

УДК 69.07

DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-1-40-47

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОЙ АРМАТУРЫ БЕЗ СЦЕПЛЕНИЯ С БЕТОНОМ В МОНОЛИТНЫХ БЕЗБАЛОЧНЫХ ПЕРЕКРЫТИЯХ

В.С. Кузнецов, Г.Е. Полехина, Ю.А. Шапошникова

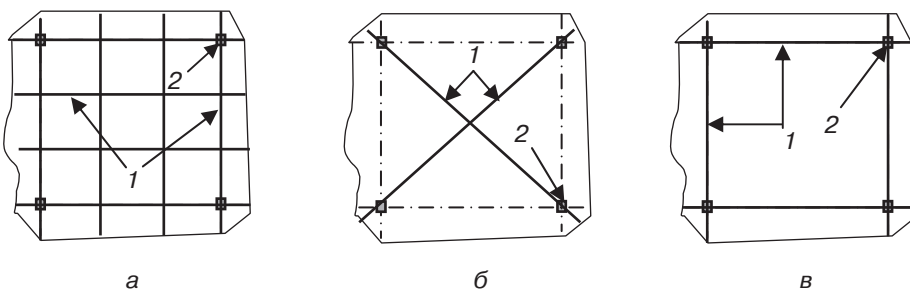
Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет  
Ярославское шоссе, 26, Москва, Россия, 129337

Расчет прочности безбалочных перекрытий без сцепления арматуры с бетоном может быть уточнен за счет учета работы каната как элемента вантовой системы. В работе рассматриваются границы применимости высокопрочной арматуры при полном использовании ее прочности для достижения наиболее эффективных конструкций.

**Ключевые слова:** прогиб, ванта, моностренд, преднапряжение, высокопрочная арматура, монолитное безбалочное перекрытие

Одним из недостатков, препятствующих широкому распространению безбалочных перекрытий, является развитие чрезмерных прогибов в центре плиты. Так, при пролетах более 7 м нормы рекомендуют для уменьшения прогибов устраивать капители или дополнительно применять высокопрочную преднапряженную арматуру без сцепления с бетоном [1; 2].

Расположение обычной арматуры в перекрытии (фоновая арматура), как правило, принимается ортогональным, с рабочими стержнями параллельно разбивочным осям [3].



**Рис. 1.** Схемы возможного расположения напрягаемой арматуры в ячейке плиты безбалочного перекрытия:

а) равномерное, б) диагональное, в) контурное;

1 — напрягаемая арматура, 2 — колонны

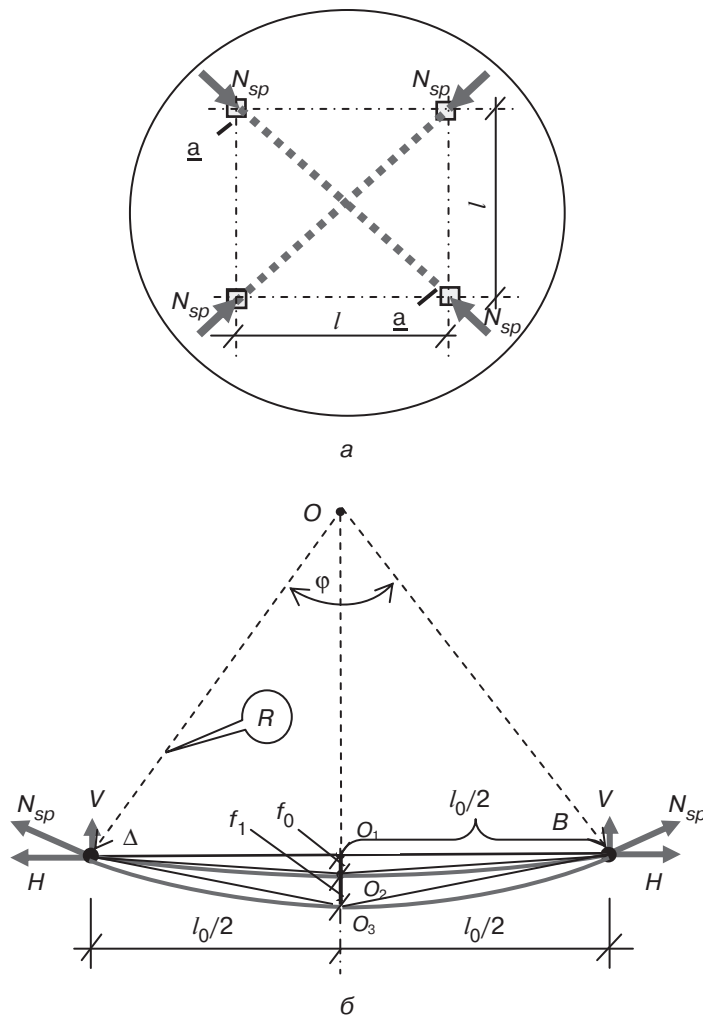
[Slab reinforcement scheme: a) uniform, b) diagonal, c) contour;

