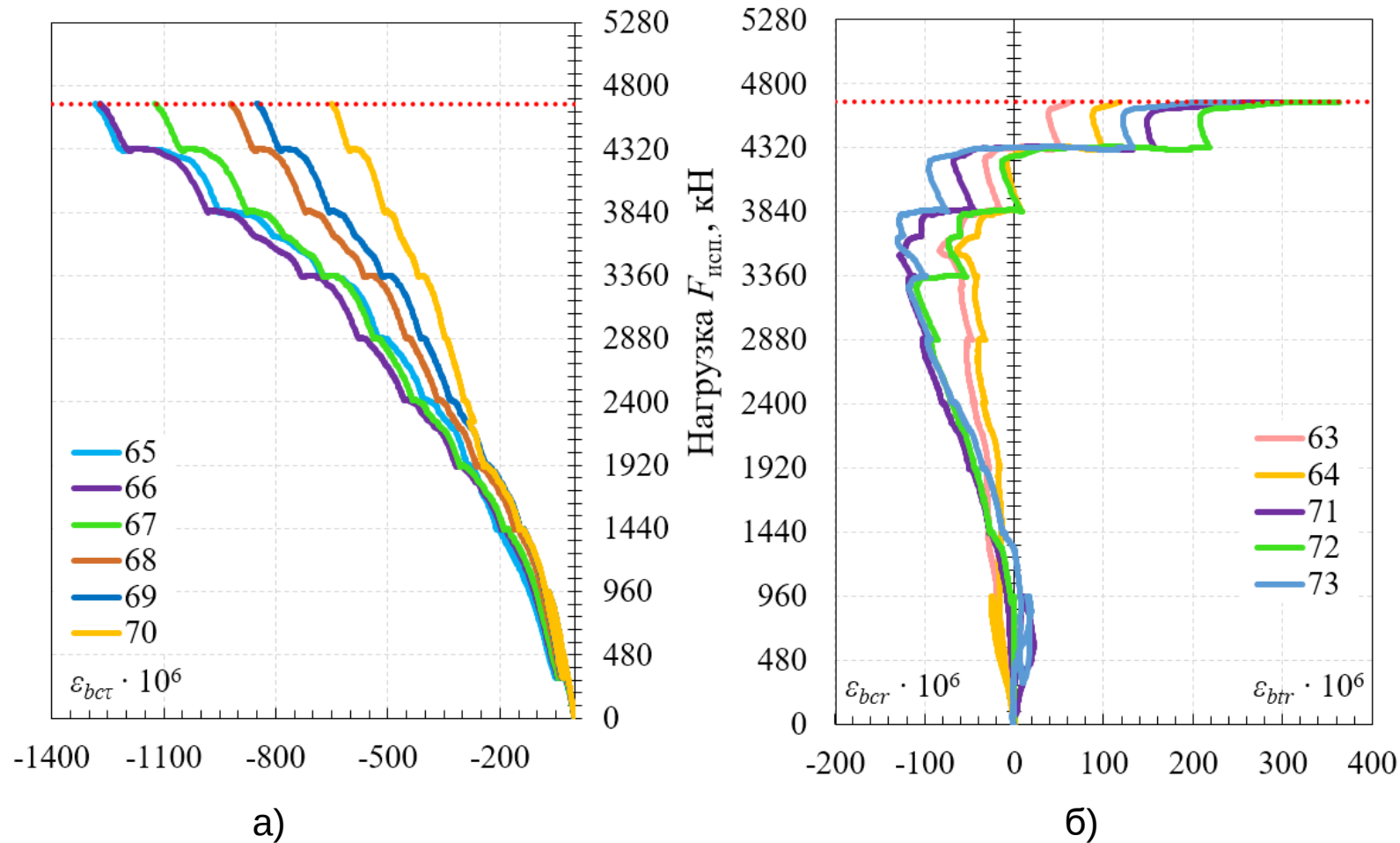
ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЬНОГО АРМИРОВАНИЯ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ПЛИТ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ

Полученные данные позволяют утверждать, что, в отличие от результатов испытаний тонких плит, выполненных в 2008 году Guandalini S. и Muttoni A., где аналогичное изменение μ_s с 0,33% (PG-10) до 0,75% (PG-11) приводило к значительному приросту прочности на продавливание (на 41,2% с $F_{исп.} = 540$ кН до $F_{исп.} = 763$ кН), для толстых плит увеличение процента продольного растянутого армирования не приводит к пропорциональному (линейному) повышению несущей способности на продавливание.

