

DOI 10.15593/24111678/2021.01.03

УДК 624.073.5

Д.В. Высоцкий, Д.А. Татьянников

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ЗАМЕНЫ МЕЖЭТАЖНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЯ

Замена перекрытия в существующем здании производится, как правило, когда конструкция находится в аварийном состоянии и капитальный ремонт ее невозможен или нецелесообразен.

Объектом исследования стало здание склада с пристроенными административными помещениями. Само здание постройки середины XX в. с несущими стенами из силикатного кирпича. Помещение склада одноэтажное. Административно-бытовая часть имеет антресольный этаж с уровнем пола в отметке +3,020. Существующее перекрытие антресольного этажа – монолитная железобетонная плита 150 мм, конструкция находится в аварийном состоянии. Предмет исследования – выбор варианта конструкции при замене перекрытия, а также его расчеты и технико-экономическое обоснование. Размеры перекрываемого помещения в плане 5,49×10,76 м. Полезная нормативная нагрузка при реконструкции остается прежней – 250 кгс/м².

Методика исследования заключалась в выборе нескольких вариантов конструкций перекрытия, расчетах выбранных вариантов по первой и второй группам предельных состояний с последующим технико-экономическим обоснованием выбора варианта перекрытия взамен аварийного.

Выбранные для сравнения варианты конструкции перекрытия следующие: железобетонная плита по стальному профилированному листу на металлических балках; преднапряженная монострендами многопустотная железобетонная плита 240 мм; многопустотная железобетонная плита 240 мм; многопустотная железобетонная плита 200 мм; монолитная ребристая железобетонная плита; монолитная железобетонная плита 150 мм (аналогичная существующей аварийной плите).

Максимальную несущую способность показал вариант преднапряженной монострендами многопустотной железобетонной плиты 240 мм. Наименьшую собственную массу – конструкция на основе профлиста по стальным балкам. Наиболее экономичным вариантом оказалась ребристая плита.

Ключевые слова: реконструкция, перекрытие, моностренд, пустотообразователь, плита, профнастил, железобетон.

D.V. Vysotsky, D.A. Tatyannikov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ANALYSIS AND COMPARISON OF OPTIONS FOR REPLACING AN INTERMEDIATE FLOOR DURING THE RECONSTRUCTION OF THE BUILDING

Replacing a floor in an existing building is usually done when the structure is in disrepair and its overhaul is not possible or inexpedient.

The object of the study is a warehouse building with attached administrative premises. The building was built in the middle of the twentieth century with load-bearing walls of silicate bricks. The warehouse is one-storey. The administrative part has a mezzanine floor with a floor level of +3.020 m. The existing floor of the mezzanine floor is a monolithic reinforced concrete slab of 150 mm, the structure is in an emergency condition. The subject of the study is the choice of a design option when replacing the floor, as well as its calculations and feasibility study. The dimensions of the floored room in the plan are 5.49 × 10.76 meters. The payload standard during reconstruction remains the same – 250 kg/m².

The research methodology consisted in the selection of several options for floor structures, calculations of the selected options for the first and second groups of limiting states, followed by a feasibility study for the choice of a floor option instead of the one in an emergency condition.

The floor construction options selected for comparison and analysis are as follows: reinforced concrete slab on a steel profiled sheet on steel beams; hollow-core reinforced concrete slab of 240 mm prestressed by monostrends; hollow-core reinforced concrete slab of 240 mm; hollow-core reinforced concrete slab of 200 mm; monolithic ribbed reinforced concrete slab; monolithic reinforced concrete slab of 150 mm (similar to the existing slab in emergency condition).

The maximum bearing capacity was shown by the option a hollow-core reinforced concrete slab of 240 mm prestressed by monostrends. The lowest unladen weight was shown by a structure based on a profiled sheet on steel beams. The most economical option is the ribbed plate.

Keywords: reconstruction, floor, monostrend, hole-forming core, slab, reinforced concrete.

