

Строительные конструкции, здания и сооружения

УДК 624.012.45+691.328.2

DOI: 10.14529/build210401

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ, ЖЕСТКОСТИ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ОБЛЕГЧЕННЫХ ПЛИТ С КОМБИНИРОВАННЫМ АРМИРОВАНИЕМ

А.Х. Шарифов¹, Ю.А. Ивашенко¹, А.Дж. Рахмонзода²

¹Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

²Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими,
г. Душанбе, Таджикистан

Комбинированное армирование бетонных конструкций означает частичную замену стальной арматуры композитной. Такая замена осуществляется в стержневых и плитных изгибаемых конструкциях. Комбинированными называются конструкции, состоящие из различных материалов и различных технологических операций, включая применение сборных и монолитных изделий, а также предварительное напряжение. Поскольку композитная арматура имеет ряд специфических особенностей, то возникает необходимость проведения экспериментальных и теоретических исследований. Данная статья посвящена результатам испытания изгибаемых в двух направлениях плит комбинированной конструкции на поперечную нагрузку. Конструкция плит состоит из легких блоков (арболит), монолитного тяжелого бетона и комбинированного армирования (металлическая и композитная арматура). Образуется система перекрестных балок из тяжелого бетона, между которыми расположен легкий бетон. Это снимает собственный вес (массу) конструкции, что дает повышение экономической эффективности. Семь образцов облегченных плит прямоугольного сечения размером 2260 × 1660 × 100 мм были изготовлены для достижения поставленных задач. Облегченные плиты изготовлены с двойным армированием. В результате экспериментальных исследований установлены характер разрушения облегченных плит перекрытий и покрытий с комбинированным армированием, деформации удлинения и укорочения в сечениях пролета при нагружении, ширина раскрытия трещин и характер образования трещин.

Ключевые слова: облегченная плита, композитная арматура, комбинированное армирование, деформация.

Введение

Метод комбинированного армирования и использование легких конструкций в современном строительстве в настоящее время является наиболее известным и распространенным методом [1, 2].

Использование композитной арматуры в методе комбинированного армирования включает замену традиционной стальной на арматуру из стеклопластика и другие виды композитной арматуры. Это особенно полезно в агрессивных средах, где стеклопластик может обеспечить лучшие долговременные характеристики, чем стальная арматура [3–6]. Легкие конструкции в виде облегченных плит показали свою перспективу в современном строительстве [7–10].

Применение стеклопластиковых арматур в гражданском строительстве впервые было рассмотрено в 1960-х годах для решения проблемы коррозии дорожных мостов и сооружений, которые сильно подвержены воздействию морской соли [11, 12]. А метод устройства вкладышей из

переработанного пенополистирола для снижения материалоемкости был предложен еще в начале 90-х годов профессором В.С. Шмуклером [13, 14].

Несмотря на преимущества стеклопластиковой арматуры и преимущества по сравнению со стальной, а также устройство вкладышей, значительно снижающих расход материала без потери прочностных характеристик конструкций, они пока не получили широкого применения. Одна из причин этого — относительно малое исследований подобных конструкций.

Целью нашей работы является изучение и получение реальных картин, отражающих особенности НДС облегченных плит перекрытий и покрытий со стальным и комбинированным армированием при изгибе, вызванном действием распределенных нагрузок, расположенных по всей поверхности плиты.

Методика исследования

Семь образцов облегченных плит прямоугольного сечения размером 2260 × 1660 × 100 мм

Строительные конструкции, здания и сооружения

были изготовлены для достижения поставленных задач. Облегченные плиты изготовлены с двойным армированием (см. таблицу).

Изготовление опытных образцов выполнено в лабораторном корпусе ЮУрГУ (Челябинская область, г. Челябинск). Класс бетона варьировался от В12,5 до В30. В виде заполнителя бетона использовались гранитный щебень размером 0,6–16 мм и песок с модулем упругости M_k 2,1–2,35. Вяжущее – ПЦ40.

Для снижения собственного веса и уменьшения расхода материалов применялись арбалитовые блоки в качестве вкладыша облегченных плит [15]. Арболит – легкий бетон на цементном вяжущем, органических заполнителях и химических добавках, в том числе регулирующих пористость [16]. Также он известен как древобетон.

Бетон укладывался в опалубку с последующим уплотнением вибратором. Образцы были демонтированы на 28-й день после бетонирования с последующим твердением в естественных условиях.

Облегченные плиты устанавливались как свободно опертые, работающие в двух направлениях, и опирались по четырем углам. При этом по трем

углах облегченных плит устанавливались шарнирные подвижные опоры, а четвертый угол опирался на шарнирно-неподвижную опору. Схема испытательной установки и расположение измерительных приборов приведены на рис. 1.

Испытания плит распределенной нагрузкой проводились путем поэтапного нагружения до уровней нагрузки, соответствующих расчетным для первого и второго предельных состояний по методике, соответствующей [17]. На каждом этапе загрузки плиты выдавалась выдержка для проверки состояния плиты, снятия показаний с помощью механических приборов, фиксации и измерения ширины раскрытия трещин. Показания механических приборов (прогибомер и индикатор) снимались дважды на каждом этапе: сразу после приложения нагрузки и после 25–30-минутной выдержки.

В целом длительность испытаний составила от 6 до 10 часов. Во время испытания особое внимание было уделено контролю показаний приборов, позволяющих вычислять значения прогибов, деформации удлинения и укорочения в сечениях плит, расположенных в середине сторон плиты.

