

Прочность изгибаемых железобетонных элементов с дополнительной высокопрочной арматурой без сцепления с бетоном

В.С. Кузнецов, Ю. А. Шапошникова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы влияния высокопрочной арматуры без сцепления с бетоном на прочность железобетонных перекрытий. Выявлено, что отпор, создаваемый усилием предварительного напряжения, распределяется по длине элемента в соответствии с траекторией укладки арматуры. Получена аналитическая зависимость, позволяющая количественно оценить снижение положительных моментов в зависимости от величины нагрузки и относительных прогибов. Построены графики зависимости снижения положительных моментов за счет отпора вант от нагрузки и относительных прогибов. Установлено, что влияние относительных прогибов на снижение моментов не зависит от величины внешней нагрузки, а основными факторами снижения положительных моментов являются начальный эксцентриситет и приобретенный в процессе эксплуатации прогиб. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании плит и балок с использованием предварительно напряженной арматуры без сцепления с бетоном.

Ключевые слова: высокопрочная арматура, железобетон, изгибающий момент, изгибаемый элемент, нормативный прогиб, отпор, прочность.

Изгибаемые железобетонные элементы, в том числе монолитные плоские перекрытия, опертые по двум сторонам плиты и прочие, повсеместно используются при строительстве зданий различного назначения [1-3]. Современные требования к архитектурно-планировочным решениям предусматривают необходимость реализации сетки колонн большего шага, и соответственно перекрытий и покрытий большого пролета, что очень актуально в современных тенденциях на свободные планировки, экономию пространства и материалов [4, 5].

Армирование изгибаемых железобетонных элементов может осуществляться как традиционным способом, так и с применением арматуры без сцепления с бетоном [6-8]. Так для монолитных безбалочных перекрытий, при пролетах более 7 метров дополнительно к основному армированию, определенному из расчетов прочности, рекомендуется для

обеспечения требований второй группы предельных состояний устанавливать высокопрочную арматуру без сцепления с бетоном [9-11]. Арматура без сцепления с бетоном имеет название «моностренд» [12], технические характеристики которой изложены в [13-15]. При этом дополнительная арматура создает запас прочности, а основная арматура не используется с полным расчетным сопротивлением [16, 17]. Целесообразным представляется решение, при котором в обеспечении прочности элемента участвует как обычная арматура, так и без сцепления с бетоном [7, 16, 17].

Степень участия высокопрочной арматуры в обеспечении прочности нормальных сечений определяется величиной отпора напрягаемой арматуры без сцепления с бетоном, который, в свою очередь, зависит от усилия преднапряжения, пролета элемента, начального эксцентриситета усилия преднапряжения и нормативных прогибов, предъявляемых к конструкции [4, 7, 16, 17] (рис. 1). Порядок определения параметров отпора канатов в зависимости от угла выхода канатов, усилия преднапряжения и эксцентриситетов изложен в [20].

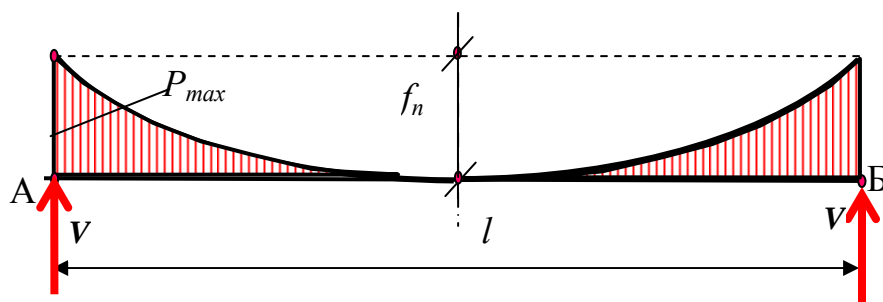


Рис. 1. - К расчету отпора каната

При параболическом, или близком к этому, очертанию провиса канатов, максимальная ордината отпора на опоре P_{max} и тогда реакция опоры V определяется из формулы площадей двух параболических трапеций [20] в соответствии с формулой (1) (рис. 1)

$$V = \frac{P_{max} l}{6}, \quad (1)$$

где l - пролет каната.

