

ПРЕИМУЩЕСТВА АРМАТУРНОГО СТАЛЬНОГО КАНАТА С ТОЧЕЧНЫМ КАСАНИЕМ ПРОВОЛОК

В.А. Мусихин

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Представлено аналитическое исследование сложного напряжённо-деформированного состояния стального спирального каната с точечным касанием проволок. Исследуемый канат используется в качестве напрягаемой арматуры железобетонных конструкций. В настоящее время СП 52-102-2004 содержит только два вида стальных канатов: К1400 и К1500, которые являются канатами с линейным контактом проволок. В таких канатах длина проволок наружного слоя зависит от длины проволок внутреннего слоя. При этом проволоки каждого нового навиваемого слоя длиннее проволок внутреннего слоя и, таким образом, проволоки наружного слоя являются более деформативными. Следовательно, они менее нагружены, так как в стальном канате при растяжении в самых длинных проволоках возникают минимальные напряжения, а в самых коротких проволоках возникают максимальные напряжения из-за разницы деформативных характеристик. Напряжения в проволоках всегда распределены неравномерно. В канатах с точечным касанием проволок длина проволок наружного слоя не зависит от длины проволок внутреннего слоя. То есть можно подобрать длину наружных проволок таким образом, что расхождение длин (деформационных характеристик) проволок разных слоёв повива будет минимальным. При этом расхождение напряжений в проволоках разных слоёв также будет минимальным. Следовательно, увеличится коэффициент использования прочности проволок, который является детерминирующим критерием оптимизации конструкции стального арматурного каната.

Ключевые слова: стальной спиральный канат, использование прочности стальных проволок.

В настоящее время Свод правил [1], который является основным законодательным нормативным документом при проектировании предварительно напряжённых (ПН) железобетонных конструкций (ЖБК), из всего многообразия типов конструкций стальных арматурных канатов, разработанных как в нашей стране, так и за рубежом, рекомендует использовать в качестве напрягаемой арматуры большепролётных ПН ЖБК только два вида высокопрочной витой проволочной арматуры. Это стальные спиральные канаты классов К1400 (К-7 (1+6)) и К1500 (К-19 (1+9+9)) с линейным касанием (ЛК) проволок. Касание (контакт) смежных слоёв проволок называется линейным, если шаг свивки смежных слоёв проволок одинаков.

Максимальное распространение получили канаты К-7 (1+6), изготавливаемые согласно ГОСТ [2]. Конструкция поперечного сечения каната К1400 показана на рис. 1, а. Семипроволочный канат К-7 (1+6) состоит из сердечника, то есть центральной прямолинейной проволоки, и шести повивочных проволок, спирально уложенных вокруг сердечника. Диаметр сердечника – 5,2 мм, диаметр повивочных проволок – 5,0 мм.

Канаты класса К-7 (1+6) начали использоваться в нашей стране при производстве большепролётных ПН ЖБК после Великой Отечественной войны. Инструктивное письмо [3] представляет собой первый нормативный документ, где сформулированы базовые положения, основанные

на зарубежных экспериментах, по применению стальных семипроволочных прядей в качестве напрягаемой арматуры ПН ЖБК.

Канаты К-19 (1+9+9) изготавливаются согласно ТУ [4]. Конструкция поперечного сечения каната К1500 показана на рис. 1, б. Девятнадцатипроволочный канат К-19 (1+9+9) состоит из сердечника диаметром 4,2 мм, девяти повивочных проволок первого слоя диаметром 2,0 мм и девяти повивочных проволок второго слоя диаметром 3,5 мм.

Канаты класса К-19 (1+9+9) начали использоваться в качестве предварительно напряжённой арматуры большепролётных ПН ЖБК в 50-е годы прошлого века в Англии. Там они получили название канатов типа «Seale» [5]. Затем они стали широко применяться в Италии, США, Японии и других странах с развитой строительной индустрией.