Замена существующего межэтажного перекрытия имеет отличия от нового строительства [1, 2]. Так, например, требуется учесть необходимость сохранения прочности и устойчивости существующих конструкций при исключении из расчетной схемы перекрытия на время его устройства. Как правило, невозможно использовать крановое оборудование без разборки расположенных выше перекрытий и покрытия.

Объект исследования – здание склада [3] со встроенными административно-бытовыми помещениями, имеющими антресольный этаж. Предмет исследования – выбор варианта перекрытия антресольного этажа взамен существующей аварийной конструкции. Описание основных технических решений выбранных для сравнения вариантов реконструкции перекрытия исследуемого здания, а также их сравнительный анализ приведены ниже.

1. Вариант № 1 – железобетонная плита по стальному профлисту на металлических балках

Данный способ устройства перекрытия широко распространен при реконструкции зданий [4]. По материалоемкости стоит в одном ряду с другими эффективными конструкциями, например со сталебетонным композитным перекрытием [5].

Расположение конструкции в плане представлено на рис. 1.

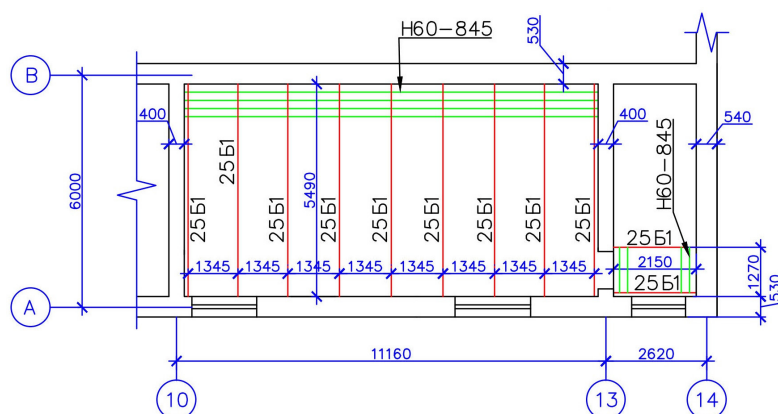


Рис. 1. План 1-го варианта перекрытия

Для ригелей принята расчетная схема статически определимой балки на двух опорах, пролет составляет 5,74 м. В качестве материала выбран стандартный двутавр 25Б1, сталь класса С255. Для плиты, устраиваемой по профнастилу, принята многопролетная неразрезная балка. В крайних ригелях, кроме изгибающего момента в вертикальной плоскости, учтено действие би-момента. От потери местной устойчивости в зоне опирания на кладку ригель защищен ребрами жесткости. Общая устойчивость обеспечивается закреплением к сжатой полке балки стального профилированного настила (СПН) в каждой гофре. Выбран оцинкованный профнастил марки Н60-845 с толщиной металла 0,9 мм.

Разрез конструкции в зоне опирания профнастила на ригель представлен на рис. 2.

Армирование железобетона назначено по конструктивным соображениям и составляет 0,89 %.

2. Вариант № 2 – преднапряженная монострендами многопустотная железобетонная плита 240 мм

Армирование железобетонных конструкций высокопрочной арматурой без сцепления с бетоном (моностренды) [6, 7] известно уже более 100 лет. Оно позволяет снизить или исключить трещинообразование в конструкциях из железобетона, а также значительно уменьшить прогибы [8].

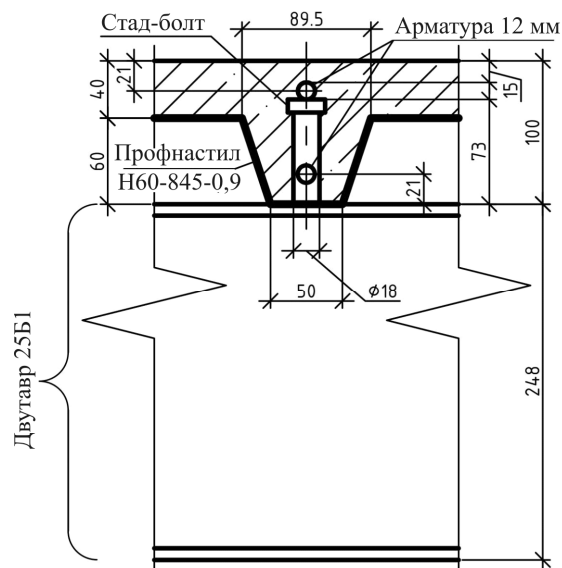


Рис. 2. Разрез 1-го варианта перекрытия

С целью снижения веса в плите перекрытия предусмотрены пустотообразователи [9, 10], имеющие размеры в плане 500×500 мм и высоту 100 мм.

