

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ОБЛЕГЧЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ С КОМБИНИРОВАННЫМ АРМИРОВАНИЕМ

А. Х. Шарифов

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DATA OF LIGHTWEIGHT ARMoured CONCRETE SLABS WITH COMBINED REINFORCEMENT

Abubakr Kh. Sharifov

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Аннотация. Анализируются результаты экспериментальных исследований образцов прямоугольных плит, работающих в двух направлениях при опирании их по углам. Образцы выполнены из различных материалов: тяжелого монолитного бетона, сборных блоков из легкого бетона, металлической и композитной арматуры. Комбинированное армирование снижает массу образцов и придает конструкции новые свойства при эксплуатации, которые обусловлены различными комбинациями материалов, их рациональным размещением и особенностями физико-механических характеристик. Анализ результатов (показателей прочности, трещиностойкости, деформативности, схем разрушения) производился путем сравнения видов армирования, его количества, а также изменения прочности тяжелого бетона. Получены следующие данные: при частичной замене металлической арматуры в средней зоне плит композитной арматурой незначительно снижается прочность, уменьшается жесткость и

Abstract. The paper analyses the results of experimental studies of samples of rectangular plates working in two directions while resting them in the corners. The specimens combine with different materials: heavy monolithic concrete, prefabricated blocks of lightweight concrete, metal and composite reinforcement. The combined reinforcement allows to reduce weight of the specimens and gives new properties for structure during the operation. These properties are caused by different combinations of materials, their rational placement and peculiarities of physical and mechanical characteristics. Analysis of the results (indicators of strength, cracking resistance, deformability, schemes of fracture) was carried out by comparing the types of reinforcement, its amount, as well as changes in the strength of heavy concrete. It has been found that partial swap metal reinforcement (in the middle zone of slabs) for the composite reinforcement slightly reduces the strength, decreases rigidity and cracking resistance, and changes the mechanism of specimen failure.

трещиностойкость а также меняется механизм разрушения образцов. Полученные результаты позволяют утверждать, что комбинированная конструкция является перспективной, т. к. снижается масса, увеличивается сопротивляемость коррозионным и динамическим воздействиям, при этом обеспечивается надежность конструкции по несущей способности и жесткости.

Ключевые слова: облегченная плита, комбинированное армирование, композитная арматура, анализ, результаты исследования

This paper has clearly shown that the combined structure is promising due to reducing the weight, increasing the resistance to corrosive and dynamic impacts while ensuring reliability of construction in bearing capacity and rigidity.

Key words: lightweight slab, combined reinforcement, composite reinforcement, analysis, research results

Для цитирования: Шарифов, А. Х. Анализ экспериментальных данных облегченных железобетонных плит с комбинированным армированием / А. Х. Шарифов. – DOI 10.31660/2782-232X-2022-4-36-45. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 4 (102). – С. 36–45.

For citation: Sharifov, A. Kh. (2022). Analysis of experimental data of lightweight armoured concrete slabs with combined reinforcement. Architecture, Construction, Transport, (4(102)), pp. 36-45. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2022-4-36-45.

Введение

Применение комбинированного армирования и использование облегченных конструкций в современном строительстве является известным и перспективным направлением [1, 2].

Использование композитной арматуры при комбинированном армировании подразумевает замену традиционной стальной арматуры на арматуру из стеклопластика или других видов композитных материалов. Это особенно актуально в агрессивных средах, где стеклопластик по сравнению со стальной арматурой может обеспечить лучшие долговременные характеристики [3–6]. Конструкции с использованием облегченных плит уже доказали свою перспективность в современном строительстве [7–9].

Объект и методика исследования

Исходя из этого, были испытаны пять серий облегченных плит прямоугольного сечения размером 2 260 × 1 660 × 100 мм в лабораторном корпусе Южно-Уральского государственного университета (г. Челябинск) (рис. 1). Класс бетона варьировался от В12,5 до В30. В качестве запол-

нителя бетона использовались гранитный щебень размером 0,6–16 мм и песок с модулем крупности 2,1–2,35. Вяжущее – ПЦ40 [10].

Одним из важных этапов в научных исследованиях после экспериментальных испытаний является анализ и обработка полученных результатов, на основании которых можно сделать выводы о подтверждении теории либо гипотезы научного исследования.

Цель работы – сравнить и проанализировать результаты испытаний облегченных плит, совпадающих по геометрии и характеристикам, и оценить, как процент армирования и прочности бетона влияет на несущую способность и деформируемость представленных плит.

Плиты установлены на четырех углах как свободно опертые, работающие по двум сторонам. Облегченные плиты были подвергнуты равномерно распределенной нагрузке путем поэтапного нагружения. Более подробная информация об экспериментальном исследовании представлена в работе [10].