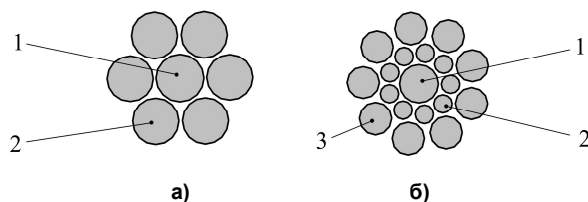


Рис. 1. Поперечные сечения канатов: а) К1400 (К-7), б) К1500 (К-19). 1 – центральная прямолинейная проволока (сердечник), 2 – повивочная проволока первого слоя, 3 – повивочная проволока второго слоя

Теория расчета строительных конструкций

На рис. 2 показано линейное касание проволок. Представлены различные системы координат в конструкции каната и его элементов. Система декартовых координат: оси X , Y и Z , при этом ось X совпадает с центральной осью каната, оси Y и Z находятся в поперечном сечении каната. Система полярных координат, расположенная в поперечном сечении каната: радиус r и угол φ . Система подвижных координат: оси b , n и t . Ось t представляет собой касательную к винтовой оси повивочной проволоки S . Ось n это продолжение полярного радиуса r в рассматриваемой точке винтовой линии S . Ось b нормальна к осям n и t таким образом, чтобы трёхгранник b , n и t образовывал правую систему координат. Оси проволок: винтовые линии S_1 и S_2 ; α_1 и α_2 – постоянные углы свивки, под которыми винтовые линии S_1 и S_2 пересекают образующие цилиндра.

В статье [6] показано, что напряжения между сердечником и повивочными проволоками в канатах К-7 (1+6) и К-19 (1+9+9) распределены неравномерно. В зависимости от кратности свивки повивочных проволок напряжения в центральной проволоке каната К1400 превышают напряжения в повивочных проволоках на 0,9...1,6 %, а напряжения в центральной проволоке каната К1500 превышают напряжения в повивочных проволоках первого слоя на 1,5...2,0 % и в повивочных проволоках второго слоя на 4,7...6,1 %.

Сердечник всегда является максимально нагруженной проволокой каната с линейным касани-

ем проволок. Это явление объясняется существующим различием деформативной характеристики (длины) сердечника и повивочной проволоки. Сердечник (прямолинейная проволока) всегда короче повивочной (спиральной) проволоки и, следовательно, не может деформироваться наравне с ней. Также повивочные проволоки внутреннего слоя повива всегда более нагружены, чем повивочные проволоки наружного слоя (длина повивочных проволок каждого следующего слоя увеличивается).

Напряжения между различными элементами канатов К1400 и К1500 распределены неравномерно. По этой причине в тот момент, когда напряжения в максимально нагруженной проволоке каната достигают допустимого предела, напряжения в других проволоках каната ещё далеки от предельно допустимых напряжений. То есть прочностные свойства дорогостоящей арматурной стали не используются.

В настоящее время в некоторых странах Европы [7] в качестве напрягаемой арматуры ЖБК применяется стальной спиральный канат с точечным касанием (ТК) проволок класса К1500 (К-19 (1–6+12)) (рис. 3). Касание (контакт) смежных слоёв проволок называется точечным, если шаг свивки смежных слоёв проволок различается.

Девятнадцатипроволочный канат К-19 (1–6+12) состоит из сердечника диаметром 3,3 мм, шести повивочных проволок первого слоя диаметром 3,0 мм и двенадцати повивочных проволок второго слоя диаметром 3,0 мм. Направление