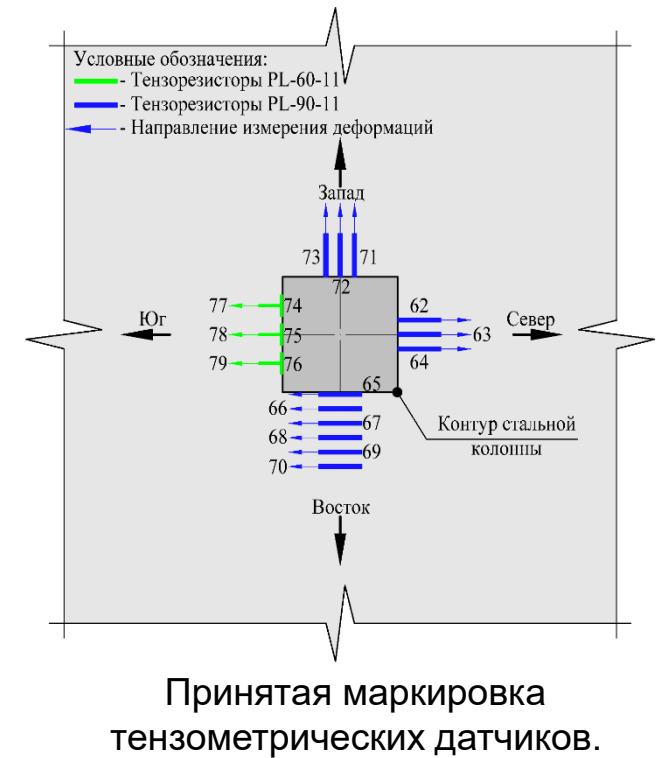


Влияние продольного растянутого армирования на прочность плит при продавливании при разной толщине конструкции.

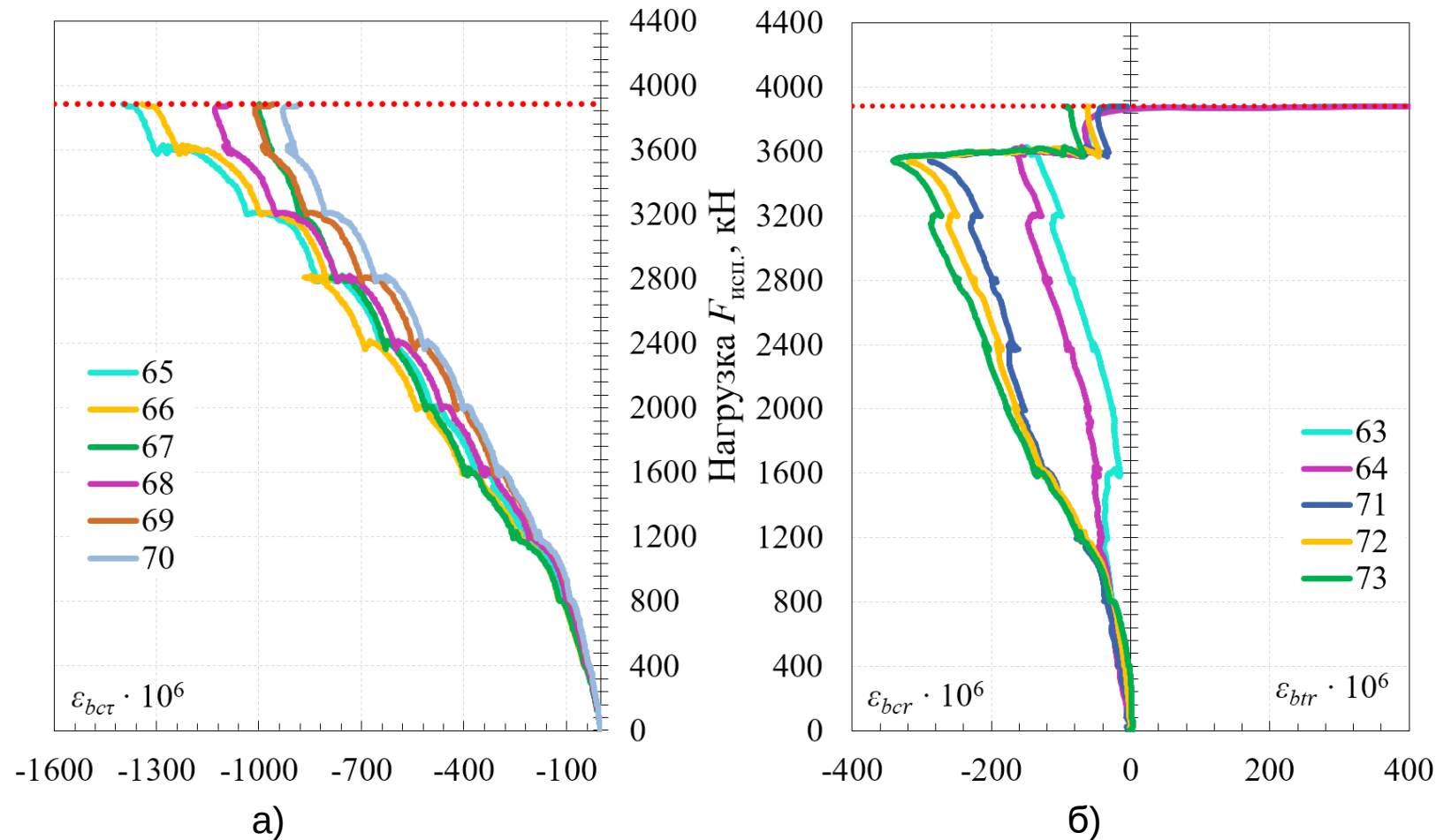
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В СЖАТОМ БЕТОНЕ