Для снижения веса и уменьшения расхода материалов в качестве вкладыша облегченных плит

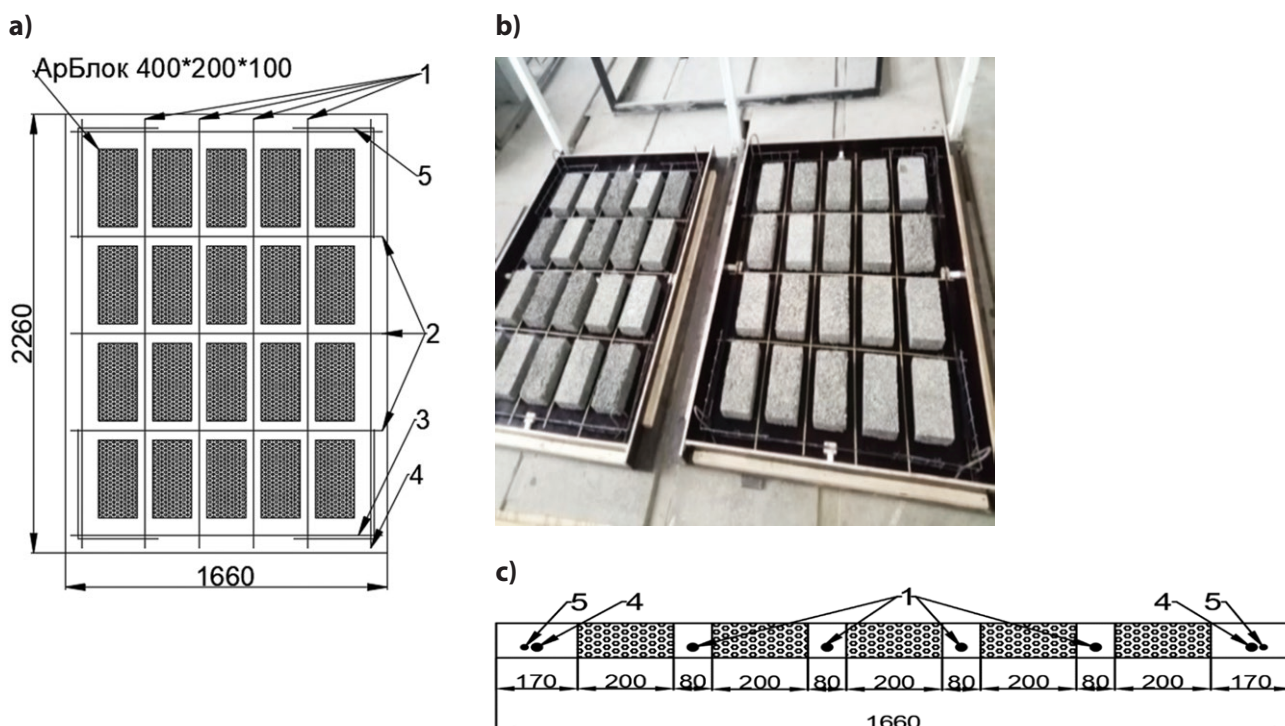


Рис. 1. Конструкция опытных образцов: а, б) укладка блоков и арматур, в) разрез плиты:

1) $A_{sb}^o (ACK_b^o)$ – местоположение арматур в центральных ребрах по длинной стороне, 2) $A_{sa}^o (ACK_a^o)$ – местоположение арматур в центральных ребрах по короткой стороне, 3) A_{sa}^k – местоположение стальной арматуры в крайних ребрах по короткой стороне, 4) A_{sb}^k – местоположение стальной арматуры в крайних ребрах по длинной стороне, 5) ребро жесткости

применялись арболитовые блоки [10]. Арболит – легкий бетон на основе цементного вяжущего, органических заполнителей и химических добавок, в том числе регулирующих пористость¹. Также он известен как древобетон. Общие характеристики опытных образцов представлены в таблице 1.

В таблице 2 показано фактическое значение, полученное после физического исследования.

Согласно полученным данным, использование стеклопластиковой арматуры не оказывает существенного влияния на прочность комбинированных плит. Наибольшее отклонение наблюдается в жесткости плиты.

Ниже приведены результаты, полученные нами после проведения экспериментальных ис-

пытаний для сопоставления данных с целью визуализации физической сущности экспериментального процесса и установления адекватности экспериментальной гипотезы.

Результаты и обсуждение

Влияние замены металлической арматуры на стеклопластиковую

Так как первая серия изготовлена полностью из различных металлических арматур, ее можно сравнить с остальными сериями образцов, которые были армированы комбинированным методом из стеклопластиковых арматур и совпадали по физико-механическим характеристикам бетона и расположению арматур в ребрах.