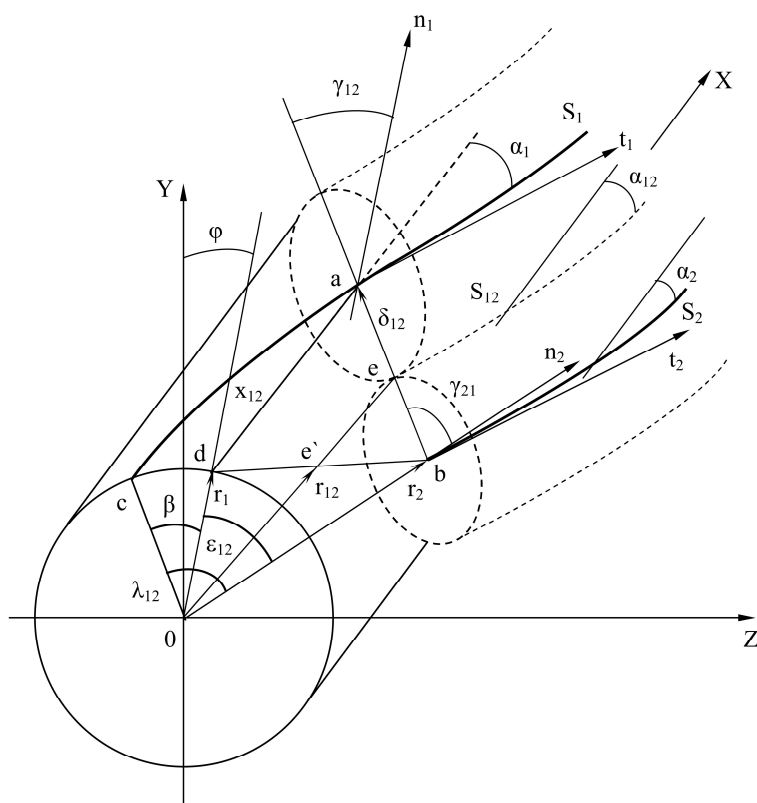


Рис. 2. Линейное касание проволок

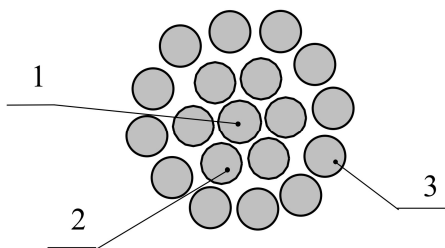


Рис. 3. Поперечное сечение каната К1500 (К-19 (1-6+12)): 1 – центральная прямолинейная проволока (сердечник), 2 – повивочная проволока первого слоя, 3 – повивочная проволока второго слоя

свивки первого слоя повива и второго слоя повива различны (проволоки разных слоёв повива перекрещиваются). При этом шаг свивки второго слоя значительно превышает шаг свивки первого слоя. Поэтому расхождение длин (деформационных параметров) проволок первого и второго слоёв повива отличаются незначительно.

Автором построена обобщённая математическая модель стального спирального каната с точечным касанием проволок (рис. 4), разработанная на основании дифференциальных уравнений Густава Роберта Кирхгофа (Kirchhoffa) для тонкого криволинейного стержня [8]. Эта математическая модель [9] позволяет определять сложное НДС элементов каната с учётом его геометрических характеристик и механических свойств стали.

На рис. 4 показано точечное касание проволок. Система декартовых координат: оси X, Y и Z,

этом ось X совпадает с центральной осью каната, оси Y и Z находятся в поперечном сечении каната. Оси повивочных проволок: винтовые линии S₁ и S₂. Точки контакта повивочных проволок разных слоёв повива: P₁ и P₂. Длина оси наружной проволоки между сечениями соприкосновения проволок различных слоёв S_v называется пролётом.

Если мы спроектируем точку контакта P₂ на поперечное сечение каната, в котором находится точка контакта P₁, то получим точку P₃. Эта точка смещена на некоторый угол ν относительно точки P₁. Угол ν называется углом пролёта.

На основе имеющейся математической модели написана программа для ЭВМ на языке Си, которая определяет сложное НДС в проволоках каната К-19 (1-6+12) при заданном внешнем растягивающем усилии для случая чистого растяжения каната (канат растягивается осевой силой N_x, и при этом его концы закреплены от вращения, то есть угол поворота каната на опорах $\theta = 0$).

В табл. 1 представлены результаты расчёта неравномерности распределения напряжений между сердечником и повивочными проволоками стального каната класса К-19 (1-6+12) [7] при различной кратности свивки повивочных проволок. Согласно [7] в этом канате кратность свивки повивочных проволок первого (внутреннего) слоя повива и второго (наружного) слоя повива может варьироваться в пределах от 8 до 16.