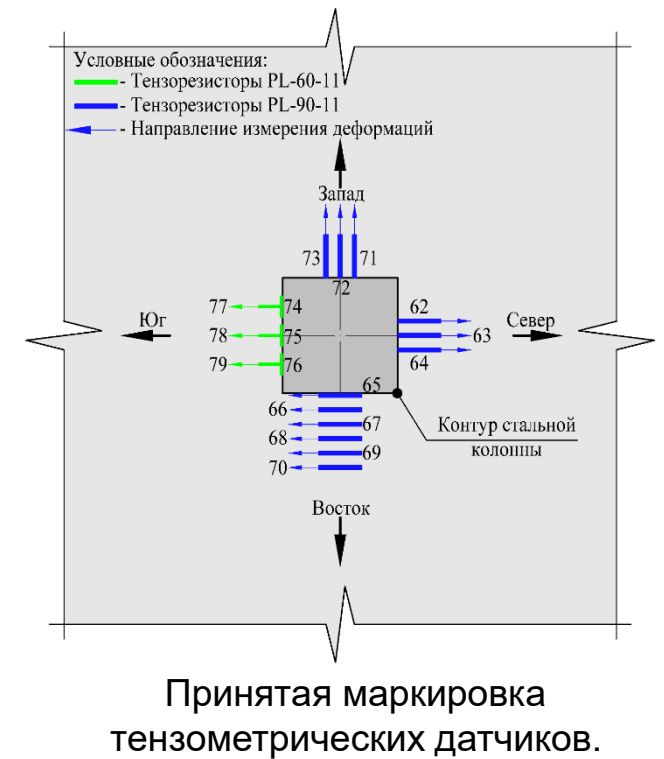
Графики «Нагрузка – Относительные деформации бетона» в окрестности опирания образца плиты марки ККТ_1_№3 в направлениях: а) в тангенциальном, б) в радиальном.



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В СЖАТОМ БЕТОНЕ



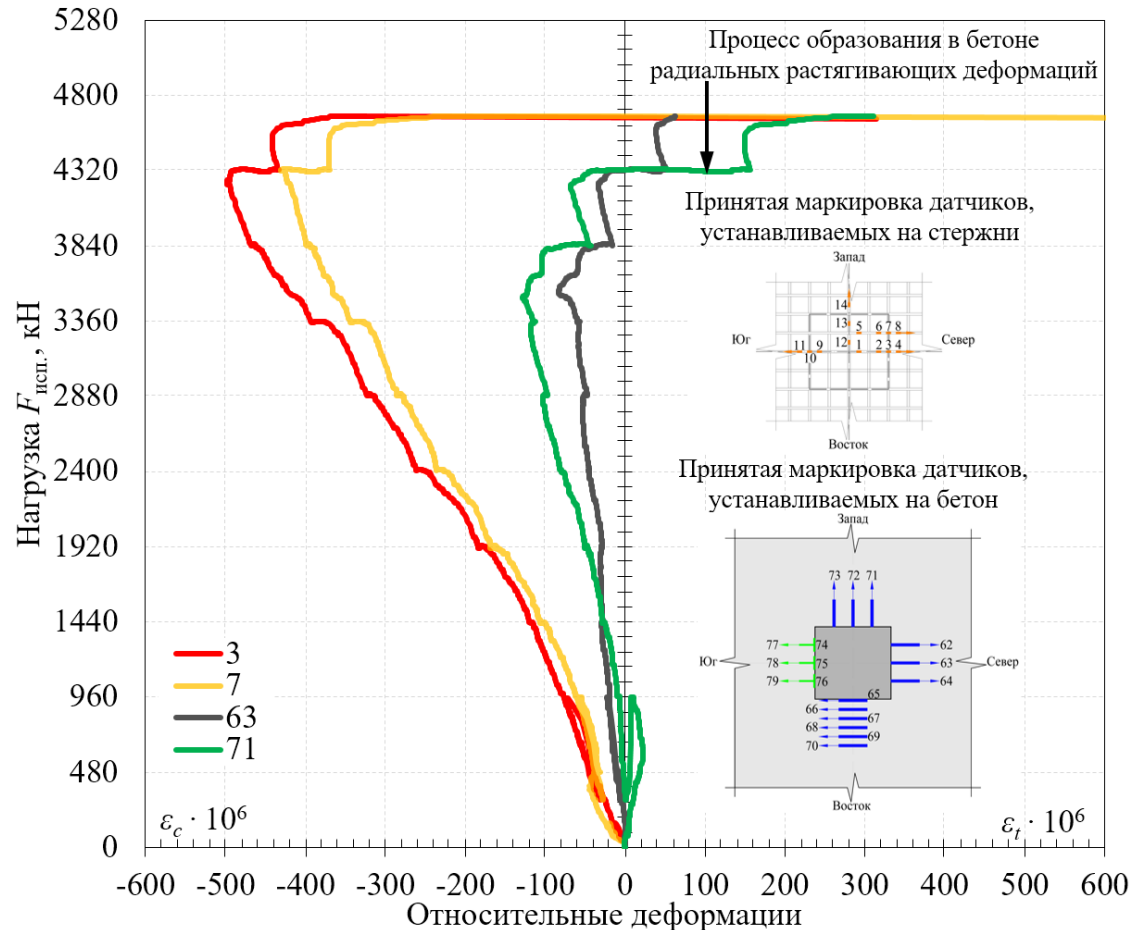
Графики «Нагрузка – Относительные деформации бетона» в окрестности опирания образца плиты марки ККТ_2_№1 в направлениях: а) в тангенциальном, б) в радиальном.



АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЯХ СЖАТОЙ ЗОНЫ ОБРАЗЦОВ



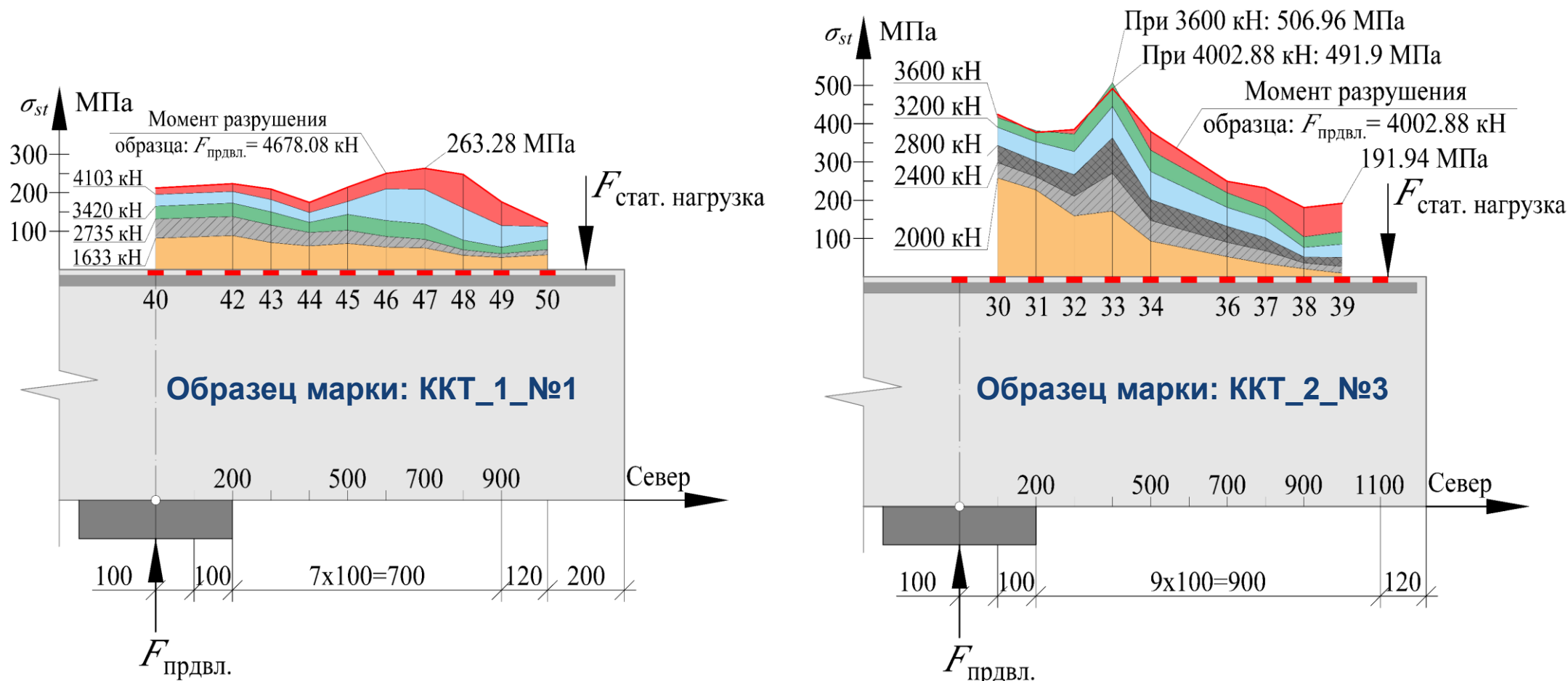
НИИЖБ
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



Характер деформирования нижних продольных арматурных стержней плиты марки ККТ_1_№1 в процессе выдавливания пирамиды продавливания. Данные получены после резки экспериментального образца.

Сопоставление графиков «Нагрузка – Относительные деформации» для продольного нижнего армирования и сжатого бетона.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЯХ РАСТЯНУТОЙ ЗОНЫ ОБРАЗЦОВ

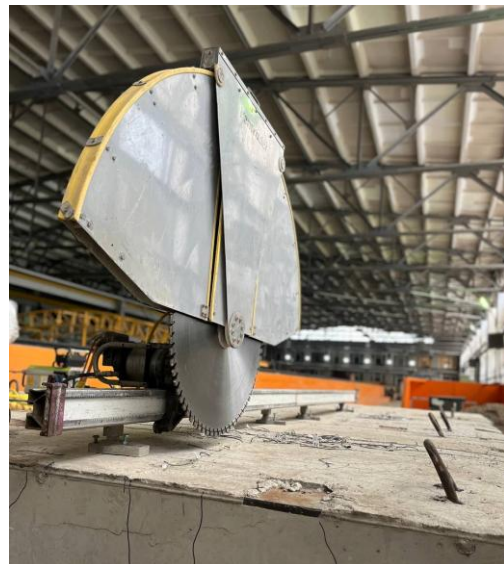


Характер распределения растягивающих напряжений в центральном продольном верхнем арматурном стержне в процессе нагружения образцов.

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ПЛИТ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ



Процесс резки экспериментальных образцов плит.



Общий вид бетона в окрестности опирания плиты до разрушения (слева);
после продавливания образца (справа).



Характер разрушения сжатого бетона в окрестности опирания плит.

