



СТРОИТЕЛЬСТВО CIVIL ENGINEERING (CONSTRUCTION)

DOI 10.22363/2312-8143-2020-21-1-81-93

УДК 624.012:691.714:624.014

Научный обзор

Обзор высокопрочной винтовой арматуры, применяемой в предварительно напряженных конструкциях

Г.Е. Гришин

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона имени А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»», Российская Федерация, 109428, Москва, 2-я Институтская ул., д. 6, корп. 5

Г.И. Тихонов

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона имени А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»», Российская Федерация, 109428, Москва, 2-я Институтская ул., д. 6, корп. 5
Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Г.Э. Окольникова

Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

История статьи:

Поступила в редакцию: 13 апреля 2020 г.

Доработана: 1 июня 2020 г.

Принята к публикации: 2 июня 2020 г.

Ключевые слова:

винтовая арматура, прочность на растяжение, гидравлический домкрат, анкер, муфта

В статье делается обзор мировых и отечественных образцов винтового высокопрочного арматурного проката для предварительного напряжения в бетонных конструкциях. В первую очередь анализируются их технические характеристики, влияющие на скорость монтажа зданий и сооружений, а также на металлоемкость применяемых в них железобетонных конструкций. Рассматриваются индивидуальные особенности профиля арматурных прокатов, присущих отдельным странам, с последующей оценкой их поведения в железобетонных конструкциях. Особое внимание уделяется отечественным разработкам в этом направлении для оценки конкурентоспособности инновационных профилей как внутри России, так и на мировом рынке. Одной из самых главных разработок за последние годы в нашей стране является арматура класса Av1000П, история появления которой описана во второй части обзора. Причиной создания данного профиля стали значительные проблемы, связанные с трещиностойкостью, распорностью и выносливостью предшествующих видов винтового и периодического профилей высокопрочного арматурного проката. Помимо арматурных профилей частично изучен скоростной способ стыковки и анкеровки при помощи муфтовых резьбовых соединений, возможный только на арматуре винтового профиля без трудоемкого нарезания резьбы на стержни.

Введение

Сейчас в мировой практике и в том числе в Российской Федерации с каждым годом возрас-

тают объемы применения железобетона (мостостроение, АЭС, специальные сооружения, гражданское и промышленное строительство). И часто главной задачей для использования строительных материалов является не их цена, а их безопасность и сохранение значительных эксплуатационных свойств на протяжении всей жизни зданий и сооружений.

В мировой практике строительства уже давно известно, что на каждый доллар, вложенный в повышение эксплуатационных свойств и долговечности, приходится сто долларов отдачи, сэкономленных на эксплуатационные затраты.

Гришин Григорий Евгеньевич, аспирант, инженер-конструктор Проектно-конструкторского центра № 25 НИИЖБ имени А.А. Гвоздева, eLIBRARY SPIN-код: 8317-3139, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4646-7514>

Тихонов Георгий Игоревич, аспирант департамента строительства Инженерной академии РУДН, инженер-конструктор Проектно-конструкторского центра № 25 НИИЖБ имени А.А. Гвоздева, eLIBRARY SPIN-код: 5043-3130, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7010-4118>

Окольникова Галина Эриковна, доцент департамента строительства Инженерной академии РУДН, кандидат технических наук, доцент, eLIBRARY SPIN-код: 8731-8713, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8143-4614>, okolnikova@rudn.ru

© Гришин Г.Е., Тихонов Г.И., Окольникова Г.Э., 2020

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Арматурные работы по сравнению с опалубочными и бетонными являются наиболее трудоемкими и продолжительными и занимают основную долю в сметах на стоимость возведения сооружений [1].

Механические и особенно муфтовые резьбовые соединения позволяют значительно сократить трудоемкость, металлоемкость и сроки возведения металлических каркасов. Их реализация возможна на базе применения винтовой арматуры [2].

Во многих специальных, мостовых сооружениях, зданиях атомной энергетики и в сооружениях, находящихся в зонах повышенной сейсмоопасности, для повышения их надежности, эксплуатационных свойств, безопасности, уменьшения материалоемкости и трудозатрат применяют предварительно напряженную высокопрочную винтовую арматуру [3], о которой и пойдет речь в данном обзоре.