Геометрические характеристики опытных образцов

Показатели		Образцы						
		1	2	3	4	5	6	7
Прочность бетона на день испытания R_b , МПа		24,80	24,56	24,56	29,31	12,41	13,08	13,08
Модуль упругости бетона по расчету E_b , МПа		31000	30919	30919	33242	21767	22454	22454
Армирование	A_{sa}^k (см ²)	2Ø12 (2,62)	2Ø12 (2,62)	2Ø12 (2,62)	2Ø10 (1,578)	2Ø10 (1,578)	2Ø6 (0,566)	2Ø6 (0,566)
	A_{sb}^k (см ²)	2Ø10 (1,578)	2Ø10 (1,578)	2Ø10 (1,578)	2Ø12 (2,62)	2Ø12 (2,62)	2Ø10 (1,578)	2Ø10 (1,578)
	ASK_a^0 (см ²)	A_{sa}^0 3Ø6 (0,849)	3Ø8 (1,509)	3Ø8 (1,509)	3Ø6 (0,849)	3Ø6 (0,849)	3Ø4 (0,378)	3Ø4 (0,378)
	ASK_b^0 (см ²)	A_{sb}^0 4Ø8 (2,012)	4Ø8 (2,012)	4Ø8 (2,012)	4Ø10 (3,156)	4Ø10 (3,156)	4Ø8 (2,012)	4Ø8 (2,012)

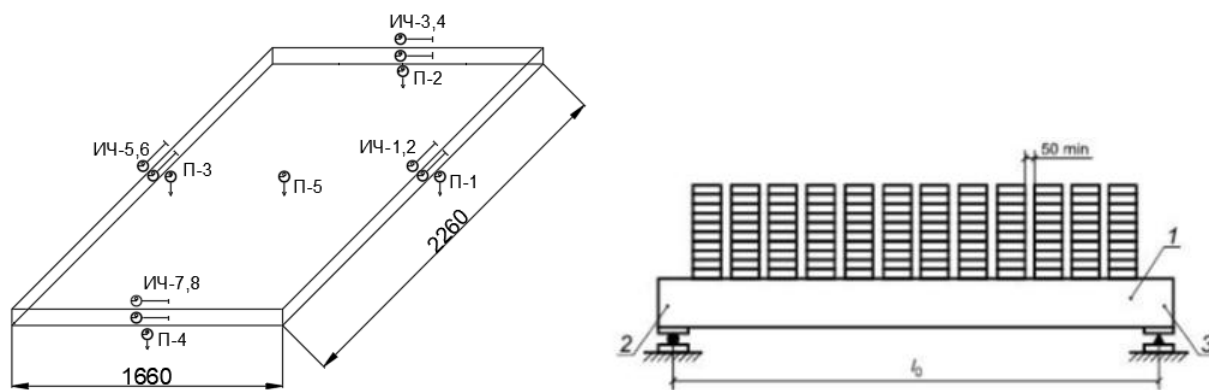


Рис. 1. Расстановка приборов и схема нагружения экспериментальной плиты при испытании: 1 – объект испытания, 2 – шарнирно-подвижная опора, 3 – шарнирно-неподвижная опора

Результаты исследования и обсуждения

Первый образец, как указано выше, изготовлен полностью из стальных арматур для сравнения со стеклопластиковыми арматурами. Испытания осуществлялись в 23 этапа загрузки. Разрушающая нагрузка от действия равномерно-распределённых нагрузок составляла 5286 кгс/м². Максимальный прогиб – 41,6 мм в П5. График зависимости прогибов представлен на рис. 2.

Момент появления трещин и их раскрытие фиксировался на 6-м этапе загрузки, ширина раскрытия 0,05 мм при нагрузке 1440 кгс/м². Ширина раскрытия трещин определялась на уровне центра тяжести растянутой арматуры в пролетных сечениях плиты. На 22-м этапе ширина раскрытия трещин составляла 2,5 мм.

Второй образец (ОП-2). Композитная арматура имеет существенно низкий модуль упругости, что приводит к большему прогибу элементов конструкции и большему количеству трещин, и при использовании в конструкциях можно ожидать хрупкое разрушения [15, 18–20]. Однако у нас она работала пластично, трещины в отличие от первого образца были меньше и резких разрушений не об-

наруживалось. Испытания проводились в 15 этапов. Разрушающая нагрузка составлял 4739 кгс/м². Максимальный прогиб – 72,1 мм в П5. График зависимости прогибов представлен на рис. 3.

Обнаружена усадочная трещина по боком облегченной плиты, но никаких негативных последствий от ее наличия не наблюдалось. Первые трещины появлялись на нижней поверхности облегченной плиты на этапах нагружения 1008 кгс/м². Они развивались к внешним сторонам плиты. Ширина раскрытия трещин на 5-м этапе равнялась 2,5 мм.

Графики деформации удлинения и укорочения в пролетных сечениях показаны на рис. 4. Значительные перемещения показала группа индикаторов ИЧ1, ИЧ2, ИЧ5 и ИЧ6, установленных по краям длинной стороны облегченной плиты. Остальные индикаторы показали незначительные перемещения.

В третьем образце (ОП-3), который был комбинирован со стеклопластиковым, усадочная трещина не наблюдалась. Испытания длились до 13 этапов. Разрушающая нагрузка составляла 4875 кгс/м². Максимальный прогиб – 82 мм в П5. График зависимости прогибов представлен на рис. 5.

