

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБЛЕГЧЕННЫХ МОНОЛИТНЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ С КОМБИНИРОВАННЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Ю.А. Ивашенко, А.Х. Шарифов

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Новейшие технологии затронули все аспекты человеческой деятельности, а также современное строительство. Если раньше строительство велось с большими экономическими и трудовыми затратами, то сейчас в современном строительстве эти затраты во много раз сократились. Одной из новейших технологий в современном строительстве является облегченное монолитное перекрытие, которое значительно уменьшает расход материалов. Поэтому данная статья посвящена исследованию облегченных монолитных плит перекрытий и покрытий со стальным и комбинированным армированием при действии равномерно распределенной нагрузки. Всего исследовалось три серии образцов. Первый образец для сравнения с другими образцами армирован полностью стальной арматурой различного диаметра. Для второго и третьего образца использована стеклопластиковая арматура. Получены результаты исследования облегченных монолитных плит, армированных металлической и стеклопластиковой арматурой. Получены экспериментальные зависимости изменения прогиба, относительного удлинения и укорочения в пролетных сечениях, момент появления, ширина раскрытия трещин облегченной плиты от приложенной нагрузки на этапах нагружения. Приводятся напряжения в пролетном участке растянутой зоны плиты и напряжения в сжатой поверхности плиты при разрушении конструкции.

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

### Введение

В строительной практике применение облегченных конструкций становится все более популярным [1]. Облегченная монолитная плита с вкладышами в мировой практике показала свое развитие, перспективу, а также преимущества этой конструкции [2].

Еще в начале 90-х годов профессор В.С. Шмуклер предложил использовать захороняемые вкладыши из переработанного пенополистирола для снижения расхода материалов для различных железобетонных элементов из тяжелых и легких бетонов [3, 4].

В зарубежных странах такие технологии, как Airdeck, Bubble Deck, Cobiax, Монофант, широко используются при возведении современных зданий [5, 6].

Технология Airdeck – облегченная плита производится на заводах с использованием полипропиленовых коробок (шаг 300 мм). Сечение заглубленных вкладышей составляет 200 × 200 мм, высота варьируется от 120 до 350 мм [7].

Технология Bubble Deck – пластиковые шарики в форме сферы или эллипса расположены между нижней и верхней армирующей сеткой. Размеры шариков выбираются в соответствии с размерами ячеек продольного и поперечного арматурных стержней с учетом толщины плиты таким образом, чтобы шарики жестко фиксировались с помощью армирующих сеток и в то же время обеспечивали нормальные защитные слои бетона [8].

Технология Cobiax – включаются в процессе возведения зданий на строительной площадке. Однако они также могут изготавливаться промышленным способом как полностью сборные элементы или в комбинации со сборными элементами. Для плиты толщиной 200–350 мм применяются вкладыши в виде эллипса, а для плит 300–600 мм – в виде сферы [5, 9].

Технология «Монофант» – широкое применение получила на Украине. В настоящее время применяют пенополистирольные блоки в виде вкладыша. Бетонная смесь наносится методом торкретирования, что позволяет ускорить процесс строительства. Особенностью предлагаемой системы является использование произвольной (нерегулярной) сетки колонн, различных легких материалов для вставок с целью значительного снижения собственного веса конструкции, а также сложность конфигурации в плане [10].

Все перечисленные способы устройства облегченных железобетонных монолитных плит значительно уменьшают расход материалов без потери прочностных характеристик конструкции. Благодаря таким способам в монолитных плитах можно сэкономить до 40 % материалов, что заметно уменьшает себестоимость монолитных плит перекрытия в целом.

Нынешнее строительство направлено на повышение эффективности строительного производства, экономное использование материальных ресурсов, применение новых перспективных мате-

риалов, в том числе изготовленных с использованием нанотехнологий [11].

Поэтому цель нашей работы – представить альтернативный вариант облегченных монолитных перекрытий и покрытий с комбинированным армированием (по краям плиты применялась стальная арматура, а по центру – стеклопластиковая, в качестве вкладыша использовали арболитовые блоки), а также выявить их особенности и основные требования к эксплуатации.