План конструкции второго варианта перекрытия показан на рис. 3.

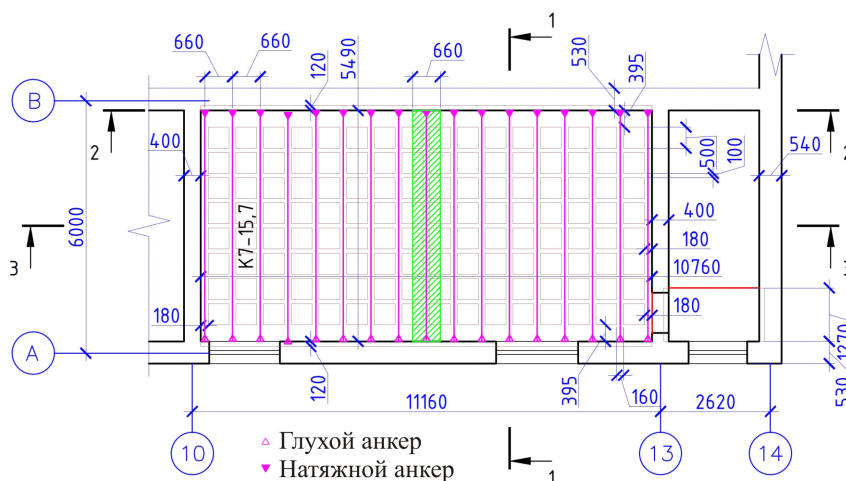


Рис. 3. План 2-го варианта перекрытия

Вытесняемый объем бетона одним пустотообразователем по [11] – 0,02042 м³. Принят бетон класса В35. Преднапряжение осуществляется методом «на бетон», моностренды – канаты К7 – 15,7 – 1860 ГОСТ 53772–2010 (диаметр 15,7 мм, с временным сопротивлением 1860 МПа) в оболочке.

Разрез поперек напрягаемой арматуры представлен на рис. 4, а разрез вдоль – на рис. 5.