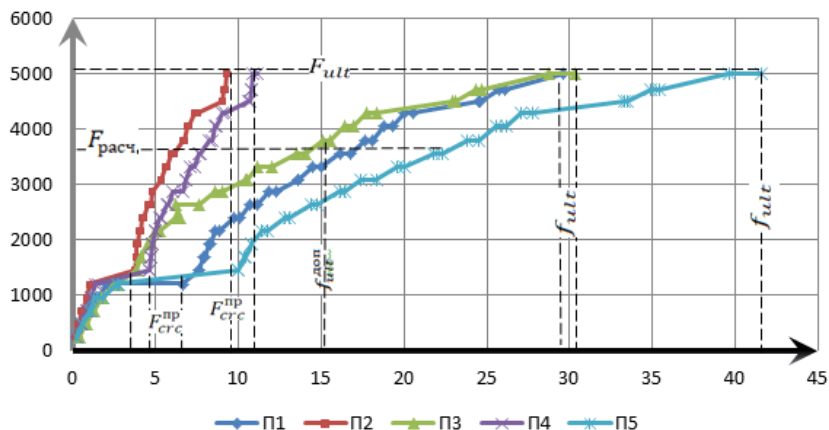


Рис. 2. Опытная зависимость «нагрузка – прогиб» для первого образца

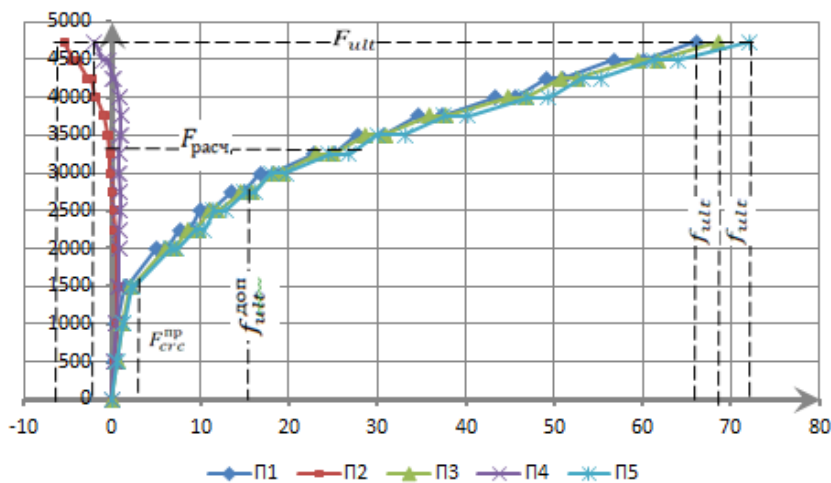


Рис. 3. Опытная зависимость «нагрузка – прогиб» для второго образца

Строительные конструкции, здания и сооружения

В предельных стадиях перед разрушением наибольшее раскрытие трещин наблюдалось в 13-м этапе по краям длинной стороны и составляло около 3,2 мм.

Деформация удлинения и укорочения в третьем образце имела схожий характер со вторым. На основании графиков можно сделать вы-

вод, что относительные деформации в сжатой и растянутой зонах бетона распределены неравномерно по характеру и по величине. Большие деформации наблюдаются в индикаторах по краям длинной стороны. Графики деформации удлинения и укорочения в пролетных сечениях показаны на рис. 6.

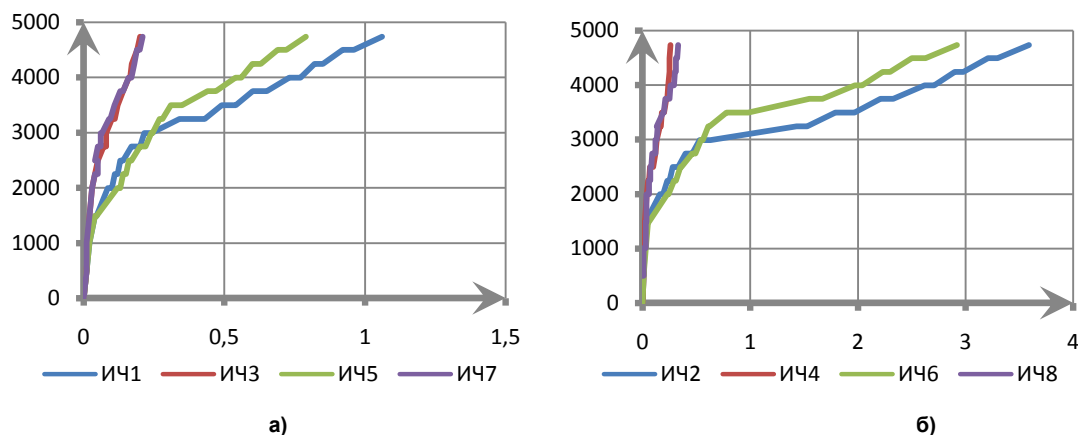


Рис. 4. Деформация удлинения и укорочения для второго образца:
а – деформация укорочения, б – деформация удлинения

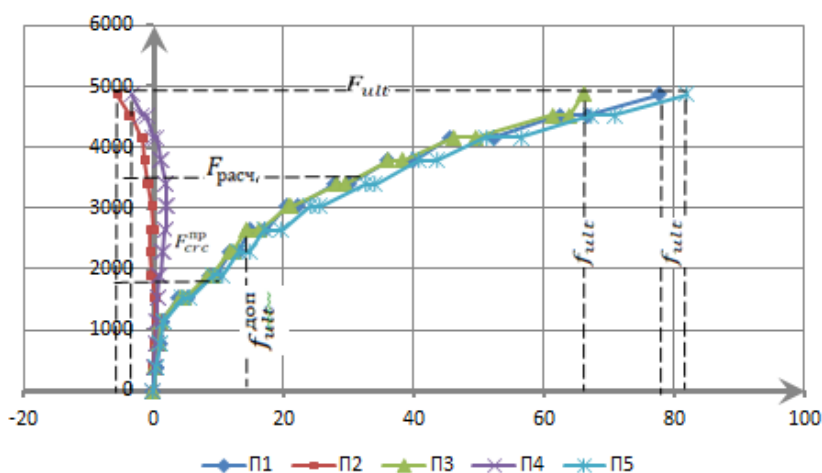


Рис. 5. Опытная зависимость «нагрузка – прогиб» для третьего образца

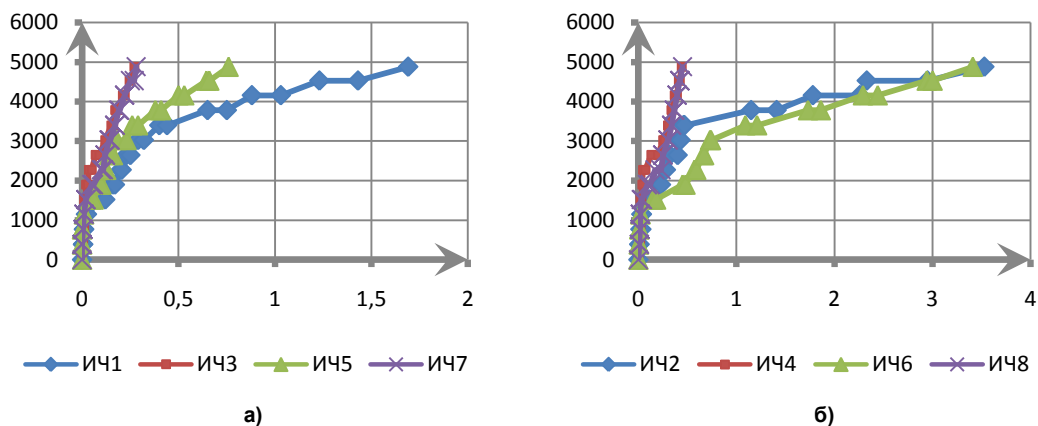


Рис. 6. Деформация удлинения и укорочения для третьего образца:
а – деформация укорочения, б – деформация удлинения

Четвертый образец (ОП-4) на графике зависимости прогибов от действия распределенных нагрузок показывает этапы работы плиты. Графики показывают, что увеличение процента армирования увеличивает несущую способность и прогиб плиты. В предельной нагрузке около 6050 кгс/м^2 прогиб равнялся $71,5 \text{ мм}$. График зависимости прогибов представлен на рис. 7.

