

Прогибы монолитного безбалочного перекрытия с постнапряжением при различных соотношениях сторон ячейки плиты

В.С. Кузнецов, Е. А. Максяшкина, Ю. А. Шапошникова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: В статье приведены результаты численного анализа прогибов монолитного безбалочного перекрытия при различной сетке колонн с преднапряженной арматурой без сцепления с бетоном. Исследовались перекрытия с различной сеткой колонн и толщиной плиты. В качестве инструмента исследования использовался программный комплекс ЛИРА САПР. Рассматривались ячейки перекрытия с расположением преднапряженной арматуры в надколонных полосах. Выявлено, что применение высокопрочной арматуры типа «моностренд» наиболее результативно при сетке колонн 5×9 м и более. Уточнено расположение напрягаемой арматуры и соотношение смежных сторон прямоугольных ячеек, для которых применение преднапряжения наиболее эффективно. Сделана оценка эффективности использования контурного армирования с целью уменьшения прогибов в центре ячейки для различных размеров ячеек и толщин перекрытия. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании плит с использованием предварительно напряженной арматуры без сцепления с бетоном типа «моностренд».

Ключевые слова: ванта, высокопрочная арматура, конечный элемент, моностренд, отпор, преднапряжение, постнапряжение, прогиб.

В условиях современных тенденций на снижение материалоемкости и финансовых затрат, для монолитных плоских перекрытий увеличение сетки колонн с применением постнапряжения может служить оптимальным архитектурно-планировочным и конструктивным решением для зданий различного назначения [1, 2]. Постнапряжение, с применением канатной арматуры в оболочке без сцепления с бетоном (моностренд), позволяет не только снизить материалоемкость и расходы [3, 4], но также повысить эксплуатационные характеристики таких перекрытий [5-7].

Применение постнапряжения, в виде нескольких канатов (1-14 шт), (0,5-3% от общего расхода арматуры на ячейку) существенно уменьшает прогибы плит с пролетами более 7 метров [4, 8, 9]. Технические характеристики канатов моностренд изложены в [5, 10, 11]. При этом в обеспечении прочности конструкции перекрытия участвует как обычная

фоновая арматура, так и дополнительная преднапряженная канатная, заменяющая часть фоновой [7, 12].

Анализ прогибов монолитного безбалочного перекрытия с преднапряженной арматуры без сцепления с бетоном проводился на перекрытиях с соотношением сторон ячейки $a \times b = 5 \times 5, 5 \times 6, 5 \times 7, 5 \times 8, 5 \times 9$ м. Толщина плит принималась $h=180, 200, 220$ мм, защитный слой арматуры $a=a'=30$ мм. Бетон класса В30. Модуль упругости бетона принимался с понижающим коэффициентом 0,2 для учета деформации при образовании трещин $E_1=0,2E_b$, что составляет $32500 \cdot 0,2=6500$ МПа. Преднапрягаемая арматура – девять канатов класса К70 «моностренд» в каждом направлении. Площадь одного каната $A_{sp}=1,54\text{см}^2$, $R_{s,n}=1860$ МПа, $E_{sp}=195000$ МПа [13, 14]. Уровень преднапряжения с учетом упругого обжатия и всех потерь принят $\sigma_{sp0}=0,7 \cdot 1860=1302$ МПа, усилие преднапряжения составило $N_{sp}=9 \cdot 0,7 \cdot 1,54 \cdot 10^{-4} \cdot 1860 \cdot 10^3=1801,8$ кН при 9-ти канатах в сечении. Максимально допустимый прогиб в центре плиты принимался в соответствии с нормами [4].

Оценка влияния расположения преднапряженной арматуры на прогибы производилась с помощью метода конечных элементов, в программе ЛИРА САПР. Сетка конечных элементов - 300×300 мм с учащением в опорной зоне колонн. Плиты рассчитывались как опертые на колонны, сечением 800×800 мм. Полная нагрузка с учетом собственного веса, равномерно распределенная, $q = 10$ кН/м². Прогибы плит с контурным преднапряжением находились на основе установленного распределения отпора по длине каната [15, 16].