#### Методика исследования

С целью выявления особенности облегченных монолитных плит с комбинированным армированием были изготовлены три серии образца. Комбинированное армирование – двойное армирование бетонных элементов [12, 13], у которых крайняя арматура плиты выполнена из арматурных сталей, а в середине плиты – из композитной арматуры. Композитная арматура обладает преимуществами высокой прочности, легкого веса и отличной коррозионной стойкости. Поэтому ее предлагают в качестве альтернативы стальной арматуре [6, 13–15]. Кроме того, для снижения собственного веса и уменьшения расхода материалов применяли арболитовые блоки в качестве вкладыша облегченных плит. Арболит – легкий бетон на цементном вяжущем, органических заполнителях и химических добавках, в том числе регулирующих пористость [16]. Также он известен как древобетон.

Первый образец для сравнения с другими об-

разцами, армированными композитной арматурой, был полностью изготовлен из стальной арматуры различного диаметра.

Рассматриваемая облегченная плита имеет следующие характеристики и геометрические размеры (рис. 1): пролет  $l = 2260$  мм, ширина  $b = 1660$  мм, толщина  $h = 100$  мм. Класс бетона В25 замешался бетономешалкой. При испытании бетонных образцов класс бетона подтвердился. Ячеистый блок  $400 \times 200 \times 100$ . Арматуры  $A_s = 2,01 \text{ см}^2 (4\phi 8)$ ,  $A_s = 0,86 \text{ см}^2 (3\phi 6)$ ,  $A_s = 1,57 \text{ см}^2 (2\phi 10)$ ,  $A_s = 2,26 \text{ см}^2 (2\phi 12)$ .

Второй и третий образцы изготовлены с использованием комбинированного армирования, т.е. по краям длинной стороны  $A_s = 1,57 \text{ см}^2 (2\phi 10)$ , в направлении короткого борта  $A_s = 2,26 \text{ см}^2 (2\phi 12)$  стальная арматура, а по центру композитная арматура  $R_s = 1300 \text{ МПа} (7\phi 8)$  (рис. 2).

Линейные перемещения пролетных сечений плиты фиксировались прогибомерами ПМ-0,1 с ценой деления 0,1 мм, деформации удлинения или укорочения в пролетных сечениях зоны бетона – механическими индикаторами часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм. Ширина раскрытия трещин на уровне центра тяжести растянутой арматуры – микроскопом Бриннеля МПБ-2 с 25-кратным увеличением. Расстановка приборов показана на рис. 3.

Загружение облегченной плиты осуществлялось по этапам. После каждого этапа нагружения