Образование нормальной трещины наблюдалось в 4-м этапе при нагрузке 2004 кгс/м^2 . Наибольшее раскрытие трещины в образце на предельной стадии перед разрушением наблюдалось на короткой стороне плиты, раскрытие трещины которой составляло около $1,8\text{--}2 \text{ мм}$, что подтверждает исчерпание изгибающей способности образца.

На этапах нагружения деформации либо останавливаются, либо начинают резко расти. Большие деформации зафиксированы индикаторами, расположенными на короткой стороне плиты. Относительные деформации распределены неравно-

мерно, о чем свидетельствуют приведенные графики. Можно отметить ярко выраженный нелинейный характер распределения. Графики деформации удлинения и укорочения в пролетных сечениях показаны на рис. 8.

Пятый образец (ОП-5) имел схожий характер с ОП-4 за исключением прочности бетона. При испытании до появления трещин наблюдалась относительно линейная зависимость прогибов от нагрузки. После того как в пролетах образовались нормальные трещины, пропорциональность нарушается и начинается этап работы плиты с трещинами под нагрузкой. Экспериментальный прогиб в предельной стадии равнялся $73,6 \text{ мм}$ при нагрузке 5523 кгс/м^2 . График зависимости прогибов представлен на рис. 9.

В крайних сторонах при нагрузке 1508 кгс/м^2 образовывались нормальные трещины. Трещина в середине короткой стороны облегченной плиты получила большее раскрытие, затем с увеличением распределенной нагрузки вдоль этой трещины об-

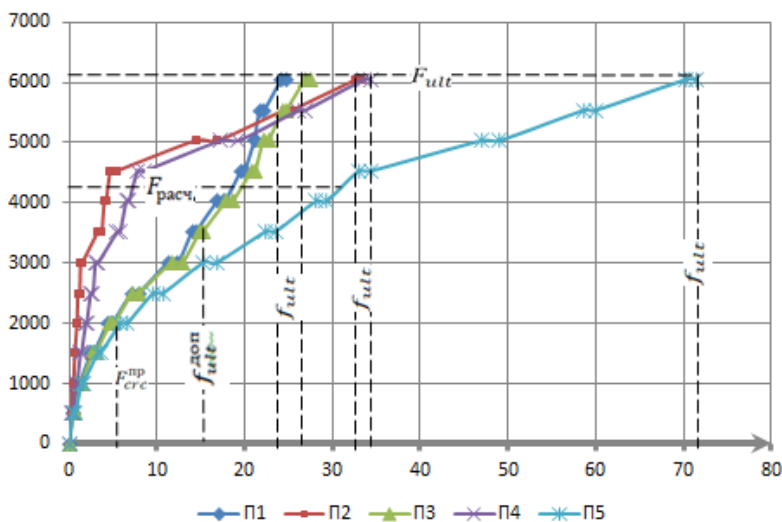


Рис. 7. Опытная зависимость «нагрузка – прогиб» для четвертого образца

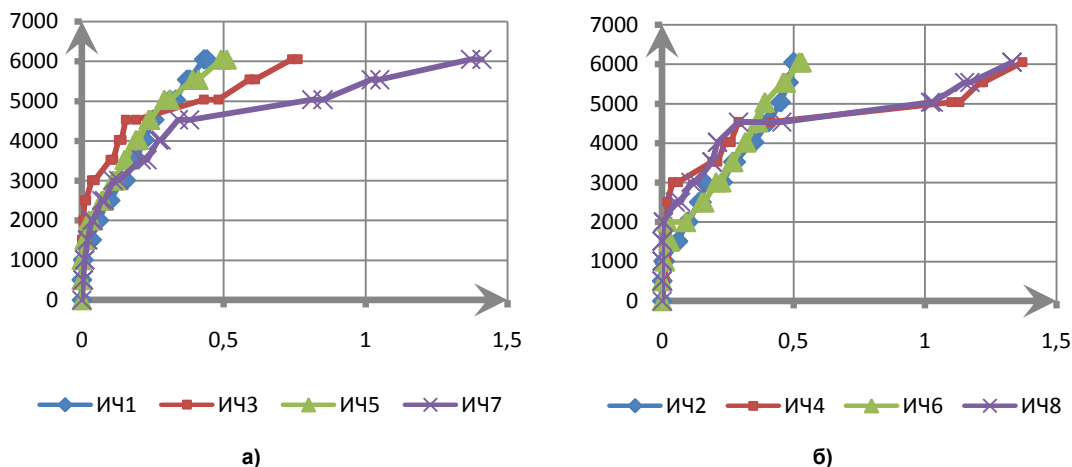


Рис. 8. Деформация удлинения и укорочения для четвертого образца:
а) деформация укорочения, б) деформация удлинения

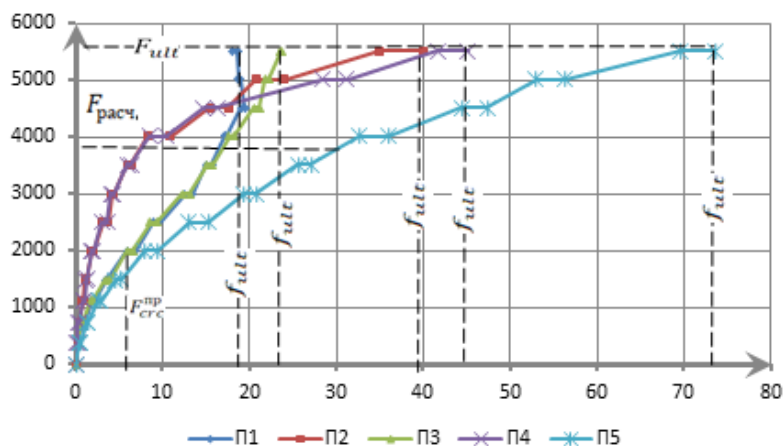


Рис. 9. Опытная зависимость «нагрузка – прогиб» для пятого образца

разошелся пластический шарнир. При разрушающей нагрузке ширина раскрытия трещин равнялась 1–2 мм.