Траектория расположения каната представлена частью параболы, проходящей через опоры А и Б [16] (рис. 1).

Отпор вычислялся по формуле (1) и представлялся в виде узловых сил p_i , число которых зависит от требуемой точности расчета, а величина от координаты узла и значения максимального отпора [17, 18].

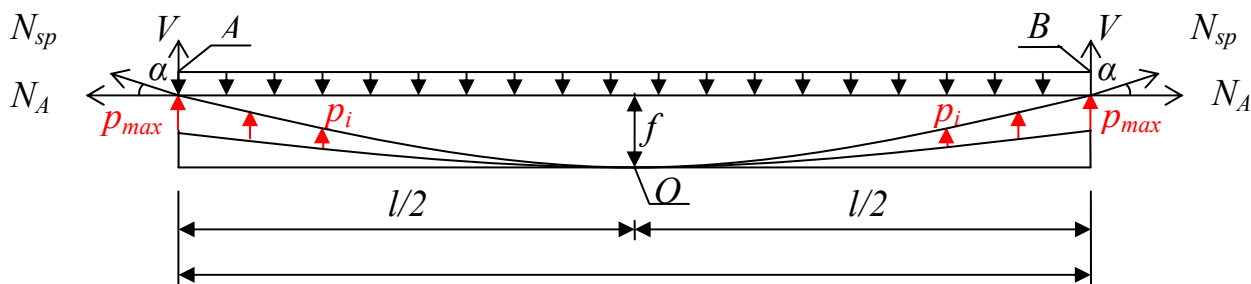


Рис. 1 - К расчету отпора каната.

$$p_i = p_{max}(1 - 4/l^2 x(x - l)), \quad (1)$$

где l – это расстояние между опорами каната, x – координата силы p_i .

После выполнения расчёта была выполнена оценка перемещений плиты без преднапряжения и с преднапряжением по контуру при различных соотношениях сторон ячейки (рис. 2).

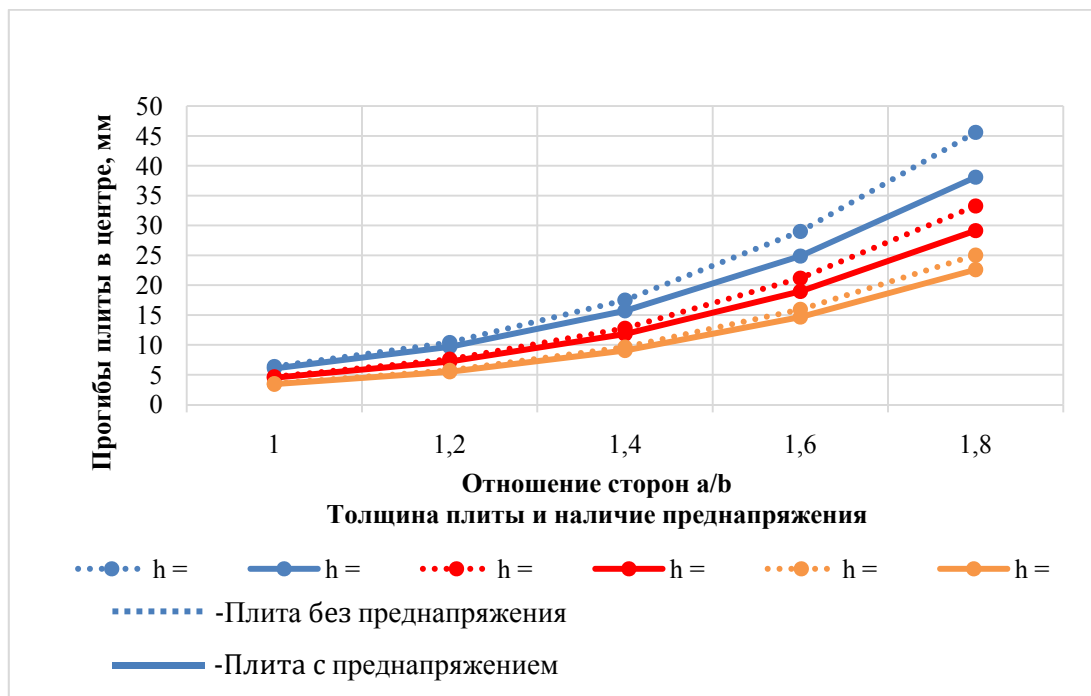


Рис. 2 – Прогибы плиты перекрытия для центра ячейки для плит различной толщины с преднапряжением и без преднапряжения арматуры