1 — prestressed reinforcement, 2 — column]

Напрягаемая арматура в плане может укладываться в соответствии с одной из схем (см. рис. 1). Первоначальное расположение канатов по высоте сечения, как правило, соответствует ожидаемой эпюре моментов и при равномерно распределенной нагрузке может быть представлено частью окружности или параболы. В настоящей работе форма провисания каната представлена дугой описанной окружности, проходящей через вершины равнобедренного треугольника, основание которого равно пролету нити, а высота — заданному прогибу.

До снятия опалубки начальный провис нити (прогиб)  $f_0$  определяется расстоянием между центрами тяжести напрягаемой арматуры на опоре и в пролете (рис. 2) и равен

$$f_0 = h - a - a'. \quad (1)$$



**Рис. 2.** К определению усилий в преднапряженной арматуре плиты перекрытия (схема б):  
 а) расположение напрягаемой арматуры в плане, б) расчетная схема ванты  
 [Determination of efforts prestressed reinforcement (b scheme):  
 a) the location of the prestressing reinforcement, b) design scheme cable]

Радиус описанной окружности определяется параметрами треугольника  $ABO_2$  и равен

$$R_0 = abc/4S, \quad (2)$$

где  $a = b = AO_2 = BO_2$ ;  $c = AB = l_0$  — расчетная длина нити, равна расстоянию между осями колонн.

При диагональном расположении канатов  $c = l_0 = 12\,730$  мм, при контурном  $c = l_0 = 9000$  мм.

$S_0$  — площадь треугольника  $ABO_2$

$$a = b = \sqrt{(l/2)^2 + f_0^2}, \quad (3)$$

$$S_0 = cf_0/2. \quad (4)$$

Центральный угол  $\varphi$  находится из треугольника  $OAB$

$$\sin \varphi = l_0/R_0. \quad (5)$$

Длина дуги  $L_0$ , заключенной в секторе  $AOB$ ,

$$L_0 = \pi R\varphi/180. \quad (6)$$

Начальное усилие  $N_{sp0}$  при коэффициенте преднапряжения  $k$

$$N_{sp0} = k \cdot \sigma_{sp0} \cdot n \cdot A_{sp}. \quad (7)$$

Начальный распор  $H_0$  и отпор  $V_0$

$$L_0 = N_{sp0} \sin \varphi/2. \quad (8)$$

После снятия опалубки начальное продольное усилие в канатах  $N_{sp0}$  возрастает за счет увеличения прогибов под действием собственного веса и временной нагрузки.

При достижении заданного прогиба  $f_1$  общий провис ванты равен

$$f_n = f_0 + f_1. \quad (9)$$

Радиус окружности  $R_1$  находится из треугольника  $ABO_3$  аналогично приведенному выше расчету.

Новая длина дуги  $L_1$ , заключенная в секторе  $AOB$ ,

$$L_1 = \pi R_1\varphi/180. \quad (10)$$

Относительное удлинение каната

$$\varepsilon = (L_1 - L_0)/L_0. \quad (11)$$

Приращение напряжений в канатах составляет

$$\Delta\sigma = E_s \varepsilon. \quad (12)$$

Новое значение напряжение в канатах

$$\sigma_{sp1} = (\sigma_{sp0} + \Delta\sigma)nA_{sp}. \quad (13)$$

Усилие в канатах

$$N_{sp1} = \sigma_{sp1}nA_{sp}. \quad (14)$$

Распор  $H_1$  и отпор  $V_1$

$$H_1 = N_{sp1} \cos \varphi/2, \quad (15)$$

$$V_1 = N_{sp1} \sin \varphi/2. \quad (16)$$

Таким образом, устанавливая определенный уровень (относительного или абсолютного) прогиба, можно вычислить приращение напряжений в канатах, вертикальную составляющую-отпор и оценить его влияние на прогибы.