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ПЛИТ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ



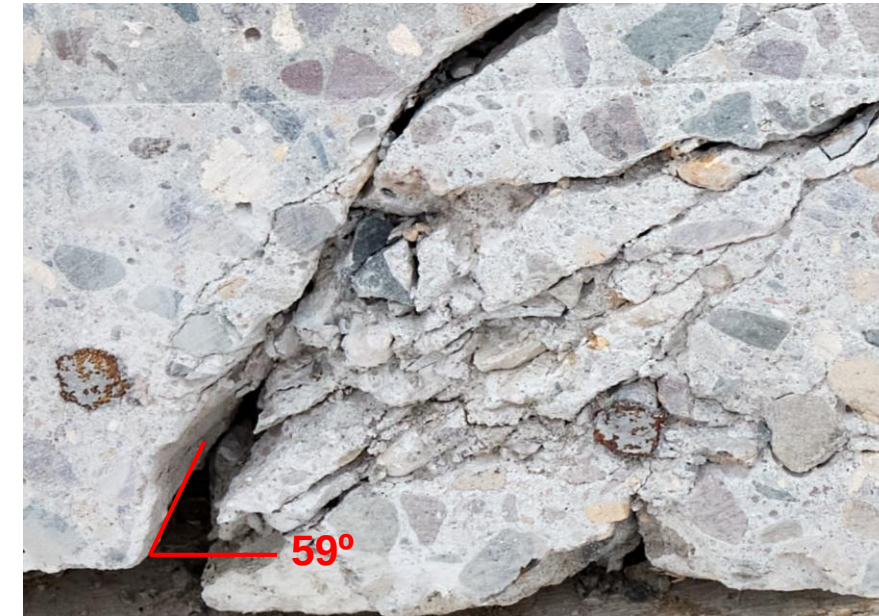
НИИЖБ
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



Характер образования трещин



Разрушения бетона в
окрестности опоры



Характер разрушения плиты марки ККТ_1_№1.

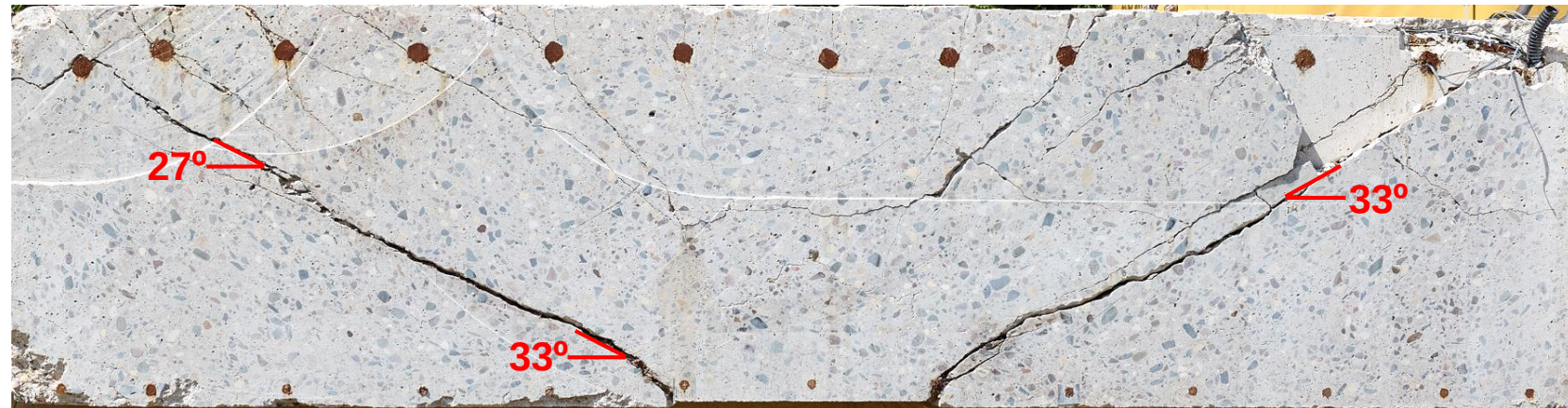
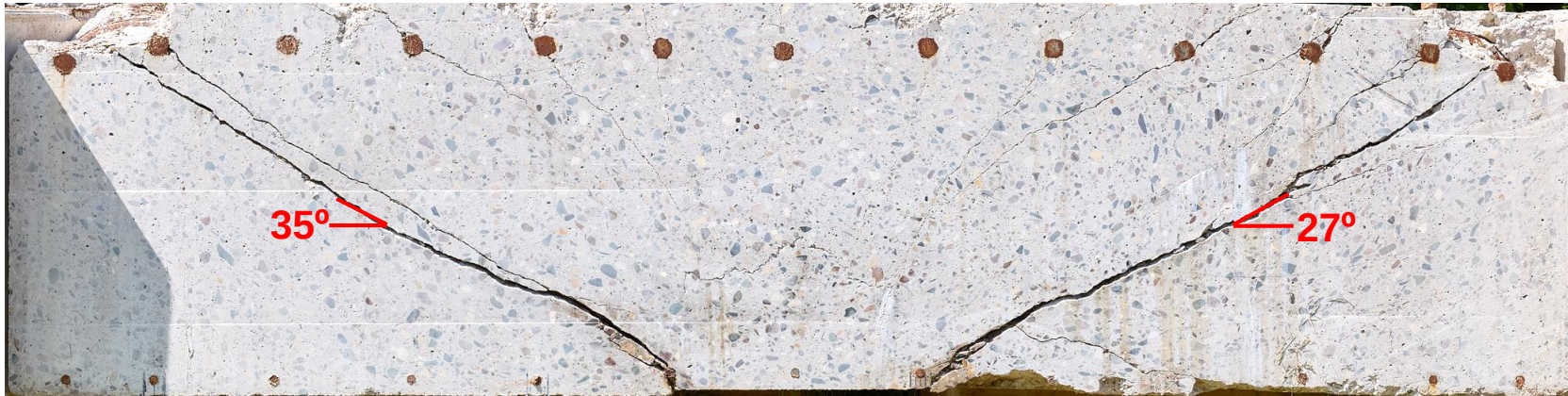
АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ПЛИТ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ



НИИЖБ
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



Характер образования трещин



Разрушения бетона в
окрестности опоры



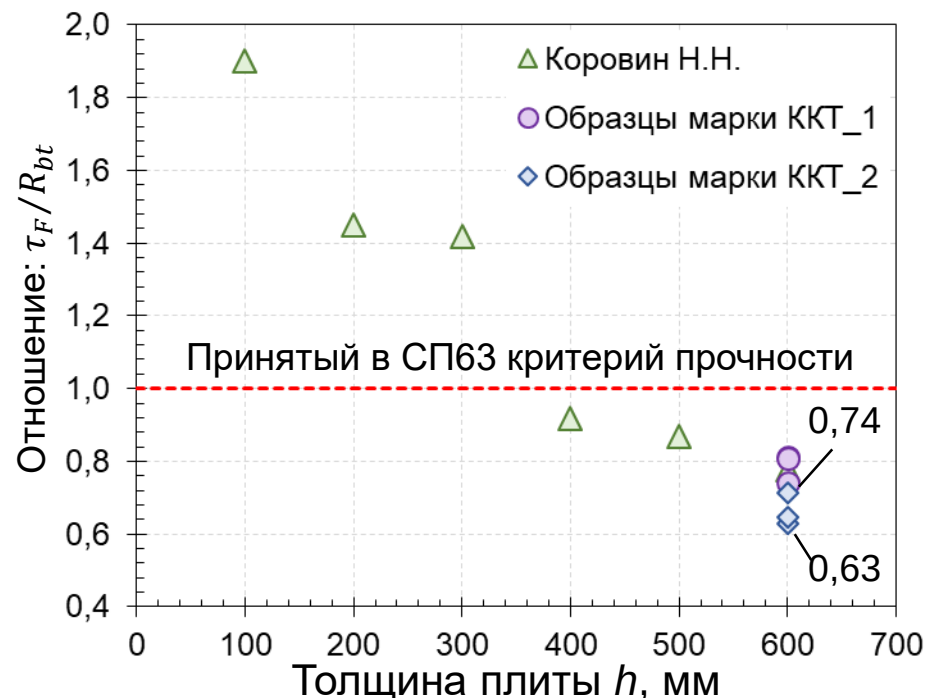
Характер разрушения плит марки ККТ_2_№3.

Таблица 6 – Результаты сопоставительного анализа полученных значений разрушающих нагрузок в ходе выполнения испытаний с действующими нормативными методиками

№ Серии	Образец	r_s , мм	c мм	h_0 , мм	R_m^{150} , МПа	f_c МПа	R_{bt} МПа	$\mu_s\%$	R_s , МПа для Ø28	E_s , МПа для Ø28	$F_{исп.}$ кН	$F_{исп.срд.}$ кН	$F_{исп.}/F_{pred}$				
													СП63	Коровин Н.Н.	ЕС2	МС2020 (LoA II)	АСІ 318
Первая	ККТ_1_№1	1120	400	552	54,6	47,6	2,74	1,12	554.2	200 000	4678,08	4537,65	0,812	0,927	0,916	0,874	1,238
	ККТ_1_№2										4271,44		0,742	0,846	0,836	0,798	1,130
	ККТ_1_№3										4663,44		0,810	0,924	0,913	0,871	1,234
Среднее значение для образцов первой серии:													0,788	0,899	0,888	0,848	1,201
Вторая	ККТ_2_№1	1120	400	552	54,2	47,3	2,94	0,56	554.2	200 000	3881,84	4095,36	0,628	0,717	0,960	0,944	1,031
	ККТ_2_№2										4401,36		0,712	0,813	1,088	1,070	1,168
	ККТ_2_№3										4002,88		0,648	0,739	0,990	0,973	1,063
Среднее значение для образцов второй серии:													0,663	0,756	1,013	0,996	1,087