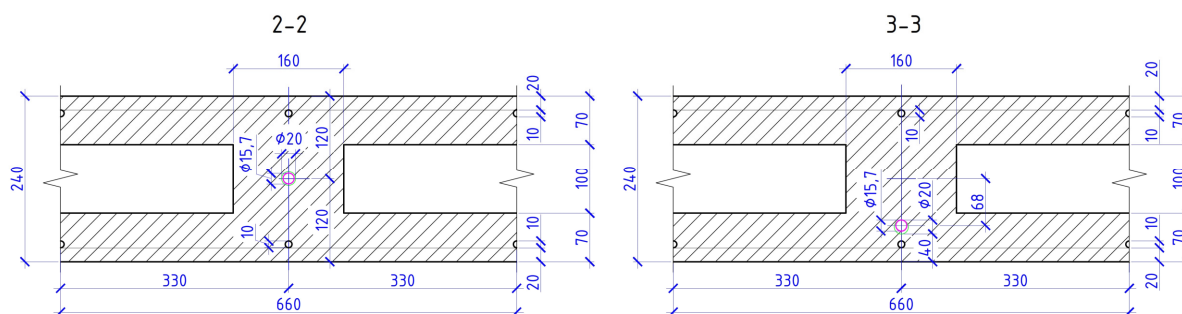


Рис. 4. Разрезы 2-го варианта перекрытия поперек монострендов

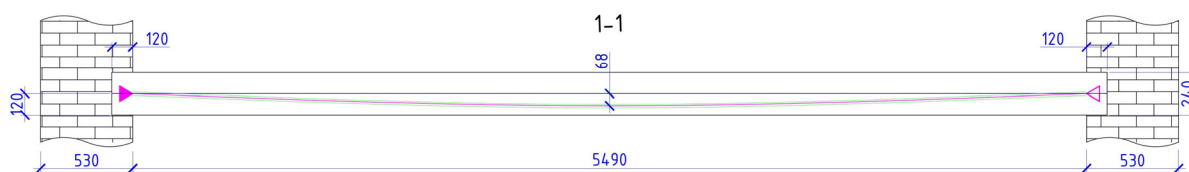


Рис. 5. Разрез 2-го варианта перекрытия вдоль монострендов

Для моностренда назначена параболическая траектория прокладки с величиной эксцентриситета 68 мм в середине пролета. Конструкция учитывает требование о толщине защитного слоя для каналообразователей – 40 мм. При расчетах учтены первые и вторые потери натяжения каната. Разгружающий эффект от одного моностренда определен расчетом и составляет 2,9 кН/м. Усилие обжатия бетона от одного каната – 160 кН. Расчетная схема – статически определимая однопролетная балка на двух опорах, пролет – 5,61 м.

3. Вариант № 3 – многопустотная железобетонная плита 240 мм

Этот вариант перекрытия разработан на базе предыдущего варианта. Отличается от него отсутствием монострендов и, как следствие, увеличенной площадью рабочей арматуры. Кроме того, класс бетона снижен до В20. Разрез плиты поперек рабочей арматуры изображен на рис. 6. Армирование симметричное периодической арматурой диаметром 14 мм, класса А500С, шаг 330 мм, величина защитного слоя 20 мм.

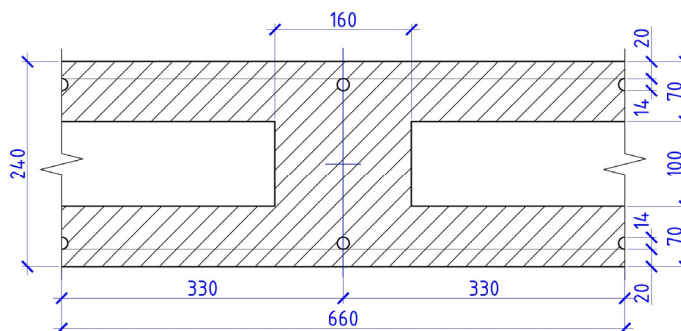


Рис. 6. Разрез 3-го варианта перекрытия – плиты 240 мм

Расположение пустообразователей, их количество, а также толщина и вес плиты остались идентичными варианту с преднапряжением.

4. Вариант № 4 – многопустотная железобетонная плита 200 мм

Плита 200 мм – вариант перекрытия, полученный путем оптимизации конструкции многопустотной плиты 240 мм. Оптимизация заключается в уменьшении толщины плиты, а также шага установки пустообразователей на 60 мм до минимально допустимого – 100 мм. План плиты приведен на рис. 7, разрез поперек полосы сбора нагрузок – на рис. 8. Принят бетон класса прочности В20. Армирование симметричное периодической арматурой диаметром 14 мм, класса А500С, шаг 300 мм, величина защитного слоя 20 мм.

Расчетная схема плиты 200 мм отличается от варианта № 3 – плиты 240 мм – уменьшением ширины полосы сбора нагрузок до 600 мм.

5. Вариант № 5 – монолитная ребристая железобетонная плита

Ребристая плита, наряду с другими тонкостенными перекрытиями [12], является эффективной конструкцией и может воспринимать, в том числе, достаточно высокую сосредоточенную нагрузку [13]. Кроме того, главные и второстепенные балки плиты могут быть усилены способами, аналогичными для железобетонных ригелей, например методом внешнего армирования композиционными материалами, представленным в [14].