Из графиков на рисунке 2 видно, что контурное преднапряжение по 4 сторонам приводит к уменьшению прогибов во всех точках плиты: в центральной точке прямоугольных ячеек снижение составляет от 3,94% до 16,46%, а для квадратной ячейки снижение прогибов составляет от 2,82% до 4,81% при различных толщинах плит.

Далее был проведен анализ перемещений плит, армированных только по длинной или только по короткой стороне ячейки плиты по сравнению с преднапряжением по контуру. Результаты представлены в виде графиков прогибов плит с различной толщиной плиты $h=180, 200, 220$ мм (рис. 3-5).

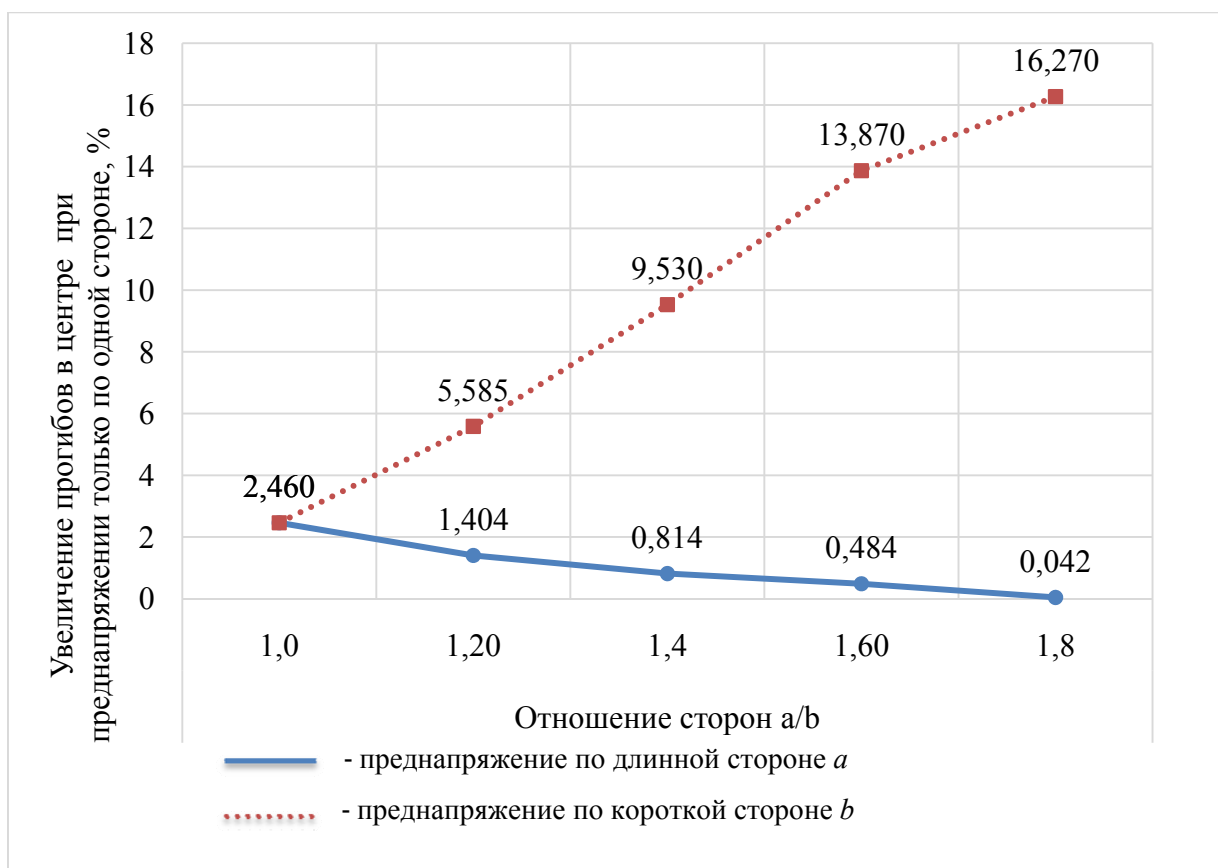


Рис. 3 - Прогибы плиты ($h=180$ мм) при преднапряжении по одной стороне по сравнению с преднапряжением по контуру