В табл. 1 введены обозначения:

N_x – внешняя осевая растягивающая сила; k₁, k₂ – кратность свивки повивочных проволок первого (внутреннего) и второго (наружного) слоя

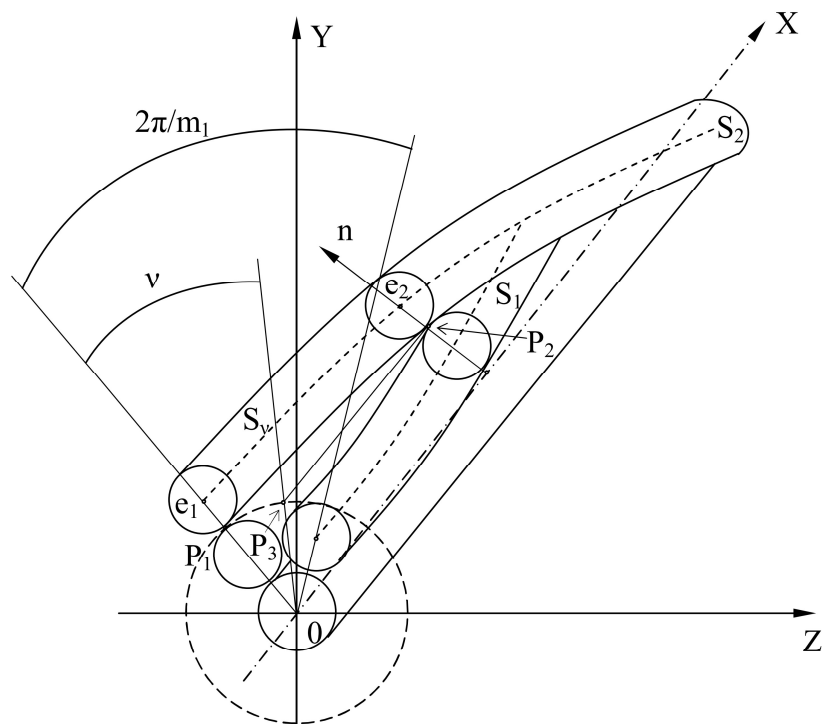


Рис. 4. Точечное касание проволок

Теория расчета строительных конструкций

повива; слои проволок: 0 – центральная проволока (сердечник), 1 – повивочная проволока первого слоя, 2 – повивочная проволока второго слоя; L_{nc} – разница длин сердечника и повивочной проволоки на участке длины каната равном одному шагу свивки повивочных проволок; σ_n – нормальные напряжения от осевого растяжения; σ_m – нормальные напряжения от изгиба; τ_t – касательные напряжения от кручения; σ_t – максимальные нормальные напряжения; Δ_n – расхождение вычисленных по программе напряжений в повивочной проволоке и сердечнике.

В табл. 1 величина $\min d_0$ представляет собой минимально допустимый диаметр сердечника каната, который определяется из условия плотного прилегания повивочных проволок к сердечнику и друг к другу, то есть из условия нормального контакта повивочных проволок с центральной проволокой и из условия собственного тангенциального контакта между повивочными проволоками. Программа рассчитывает величину $\min d_0$ каната К-19 (1–6+12) по исходным данным: внешнему диаметру первого слоя повивочных проволок и кратности свивки повивочных проволок первого слоя.

В расчётах, представленных в табл. 1, принимали модуль упругости стали $E_s = 1,8 \cdot 10^5$ МПа, согласно п. 2.2.2.6 СП [1], при этом модуль сдвига стали G_s принимали равным $E_s/3$ (как для несжимаемого материала).

Из табл. 1 видно, что в зависимости от кратности свивки повивочных проволок напряжения в центральной проволоке превышают напряжения в повивочных проволоках первого слоя на 1,21...1,65 % и в повивочных проволоках второго слоя на 1,98...2,14 %.

Таким образом, в канате К-19 (1–6+12) расхождение напряжений в сердечнике и в повивочных проволоках, то есть Δ_n , значительно меньше, чем в канате К-19 (1+9+9). Следовательно, напряжения между различными проволоками в канате К-19 ТК распределены более равномерно. Значит, прочностные свойства стальных проволок в канате К-19 (1–6+12) используются в большей степени, чем в канате К-19 (1+9+9).