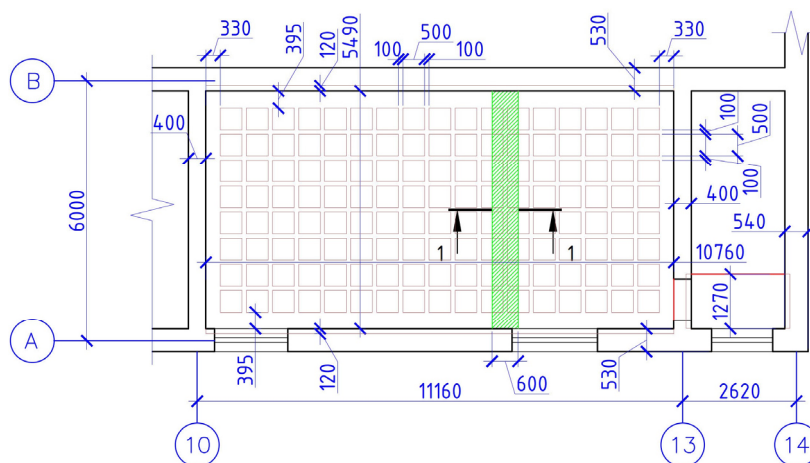


Рис. 7. План 4-го варианта перекрытия – плиты 200 мм

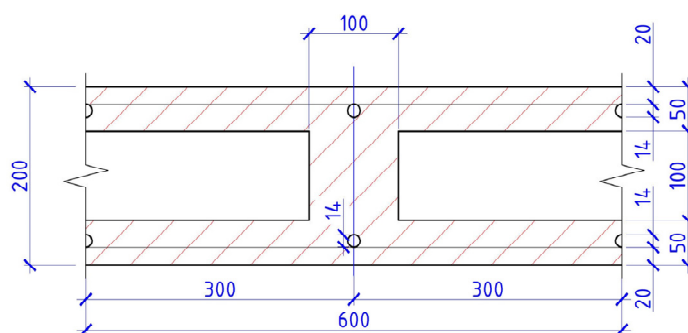


Рис. 8. Разрез 1–1 плиты 200 мм

Функцию главных балок выполняют кирпичные стены по осям А и В. Второстепенные балки запроектированы с заделкой в кладку на 250 мм и расчетным пролетом 5,74 м. Второстепенные балки для расчетов приняты таврового сечения [15]. Ширина полосы сбора нагрузок на второстепенные балки 2,2 м. Для плиты 70 мм принята расчетная схема многопролетной балки с шириной полосы сбора нагрузок 1,0 м.

План и разрез плиты показаны на рис. 9.

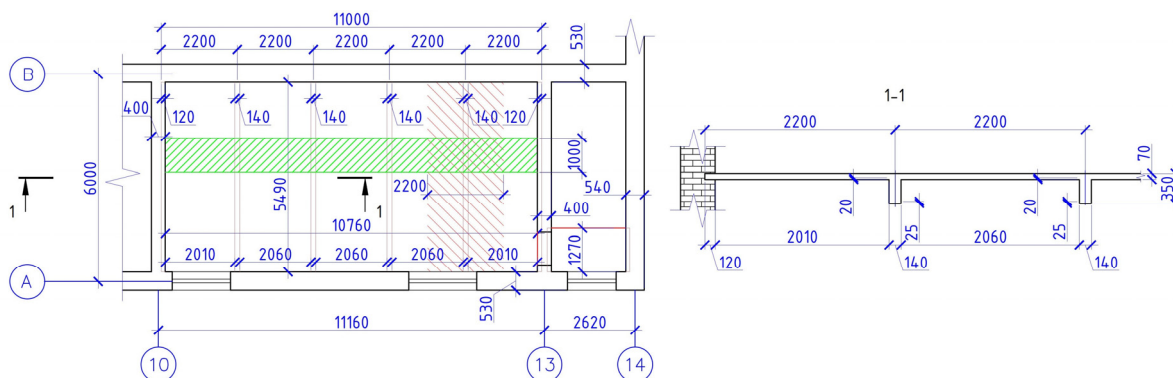


Рис. 9. План и разрез ребристой плиты

Высота балок 350 мм принята по аналогии с размерами варианта № 1 (железобетонная плита на СПН по стальным балкам). Принят бетон класса В20. Для армирования плиты выбрана стандартная сетка (4В500-100) / (3В500-200). Толщина защитного слоя бетона для плиты – 20 мм.