¹ ГОСТ 19222-84. Арболит и изделия из него. Общие технические условия : государственный стандарт союза ССР : утвержден и введен в действие постановлением государственного комитета СССР по делам строительства от 30 декабря 1983 г. № 349. – Текст : электронный // docs.cntd.ru : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901705559> (дата обращения: 05.11.2022).

Таблица 1

Физико-механические характеристики бетона и количество арматуры в ребре

Показатели		Серия				
		1	2	3	4	5
Прочность бетона на день испытания $R_{b'}$, МПа		24,80	24,56	29,31	12,41	13,08
Модуль упругости бетона по расчету $E_{b'}$, МПа		31 000	30 919	33 242	21 767	22 454
Армирование	$A_{sa}^k, \text{см}^2$	2Ø12 (2,62)	2Ø12 (2,62)	2Ø10 (1,578)	2Ø10 (1,578)	2Ø6 (0,566)
	$A_{sb}^k, \text{см}^2$	2Ø10 (1,578)	2Ø10 (1,578)	2Ø12 (2,62)	2Ø12 (2,62)	2Ø10 (1,578)
	$ACK_a^o, \text{см}^2$	A_{sa}^o 3Ø6 (0,849)	3Ø8 (1,509)	3Ø6 (0,849)	3Ø6 (0,849)	3Ø4 (0,378)
	$ACK_b^o, \text{см}^2$	A_{sb}^o 4Ø8 (2,012)	4Ø8 (2,012)	4Ø10 (3,156)	4Ø10 (3,156)	4Ø8 (2,012)

Примечание: A_s – арматура стальная, АСК – арматура стеклопластиковая композитная по ребрам a и b , где a – короткая сторона плиты, b – длинная сторона плиты (см. примечание рис. 1).

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований

Показатели		Серия				
		1	2	3	4	5
Экспериментальная разрушающая нагрузка, кПа		51,84	47,14	59,33	54,16	37,02
Экспериментальная нагрузка, соответствующая появлению трещин на сторонах, кПа	a	30,2	14,24	19,65	19,58	18,48
	b	14,12	10,57	19,65	14,64	16,61
Экспериментальные прогибы, соответствующие появлению трещин на сторонах, мм	a	6,05	0,45	1,4	1,8	1,7
	b	5,7	0,975	4,55	3,45	5,92
Экспериментальные прогибы, соответствующие величине экспериментально разрушающей нагрузки на сторонах, мм	a	10,2	–4,05	33,8	42,55	25,45
	b	30,9	69,5	26,1	20,85	27,87
	c	42	77,05	71,5	73,6	56,8
Экспериментальная ширина трещин, соответствующая экспериментально разрушающей нагрузке на сторонах, мм	a	0,6	0,15	2	2	3
	b	3	2,6	1,8	1	1,55

Примечание: a – показания по краям ребер в середине короткой стороны плиты, b – показания по краям ребер в середине длинной стороны плиты, c – показания в центральной части плиты

В зависимости от анализа исследования следует отметить, что плиты со стальной арматурой не очень существенно отличались по полученным характеристикам от других образцов. Исходя из этого, можно сказать, что замена металлической арматуры на стеклопластиковую станет возмож-

ной, если будут скорректированы ограничения по определенным характеристикам. На рис. 2. представлено сопоставление разрушающих нагрузок и трещинообразование испытанных плит.

Разрушающие нагрузки F_{ult} опытных образцов, как видно из графика, варьировались в

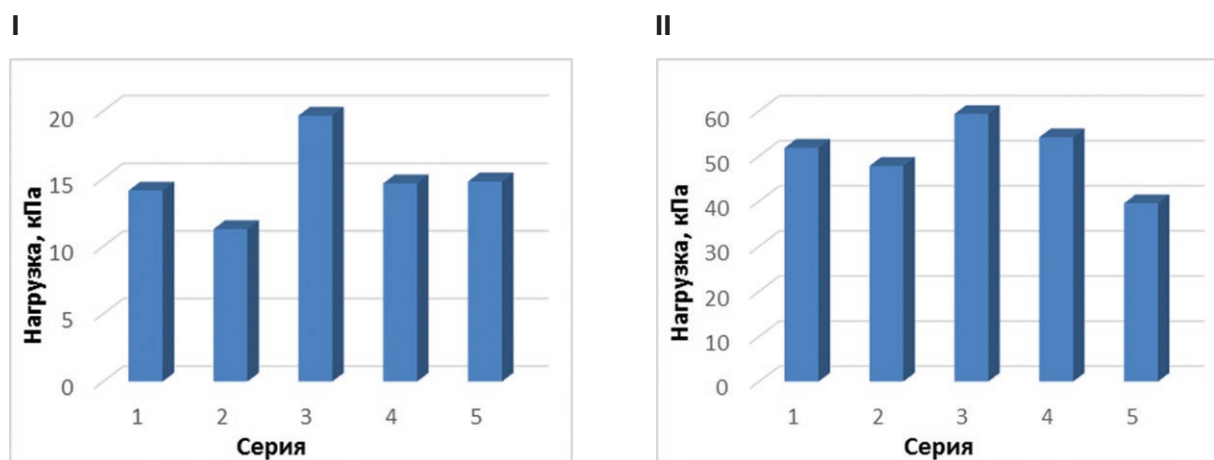


Рис. 2. Сопоставление разрушающих нагрузок и нагрузка по трещинообразованию:

I) F_{ult} – экспериментальная разрушающая нагрузка;

II) F_{crc} – экспериментальная нагрузка, соответствующая появлению трещин

пределах 14,45–33,45 %. Облегченные плиты серии 1, 2, 3, 4 разрушались от изгиба, разрушение носило пластический характер. Исключением стали плиты серии 5, которые хрупко разрушились. Перед разрушением комбинированных плит был слышен специфический треск, указывающий на разрыв стеклопластиковых волокон. Хрупкое разрушение свойственно композитным арматурам.

Опытные образцы серии 2 были равны по прочности бетону серии 1, но с заменой арматуры композитом по полученным данным экспериментальная разрушающая нагрузка F_{ult} была на 9,06 % меньше, чем в серии 1.

Серии 3, 4 на 13,74 % имели более высокий показатель армирования по сравнению с серией 2. Исходя из таблицы 2 видно, что с увеличением диаметра стеклопластиковых арматур прочность облегченных плит увеличивается на 9,75 % применительно к серии 1 и на 20,37 % к серии 2.

Опытные образцы серии 5 значительно отличались от других образцов как по прочности, так и по процентному содержанию армирования. Снижение прочности бетона на 44,35 % и процента армирования на 35,76 % по сравнению с серией 1 существенно влияет на характер разрушения и деформируемость плит. Следовательно, прочность снижается на 28,58 % по сравнению с серией 1, на 21,47 % по сравнению с серией 2, на 37,6 % –

с серией 3 и на 31,64 % – с серией 4. Характерные отличия арматуры приведены в таблице 1.

Нагрузка F_{crc} , соответствующая появлению трещин, показывает, что серия 1, несмотря на прочность бетона, по показателям была практически равна сериям 4, 5 и варьировалась от 3,68 до 4,7 %. Разница в показателях между серией 1 и серией 2 была в пределах 25 %.

Серии 1, 2 при испытаниях на короткой стороне плиты a не достигли ни допустимой ширины раскрытия трещин ($F_{a, crc, ult}$), ни допустимых прогибов ($F_{f, ult}$). Это было связано с тем, что длинная сторона плиты подвергалась более высоким напряжениям и изгибам, что привело к подъему опор.

Однако, как видно из рис. 3, экспериментальная нагрузка, соответствующая предельно допустимой ширине раскрытия трещины ($F_{a, crc, ult}$) и предельно допустимым прогибам ($F_{f, ult}$) в сериях 1, 2, 5 по длинной стороне плиты b , независимо от типа арматуры, процента армирования и прочности бетона, показала сопоставимые величины. Разница между нагрузкой, соответствующей предельно допустимой ширине раскрытия трещины ($F_{a, crc, ult}$), составляет до 9,3 %. Таким образом, экспериментальная нагрузка, соответствующая предельно допустимым прогибам ($F_{f, ult}$) всех образцов, показывает хорошую сходимость вдоль длинной стороны b и центра плиты c , которая колеблется в пределах 1,94–23,34 %.