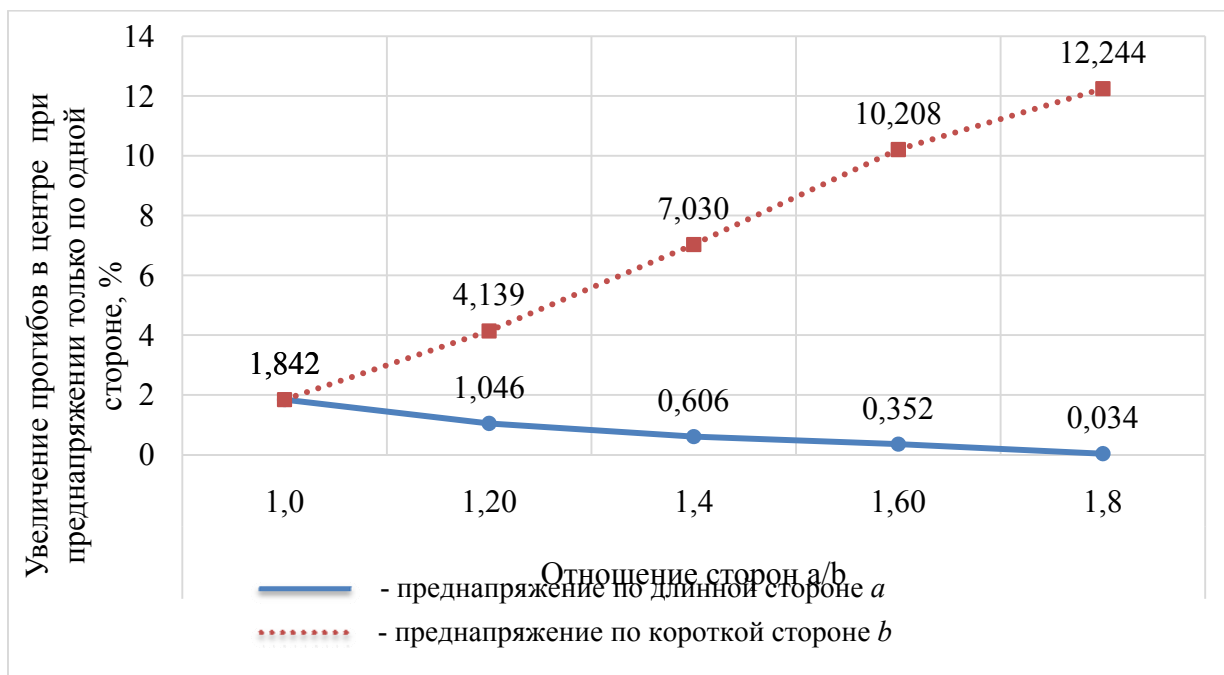


Рис. 4 - Прогибы плиты ($h=200\text{мм}$) при преднапряжении по одной стороне по сравнению с преднапряжением по контуру