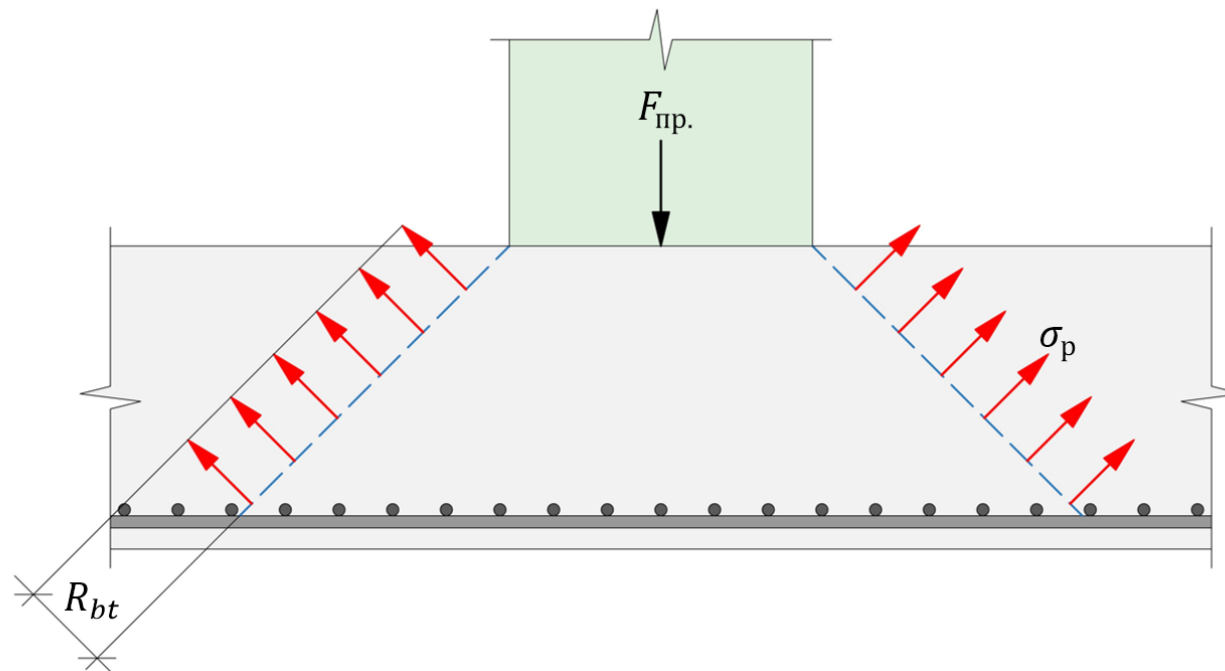
По результатам выполненного сопоставительного анализа были выявлены три основных противоречия в принятом в РФ нормативном подходе к определению несущей способности плит при продавливании (СП 63.13330.2018).

Первое противоречие в принятой расчетной методике: максимально возможные касательные напряжения τ_F^{max} , действующие по поверхности расчетного вертикального поперечного сечения плиты, ограничиваются прочностью бетона на осевое растяжение R_{bt} .



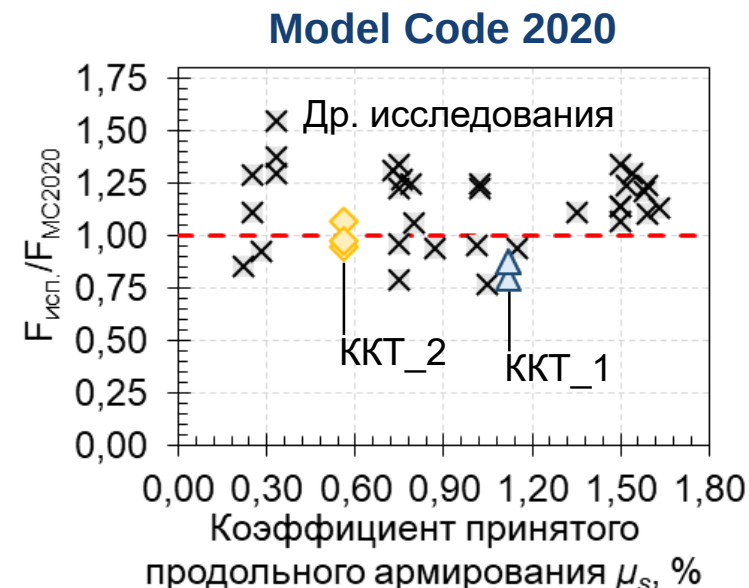
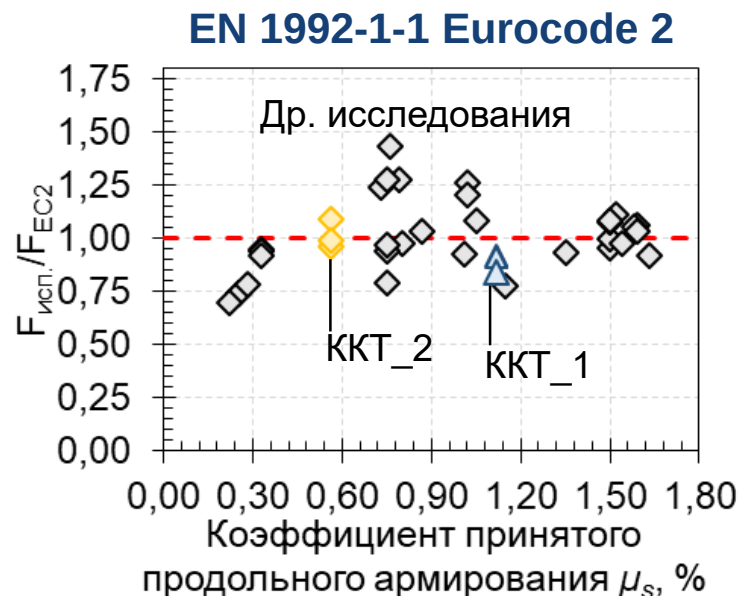
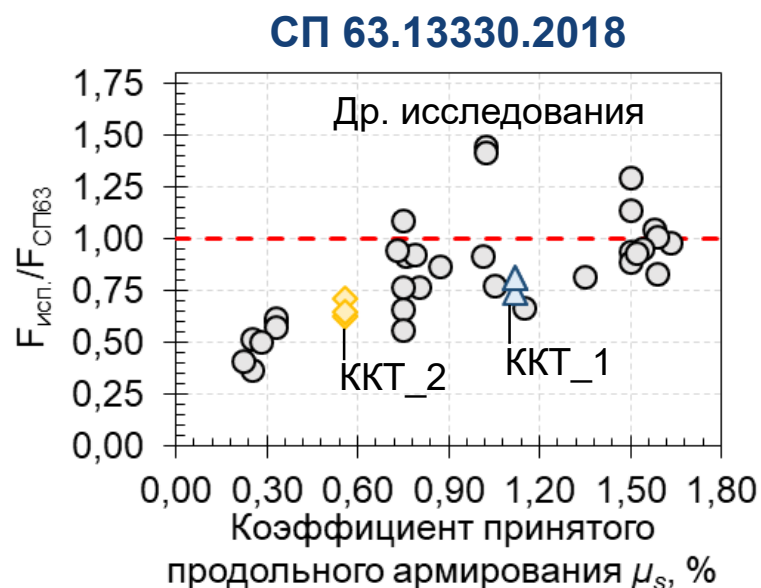
Сопоставительный анализ полученных значений отношений фактических средних вертикальных касательных напряжений τ_F к прочности бетона на осевое растяжение R_{bt} , полученных по результатам выполненных Коровиным Н.Н. испытаний и результатов, полученных в рамках настоящего диссертационного исследования.