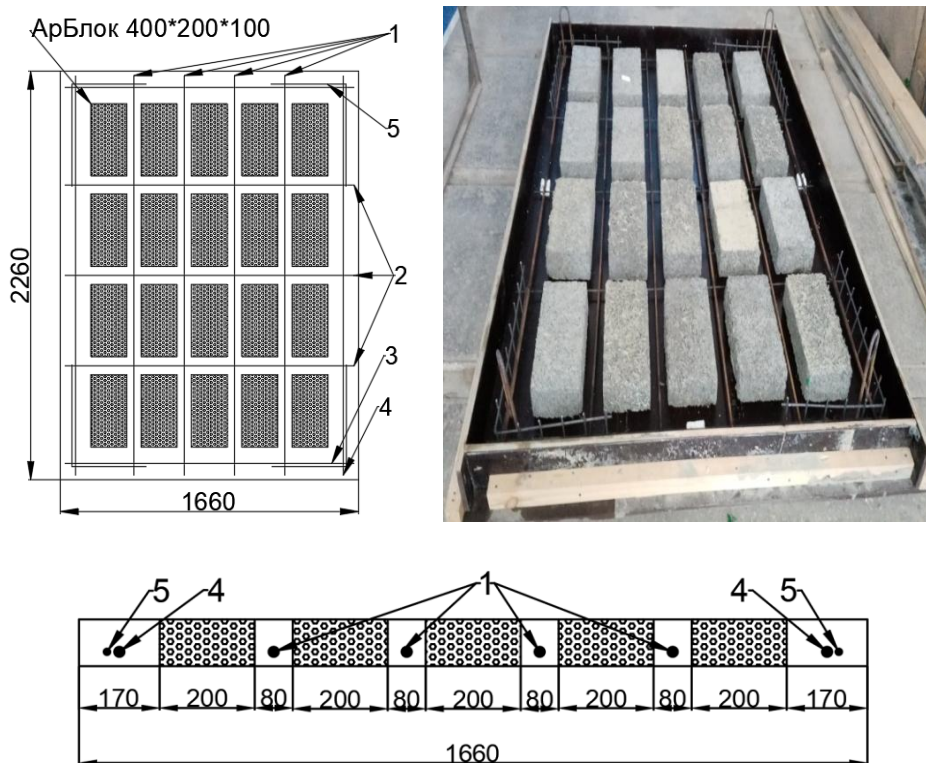


Рис. 1. Первый образец облегченной плиты, армированной стальной арматурой:  
1 –  $A_s = 4\phi 8$ ; 2 –  $A_s = 3\phi 6$ ; 3 –  $A_s = 2\phi 10$ ; 4 –  $A_s = 2\phi 12$ ; 5 – ребро жесткости

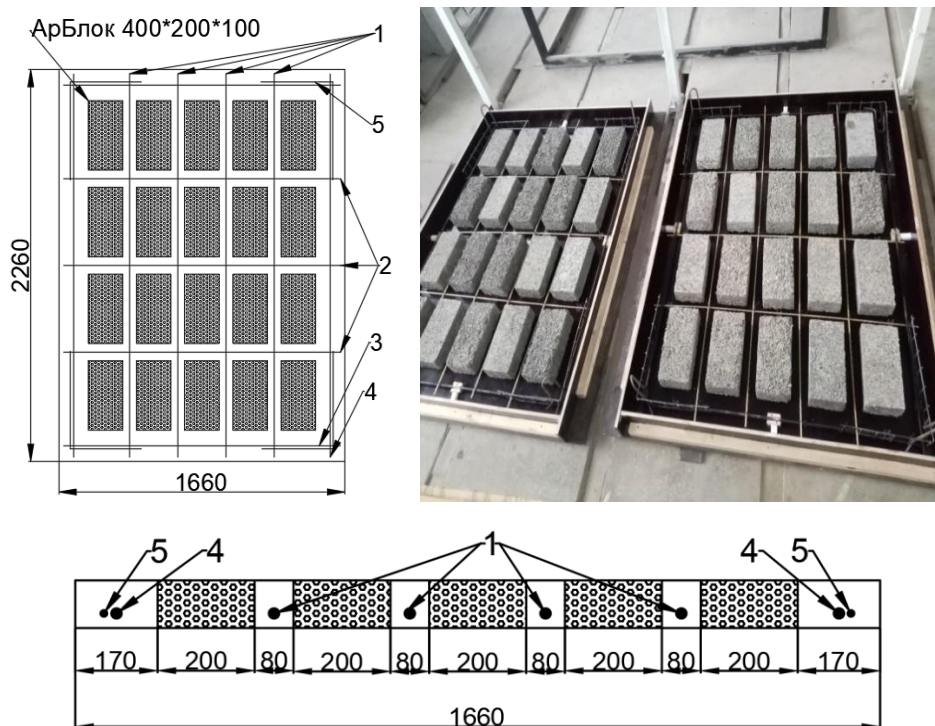


Рис. 2. Второй и третий образцы облегченной плиты, армированной композитной арматурой: 1 – АСП = 4Ø8; 2 – АСП = 3Ø6; 3 – As = 2Ø10; 4 – As = 2Ø12; 5 – ребро жесткости; АСП – арматура стеклопластиковая композитная

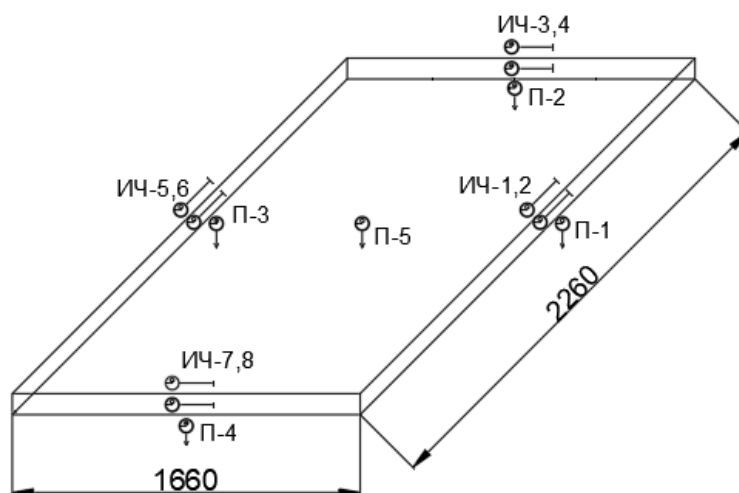


Рис. 3. Расстановка приборов на экспериментальной плите при испытании

делалась выдержка не менее 30 минут. Перед загрузкой и в конце выдержки снимали показания по приборам. Испытания плиты проводились до ее полного разрушения.