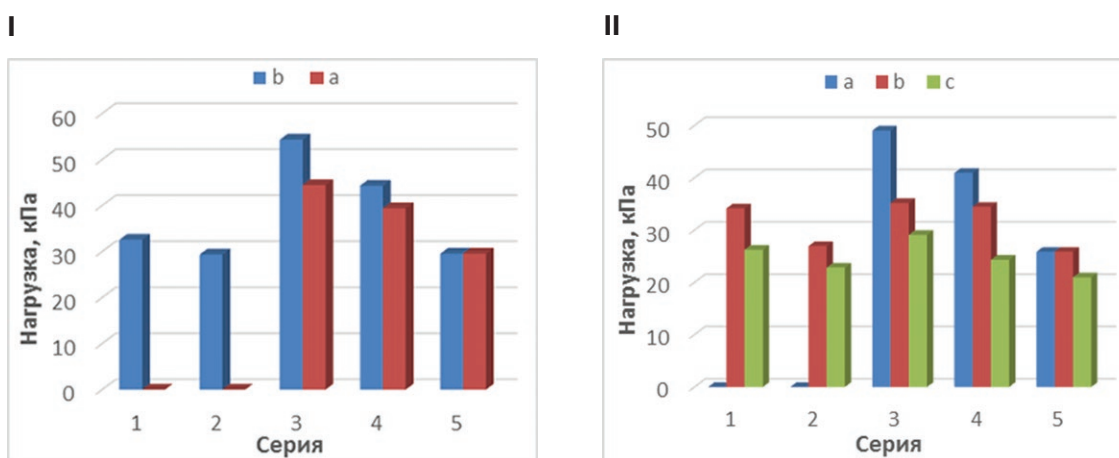


Рис. 3. Сопоставление предельно допустимого прогиба и раскрытия трещин:

- I) $F_{a, cr, ult}$ – экспериментальная нагрузка, соответствующая предельно допустимой ширине раскрытия трещин,
 II) $F_{f, ult}$ – экспериментальная нагрузка, соответствующая предельно допустимым прогибам, а – показания по краям ребер в середине короткой стороны плиты, б – показания по краям ребер в середине длинной стороны плиты, с – показания в центральной части плиты

Таким образом, жесткость серий 2, 3, 4, 5 значительно отличается от жесткости серии 1. Прогибы комбинированных плит (2, 3, 4, 5 серий) развивались более интенсивно, что свидетельствует о низком модуле упругости стеклопластиковой арматуры. Также прогибы комбинированных плит, соответствующие величине экспериментальной разрушающей нагрузки, почти в два раза превышали прогиб серии 1.

Влияние изменения прочности бетона

Опытная серия 2 также сопоставима с серией 5. На основе этих плит проанализируем влияние прочности бетона. Полученные данные (рис. 4) показывают, что снижение прочности бетона и процента армирования плиты существенно влияет на характер разрушения и деформируемость опытных образцов (таблица 2).

Анализируя полученные данные и наблюдения за образованием трещин, можно сделать следующие выводы.

Экспериментально разрушающая нагрузка серий 2, 5 различалась по характеру и поведению разрушения. Как видно из приведенных данных, изменение прочности бетона в значительной мере влияет на прочность образцов. Расхожде-

ние серии 2 составило +21,46 % по сравнению с серией 5.

До появления трещин в серии 2 при нагрузке 10,57 кПа наблюдалась пропорциональная зависимость, что говорит об упругой работе плит. Соответственно, после появления трещин плиты переходят ко второму этапу работ, т. е. работе плиты с момента образования трещин до значения эксплуатационной нагрузки – нагрузки, которая определяется пригодностью конструкций к нормальной эксплуатации ($F_{ser} = 0,7 F_{ult}$).

Далее – работа с момента наступления эксплуатационной нагрузки до момента разрушения.

На начальных этапах на длинных сторонах плит (серия 5) появилась нормальная трещина при нагрузке 14,82 кПа, что составляет 37,33 % от разрушающей нагрузки. Однако при увеличении нагрузки на 46,94 % от разрушающей нагрузки на короткой стороне плит образовался пластический шарнир (серия 5), впоследствии, при увеличении нагрузки, образцы хрупко разрушились во время последней нагрузки.

Причину резкого разрушения можно объяснить низким модулем упругости композитной арматуры: он почти в четыре раза меньше, чем

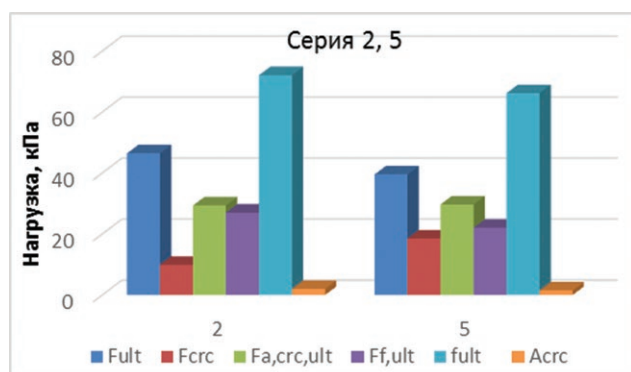


Рис. 4. Сопоставление НДС при изменении прочности бетона:
 F_{ult} – экспериментальная разрушающая нагрузка,
 F_{crc} – экспериментальная нагрузка, соответствующая появлению трещин,
 $F_{a,crс,ult}$ – экспериментальная нагрузка, соответствующая предельно допустимой ширине раскрытия трещин, $F_{f,ult}$ – экспериментальная нагрузка, соответствующая предельно допустимым прогибам, f_{ult} – экспериментальные прогибы, соответствующие величине экспериментально разрушающей нагрузки, $A_{сrc}$ – экспериментальная ширина трещин, соответствующая экспериментально разрушающей нагрузке

у стальной арматуры. Разрушение имеет хрупкий и непластичный характер.