*Схема «б».* Исследовалось монолитное безбалочное перекрытие  $9 \times 9$  м с диагональной напрягаемой арматурой. Толщина плиты  $h = 200$  мм, защитный слой  $a = a' = 30$  мм. Бетон плиты и колонн класса В30. Обычная арматура класса А500С. Преднапрягаемая арматура — три каната 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. Начальный уровень преднапряжения с учетом упругого обжатия и всех потерь  $\sigma_{sp0} = k \cdot R_{s,n}$ . Коэффициент  $k$  принимался 0,5; 0,6; 0,7. Начальная стрела провиса канатов  $f_0 = h - a - a' = 200 - 30 - 30 = 140$  мм (см. рис. 2). Величины прогибов в центре плиты изменялись в пределах  $1/250 \div 1/150$  от расстояния в свету между внутренними гранями колонн (8700 мм) [4–7].

Вычисленные величины приращение напряжений в канатах  $\Delta\sigma$  и максимальные значения  $\sigma_{sp0}$  при различных уровнях преднапряжения и прогибов, представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Напряжения в канатах при различных уровнях преднапряжения и прогибов (схема «б»)**  
**[Stresses in cables at various levels prestressing and deflections (Scheme «б»)]**

Начальный $f_0$ , м	Прогиб			Приращение напряжений $\Delta\sigma$ , МПа	Величины преднапряжения при $\sigma_{sp0} = kR_{sn}$		
	Дополнительный		Общий $f_1 = f_0 + \Delta f$ , м		$k = 0,5$	$k = 0,6$	$k = 0,7$
	Относительный	Абсолютный $\Delta f$ , м			$\sigma_{sp0}$ , МПа	$\sigma_{sp0}$ , МПа	$\sigma_{sp0}$ , МПа
0,14	0	0,14	0,14	0	930	1 116	1 302
	1/250	0,0348	0,1748	162,14	1 155,67	1 341,67	1 527,67
	1/225	0,0387	0,1787	183,23	1 183,79	1 369,79	1 555,79
	1/200	0,0435	0,1835	289,82	1 219,82	1 405,82	1 591,82
	1/175	0,0497	0,1897	337,54	1 267,54	1 453,54	1 639,54
	1/150	0,058	0,1980	1 227,86	1 333,63	1 519,63	1 705,63

Схема «в». Перекрытие  $9 \times 9$  м, армированное по схеме «в». Преднапрягаемая арматура — три каната класса К70 «моностренд», расположенные по контуру. Характеристики бетона и арматуры, геометрические характеристики сечения как в схеме «в». Расчетный пролет нити принят равным расстоянию между осями колонн 12 730 мм.

При определении напряжений в канатах следует учитывать, что при прогибе в центре пролета, например,  $f = l/250 = 8700/250 = 34,8$  мм максимальный прогиб в середине пролета в надколонной полосе равен  $0,76f$ , т.е. 26,4 мм, что составляет  $l/330$  [7]. Таким образом, данное обстоятельство следует учитывать при оценке эффективности преднапряжения в безбалочных перекрытиях при контурном расположении канатов.

Вычисленные величины приращения напряжений в канатах и итоговые значения при различных уровнях преднапряжения и прогибов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Напряжения в канатах при различных уровнях преднапряжения и прогибов (схема «в») [Stresses in cables at various levels prestressing and deflections (Scheme «в»)]

Начальный $f_0$ , м	Прогиб			Общий $f_1 = f_0 + \Delta f$ , м	Приращение напряжений $\Delta\sigma$ , МПа	Напряжения в канате при $\sigma_{sp0} = kR_{sn}, k = 0,7$ МПа
	Дополнительный		Абсолютный			
	Относительный прогиб	На контуре				
0,14	В центре	На контуре				
	0	0	0	0,14	0	1 302
	1/250	1/330	0,0264	0,1664	166,4	1 468,4
	1/225	1/296	0,0294	0,1694	187,3	1 489,3
	1/200	1/263	0,0331	0,1731	213,3	1 515,5
	1/175	1/230	0,0378	0,1778	247,6	1 549,6
1/150	1/197	0,0441	0,1841	294,8	1 596,8	

Фактическое распределение отпора по длине ванта зависит от формы провисания каната и вида нагрузки. Траектория провисания каната определяется его начальным расположением, зафиксированным затвердевшим бетоном и приобретенным прогибом. Для безбалочных перекрытий при толщинах плиты  $h = 0,2 \div 0,25$  м и пролете  $l = 9$  м, отношение  $l/h = 36 \div 45$  и угол выхода ванта не превышает  $2-4^\circ$ . При равномерно распределенной нагрузке и траектории ванта по дуге окружности, отпор в произвольной точке зависит от текущего угла наклона ванта и равен нулю в середине пролета и максимальному на опоре (рис. 2, 3).