### Результаты исследования и их анализ

Процесс испытания и оценка их результатов проводились в соответствии с нормативным документом [17]. В результате экспериментальных испытаний нами были получены зависимости прогибов, деформации удлинения и укорочения в про-

летных сечениях, момент появления трещин и ширина раскрытия трещин от действия равномерно-распределенных нагрузок. Результаты испытаний стальной и композитных плит представлено на рис. 4.

### Характеры разрушения

Первый образец, как указано выше, изготовлен полностью из стальных арматур для сравнения со стеклопластиковыми арматурами. Испытания осуществлялись в 23 этапа загрузки. Разру-

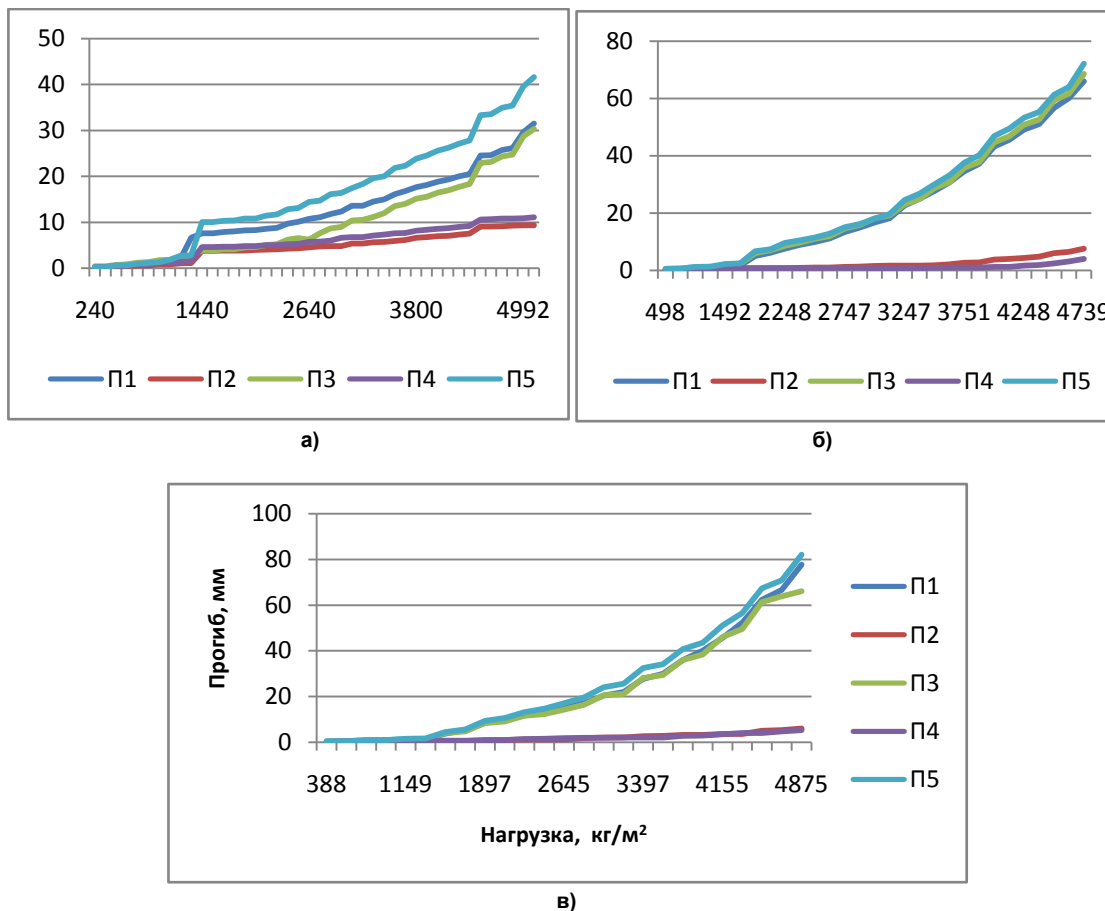


Рис. 4. График зависимости прогиба от действия равномерно-распределенных нагрузок:  
а – первая серия, б – вторая серия, в – третья серия