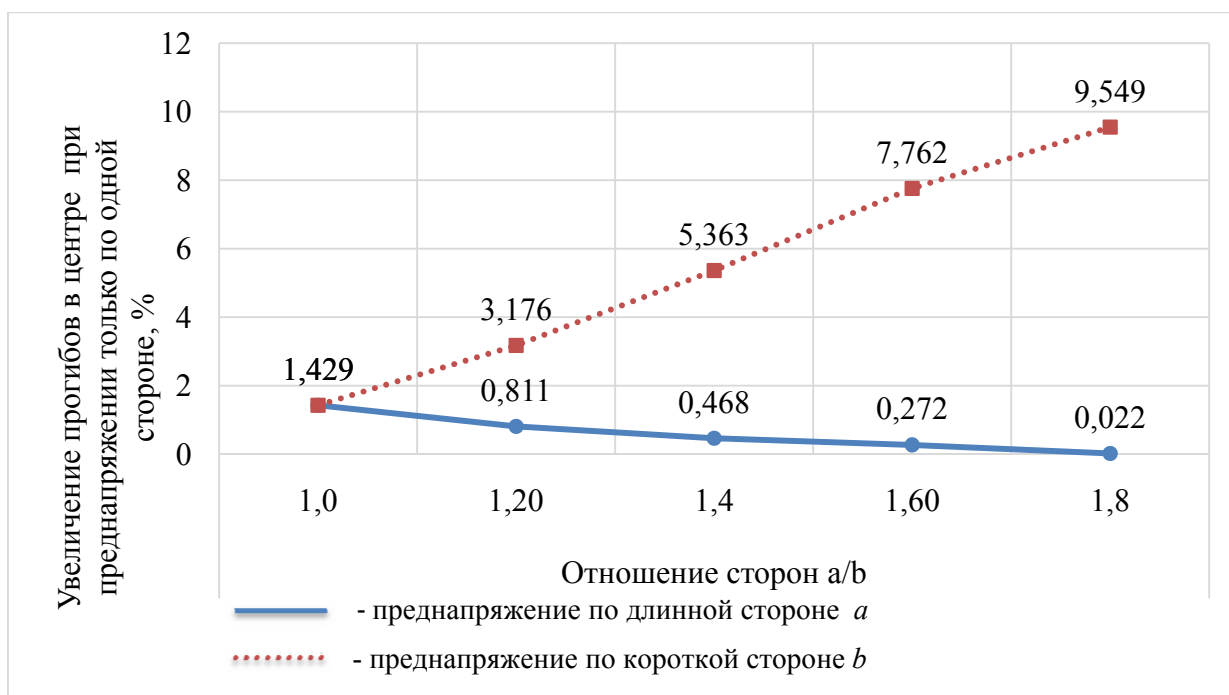


Рис. 5 - Прогибы плиты ($h=220\text{мм}$) при преднапряжении по одной стороне по сравнению с преднапряжением по контуру

Из графиков (рис. 3-5) видно, что преднапряжение только по коротким сторонам ячейки плиты b по сравнению с преднапряжением по контуру приводит к увеличению прогибов от 1,43% до 16,27% (для разных толщин плит) с ростом отношения сторон плиты a к b . При преднапряжении только по длинной стороне a наблюдается снижение разницы в прогибах, которое составляет от 0,022%, до 0,042% при прямоугольной форме плиты. С увеличением соотношения сторон плиты $a/b=1,0\div 1,8$ снижение прогибов постепенно уменьшается и для плиты 5x9 м разница в прогибах стремится к 0 при всех толщинах плит.

Выводы.

1. По данным проведенного исследования применение контурной высокопрочной предварительно напряженной арматуры без сцепления с бетоном уменьшает прогибы плиты перекрытия. Так при 9-ти канатах К70 (0,5-3% от общего расхода арматуры на ячейку) уменьшение прогибов составляет для плиты 5×5 – 4,81%, 5×6 – 6,84%, 5×9 – 16,46%, по данным других исследований до 15% [19, 20].
2. При моделировании преднапряжения по двум разным сторонам ячейки по отдельности, разница в прогибах между ячейкой плиты с преднапряжением по всем сторонам и ячейкой плиты, преднапряженной только по коротким сторонам, возрастает с увеличением пролета. При армировании только по длинным сторонам ячейки разница в прогибах стремится к нулю.
3. Таким образом, можно рекомендовать установку преднапряженной арматуры только по длинной стороне плиты при соотношении сторон $a/b=1,2$ и более. Установка канатов по короткой стороне не является целесообразной.
4. Установлено, что применение контурной высокопрочной предварительно напряженной арматуры без сцепления с бетоном более эффективно при больших пролетах с небольшой толщиной плиты, так как

эффективность преднапряжения возрастает с увеличением сторон ячейки и соответственно ее прогибов, влияющих на величину отпора канатов.