На рис. 5 наглядно показано соотношение напряжений в различных элементах стальных канатов К-19 ЛК и К-19 ТК (масштаб условный). Эффективность использования прочностных свойств

Таблица 1

НДС каната К1500 (К-19(1–6+12)) ТК при различной кратности свивки

Канат	N_x , кН	k_1 , [ед] k_2 , [ед]	Слои проволок	$\min d_0$, мм	ΔL_{nc} , мм	Напряжения, МПа				Δ_n , %
						σ_n	σ_m	τ_t	σ_t	
К-19 (1–6+12) 15,3 мм	190	12,0 16,0	0	3,147		1465,9			1465,9	
			1		1,674	1422,4	19,7	1,3	1442,1	1,65
			2		3,182	1416,4	18,8	1,1	1435,2	2,14
		13,0 16,0	0	3,140		1457,5			1457,5	
			1		1,548	1418,5	18,7	1,1	1437,2	1,41
			2		3,182	1410,1	18,1	1,0	1428,2	2,05
		14,0 16,0	0	3,135		1451,9			1451,9	
			1		1,440	1416,7	17,8	1,0	1434,5	1,21
			2		3,182	1406,2	17,5	0,9	1423,7	1,98

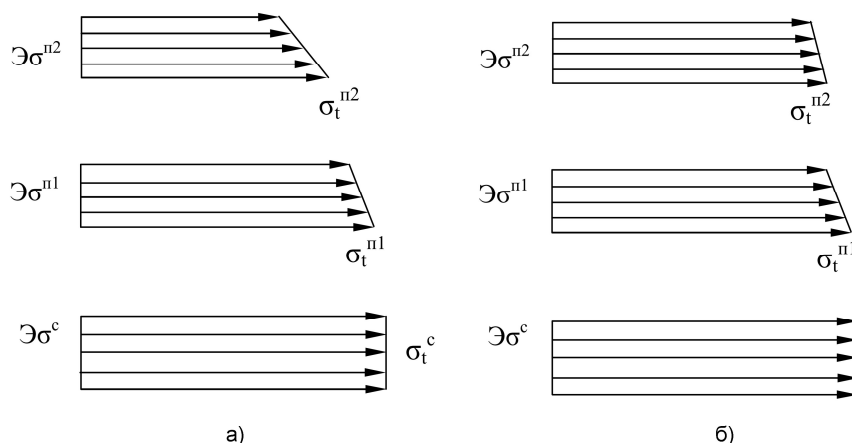


Рис. 5. Соотношение напряжений в элементах стальных канатов К-19 (1+9+9)ЛК (а) и К-19 (1–6+12)ТК (б) при осевом растяжении (с – сердечник, p1 – повивочная проволока первого слоя, p2 – повивочная проволока второго слоя)

отдельных проволок в канате К-19 ТК значительно выше.

В канате К-19 (1–6+12) расхождение напряжений в сердечнике и в повивочных проволоках, то есть Δ_n , практически не отличаются от расхождения напряжений в канате К-7 (1+6). При этом в канате К-19 ТК диаметр составляющих проволок значительно меньше (3 мм), чем в канате К-7 ЛК (5 мм). При изготовлении стальной проволоки для арматурных канатов используется операция холодного волочения, поэтому проволоки меньшего диаметра имеют более высокие прочностные характеристики. Следовательно, агрегатная прочность ($R_{s,n}$ – нормативное сопротивление на растяжение) у каната К-19 ТК выше, чем у каната К-7 ЛК.

Также необходимо помнить, что в настоящее время всё чаще используется технология натяжения гибкой канатной арматуры на бетон. При этом канат, состоящий из большого количества проволок малого диаметра, обладает значительно большей гибкостью и, следовательно, его проще подвергнуть операции натяжения в изогнутом каналообразователе.

На рис. 6 показан канат на приопорном участке ПН ЖБК, подвергнутый операции предварительного натяжения в каналообразователе изогнутой формы. Обычно форма каналообразователя подобна форме эпюры изгибающих моментов. На приопорном участке канат воспринимает часть внутреннего поперечного усилия Q , что позволяет устанавливать значительно меньше стержневой поперечной арматуры.