Экспериментальная нагрузка, соответствующая предельно допустимой ширине раскрытия трещин и допустимым прогибам по длинной стороне плиты, несмотря на прочность бетона, показала практически идентичную величину. Разница между сериями 2 и 5 составляет 0,40–1,94 %.

Вместе с тем следует отметить, что прогибы, соответствующие разрушающей нагрузке, также показали сопоставимые значения в центре плит. Расхождение прогибов в центре плиты превышало +26,23 % (таблица 2).

Сравнивая прогибы плит, можно установить, что с уменьшением прочности бетона и процентного содержания арматуры на короткой стороне плиты интенсивность разрушения плит увеличивается.

Значения ширины раскрытия трещины серии 5 при соответствующей разрушающей нагрузке существенно различались и были в 1,67 раза больше по сравнению с серией 2.

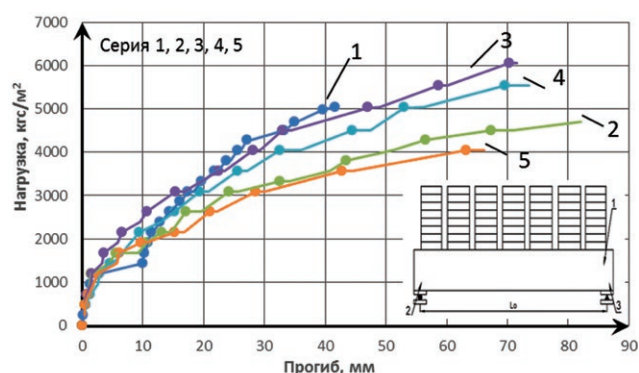


Рис. 5. Сопоставление зависимости нагрузка – прогиб всех серий в центральной части плиты

Влияние изменения процента армирования металлической и стеклопластиковой арматурой

Как отмечено в таблице 1, процентное соотношение стальной арматуры в сериях 1, 2, 3 по краям плиты было неизменным, они различались только расположением. Основная разница в процентном содержании стальной арматуры по краям плиты наблюдалась в серии 5 – на 51,07 % меньше. Все это относится к краям плиты. В то же время было много различий в процентном соотношении армирования в центре плит. Как уже было отмечено выше, в центре плит использовалась только композитная арматура.

Одной из наиболее критических точек в рассматриваемой плите является центральная зона, при этом различия в процентном отношении армирования были в пятой точке (П5) в центре плиты. Поэтому зависимость нагрузка – прогиб всех образцов в центральной зоне плиты показана на рис. 5.

Прогибы в центральной зоне (П5) при разрушающей нагрузке свидетельствуют о том, что использование стеклопластиковой арматуры в центре плиты практически до двух раз уменьшает жесткость плит по сравнению со стальной арматурой. После образования трещин кривые нагрузка – прогиб по форме аналогичны поведению соответствующей арматуры, что отражает тот факт, что деформации арматуры оказывают большее влияние на общее поведение, чем деформации бетона.

Как показано на графике, с увеличением процента армирования в центре плиты несущая способность образцов увеличивается, но при

этом повышается деформативность комбинированных плит.

Стоит отметить, что полученные данные свидетельствуют о довольно хороших результатах, так как модуль упругости стеклопластиковой арматуры в четыре раза меньше, чем у стальной. Это означает, что предлагаемая комбинированная плита увеличивает жесткость плит почти в два раза.

Влияние изменения расположения арматуры

Расположение стеклопластиковой арматуры на длинной и короткой сторонах комбинированных плит, как показано в таблице 1, практически во всех сериях меняется. Результаты, полученные после экспериментальных исследований, свидетельствуют о том, что влияние расположения арматуры в работе комбинированных плит достаточно существенно.

На рис. 6, 7 представлены результаты прогибомеров всех серий на длинной и короткой сторонах комбинированных плит, демонстрирующие поведение устройств во время экспериментальных исследований.

Опытные значения прогибов для комбинированных плит подтверждают, что их деформируемость зависит от процента композитной арматуры. Анализируя полученные графики, можно отметить, что замена стальной арматуры на композитную, а также изменение ее расположения позволяют в некоторых образцах более пропорционально перераспределять напряжения по всей поверхности комбинированных плит.