В ходе экспериментальных исследований было замечено, что деформации на короткой стороне пролетных сечений плиты были больше, чем деформация длинной стороны. Графики показывают, что до образования трещин деформации развивались линейно, затем с увеличением нагрузки на короткую сторону образца образовался пластический шарнир, который вызвал подъем пролета длинной стороны облегченной плиты. Графики деформации удлинения и укорочения в пролетных сечениях показаны на рис. 10.

Шестой (ОП-6) и седьмой (ОП-7) образцы имели относительно низкий процент армирования и прочности бетона в отличие от других образцов. Следовательно, они существенно различались по характеру разрушения, трещинообразованию, ширине раскрытия трещин и другим показателям.

В ходе экспериментов шестой образец во время испытания работал на срез и наблюдалось

хрупкое разрушение при нагрузке 4032 кгс/м², что составило 66,2 мм по прогибу. График зависимости прогибов представлен на рис. 11.

Первые наклонные трещины появились на длинной стороне плиты при нагрузке 1508 кгс/м². Однако с увеличением распределенной нагрузки трещины больше развивались на короткой стороне плиты, в результате чего образовался пластический шарнир. Далее в предельных стадиях перед разрушением, после 30-минутного ожидания облегченная плита хрупко разрушалась на срез, что могло свидетельствовать об исчерпании несущей способности образца. Следует отметить тот факт, что при уменьшении процента армирования снижается несущая способность и предельная деформативность плиты.

Начальные деформации удлинения и укорочения (рис. 12) в плите были незначительны, а после появления нормальной трещины они развивались очень резко. После появления трещин на всех этапах нагружения индикаторы показывают постоянно увеличивающиеся деформации.

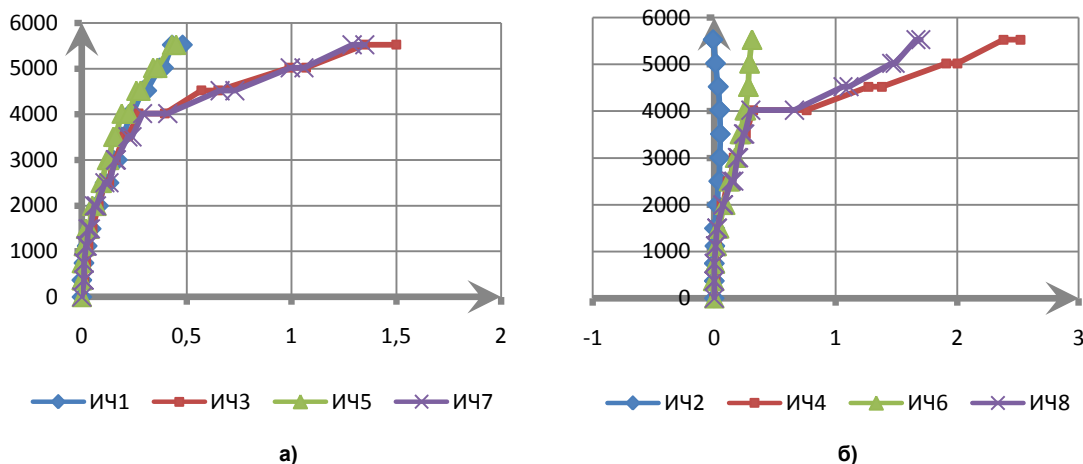


Рис. 10. Деформация удлинения и укорочения для пятого образца
а) деформация укорочения, б) деформация удлинения