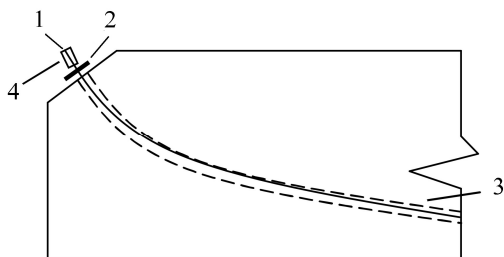


Рис. 6. Изогнутый канат на приопорном участке ПН ЖБК: 1 – канат; 2 – упор; 3 – каналообразователь; 4 – заливной анкер

Сравнивая конструкции стальных канатов, которые предназначены для применения в качестве предварительно напряжённой арматуры, необходимо учитывать их коррозионную стойкость. Коррозионная активность (отношение суммарного периметра проволок каната к суммарной площади

поперечного сечения проволок) является детерминирующей характеристикой коррозионной стойкости стального каната.

В табл. 2 представлены конструктивные и технологические параметры канатов К-7 (1+6) ЛК, К-19 (1+9+9) ЛК и К-19 (1–6+12) ТК.

В табл. 2 введены обозначения:

D_{yc} – условный диаметр каната, мм; D_n – номинальный диаметр каната, мм; A_k – площадь поперечного сечения каната, мм²; d_c – номинальный диаметр сердечника, мм; d_{n1} – номинальный диаметр повивочной проволоки первого слоя повива, мм; d_{n2} – номинальный диаметр повивочной проволоки второго слоя повива, мм; $R_{s,n}$ – нормативное сопротивление на растяжение, МПа; K_A – коррозионная активность стального каната, мм⁻¹.

Вероятность возникновения коррозионного процесса в стальном арматурном канате возрастает с увеличением его коррозионной активности.

Коррозионная активность каната К-19 ТК выше коррозионной активности канатов К-7 и К-19 ЛК.

Зарубежные строительные нормативные документы [10] запрещают использование предварительно напрягаемой канатной арматуры из стальной высокопрочной проволоки без превентивной антикоррозионной защиты. Разумеется, исходная стоимость защищённой от коррозии арматуры повышается, так как превентивные защитные мероприятия весьма затратные. Но средства, требуемые на превентивную защиту арматуры, компенсируются значительной экономией эксплуатационных расходов.

Из более чем 60 существующих различных органических порошковых покрытий для защиты от коррозии арматуры лучшие результаты показали покрытия на основе эпоксидной смолы, пропитанной крупным песком [11].

Следовательно, технологический недостаток каната К-19 ТК (высокая коррозионная активность) может быть полностью исправлен превентивными мерами по защите стальной арматуры от коррозии (применением различных органических покрытий).

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что применение каната К-19 (1–6+12) ТК:

1) повышает эффективность использования прочностных свойств дорогостоящей высокопрочной арматурной стали по сравнению с канатом К-19 (1+9+9) ЛК, так как в канате К-19 ТК напряжения между различными проволоками каната распределены более равномерно, то есть коэффици-

Таблица 2

Конструктивные и технологические характеристики стальных канатов

Класс каната	Нормы	D_{yc}	D_n	A_k	d_c	d_{n1}	d_{n2}	$R_{s,n}$	K_A
К-7 (1+6)	ГОСТ [2]	15,0	15,2	138,98	5,2	5,0		1400	0,795
К-19 ЛК	ТУ [4]	14,0	14,2	128,65	4,2	2,0	3,5	1500	1,310
К-19 ТК	местные	15,0	15,3	135,72	3,3	3,0	3,0	1500	1,326

ент использования прочности проволок у каната К-19 (1–6+12) ТК выше;

2) снижает расход дорогостоящей высокопрочной арматурной стали по сравнению с канатом К-7 (1+6) ЛК, так как прочность каната К-19 (1–6+12) ТК значительно выше за счёт использования проволок меньшего диаметра (у К-7 (1+6) ЛК $R_{s,n} = 1400$ МПа согласно табл. 7 [1], а у К-19 (1–6+12) ТК $R_{s,n} = 1500$ МПа);

3) повышает технологичность канатной арматуры при операции предварительного натяжения в каналообразователях изогнутой формы за счёт большей гибкости каната.