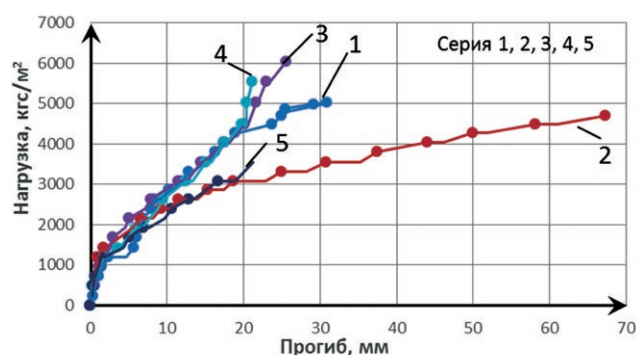


Рис. 6. Сопоставление зависимости нагрузка – прогиб всех серий по краям ребер в середине длинной стороны плиты

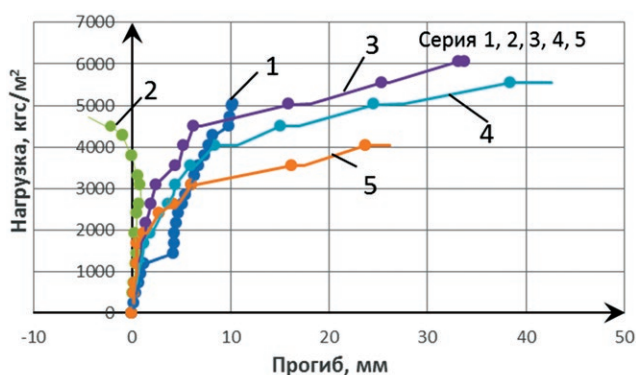


Рис. 7. Сопоставление зависимости нагрузка – прогиб всех серий по краям ребер в середине короткой стороны плиты

На рис. 7 сравнивается поведение нагрузки и прогиба всех серий по краям ребер в середине короткой стороны комбинированных плит. В отличие от стальных плит, плиты из стеклопластиковых арматур демонстрируют более пластичное поведение и быстро развивающиеся прогибы. Однако предельные прогибы в обоих случаях сравнимы, что может компенсировать пластичность и служить предупреждением перед выходом из рабочего состояния.

Прогибы уменьшаются с увеличением степени армирования, но требуются очень высокие коэффициенты композитного армирования, чтобы прогиб в этом диапазоне был сопоставим с коэффициентом в плитах со стальным армированием, это значит, что конструкции из композитных арматур можно контролировать с помощью предельного состояния эксплуатационной пригодности.

Выводы

Замена металлической арматуры в ребрах под номером 1, 2 (рис. 1) композитной арматурой (при других одинаковых параметрах) привела к уменьшению разрушающей нагрузки на 5–9 %. В то же время прогибы (плиты с комбинированным армированием по сравнению с серией 1), соответствующие этой нагрузке, увеличились в 1,2 раза (рис. 5–7). Нагрузка, при которой появляются трещины, снизилась на 25 %.

Увеличение процента композитной арматуры в ребрах под номером 1, 2 (рис. 1) привело к

пропорциональному увеличению разрушающей нагрузки. Соответствующая пропорциональность наблюдалась при уменьшении процента композитной арматуры.

Проведенные экспериментальные исследования и анализ полученных данных показали рациональное использование комбинированной арматуры для облегченных плит, изгибаемых

в двух направлениях под действием поперечной нагрузки. Полученные экспериментальные данные (распределение прогибов и величин разрушающих нагрузок и другие) могут быть использованы при разработке методов расчета по предельным состояниям, включая корректировку расчетов с применением программных комплексов.

Библиографический список

1. Yinghao, L. Arrangement of hybrid rebars on flexural behavior of HSC beams / Liu Yinghao, Yuan Yong. – DOI 10.1016/j.compositesb.2012.08.023. – Текст : непосредственный // Composites Part B : Engineering. – Volume 45, Issue 1. – 2013. – P. 22–31.
2. Менейлюк, А. И. Облегченные монолитные перекрытия для зданий с «гибкой планировкой» / А. И. Менейлюк, А. А. Остапчук, В. В. Таран // Будівельне виробництво. – 2012. – № 53. – С. 9–15.
3. Mariko, O. Experimental analysis and flexural behavior of reinforced-concrete beams reinforced with Glass-fiber-reinforced polymers / Ousmane Mariko. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – № 4 – 2010. – P. 5–12.
4. Is GFRP Rebar a Potential Replacement for Steel Reinforcement in Concrete Structures? / P. Gandhi, D. M. Pukazhendhi, S. Vishnuvardhan [etc.]. – DOI 10.1007/978-81-322-2187-6_157. – Текст : непосредственный // Advances in Structural Engineering. – 2015. – Volume 3. – P. 2043–2056.
5. Flexural response of SF concrete beams internally reinforced with different types of FRP bars / I. A. Sharaky, H. K. Shehab Eldin, Mohamed M. Shehata, Heba A. Mohamed. – DOI 10.14256/JCE.3009.2020. – Текст : непосредственный // GRAĐEVINAR. – № 12 – 2020. – P. 1117–1130.
6. Waleed, A. Flexural behavior of concrete beams reinforced with hybrid FRP Bars and HRB Bars / A. Waleed, Z. Z. Zhang, X. J. Ruan. – Текст : непосредственный // IOSR Journal of Engineering. – 2019. – Volume 9, Issue 6. – P. 25–33.
7. Бугаевский, С. А. Применение самоуплотняющегося бетона в технологии устройства облегченных железобетонных перекрытий / С. А. Бугаевский. – Текст : непосредственный // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2015. – № 69. – С. 79–90.
8. Шмуклер, В. С. Система «Монофант» для возведения монолитных железобетонных каркасов / В. С. Шмуклер, С. А. Бугаевский, В. Б. Никулин. – Текст : непосредственный // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2015. – № 71. – С. 70–84.
9. Аралов, Р. С. Анализ использования облегченных конструкций монолитных плит в Российской и зарубежной практике / Р. С. Аралов, В. И. Римшин. – Текст : непосредственный // Проблемы науки. – 2017. – № 7 (20). – С. 24–29.
10. Шарифов, А. Х. Экспериментальные исследования прочности, жесткости и трещиностойкости облегченных плит с комбинированным армированием / А. Х. Шарифов, Ю. А. Ивашенко, А. Д. Рахмонзода. – DOI 10.14529/build210401. – Текст : непосредственный // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2021. – Т. 21. – № 4. – С. 5–15.