Растянутая рабочая арматура в ребрах плиты – это два стержня диаметром 18 мм, класса А500С. Верхняя арматура – конструктивная, два стержня А400 диаметром 10 мм. Защитный слой бетона для ребер плиты принят величиной 25 мм.

6. Вариант № 6 – монолитная железобетонная плита 150 мм

Введенный в 2019 г. СП 430.1325800.2018 «Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования» рекомендует толщину плоских перекрытий назначать не менее 160 мм. Данный вариант, с размером поперечного сечения 150 мм, аналогичен существующему перекрытию.

Расчетная схема перекрытия – балка с пролетом 5,61 м. Ширина полосы сбора нагрузок 1,0 м. Класс бетона – В20. Рабочая сжатая арматура принята периодическая, стержни диаметром 14 мм, класса прочности А500С с шагом 200 мм. Верхняя арматура принята по конструктивным соображениям, для нее назначена стандартная сетка (4В500-100) / (3В500-200). Толщина защитного слоя имеет величину 20 мм.

Технико-экономические показатели (ТЭП) первых пяти вариантов перекрытия сравниваются с показателями варианта № 6 – плиты 150 мм.

Полученные результаты

Для расчета технико-экономических показателей рассмотренных вариантов составлены локальные сметные расчеты. Стоимость строительной продукции определена базисно-индексным методом и переведена в текущие цены. Используются индексы пересчета стоимости строительно-монтажных работ к ФЕР-2001 (ФСНБ-2019) на 3-й квартал 2020 г.: ФОТ – 19,9; ЭММ – 10,61; Мат – 5,05.

Результаты расчетов ТЭП приведены в таблице.

Технико-экономические показатели вариантов перекрытия

Показатель	Вариант № 1 – СПН по металлическим балкам	Вариант № 2 – преднапряженная ж/б плита 240 мм	Вариант № 3 – монолитная многопустотная ж/б плита 240 мм	Вариант № 4 – монолитная многопустотная ж/б плита 200 мм	Вариант № 5 – ребристая ж/б плита	Вариант № 6 – монолитная ж/б плита 150 мм
Масса конструкции, т	11,61	29,08	29,08	22,78	12,48	22,15
Использование несущей способности	56 %	15 %	87 %	87 %	79 %	85 %
Полезная нормативная нагрузка, кгс/м ²	250					
Предельная полезная нагрузка, кгс/м ² *	670	4 850	370	350	400	370
Трудоемкость, чел-ч.	240,07	119,43	69,31	75,7	43,11	74,25
Сметная стоимость, тыс. руб. без учета НДС	399,2	247,8	138,1	133,3	64,6	112,9
Стоимость 1 м ² , руб./м ²	6757,96	4194,18	2337,71	2257,31	1093,25	1910,82
Стоимость размещения 1 кгс/м ² полезной нагрузки, руб.	27,03	16,78	9,35	9,03	4,37	7,64
Стоимость размещения 1 кгс/м ² полезной предельной нагрузки, руб.	10,09	0,86	6,32	6,45	2,73	5,16

*Предельная нагрузка определена без учета несущей способности нижележащих конструкций.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие **выводы**:

1. Самое легкое перекрытие – это вариант № 1 (монолитная железобетонная плита на СПН по металлическим балкам), его масса почти в 2 раза меньше массы существующей конструкции.
2. Наиболее экономически эффективной конструкцией, при использовании 100 % несущей способности, является вариант перекрытия № 2 – преднапряженная монолитная мно-

гопустотная железобетонная плита 240 мм. Этот вывод имеет значение лишь для дальнейших исследований.

3. По трудоемкости и стоимости квадратного метра предпочтительным является вариант № 5 – ребристая железобетонная плита.