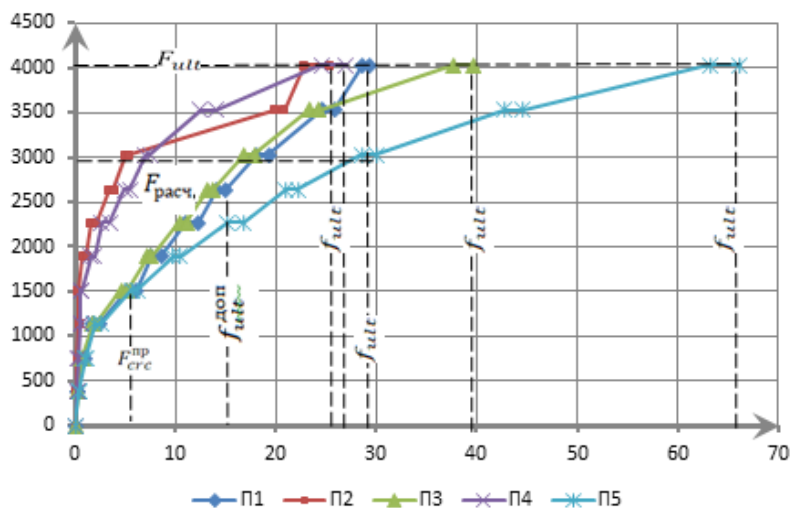


Рис. 11. Опытная зависимость «нагрузка – прогиб» для шестого образца

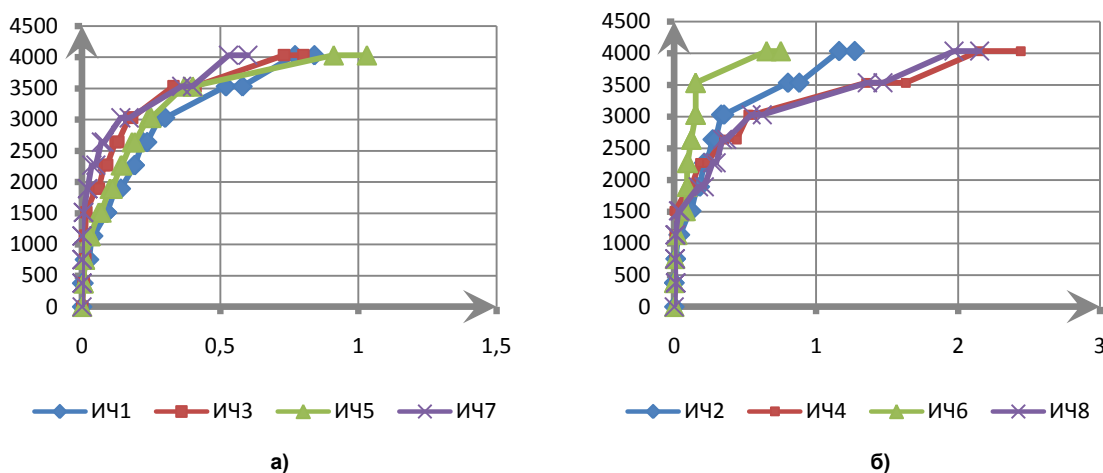


Рис. 12. Деформация удлинения и укорочения для шестого образца:
а) деформация укорочения, б) деформация удлинения

Седьмой (ОП-7) образец имел аналогичный характер разрушения с ОП-6. В ходе испытаний наблюдалось хрупкое разрушение во время загрузки при нагрузке 3518 кг/м^2 , что составило $47,4 \text{ мм}$ по прогибу. График зависимости прогибов представлен на рис. 13.

Нормальное трещинообразование наблюдалось на 5-м этапе нагружения при нагрузке 1880 кг/м^2 . Наибольшее раскрытие трещины в 7-м образце на предельной стадии перед разрушением наблюдалось на короткой стороне плиты, раскрытие трещины которой составляло около $1,6\text{--}3 \text{ мм}$, что подтверждает исчерпание изгибающей способности образца.

На этапах нагружения деформации бетона либо прекращались, либо начинали резко нарастать. Большие деформации наблюдаются у индикаторов, расположенных на короткой стороне плиты. Из этих графиков можно сделать вывод, что относительные деформации распределены неравно-

мерно. Можно отметить ярко выраженную нелинейную картину распределения. Графики деформации удлинения и укорочения в пролетных сечениях показаны на рис. 14.

Получены следующие экспериментальные данные при испытании плит, изгибаемых в двух направлениях комбинированной конструкции, на действие поперечной нагрузки: характер разрушения, процесс образования и развития трещин, изменения прогибов и ширина трещин, а также величин разрушающих нагрузок.

Выводы

1. Замена металлической арматуры в средней зоне плит композитной арматурой (при других одинаковых параметрах) привела к уменьшению разрушающей нагрузки на $5\text{--}9 \%$. При этом прогибы, соответствующие этой нагрузке, увеличились в $1,2$ раза. Нагрузка, при которой появляются трещины, снизилась на 25% . Ширина трещин, соот-

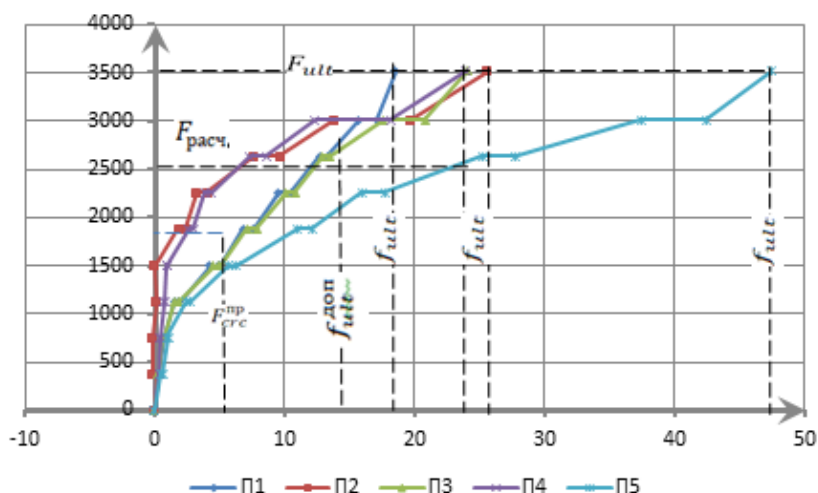


Рис. 13. Опытная зависимость «нагрузка – прогиб» для седьмого образца

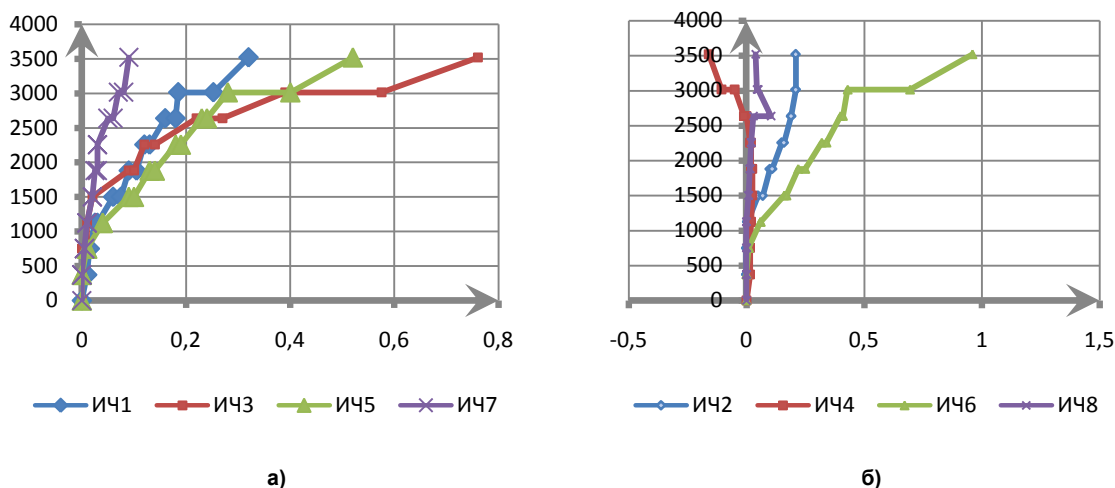


Рис. 14. Деформация удлинения и укорочения для седьмого образца:
а) деформация укорочения, б) деформация удлинения

ветствующая нормативной экспериментальной нагрузке, не изменилось.