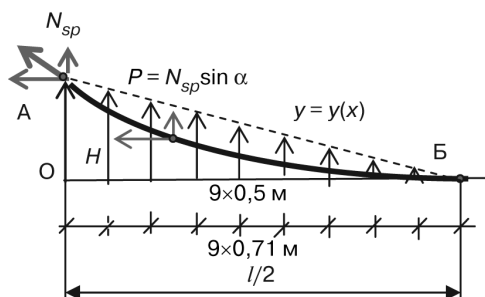


Рис. 3. К расчету отпора ванта [Calculation of resistance to cable]

Полная величина отпора определяется площадью  $S$  фигуры АОБ и равна

$$S = \int_0^{l/2} y(x) dx, \quad (17)$$

где  $y = y(x)$  — уравнение изогнутой оси каната.

При аппроксимации провиса каната дугой окружности отпор равен

$$S = \int_0^{l/2} (R^2 - x^2)^{(1/2)} dx. \quad (18)$$

Здесь  $R$  — радиус описанной окружности, найденный в соответствии с рис. 2.

При указанных выше углах выхода каната, с достаточной точностью, отпор может быть определен площадью треугольника АОБ

$$S = V \frac{l}{4}, \quad (19)$$

где  $V$  — вертикальная составляющая усилия  $N_{sp}$  на опоре, вычисляемая по формулам 15 и 19.

**Выводы.** Применение высокопрочной предварительно напряженной арматуры без сцепления с бетоном уменьшает прогибы плиты перекрытия по сравнению с плитой без преднапряжения [8; 9].

Для удовлетворения требований первой группы предельных состояний по прочности установление уровня преднапряжения канатов должно производиться с учетом возможного достижения в высокопрочной арматуре расчетных напряжений при нормативных прогибах.

© Кузнецов В.С., Полехина Г.Е., Шапошникова Ю.А., 2017

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] СНиП 52.102.2004 «Предварительно напряженные железобетонные конструкции». 2012.
- [2] La norme NBN EN 1992-1-1 (Eurocode 2). 1998.
- [3] Бардышева Ю.А., Кузнецов В.С., Талызова Ю.А. Конструктивные решения безбалочных безкапитальных перекрытий с предварительно напряженной арматурой // Вестник МГСУ. 2014. № 6. С. 44–51.
- [4] Ситников С.Л. Патент на изобретение № 2427686 «Способ изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций и моностренд». М., 2011.
- [5] Freyssiner F. “Naissance et perspectives du betonprecontraint”. Montevideo. 1964.
- [6] Paille G.M. “Calcul des structures en betonarme”. AFNOR, Paris. 2013.
- [7] Справочник проектировщика расчетно-теоретический. Т. 2. М.: Стройиздат, 1973.
- [8] 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.
- [9] Портаев Д.В. Расчет и конструирование монолитных преднапряженных конструкций гражданских зданий. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2011. С. 24–62.

**История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 18 декабря 2016

Дата принятия к печати: 22 января 2017

**Для цитирования:**

Кузнецов В.С., Полехина Г.Е., Шапошникова Ю.А. Эффективность применения высокопрочной арматуры без сцепления с бетоном в монолитных безбалочных перекрытиях // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2017. Т. 18. № 1. С. 40—47.

**Сведения об авторах:**

*Кузнецов Виталий Сергеевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры архитектурно-строительного проектирования (АСП), филиал ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ» (Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет). *Сфера научных интересов*: монолитные и сборные конструкции с использованием высокопрочной арматуры со сцеплением и без сцепления с бетоном в современном строительстве зданий и сооружений. *Контактная информация*: e-mail: vitaly.ggh2014@yandex.ru.

*Полехина Галина Евгеньевна*, кандидат прикладных наук, доцент кафедры прикладной механики и математики (ПММ), филиал ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ» (Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет). *Сфера научных интересов*: физико-механическое моделирование явлений и процессов в строительных конструкциях. *Контактная информация*: e-mail: polekhina\_ge@mail.ru.