В период бурного развития ПН сборного железобетона в 60-е годы XX века в нашей стране использовались стальные арматурные канаты самых разных конструкций [12]. Автор полагает, что в настоящее время в ПН ЖБК можно применять стальной канат К-19 (1–6+12) ТК, так как с одной стороны многолетний опыт использования К-19 ТК в других странах положительный, а с другой стороны результаты вышеизложенного исследования показывают, что К-19 ТК по конструктивным параметрам превосходит применяемые канаты К-7 ЛК и К-19 ЛК.

Литература

1. СП 52-102-2004 *Предварительно напряжённые железобетонные конструкции / Госстрой России*. – М.: ФГУП ЦПП, 2005. – 37 с.
2. ГОСТ 13840-68 *Канаты стальные арматурные 1×7. Технические условия*. – М.: Стандартиздат, 1995. – 8 с.
3. *Инструктивное письмо о применении семипроволочных стальных прядей для армирования предварительно напряжённых железобетонных конструкций*. – АСИА СССР, НИИЖБ. – М.: Бюро технической информации НИИ организации, механизации и тепломощи, 1959. – 12 с.
4. *Технические условия ТУ 14-4-22-71 Канаты стальные арматурные 1×19 (девятнадцатипроволочные арматурные пряди)*. – М.: МЧМ СССР, 1971. – 17 с.
5. Брискин, Н.Я. *Механические свойства девятнадцатипроволочных арматурных канатов конструкции 1×19 / Н.Я. Брискин // Высокопрочная витая проволочная арматура: сб. науч. тр.* – М.: НИИЖБ, 1972. – С. 13–29.
6. Мусихин, В.А. *Сравнение арматурных канатов класса К1400 (К-7) и класса К1500 (К-19) / В.А. Мусихин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. – 2013. – Т. 13, № 2. – С. 22–27.
7. Леонгардт, Ф. *Предварительно напряжённый железобетон / Ф. Леонгардт; пер. с нем. В.Н. Гаранина*. – М.: Стройиздат, 1983. – 246 с.
8. Кирхгоф, Г.Р. *Избранные труды / Г.Р. Кирхгоф; отв. ред. Л.С. Полак; изд. подготов. Е.И. Погребысская, Л.С. Полак*. – М.: Наука, 1988. – 428 с.
9. Мусихин, В.А. *Расчёт и конструирование стальных спиральных канатов, используемых в качестве предварительно напряжённой арматуры железобетонных конструкций: дис. ... канд. техн. наук / В.А. Мусихин*. – Челябинск, 2003. – 206 с.
10. European Standard “Prestressing steels – Part 3: Strand”, Ref. No. prEN 10138-3:1999 E. – Brussels: European Committee for Standardization, 1999. – 15 p.
11. Cousins, T.E. *Transfer Length of Epoxy-Coated Prestressing Strand / T.E. Cousins, D.W. Johnston, P. Zia // ACI Materials Journal*. – 1990. – May–June. – V. 87, No. 3. – P. 193–203.
12. Михайлов, В.В. *Предварительно напряжённые железобетонные конструкции с проволочной и прядевой арматурой / В.В. Михайлов, А.А. Фоломеев*. – М.: Стройиздат, 1971. – 272 с.

Мусихин Владимир Аркадьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительные конструкции и инженерные сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), musixin-v@mail.ru

Поступила в редакцию 14 января 2016 г.