Увеличение количества композитной арматуры в средней зоне плиты привело к близко пропорциональному увеличению разрушающей нагрузки. Соответствующая пропорциональность наблюдалась при уменьшении количества композитной арматуры.

2. Испытания показали возможность применения комбинированного армирования для плит, изгибаемых в двух направлениях при действии поперечной нагрузки.

3. Полученные экспериментальные данные (схема образования трещин, распределение кривизн, углов поворота и величин нагрузок) могут быть использованы при разработке методов расчета по предельным состояниям, включая корректировку расчетов с применением программных комплексов.

Литература

1. Yinghao, L. Arrangement of hybrid rebars on flexural behavior of HSC beams / Liu Yinghao, Yuan Yong // *Composites. Part B Part B Engineering*. – 2013. – Vol. 45(1). – P. 22–31.
2. Меньлюк, А.И. Облегченные монолитные перекрытия для зданий с «гибкой планировкой» / А.И. Меньлюк, 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 / O. Mariko // *Magazine of civil engineering*. – 2010. – № 4. – P. 5–12.
4. Gandhi, P. Is GFRP Rebar a Potential Replacement for Steel Reinforcement in Concrete Structures? / P. Gandhi, D.M. Pukazhendhi, S. Vishnuvardhan, M. Saravanan, G. Raghava. // *Advances in Structural Engineering*. Springer, New Delhi. – DOI: 10.1007/978-81-322-2187-6_157.

5. Sharaky, I.A. 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 // *Gradevinar*. – 2020. – Part 12. – 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 // *IOSR Journal of Engineering*. – 2019. – P. 25–33.
7. Бугаевский, С.А. Применение самоуплотняющегося бетона в технологии устройства облегченных железобетонных перекрытий / С.А. Бугаевский // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. – 2015. – № 69. – С. 79–90.
8. Бугаевский, С.А. Современные облегченные железобетонные перекрытия с применением неизвлекаемых вкладышей пустотообразователей / С.А. Бугаевский // *Науковий вісник будівництва*. – 2015. – № 3. – С. 73–87.
9. Шмуклер, В.С. Система «МОНОФАНТ» для возведения монолитных железобетонных каркасов / В.С. Шмуклер, С.А. Бугаевский, В.Б. Никулин // *Вестник ХНАДУ*. – 2015. – № 71. – С. 70–84.
10. Аралов, Р.С. Анализ использования облегченных конструкций монолитных плит в российской и зарубежной практике / Р.С. Аралов, В.И. Римшин // *Проблемы науки*. – 2017. – № 7(20).
11. Stuart, V. FRP reinforced-concrete slabs: a comparative design study / V. Stuart, L. Cunningham // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Structures and Buildings*. – 2017. – P. 1–16.
12. Ascione, F. An experimental study on the long-term behavior of CFRP pultruded laminates suitable to concrete structures rehabilitation / F. Ascione, V.P. Berardi, L. Feo, A. Giordano // *Compos B: Eng*. – 2008. – 39(7–8). – P. 1147–50.
13. А.с. 1738960 СССР, Е 04 С 2/04. Стеновая панель / В.С. Шмуклер. – № 4865060/33; заявл. 10.09.90; опубл. 07.06.92, Бюл. № 21.
14. А.с. 1738962 СССР, Е 04 С 2/26, Е 04 В 5/02. Железобетонный ограждающий элемент / В.С. Шмуклер, В.Д. Бедим, И.В. Шмуклер, Д.В. Бедим. – № 4865059/33; заявл. 10.09.90; опубл. 07.06.92, Бюл. № 21.
15. Ивашенко, Ю.А. Результаты экспериментальных исследований облегченных монолитных плит перекрытий с комбинированным армированием / Ю.А. Ивашенко, А.Х. Шарифов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 14–21. DOI: 10.14529/build200302
16. ГОСТ 19222-84. Государственный стандарт союза ССР. Арболит и изделия из него. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 2 с.
17. ГОСТ 8829-2018. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. – М.: Стандартинформ, 2019. – 20 с.
18. Wu, Z. Innovative externally bonded FRP/concrete hybrid flexural members / Z. Wu, W. Li, N. Sakuma // *Compos. Struct*. – 2006. – 72 (3). – P. 289–300.
19. Hawileh R.A. Behavior of reinforced concrete beams strengthened with externally bonded hybrid fiber reinforced polymer systems / Rami A. Hawileh, Hayder A. Rasheed, Jamal A. Abdalla, Adil K. Altamimi // *Materials and Design*. – 2014. – № 53. – P. 972–982.
20. Huanzi, W. Ductility characteristics of fiber-reinforced-concrete beams reinforced with FRP rebars / Huanzi Wang, Abdeldjelil Belarbi // *Construction and Building Materials*. – 2011. – № 25. – P. 2391–2401.

Шарифов Абубакр Хайдарович, аспирант кафедры «Строительные конструкции и сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), sharifov.a.h@mail.ru

Ивашенко Юлий Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции и сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), ivashenkoia@susu.ru

Рахмонзода Ахмадджон Джамолодин, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство», Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими (Душанбе), ahmadjon2903@mail.ru

Поступила в редакцию 8 июля 2021 г.

EXPERIMENTAL STUDIES OF STRENGTH, RIGIDITY AND CRACKING RESISTANCE OF LIGHTWEIGHT SLABS WITH COMBINED REINFORCEMENT

A.Kh. Sharifov¹, sharifov.a.h@mail.ru

Yu.A. Ivashenko¹, ivashenkoia@susu.ru

A.Dzh. Rakhmonzoda², ahmadjon2903@mail.ru

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

²Tajik Technical University named after academician M. Osimi, Dushanbe, Tajikistan

Combined reinforcement of concrete structures means partial replacement of steel reinforcement with composite one. Such replacement is carried out in frame and slabby bending structures. Combined structures are structures consisting of various materials and involving various process operations, including the use of prefabricated and monolithic units, as well as prestressing. Since composite reinforcement has a number of specific features, the need arises to conduct experimental and theoretical studies. This article is devoted to the results of testing slabs of combined structure bent in two directions for transverse load. The structure of the slabs consists of lightweight blocks (wood concrete), monolithic heavyweight concrete and combined reinforcement (metal and composite reinforcement). A system of heavyweight concrete cross beams is formed, between which lightweight concrete is located. This removes the dead weight (mass) of the structure, which results in increased economic efficiency. Seven samples of lightweight rectangular slabs with dimensions of 2260 × 1660 × 100 mm have been manufactured to achieve the set objectives. Lightweight slabs are made with double reinforcement. As a result of experimental studies, the nature of the destruction of lightweight floor slabs and coatings with combined reinforcement, the deformation of elongation and shortening in the span sections under loading, the width of the crack opening and the nature of the formation of cracks have been established.