Литература

1. Gilbert R.I., Mickleborough N.C. Design of prestressed concrete. Sydney. 1990. – 530с.
2. Леонгардт Ф. Напряженно армированный железобетон и его практическое применение. – М: Государственное изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1957. – 588с.
3. Бардышева Ю.А., Кузнецов В.С., Талызова Ю.А. Конструктивные решения безбалочных бескапитальных перекрытий с предварительно напряженной арматурой. Вестник МГСУ. 2014. № 6. С. 44—51.
4. Kuznetsov V. S., Shaposhnikova Yu.A. On the definition deflections of monolithic slabs with the mixed reinforcing at the stage of limit equilibrium. MATEC web of conferences (Web of science) URL: matec-conferences.org/
5. Post-tensioning Manual 6-th edition. PTI. 2006. URL: [scribd.com/document/340299398/2006-Post-Tensioning-Manual-6th-Edition-pdf](https://www.scribd.com/document/340299398/2006-Post-Tensioning-Manual-6th-Edition-pdf).
6. Manual for the Design of Concrete Building Structures to Eurocode 2 / Institution of Structural Engineers. London. 2006. С.151.
7. Гагин А.А. Особенности безбалочных большепролетных монолитных железобетонных перекрытий. Вестник РУДН. 2010. № 2. С. 25—28.
8. Дорфман А.Э., Левонтин Л.Н. Проектирование безбалочных бескапитальных перекрытий. — М.: Стройиздат, 1975. – 124с.
9. Мартынюк А.А., Маилян Д.Р. Применение комбинированного преднапряжения в строительных конструкциях. // Инженерный вестник Дона. 2018. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4985.
10. ETA-05/0123. Post-tensioning kit for prestressing of structures with bars, internal bonded and unbounded and external. 2005.

11. Ситников С.Л., Мирюшенко Е.Ф. Способ изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций и моностренд. Патент на изобретение № 2427686. М., 2011. URL: freepatent.ru/patents/2427686.

12. Post-tensioning tendon installation and grouting manual. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. 2013. С.178.

13. ETAG 013. Guideline for European Technical Approval of post-tensioning kits for prestressing of structures. EOTA. Brussels. 2002. URL: empa.ch/documents/20659/66481/Dienstleistungen_Bewertungsstelle_ETAG-013.pdf/9a5f671f-a7c4-4597-b7a8-079e9d9a72ab.

14. Справочник проектировщика (Расчетно-теоретический). Т. 2. ред. А.А. Уманского, 1973. С. 18-21.

15. Портаев Д.А. Расчет и конструирование монолитных преднапряженных конструкций гражданских зданий. –М: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2011. –С.24-62.

16. Кузнецов В.С., Шапошникова Ю.А. Прочность изгибаемых железобетонных элементов с дополнительной высокопрочной арматурой без сцепления с бетоном. // Инженерный вестник Дона. 2019. №9. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_52__8_kuznetsov_shaposhnikova.pdf_b13772fe3d.pdf

17. Стемковский М.С., Меретуков З.А., Маилян В.Д., Кубасов А.Ю. К проектированию железобетонных конструкций со смешанным армированием. // Инженерный вестник Дона. 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4420

18. Кузнецов В. С., Шапошникова Ю. А. Влияние отпора высокопрочной арматуры без сцепления с бетоном на прогибы монолитных безбалочных перекрытий. Известия высших учебных заведений. - 2018. - №5(377). - С. 182-187.

19. Максяшкина Е.А. Исследование прогибов монолитного безбалочного перекрытия с преднапряженной арматурой без сцепления с бетоном: дис.: 08.04.01 "Строительство". М., 2019. 116 с.

20. Markovich A.S., Kuznetsov V.S., Shaposhnikova Yu. A., Abu Mahadi M.I. Influence of Reinforcement of Contour High-Strength Reinforcement without Adhesion to Concrete on the Deflections of Monolithic Beams. Web of Science Core Collection. URL: journalimcms.org/special_issue/influence-of-reinforcement-of-contour-high-strength-reinforcement-without-adhesion-to-concrete-on-the-deflections-of-monolithic-beams.