Максимальный отрицательный момент от отпора канатов M вычисляется по формуле (2) в соответствии с [20].

$$M = - \frac{P_{max} l^2}{36} \quad (2)$$

При симметричном расположении канатов и небольших значениях углов выхода $tg\alpha_0 \approx \sin\alpha_0 = 4f/l$, максимальное значение ординаты эпюры отпора находится в соответствии с выражением (3) [20]

$$P_{max} = N_{sp} \sin\alpha_0 = 4N_{sp}f/l, \quad (3)$$

где N_{sp} – сила преднапряжения каната, f – прогиб (провис) каната, l - пролет каната.

Если обозначить относительный прогиб, установленный нормами как $f/l=k$, то ордината P_{max} может быть найдена из выражения (4).

$$P_{max} = 4kN_{sp}. \quad (4)$$

Выражение для максимального отрицательного момента, создаваемого отпором каната преобразовывается в формулу (5)

$$M = - \frac{kN_{sp} l^2}{9} \quad (5)$$

При равномерно распределенной нагрузке q максимальный положительный момент будет равен (6)

$$M = \frac{ql^2}{8}, \quad (6)$$

где q - равномерно распределенная нагрузка; l - пролет каната.

Фактический момент $M_{внеш}$, создаваемый нагрузкой q и отпором вант находится в соответствии с (7)

$$M_{\text{внеш}} = l^2 \left(\frac{q}{8} - \frac{kN_{sp}}{9} \right) \quad (7)$$

Окончательное выражение для момента от вертикальной нагрузки и отпора вант будет выражаться формулой (8)

$$M = \frac{l^2}{72} (9q - 8kN_{sp}) \quad (8)$$

Проверка полученных зависимостей производилась на балочных плитах, условной шириной $b=1$ м, $h=0,2$ м. Защитный слой $a=a'=0,05$ м, расчетный пролет $l=9$ м. Дополнительная арматура К70. $R_{s,n}=1860$ МПа, коэффициент уровня преднапряжения с учетом упругого обжатия и всех потерь $\lambda=0,5$. Площадь поперечного сечения каната $A_{sp}=1,54$ см² [14-15]. Число канатов в сечении $n=1, 2, 3$. Насыщение сечений дополнительным армированием $\mu=(0,091-0,182-0,272)\%$. Усилие преднапряжения $N_{sp}=n\lambda R_{s,n}A_{s,p}$.

Начальная стрела провиса канатов f_0 определяется траекторией расположения каната. Полный провис каната равен $f=f_a+f_0$, где f_a - прогиб элемента в центре пролета определяется требованиями норм, установленными для конструкции.

Величины отрицательных моментов, вызванных отпором вант при различном числе канатов n и относительных прогибах k , определялись при нагрузках 6-8-10-12-14 кН/м². Результаты вычислений представлены на рис. 2 и 3. Величина отпорного момента зависит от стрелки провиса каната и достигает для плит, при различных величинах положительного момента, 15÷35%. Основная часть снижения моментов за счет отпора вант достигается за счет начального эксцентриситета, полученного при укладке высокопрочной арматуры в плиту, которая составляет 10÷22%. Обращает на себя внимание связь: нагрузка-степень влияния на моменты. При

возрастании нагрузки с 6 до 14 кН/м² влияние отпора на уменьшение моментов при начальных эксцентриситетах составляет 10-24%, а при относительных прогибах $l/100$ доля снижения равна 12÷28% (рис. 2).