DOI: 10.14529/build160202

ADVANTAGES OF PRESTRESSED STEEL STRAND WITH POINT CONTACT OF WIRES

V.A. Musikhin, musixin-v@mail.ru
South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

An analytical study of complex stress-strain state of the steel twisted rope with point contact of wires is introduced. The rope under investigation is used as a prestressed reinforcement of concrete structures. Currently, the set of rules and regulations SP 52-102-2004 contains only two types

of steel strands: K1400 and K1500, which are the ropes with line contact of wires. The length of the wires of outer layer in such ropes depends on the length of the wires of inner layer. And at the same time the wires of each new independent layer are longer than the wires of inner layer and, thus, the wires of outer layer are more deformable. Consequently, they are less loaded, since minimum stress occurs in the longest wires, and maximum stress occurs in the shortest wires because of the difference of deformation characteristics. The stress in the wires is always distributed unevenly. The length of the wires of outer layer does not depend on the length of the wires of inner layer in the ropes with point contact. That is, it is possible to choose the length of outer wires so that the difference of lengths (deformation characteristics) of wires of various layers will be minimal. In this regard, the difference of stress in wires of various layers will be minimal as well. Hence, the coefficient of the use of wires strength, which is the determining criterion for the optimization of prestressed steel strand structures, will increase.

Keywords: steel twisted rope, the use of steel wires strength.

References

1. SP 52-102-2004. *Predvaritel'no napryazhennye zhelezobetonnye konstruksii* [SP 52-102-2004. Prestressed concrete construction]. Moscow, Gosstroy of Russia, 2005. 37 p.
2. GOST 13840-68. *Kanaty stal'nye armaturnye 1x7. Tekhnicheskie usloviya*. [GOST 13840-68. Steel wire ropes 1x7. Specifications]. Moscow, Standartizdat, 1995. 8 p.
3. *Instruktivnoe pis'mo o primeneniі semiprovolochnykh stal'nykh pryadey dlya armirovaniya predvaritel'no napryazhennykh zhelezobetonnykh konstruksiy*. [Guidance letter on the application semiprivacy steel strand for reinforcement of prestressed concrete design of structures]. Moscow, 1959. 12 p.
4. *Tekhnicheskie usloviya TU 14-4-22-71. Kanaty stal'nye armaturnye 1x19 (devyatnadsatiprovolochnye armaturnye pryadi)* [TU 14-4-22-71. The steel wire rope 1x19 (nineteen wire reinforcing strands)]. Moscow, 1971. 17 p.
5. Briskin N.Ya. [The mechanical properties of nineteen wire reinforcing ropes design 1x19]. *Vysokoprochnaya vitaya provolochnaya armatura: sb. nauch. trudov* [High strength twisted wire reinforcement: collection of scientific papers]. Moscow, NIIZHB Publ., 1972, pp. 13–29 (in Russ.).
6. Musikhin V.A. [Comparison of the reinforcing ropes of the class K1400 (K-7) and class K1500 (K-19)]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction and Architecture*, 2013. vol. 13, no. 2, pp. 22–27 (in Russ.).
7. Leongardt F. [Previously strained reinforced concrete]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1983. 246 p.
8. Kirkhgof G.R [Selected works]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 428 p.
9. Musikhin, V.A. *Raschet i konstruirovaniye stal'nykh spiral'nykh kanatov, ispol'zuemykh v kachestve predvaritel'no napryazhennoy armatury zhelezobetonnykh konstruksiy*. Kand. diss. [The calculation and design of steel spiral rope used as prestressed reinforcement concrete constructions. Cand. sci. diss.]. Chelyabinsk, 2003. 206 p.
10. Ref. No. prEN 10138-3:1999. European Standard “Prestressing steels – Part 3: Strand”. E, European Committee for Standardization, Brussels, 1999. 15 p.
11. Cousins, Thomas E.; Johnston, David W. and Zia, Paul, “Transfer Length of Epoxy-Coated Prestressing Strand”. *ACI Materials Journal*, May–June 1990, vol. 87, no. 3, pp. 193–203.
12. Mikhaylov V.V., Folomeev A.A. [Previously strained reinforced concrete designs with wire and pryadevy fittings]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1971. 272 p.

Received 14 January 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Мусихин, В.А. Преимущества арматурного стального каната с точечным касанием проволок / В.А. Мусихин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 11–17. DOI: 10.14529/build160202

FOR CITATION

Musikhin V.A. Advantages of Prestressed Steel Strand with Point Contact of Wires. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2016, vol. 16, no. 2, pp. 11–17. (in Russ.). DOI: 10.14529/build160202