шающая нагрузка от действия равномерно-распределенных нагрузок составляла  $5286 \text{ кг/м}^2$ . Максимальный прогиб  $41,6 \text{ мм}$  в П5. Момент появления трещин и их раскрытие фиксировался на 6-м этапе загрузки, ширина раскрытия  $0,05 \text{ мм}$ . Ширина раскрытия трещин определялась на уровне центра тяжести растянутой арматуры в пролетных сечениях плиты. На 22-м этапе ширина раскрытия трещин составляла  $2,5 \text{ мм}$ . График зависимости прогибов представлен на рис. 4а.

Второй образец был комбинирован со стеклопластиковой арматурой. Как известно, стеклопластиковая арматура имеет значительно низкий модуль упругости, что приводит к большему прогибу элементов конструкций и большему количеству трещин в отличие от стальной, и можно ожидать резких разрушений при использовании в конструкциях [18–20]. Однако у нас она работала пластично, трещины в отличие от первого образца были меньше и резких разрушений не обнаруживалось. Испытания проводились в 15 этапов. Разрушающая нагрузка составлял  $4739 \text{ кг/м}^2$ . Максимальный прогиб  $72,1 \text{ мм}$  в П5. Была обнаружена усадочная трещина по боком облегченной плиты, но никаких негативных последствий от ее наличия не наблюдалось. Ширина раскрытия трещин

на 15-м этапе равнялась  $2,5 \text{ мм}$ . График зависимости прогибов представлен на рис. 4б.

Графики деформации удлинения и укорочения в пролетных сечениях показаны на рис. 5. Значительные перемещения показала группа индикаторов ИЧ1, ИЧ2, ИЧ5 и ИЧ6, установленных по краям длинной стороны облегченной плиты. Остальные индикаторы показали незначительные перемещения.

Третий образец также комбинирован со стеклопластиковым. Усадочная трещина не наблюдалась. Испытания длилось намного меньше остальных до 13 этапов. Разрушающая нагрузка составляла  $4875 \text{ кг/м}^2$ . Максимальный прогиб  $82 \text{ мм}$  в П5. Ширина раскрытия трещин на 13-м этапе равнялась  $3,2 \text{ мм}$ . График зависимости прогибов представлен на рис. 4в.

В результате исследования облегченных монолитных плит перекрытия со стальным и комбинированным армированием решены следующие задачи: представлен альтернативный вариант облегченных монолитных перекрытий и покрытий со стальным и комбинированным армированием; определены размеры и расчетные схемы облегченных монолитных плит со стальным и комбинированным армированием, разработана информационная схема эксперимента.