Список литературы

1. Броневицкий А.П. Временное усиление конструкций при реконструкции зданий // Наука и техника. – 2017. – Т. 16, № 2. – С. 137–143. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-137-143
2. Таран В.В., Ильичев А.Ф., Бершадская Д.Е. Выбор варианта устройства перекрытия при реконструкции зданий // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – № 6 (122). – С. 29–33.
3. Высоцкий Д.В., Татьянников Д.А. Сравнение вариантов утепления производственного здания при реконструкции // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2020. – № 2 (38). – С. 57–67. DOI: 10.15593/2409-5125/2020.02.04
4. Набока А.А. Устройство железобетонного междуэтажного перекрытия по металлическим балкам в старом фонде // StudArctic Forum. – 2017. – Т. 1, № 5 (5). – С. 47–54. DOI: 10.15393/j102.art.2017.923
5. Analytical study and experimental tests on innovative steel-concrete composite floorings / de O. Ferrante C.A., de Andrade S.A.L., de Lima L.R.O., da S. Vellasco P.C.G. // Journal of Constructional Steel Research. – 2020. – Vol. 168, № 105868. DOI: 10.1016/j.jcsr.2019.105868
6. Космодемьянов В.А. Исследование влияния арматуры без сцепления с бетоном «моностренд» на прогибы безбалочного перекрытия // Перспективы науки. – 2019. – № 7 (118). – С. 47–51.
7. Кузнецов В.С., Полехина Г.Е., Шапошникова Ю.А. Эффективность применения высокопрочной арматуры без сцепления с бетоном в монолитных безбалочных перекрытиях // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. – 2017. – Т. 18, № 1. – С. 40–47. DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-1-40-47
8. Кузнецов В.С., Максяшкина Е.А., Шапошникова Ю.А. Прогибы монолитного безбалочного перекрытия с постнапряжением при различных соотношениях сторон ячейки плиты // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 2 (62). – С. 37–47.
9. Павлов В.В. Конструкции перекрытий реконструируемых зданий // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 1 (72). – С. 38–42. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-1-38-42
10. Шаленный В.С., Смирнов А., Леоненко К. Усовершенствованная конструктивно-технологическая система перекрытий с пластмассовыми вкладышами, частично заменяющими монолитный железобетон // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – № 16 (68). – С. 45–54.
11. OpenMP: сайт. – URL: <https://sibforma.ru/skachat-fajly-dlya-proektirovaniya-pustotoobrazovately> (дата обращения: 26.10.2020).
12. A design methodology to reduce the embodied carbon of concrete buildings using thin-shell floors / Will Hawkinsa, John Orr, Tim Ibell, Paul Shepherd // Engineering Structures. – 2020. – Vol. 207, № 110195. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110195
13. Lukas Henze, Günter Axel Rombach, Maike Harter. New approach for shear design of reinforced concrete slabs under concentrated loads based on tests and statistical analysis // Engineering Structures. – 2020. – Vol. 219, № 110795. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110795
14. Moradi E., Naderpour H., Kheyroddin A. An experimental approach for shear strengthening of RC beams using a proposed technique by embedded through-section FRP sheets // Composite Structures. – 2020. – Vol. 238. – № 111988. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.111988
15. Hanady Almahmood, Ashraf Ashour, Therese Sheehan. Flexural behaviour of hybrid steel-GFRP reinforced concrete continuous T-beams // Composite Structures. – 2020. – Vol. 254, № 112802. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112802