*Шапошникова Юлия Александровна*, инженер кафедры железобетонных и каменных конструкций (ЖБК), ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ» (Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет). *Сфера научных интересов*: монолитное строительство, преднапряженные конструкции без сцепления и со сцеплением с бетоном, современные строительные конструкции, уникальные здания и сооружения. *Контактная информация*: e-mail: yuliatalyzova@yandex.ru.

## **EFFICIENCY USE HIGHFITTING WITHOUT CLUTCH WITH CONCRETE IN THE MONOLITHIC BEAMLESS FLOORS**

**V.S. Kuznetsov, G.E. Polehina, Yu.A. Shaposhnikova**

Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)  
Jaroslavskoe shosse, 26, Moscow, Russia, 129337

Calculation of the strength of beamless floors without reinforcement with concrete adhesion can be refined by taking into account the work of the rope as part of the cabling system. This paper considers the limits of applicability of high-strength reinforcement making full use of its strength in order to achieve the most efficient designs.

**Key words:** deflection, guy, monostrend, prestressing, high-strength reinforcement, monolithic beamless floors

## REFERENCES

- [1] SNiP 52.102.2004 «Predvaritel'no naprjazhennye zhelezobetonnye konstrukcii». 2012.
- [2] La norme NBN EN 1992-1-1 (Eurocode 2). 1998.
- [3] Bardysheva Ju.A., Kuznecov V.S., Talyzova Ju.A. Constructive solutions for beamless capitalless floors with prestressed reinforcement. *Vestnik MGSU*. 2014. № 6. S. 44–51.
- [4] Citnikov S.L. Patent na izobrenenie № 2427686 «Sposob izgotovlenija predvaritel'no naprjazhennyh zhelezobetonnyh konstrukcij i monostrend». Moskva, 2011.
- [5] Freyssiner F. “Naissance et perspectives du betonprecontraint”. Montevideo. 1964.
- [6] Paille G.M. “Calcul des structures en betonarme”. AFNOR. Paris. 2013.
- [7] Spravochnik proektirovshhika raschetno-teoreticheskij. T. 2. Moskva: Stroji-zdat, 1973.
- [8] Kuznecov V.S., Shaposhnikova Ju.A. K opredelenijunaprjazhenij v armature bezscepnenija s betonom v bezbalochnyhperekrytijah. *Promyshlennoe i grazhdanskoestroitel'stvo*. 2015. № 3. S. 50–53.
- [9] Portaev D.V. Raschet i konstruirovanie monolitnyx prednapryazhennyx konstrukcij grazhdanskix zdaniij. Moskva: Izdatel'stvo Associacii stroitel'nyx vuzov. 2011. S. 24–62.

### Article history:

Received: 18 December 2016

Accepted: 22 January 2017

### For citation:

**Kuznetsov V.S., Polekhina G.E., Shaposhnikova Yu.A. (2017) Efficiency use highfitting without clutch with concrete in the monolithic beamless floors. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(1), 40–47.**

### Bio Note:

*Vitaliy S. Kuznetsov*, candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Architectural and Construction Design (TSA) of the State Educational Establishment of Higher Professional Education in the NIU MGSU in Mytishchi branch (National Research Moscow State University of Civil Engineering). *Research Interests*: monolithic and prefabricated structures with the use of high-strength fittings with clutch and without adhesion to concrete in the modern construction of buildings and structures. *Contact information*: e-mail: vitaly.ggh2014@yandex.ru.

*Galina E. Polekhina*, Candidate of Applied Sciences, Associate Professor of Applied Mechanics and Mathematics (PMM) Department of the State Educational Establishment of Higher School of Economics in the city of Mytishchi branch (National Research Moscow State University of Civil Engineering). *Research Interests*: physical and mechanical modeling of phenomena and processes in building structures. *Contact information*: e-mail: polekhina\_ge@mail.ru.

*Yulia A. Shaposhnikova*, Engineer, Department of Reinforced Concrete and Stone Structures (ZHBK), FGBOU VO “NIU MGSU” (National Research Moscow State University of Civil Engineering). *Research Interests*: Monolithic construction, prestressed constructions without adhesion and with adhesion to concrete, modern building structures, unique buildings and structures. *Contact information*: e-mail: yuliatalyzova@yandex.ru.