References

1. Gilbert R.I., Mickleborough N.C. Design of prestressed concrete. Sydney. 1990. 530 p.

2. Leongardt F. Naprjazhenno armirovannyj zhelezobeton i ego prakticheskoe primenenie. [Reinforced concrete and its practical application]. M: Gosudarstvennoe izd-vo literatury po stroitel'stvu i arhitekture, 1957. 588 p.

3. Bardysheva Ju.A., Kuznecov V.S., Talyzova Ju.A. Vestnik MGSU. 2014. № 6. pp. 44-51.

4. Kuznetsov V. S., Shaposhnikova Yu.A. MATEC web of conferences (Web of science) URL: matec-conferences.org/

5. Post-tensioning Manual 6-th edition. PTI. 2006. URL: scribd.com/document/340299398/2006-Post-Tensioning-Manual-6th-Edition-pdf.

6. Manual for the Design of Concrete Building Structures to Eurocode 2 / Institution of Structural Engineers. London. 2006. 151 p.

7. Gagin A.A. Vestnik RUDN. 2010. № 2. Pp. 25—28.

8. Dorfman A.E., Levontin L.N. Proektirovanie bezbalochnykh beskapitel'nykh perekrytiy. [Design of flat slab floor]. M.: Stroyizdat, 1975. 124p.

9. Martynjuk A.A., Mailjan D.R. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4985.

10. ETA-05/0123. Post-tensioning kit for prestressing of structures with bars, internal bonded and unbounded and external. 2005. URL: dywidag-systems.com/fileadmin/downloads/global/construction/approvals/en/dsi-dywidag-eta-05-0123-post-tensioning-system-using-bars-en.pdf

11. Sitnikov S.L., Mirjushenko E.F. Sposob izgotovleniya predvaritel'no naprjazhennyh zhelezobetonnyh konstrukcij i monostrend. [A method of manufacturing prestressed concrete structures and monostrand]. Patent na izobretenie № 2427686. M. 2011. URL: freepatent.ru/patents/2427686.

12. Post-tensioning tendon installation and grouting manual. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. 2013. 178 p.

13. ETAG 013, Guideline for European Technical Approval of post-tensioning kits for prestressing of structures. EOTA. Brussels. 2002. URL: empa.ch/documents/20659/66481/Dienstleistungen_Bewertungsstelle_ETAG-013.pdf/9a5f671f-a7c4-4597-b7a8-079e9d9a72ab.

14. Spravochnik proektirovshhika (Raschetno-teoreticheskij). [Designer's reference book (Settlement-theoretical)]. T. 2. Red. A.A. Umanskogo, 1973. Pp. 18-21.

15. Portaev D.A. Raschet i konstruirovanie monolitnyh prednaprjazhennyh konstrukcij grazhdanskih zdaniy. [Calculation and design of monolithic prestress structures of civil buildings]. M: Izdatel'stvo Associacii stroitel'nyh vuzov, 2011. pp. 24-62.

16. Kuznecov V.S., Shaposhnikova Ju.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. №9. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_52__8_kuznetsov_shaposhnikova.pdf_b13772fe3d.pdf

17. Stemkovskij M.S., Meretukov Z.A., Mailjan V.D., Kubasov A.Ju. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4420



18. Kuznecov V. S., Shaposhnikova Ju. A. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. 2018. №5 (377). Pp. 182-187.

19. Maksjashkina E.A Issledovanie progibov monolitnogo bezbalochnogo perekrytija s prednaprjazhennoj armaturoj bez sceplenija s betonom. [Study of deflections of a monolithic flat overlap with prestress reinforcement without adhesion to concrete]. dis.: 08.04.01 "Stroitel'stvo". M., 2019. 116 p.

20. Markovich A.S., Kuznetsov V.S., Shaposhnikova Yu. A., Abu Mahadi M.I. Web of Science Core Collection. URL: journalimcms.org/special_issue/influence-of-reinforcement-of-contour-high-strength-reinforcement-without-adhesion-to-concrete-on-the-deflections-of-monolithic-beams.