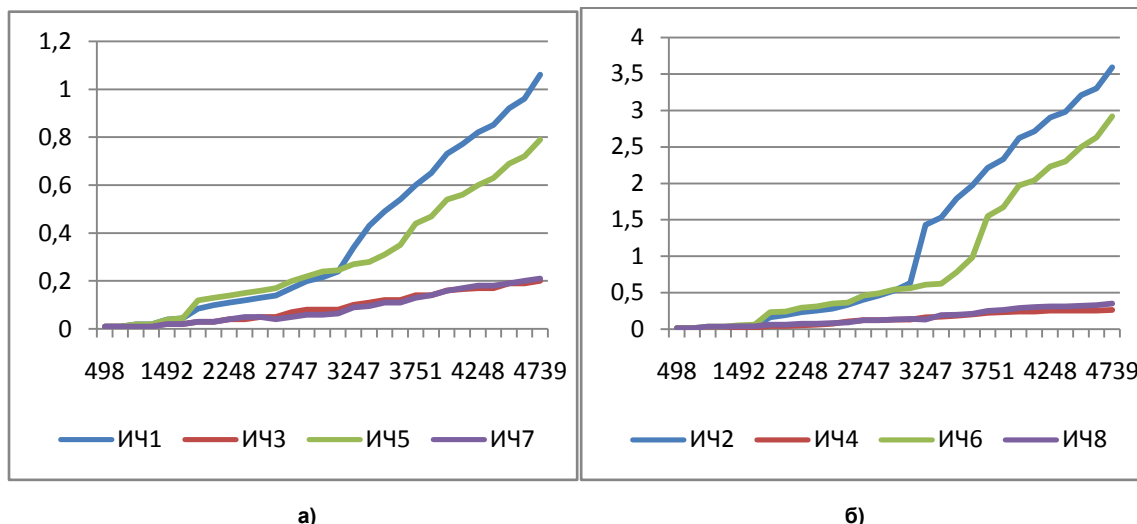


Рис. 5. Деформация удлинения и укорочения для второго образца:  
а – деформация укорочения, б – деформация удлинения

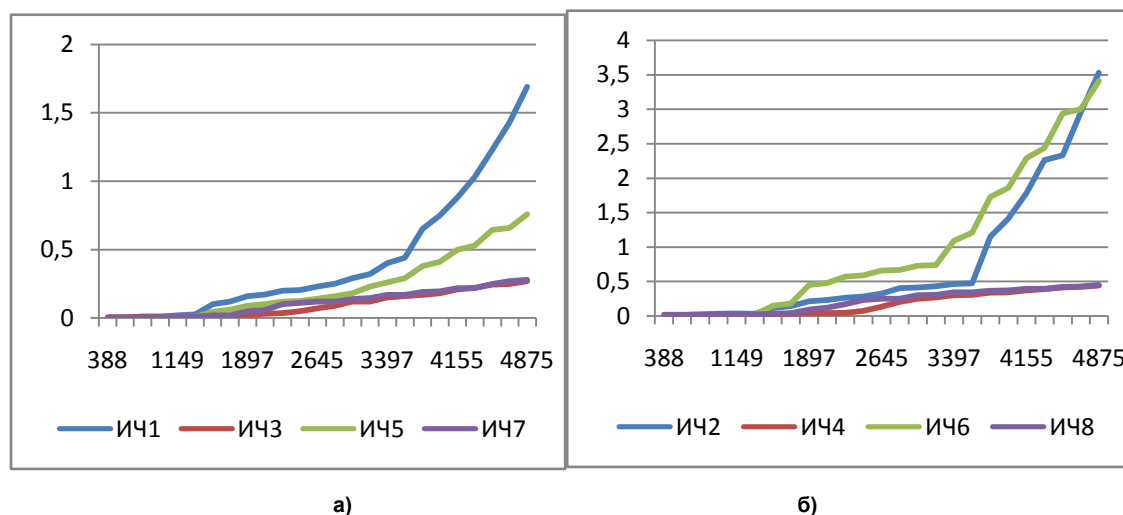


Рис. 6. Деформация удлинения и укорочения для третьего образца:  
а – деформация укорочения, б – деформация удлинения

### Выводы

По результатам исследований представленного варианта облегченных монолитных перекрытий и покрытий со стальным и комбинированным армированием можно сделать следующие выводы:

- значительно уменьшаются затраты строительных ресурсов;
- конструкция удовлетворяет требованиям по жесткости;
- применение легкого бетона (арбалитовый блок) уменьшает массу перекрытия и повышает его изоляционные свойства по сравнению с полнотелыми плитами.

### Литература

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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).

6. Бугаевский, С.А. Современные облегченные железобетонные перекрытия с применением неиз-

- влекаемых вкладышей-пустотообразователей / С.А. Бугаевский // *Науковий вісник будівництва*. – 2015. – № 3. – С. 73–87.
7. AirDeck®System [Electronic resource]. – <http://www.airdeck.com/> (date of access: 07.05.2020).
8. BubbleDeck®System [Electronic resource]. – <http://www.bubbledeck-uk.com/> (date of access: 07.05.2020).
9. Cobiax®System [Electronic resource]. – <https://www.cobiax.com/intl/technologie/> (date of access: 09.05.2020).
10. 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.
11. Рахмонов, А.Д. Армобетонные балочные системы и их напряженно-деформированное состояние: моногр. / А.Д. Рахмонов, В.М. Поздеев, Н.П. Соловьев. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – 6 с.
12. Рахмонов, А.Д. Исследование напряженно-деформированного состояния балок с комбинированным армированием / А.Д. Рахмонов // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 6. – <http://science-education.ru/ru/article/view?id=11631> (дата обращения: 21.05.2020).
13. Yinghao, L. Arrangement of hybrid rebars on flexural behavior of HSC beams / Liu Yinghao, Yuan Yong // *Department of Underground Engineering, Tongji University*. – *Composites: Part B* 45. – 2013. – P. 22–31.
14. 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.
15. 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.
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. 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. Al-Tamimi // *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.