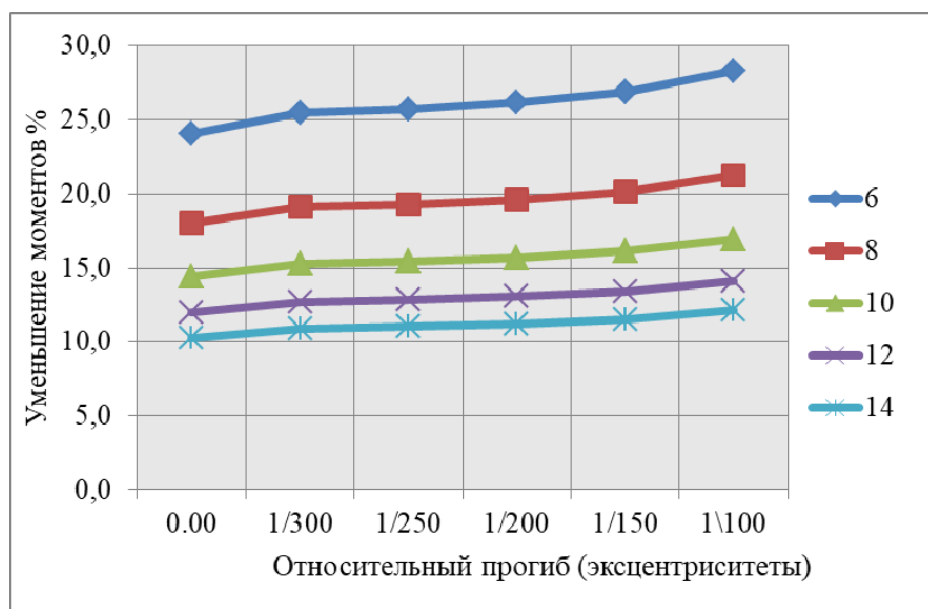


Рис. 2. - Снижение положительных моментов за счет отпора вант в зависимости от нагрузки и относительных прогибов

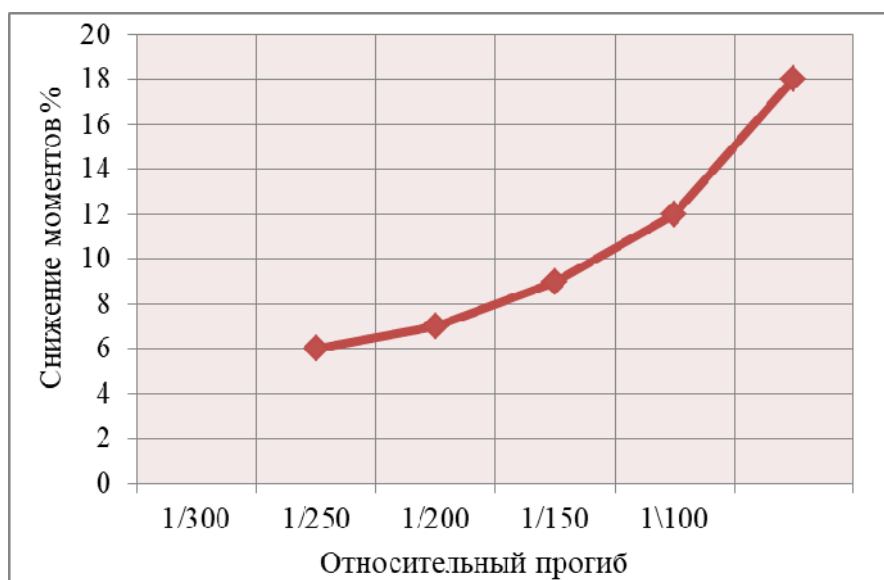


Рис. 3. Динамика снижения моментов в зависимости от прогиба

Очевидно, что влияние относительных прогибов на снижение моментов не зависит от величины внешней нагрузки, а основными факторами снижения положительных моментов являются начальный

эксцентриситет и приобретенный в процессе эксплуатации прогиб. Доля снижения моментов при увеличении прогибов с $l/300$ до $l/100$ составляет $6\div 18\%$ (рис. 3).

Таким образом, учет влияния преднапряженной арматуры в расчетах прочности плит снижает моменты по сравнению с плитами без преднапряжения на $10\div 20\%$, что позволяет увеличивать пролеты конструкции и сделать их более экономичными за счет уменьшения расхода обычной арматуры.

Полученные результаты могут быть использованы при расчетах прочности плит и балок при использовании высокопрочной арматуры без сцепления с бетоном.

Литература

1. Muttoni Aurelio. Conception et dimensionnement de la precontrainte. Ecole polytechnique federale. Lausanne, 2012. С. 5-9.
 2. Paille G.M. Calcul des structures en beton arme. AFNOR. Paris, 2013. С. 23-24.
 3. Seinturiere P. Etat limite de service. IUT. Génie. Civil de Grenoble, 2006. С. 19-22.
 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. Портаев Д.В. Опыт расчета монолитных преднапряженных конструкций в программном комплекса scad с использованием метода эквивалентных нагрузжений. URL: scadsoft.com/download/Portaev2012.pdf.
 6. 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.
-