References

1. Yinghao, L., & Yong, Yu. (2013). Arrangement of hybrid rebars on flexural behavior of HSC beams. Composites Part B : Engineering, 45 (1), pp. 22-31. (In English). DOI 10.1016/j.compositesb.2012.08.023.

-
2. Meneylyuk, A. I., Ostapchuk, A. A., & Taran, V. V. (2012). Oblegchennye monolitnye perekrytiya dlya zdaniy s "gibkoy planirovkoj". *Budiveln'e virobnitstvo*, (53), pp. 9-15. (In English).
 3. Mariko, O. (2010). Experimental analysis and flexural behavior of reinforced-concrete beams reinforced with Glass-fiber-reinforced polymers. *Magazine of civil engineering*, (4), pp. 5-12. (In English).
 4. Gandhi, P., Pukazhendhi, D. M., Vishnuvardhan, S., Saravanan, M., & Raghava, G. (2015). Is GFRP Rebar a Potential Replacement for Steel Reinforcement in Concrete Structures? *Advances in Structural Engineering*, 3, pp 2043-2056. (In English). DOI 10.1007/978-81-322-2187-6_157.
 5. Sharaky, I. A., Shehab Eldin, H. K., Shehata, Mohamed M., & Mohamed, Heba A. (2020). Flexural response of SF concrete beams internally reinforced with different types of FRP bars. *GRADEVINAR*, (12), pp. 1117-1130. DOI <https://doi.org/10.14256/JCE.3009.2020>. (In English).
 6. Waleed, A., Zhang, Z. Z., & Ruan, X. J. (2019). Flexural behavior of concrete beams reinforced with hybrid FRP Bars and HRB Bars. *IOSR Journal of Engineering*, 9(6), pp. 25-33. (In English).
 7. Bugaevsky, S. A. (2015). Primenenie samouplotnyayushchegosya betona v tekhnologii ustroystva oblegchennykh zhelezobetonnykh perekrytiy. *Bulletin of Kharkov national automobile and highway university*, 69, pp. 79-90. (In Russian).
 8. Shmukler, V., Buhayevskiy, S., & Nikulin, V. (2015). "Monofant" system for construction of cast reinforced concrete frames. *Bulletin of Kharkov national automobile and highway university*, 71, pp. 70-84. (In Russian).
 9. Aralov, R. S., & Rimshin, V. I. (2017). Analiz ispol'zovaniya oblegchennykh konstruktsiy monolitnykh plit v Rossiyskoy i zarubezhnoy praktike. *Problems of science*, 7(20), pp. 24-29. (In Russian).
 10. Sharifov, A. Kh., Ivashenko, Yu. A., & Rakhmonzoda, A. Dzh. (2021). Experimental studies of strength, rigidity and cracking resistance of lightweight slabs with combined reinforcement. *Bulletin of South Ural State University. Series: Construction engineering and architecture*, 21(4), pp. 5-15. (In Russian).

Сведения об авторе

Шарифов Абубакр Хайдарович, аспирант кафедры строительных конструкций и сооружений, Южно-Уральский государственный университет, e-mail: sharifov.a.h@mail.ru

Information about the authors

Abubakr Kh. Sharifov, Post-Graduate Student at the Department of Building Structures and Constructions, South Ural State University, e-mail: sharifov.a.h@mail.ru