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

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

Поступила в редакцию 30 мая 2020 г.

**RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH  
FOR LIGHTWEIGHT MONOLITHIC FLOOR SLABS  
WITH COMBINED REINFORCEMENT**

*Yu.A. Ivashenko, ivashenkoia@susu.ru*

*A.Kh. Sharifov, sharifov.a.h@mail.ru*

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

The cutting-edge technologies have touched upon all aspects of human activity, as well as modern construction. If earlier the construction process meant great economic and labor costs, now modern construction reduces these costs by many times. One of the state-of-the-art technologies in modern construction is lightweight monolithic floor slab, which significantly reduces the consumption of materials. That is why this article examines the lightweight monolithic floor slabs and coatings with steel and combined reinforcement under the uniformly distributed load. In total, three series of samples have been investigated. The first sample, for comparison with other samples, has been fully reinforced with various-diameter steel bars. For the second and third samples, fiberglass reinforcement has been used. Within the course of the research the results of studying the lightweight monolithic slabs fitted with metal and fiberglass reinforcement have been obtained. Experimental dependences have been obtained for the deflection change, elongation and shortening in the span sections, the moment of occurrence, the cracking moment and crack width in the lightweight slab on the applied load at the loading steps. The stress in the span of the tension region of the slab, and the stress in the compressed surface of the slab during the failure of structure are given.

*Keywords: lightweight slab, combined reinforcement, composite reinforcement, reinforced-concrete structure, deformation.*

**References**

1. Menevlyuk 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.)
2. 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.)
3. Shmukler V.S. *Stenovaya panel'* [Wall Panel]. Patent USSR, no. 1738960, 1992.
4. Shmukler V.S., Bedim V.D., Shmukler I.V., Bedim D.V. *Zhelezobetonnnyy ograzhdayushchiy element* [Reinforced Concrete Enclosing Element]. Patent USSR, no. 1738962, 1992.
5. 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.)
6. Bugayevskiy S.A. [Modern Lightweight Reinforced Concrete Floors with the Use of Non-Removable Hollow Core Inserts]. *Naukoviy visnik budivnitstva* [Scientific Bulletin of Construction], 2015, no. 3, pp. 73–87. (in Russ.)
7. AirDeck® System. Available at: <http://www.airdeck.com/> (accessed: 07.05.2020).
8. BubbleDeck® System. Available at: <http://www.bubbledeck-uk.com/> (accessed: 07.05.2020).
9. Cobiax® System. Available at: <https://www.cobiax.com/intl/technologie/> (accessed: 09.05.2020).
10. Shmukler V., Buhayevskiy S., Nikulin V. [“MONOFANT” System for Construction of Cast Reinforced Concrete Frames]. *Vestnik KhNADU* [Scientific Bulletin of Construction], 2015, no. 71, pp. 70–84. (in Russ.)
11. Rakhmonov A.D. Pozdeyev V.M., Solov'yev N.P. *Nerazreznyye balochnyye sistemy s kombinirovannym armirovaniyem: monografiya* [Continuous Beam Systems with Combined Reinforcement: Monograph]. Yoshkar-Ola, PGTU Publ., 2017. 184 p.
12. Rakhmonov A.D. [The Study of Stress-Strain State Beam with Combination Reinforcement]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2013, no. 6. (in Russ.) URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=11631> (accessed 21.05.2020).
13. Yinghao L., Yuan Yong. [Arrangement of Hybrid Rebars on Flexural Behavior of HSC Beams]. Department of Underground Engineering, Tongji University Publ., 2013, Composites: Part B 45, pp. 22–31.
14. 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.

15. 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.

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 30 May 2020*

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

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

#### FOR CITATION

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

---