References

1. Bronevizky A.P. Vremennoe usilenie konstruktssii pri rekonstruktssii zdaniia [Temporary Reinforcement of Structures for Building Reconstruction]. *Science and Technique*, 2017, Vol. 16, no. 2, pp. 137-143. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-137-143.
2. Taran V.V., Ilichev A.F., Bershadskaia D.E. Vybor varianta ustroistva perekrytiia pri rekonstruktssii zdaniia [The choice of variant of device covering at the reconstruction of building]. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2016, no. 6 (122), pp. 29-33.
3. Vysotsky D.V., Tatyannikov D.A. Sravnenie variantov utepleniia proizvodstvennogo zdaniia pri rekonstruktssii [Comparison of insulation options for a production building during reconstruction]. *PNRPU Bulletin, Applied ecology. Urban development*, 2020, no. 2 (38), pp. 57-67. DOI: 10.15593/2409-5125/2020.02.04.
4. Naboka A.A. Ustroistvo zhelezobetonogo mezhduetazhnogo perekrytiia po metallicheskim balkam v starom fonde [Construction of reinforced concrete interstorey floor overlap on metal beams in the old fund]. *StudArctic Forum*, 2017, Vol. 1, no. 5 (5), pp. 47-54. DOI: 10.15393/j102.art.2017.923.
5. De O. Ferrante C.A., de Andrade S.A.L., de Lima L.R.O., da S. Vellasco P.C.G. Analytical study and experimental tests on innovative steel-concrete composite floorings. *Journal of Constructional Steel Research*, 2020, vol. 168, no. 105868. DOI: 10.1016/j.jcsr.2019.105868.
6. Kosmodem'ianov V.A. Issledovanie vliianiia armatury bez stsepleniia s betonom «monostrend» na progiby bezbalochnogo perekrytiia [The impact of unbonded monostrand post-tensioning system on the flat plate floor deflection]. *Science Prospects*, 2019, no. 7 (118), pp. 47-51.
7. Kuznetsov V.S., Polekhina G.E., Shaposhnikova Iu.A. Effektivnost' primeneniia vysokoprochnoi armatury bez stsepleniia s betonom v monolitnykh bezbalochnykh perekrytiakh [Efficiency use highfitting without clutch with concrete in the monolithic beam-less floors]. *RUDN Journal of Engineering researches*, 2019, vol. 18, no. 1, pp. 40-47. DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-1-40-47.
8. Kuznetsov V.S., Maksiasheva E.A., Shaposhnikova Iu.A. Progiby monolitnogo bezbalochnogo perekrytiia s postnapriazheniem pri razlichnykh sootnosheniakh storon iacheiki plity [Deflections of a monolithic flat overlap with post-tension at different ratios of the sides of the slab cell]. *Engineering Journal of Don*, 2020, № 2 (62), pp. 37-47.
9. Pavlov V.V. Konstruktssii perekrytii rekonstruiuemyykh zdaniia [Floor structure design of reconstructed buildings]. *Bulletin of Civil Engineers*, 2019, № 1 (72), pp. 38-42. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-1-38-42.
10. Shalennyi V.S., Smirnov A., Leonenko K. Uovershenstvovannaia konstruktivno-tekhnologicheskaia sistema perekrytii s plastmassovymi vkladyshami, chastichno zameniaiushchimi monolitnyi zhelezobeton [Improved constructive-technological system of closes with plastic inserts partly replace monoiled concrete]. *Construction and industrial safety*, 2019, № 16 (68), pp. 45-54.
11. OpenMP, available at: <https://sibforma.ru/skachat-fajly-dlya-proektirovaniya-pustotoobrazovatelyi> (accessed 26 October 2020).
12. Will Hawkinsa, John Orr, Tim Ibell, Paul Shepherd. A design methodology to reduce the embodied carbon of concrete buildings using thin-shell floors. *Engineering Structures*, 2020, vol. 207, no. 110195. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110195.
13. Lukas Henze, Günter Axel Rombach, Maike Harter. New approach for shear design of reinforced concrete slabs under concentrated loads based on tests and statistical analysis. *Engineering Structures*, 2020, vol. 219, no. 110795. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110795.
14. Moradi E., Naderpour H., Kheyroddin A. An experimental approach for shear strengthening of RC beams using a proposed technique by embedded through-section FRP sheets. *Composite Structures*, 2020, vol. 238, no. 111988. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.111988.
15. Hanady Almahmood, Ashraf Ashour, Therese Sheehan. Flexural behaviour of hybrid steel-GFRP reinforced concrete continuous T-beams. *Composite Structures*, 2020, vol. 254, no. 112802. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112802.

Получено 28.10.2020

Об авторах

Высоцкий Денис Владимирович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр. 29, e-mail: dv22111979@gmail.com).

Татьянников Даниил Андреевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр. 29, e-mail: danco777@mail.ru).

About the authors

Denis V. Vysotsky (Perm, Russian Federation) – Master Student, Department of Structural Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: dv22111979@gmail.com).

Daniil A. Tatyannikov (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Structural Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: danco777@mail.ru).