7. Кузнецов В.С., Шапошникова Ю.А. К определению напряжений в арматуре без сцепления с бетоном в безбалочных перекрытиях // Промышленное и гражданское строительство. 2015. №3. С. 50-53.
 8. 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.
 9. La norme NBN EN 1992-1-1. Eurocode 2. 1998.
 10. BS8110. British standart. Structural use of concrete. 2010.
 11. ТКП 45-5.03-135-2009 (02250) Железобетонные предварительно напряженные конструкции без сцепления арматуры с бетоном. Правила проектирования. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. Минск, 2010.
 12. 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.
 13. Информационный лист. ПСК Строитель. Элементы систем преднапряжения. Куплер типа М/МЕ. URL: psk-stroitel.ru/oborudovanie/elementy-sistem-prednapryazheniya/kupler-tipa-m-me.html.
 14. ETA-06/0022. Dywidag bonded post-tensioning system for 3 to 37 strands (140 and 150 mm²). 2005.
 15. ETA-03/0036. Post-tensioning kit for prestressing of structures with unbonded monostrands for concrete. 2004.
 16. Кузнецов В.С., Шапошникова Ю.А. К определению напряженно-деформированного состояния безбалочных перекрытий со смешанным армированием // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №2. С. 54-57.
-

17. Кузнецов В.С., Шапошникова Ю.А. Прочность преднапряженного монолитного безбалочного перекрытия в стадиях изготовления и разрушения // Системные технологии. 2016. №1/18. С. 85-92.

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

References

1. Muttoni Aurelio. Conception et dimensionnement de la precontrainte. Ecole polytechnique federale. Lausanne, 2012. Pp. 5-9.

2. Paille G.M. Calcul des structures en beton arme. AFNOR. Paris, 2013. Pp. 23-24.

3. Seinturiere P. Etat limite de service. IUT. Génie. Civil de Grenoble, 2006. Pp. 19-22.

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

5. Portaev D.V. Opyt rascheta monolitnyh prednaprjazhennyh konstrukcij v programmnom kompleksa scad s ispol'zovaniem metoda jekvivalentnyh zagruzhenij [Experience in calculating monolithic prestressed structures in the scad software package using the equivalent load method]. URL: scadsoft.com/download/Portaev2012.pdf.

6. Stemkovsky M.S., Meretukov Z.A., Mayilyan V.D., Kubasov A.Yu. Inzenernyj vestnik Dona. 2017. №4 . URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4420.

7. Kuznetsov V.S., Shaposhnikova Yu.A. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 2015. №3. Pp. 50-53.

8. Martynyuk A.A., Mayilyan D.R. Inzenernyj vestnik Dona. 2018. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4985.

9. La norme NBN EN 1992-1-1. Eurocode 2. 1998.

10. BS8110. British standart. Structural use of concrete. 2010.

11. ТКР 45-5.03-135-2009 (02250) Zhelezobetonnye predvaritel'no naprjazhennye konstrukcii bez scepleniya armatury s betonom. Pravila proektirovaniya. Ministerstvo arhitektury i stroitel'stva Respubliki. [Reinforced concrete prestressed structures without coupling reinforcement with concrete. Design rules. Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus]. Minsk (Rus), 2010.

12. Sitnikov S.L., Miryushenko Ye.F. Sposob izgotovlenija predvaritel'no naprjazhennyh zhelezobetonnyh konstrukcij i monostrend. Patent na izobretenie № 2427686 [A method of manufacturing prestressed reinforced concrete structures and a monostrand. Patent for invention № 2427686] (Rus). M., 2011. URL: freepatent.ru/patents/2427686.

13. Information sheet. CPM Builder. Elements of prestressing systems. Cooper type M/ME [Information sheet. CPM Builder. Elements of prestressing systems. Cooper type M/ME] (Rus). URL: psk-stroitel.ru/oborudovanie/elementy-sistem-prednapryazheniya/kupler-tipa-m-me.html.

14. ETA-06/0022. Dywidag bonded post-tensioning system for 3 to 37 strands (140 and 150 mm²). 2005.

15. ETA-03/0036. Post-tensioning kit for prestressing of structures with unbonded monostrands for concrete. 2004.

16. Kuznetsov V.S., Shaposhnikova Yu.A. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2016. №2. Pp. 54-57.

17. Kuznetsov V.S., Shaposhnikova Yu.A. Sistemnye tehnologii (Rus). 2016. №1/18. Pp. 85-92.

18. Umansky A.A. Spravochnik proektirovshhika. Raschetno-teoreticheskij. [Designer's reference book. Settlement-theoretical]. T. 2. ed. A.A. Umansky, 1973. Pp. 18-21.