Вторым противоречием является то, что до момента отрыва фигуры (пирамиды) продавливания от объема бетона плиты на наклонных гранях поверхности разрушения действуют нормальные растягивающие напряжения $\sigma_p = R_{bt}$. Из чего следует, что до момента разрушения плит при продавливании критическая наклонная трещина, формирующая поверхность фигуры (пирамиды) разрушения, не образуется, поскольку в случае образования такой трещины **не будут соблюдаться основные расчетные предпосылки**, принятые в нормативном методе и предложенные Залесовым А.С. и Ивановым А.: 1) равномерность распределения касательных вертикальных напряжений по высоте расчетного условного вертикального контура; 2) исчерпание несущей способности плитных конструкций при продавливании достигается в момент, когда $\tau_F > R_{bt}$.



Принятая схема распределения нормальных растягивающих напряжений отрыва.

Третьим противоречием в принятом нормативном подходе (СП63.13330.2018) является неучёт продольного рабочего растянутого армирования при оценке прочности на продавливание. Однако из результатов ранее выполненных экспериментальных исследований установлено, что при увеличении процента продольного армирования плит прочность на продавливание возрастает (это не может быть объяснено только нагельным эффектом). Также стоит отметить, что при отсутствии продольной арматуры в плитных конструкциях разрушение по механизму продавливания не реализуется.



Графики соответствия экспериментальных и расчетных данных по нормативным документам в зависимости от принятого коэффициента продольного растянутого армирования плит.

В результате выполненных экспериментальных исследований по определению прочности железобетонных плит толщиной 600 мм без поперечного армирования с различным коэффициентом продольного рабочего растянутого армирования было установлено:

1. С ростом приведенной высоты сечения железобетонных плит h_0 наблюдается тенденция снижения влияния фактора увеличения продольного растянутого армирования на фактор увеличения прочности таких плит при продавливании, что, в свою очередь, указывает на принципиальные различия в механизмах разрушения толстых и тонких плит. Выполненными исследованиями установлено, что для плит с $h_0 = 552$ мм увеличение коэффициента продольного растянутого армирования μ_s с 0,56% до 1,12% (в 2 раза) привело к росту несущей способности на продавливание всего на 10,8% (с $F_{исп.т}^{ККТ-2} = 4095,36$ до $F_{исп.т}^{ККТ-1} = 4537,65$ кН).

2. Во всех случаях момент разрушения экспериментальных образцов при продавливании был хрупким и сопровождался следующими процессами:

- образованием радиальных, тангенциальных и диагональных трещин на растянутой поверхности плит со значительной шириной раскрытия (в ряде случаев более 5 мм) на расстоянии от ≈ 620 до 820 мм от грани штампа продавливающей нагрузки;
- хрупким разрушением (выкалыванием) сжатого бетона в окрестности опирания плит на стальную колонну, вызванным вертикальным смещением продавливающего штампа относительно нижней поверхности плиты.

3. Установлено, что фактический угол наклона к горизонтали критических наклонных трещин, формирующих боковые грани (пирамиды) продавливания, является переменным по толщине плиты:

- в зонах, примыкающих к штампу продавливающей нагрузки, выявлено разрушение бетона образцов, соответствующее хрупкому механизму разрушения. При этом на указанном участке наблюдается наиболее высокий угол наклона трещины к горизонтали – в отдельных случаях до $59^\circ \dots 63^\circ$;
- в зоне бетона, расположенной выше уровня хрупкого разрушения бетона в приопорной части образца (центральная часть плит), трещины расположены более полого – под углами от 27° до 37° .

Полученные данные позволяют утверждать, что схема трещинообразования железобетонных плит без устройства поперечного армирования при действии статических продавливающих нагрузок является билинейной, что определяет криволинейную форму фигуры (пирамиды) продавливания.



НИИЖБ
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



**Российский университет
дружбы народов**



**Кафедра железобетонных
и каменных конструкций
НИУ МГСУ**

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!