Keywords: lightweight slab, composite reinforcement, combined reinforcement, deformation.

References

1. Yinghao L., Yuan Yong. Arrangement of Hybrid Rebars on Flexural Behavior of HSC Beams., *Composites: Part B. Engineering*. 2013. Vol. 45(1), pp. 22–31. DOI: 10.1016/j.compositesb.2012.08.023
2. Meneilyuk A.I., Ostapchuk A.A., Taran V.V. [Lightweight Monolithic Slabs for Buildings with “Flexible Planning”]. *Budivel'ne virobništvo* [Construction Production], 2012, no. 53, pp. 9–15. (in Russ.)
3. Mariko O. Experimental analysis and flexural behavior of reinforced-concrete beams reinforced with Glass-fiber-reinforced polymers. *Magazine of civil engineering*: 2010, part 4, pp. 5–12.
4. Gandhi P., Pukazhendhi D.M., Vishnuvardhan S., Saravanan M., Raghava G. [Is GFRP Rebar a Potential Replacement for Steel Reinforcement in Concrete Structures?]. *Advances in Structural Engineering*. Springer, New Delhi. DOI: 10.1007/978-81-322-2187-6_157.
5. Sharaky I.A., Shehab Eldin H. K., Mohamed M.S., Mohamed H.A. [Flexural response of SF concrete beams internally reinforced with different types of FRP bars]. *Gradevinar*. Part 12. 2020, pp. 1117–1130.
6. Waleed A., Zhang Z.Z., Ruan X. J. [Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced With Hybrid FRP Bars and HRB Bars]. *IOSR Journal of Engineering*. 2019. P. 25–33.
7. Bugayevskiy S.A. [The Use of Self-Compacting Concrete in the Technology of Construction of Lightweight Reinforced Concrete Floors.]. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Highway University], 2015, no. 69, pp. 79–90. (in Russ.)
8. Bugayevskiy S.A. [Modern Lightweight Reinforced Concrete Floors with the Use of Non-Removable Hollow Core Inserts]. *Naukoviy visnik budivnistva* [Scientific Bulletin of Construction], 2015, no. 3, pp. 73–87. (in Russ.)
9. Shmukler V.S. [System “MONOFANT” for the construction of monolithic reinforced concrete frames]. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Highway University], 2015, no. 71, pp. 70–84. (in Russ.)
10. Aralov R.S., Rimshin V.I. [Analysis of the Use of Lightweight Structures of Monolithic Slabs in Russian and Foreign Practice]. *Problemy nauki* [Problems of Science], 2017, no. 7(20), pp. 24–29. (in Russ.)
11. Stuart V., Cunningham L. [FRP Reinforced-Concrete Slabs: a Comparative Design Study]. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Structures and Buildings*, 2017, pp. 1–16. DOI: 10.1680/jstbu.16.00055.

12. Ascione F., Berardi V.P., Feo L., Giordano A. [An Experimental Study on the Long-Term Behavior of CFRP Pultruded Laminates Suitable to Concrete Structures Rehabilitation]. *Composites, Part B: Engineering*, 2008, vol. 39, iss. 7–8, pp. 1147–1150.
13. Shmukler V.S. Stenovaya panel' [Wall Panel]. Patent USSR, no. 1738960, 1992.
14. Shmukler V.S., Bedim V.D., Shmukler I.V., Bedim D.V. *Zhelezobetonnyy ograzhdayushchiy element* [Reinforced Concrete Enclosing Element]. Patent USSR, no. 1738962, 1992.
15. Ivashenko Yu.A., Sharifov A.Kh. Results of Experimental Research for Lightweight Monolithic Floor Slabs with Combined Reinforcement. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2020, vol. 20, no. 3, pp. 14–21. (in Russ.). DOI: 10.14529/build200302
16. GOST 19222-84. [Arbolit and its Products. General Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1984. 22 p. (in Russ.)
17. GOST 8829-2018. [Prefabricated Construction Concrete and Reinforced Concrete Products. Load Testing Methods. Rules for Assessment of Strength, Rigidity and Crack Resistance]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 20 p. (in Russ.)
18. Wu Z., Li W, Sakuma N.[Innovative Externally Bonded FRP/Concrete Hybrid Flexural Members]. *Composite Structures*, 2006; vol. 72, iss. 3, pp. 289–300.
19. Hawileh R.A. Rasheed Hayder A., Abdalla Jamal A., Al-Tamimi Adil K. Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Externally Bonded Hybrid Fiber Reinforced Polymer Systems. *Materials and Design*, 2014, vol. 53, pp. 972–982.
20. Huanzi W. Belarbi Abdeldjelil. [Ductility Characteristics of Fiber-Reinforced-Concrete Beams Reinforced with FRP Rebars]. *Construction and Building Materials*, 2011, vol. 25, pp. 2391–2401.

Received 8 July 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Шарифов, А.Х. Экспериментальные исследования прочности, жесткости и трещиностойкости облегченных плит с комбинированным армированием / А.Х. Шарифов, Ю.А. Ивашенко, А.Дж. Рахмонзода // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 5–15. DOI: 10.14529/build210401

FOR CITATION

Sharifov A.Kh., Ivashenko Yu.A., Rakhmonzoda A.Dzh. Experimental Studies of Strength, Rigidity and Cracking Resistance of Lightweight Slabs with Combined Reinforcement. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2021, vol. 21, no. 4, pp. 5–15. (in Russ.). DOI: 10.14529/build210401