1. Мировой опыт в производстве высокопрочного винтового арматурного профиля

1.1. Европейская высокопрочная арматура на примере винтового профиля DYWIDAG

Пионерами на рынке винтового арматурного проката в конце 1960-х годов выступила строи-

тельная компания DYWIDAG. Впервые данная арматура была произведена в Германии на металлургическом заводе Peine-Salzqiter. Среди различных арматурных прокаток был создан и высокопрочный класс арматуры Gr1080/1230 и Gr835/1030 диаметром 16–50 мм, предназначенный для использования в предварительно напряженных железобетонных конструкциях (рис. 1) [4].



Рис. 1. Винтовой профиль DYWIDAG
[Figure 1. Thread bar DYWIDAG]

Арматурный прокат производится до сих пор и распространен по всему миру, особенно в европейских странах, Америке и Канаде.

Таблица 1

Физико-механические показатели винтовой арматуры DYWIDAG
[Table 1. Physico-mechanical properties of DYWIDAG thread bar]

Наименование [Designation]	Винтовая арматура [Thread bar]					
	18 WR	26 WR	32 WR	36 WR	40 WR	47 WR
Номинальный диаметр d_s , мм [Nominal diameter d_s , mm]	17,5	26,5	32	36	40	47
Площадь поперечного сечения S_n , мм ² [Cross section area S_n , mm ²]	241	552	804	1,018	1,257	1,735
Масса на погонный метр ¹ M , кг/м [Nominal mass per metre ¹ M , kg/m]	1,96	4,48	6,53	8,27	10,20	14,10
Шаг резьбы c , мм [Pitch c , mm]	8	13	16	18	20	21
Значение разрушающей нагрузки F_m , кН [Characteristic of breaking load F_m , kN]	255	580	845	1,070	1,320	1,820
Максимальные начальные значения преднапряжения ² $P_{m0,max} = S_n \times 0,8 \times f_{p,k}$, кН [Maximum initial stressing force ² $P_{m0,max} = S_n \times 0,8 \times f_{p,k}$, kN]	204	464	676	856	1,056	1,457
Максимальные значения перенапрягающих усилий ³ $P_{0,max} = S_n \times 0,95 \times f_{p0,1k}$, кН [Maximum overstressing force ³ $P_{0,max} = S_n \times 0,95 \times f_{p0,1k}$, kN]	219	499	722	912	1,131	1,566

Примечание: 1 – номинальная масса на метр включает в себя 3,5 % не несущих нагрузки ребер; 2 – приведенные значения являются максимальными значениями в соответствии с Еврокодом 2; 3 – перенапряжение допускается, если сила в домкрате для предварительного напряжения может быть измерена с точностью, равной 5 % от конечного значения силы предварительного напряжения.

[Note: 1 – the nominal mass per metre includes 3.5% not load bearing portion of ribs; 2 – the given values are maximum values according to Eurocode 2; 3 – overstressing is permitted if the force in the prestressing jack can be measured to an accuracy of 5% of the final value of the prestressing force.]

Данный арматурный прокат имеет следующие технические характеристики (табл. 1): стержни предназначены для предварительного напряжения, горячекатаные, с круглым поперечным сечением и лысками по бокам. Натягиваются способом натяжения на упоры при помощи гидравлических домкратов. Изготовлены из стали Y 1050 H согласно рEN 10138-4 [4].

Винтовая арматура выпускается длиной прокатки до 18 м и может быть разрезана на заданные длины перед отправкой на рабочую площадку. Варианты диаметров – 17,5, 26,5, 32, 36, 40 и 47 мм. Имеет непрерывные горячекатаные ребра, обеспечивающие правостороннюю резьбу по всей длине. Может быть разрезана в любом месте и навинчиваться без дополнительной подготовки. Маркируется по номинальному диаметру и WR, например 26 WR.

Стержни имеют номинальную прочность на растяжение $R_s = 1050, 930$ и 835 Н/мм^2 в соответствии с классом проката.

1.2. Китайская высокопрочная арматура на примере винтового профиля от компаний Yidao и OVM

В связи с активным экономическим ростом в Китае в 2011 году китайские компании переняли опыт европейских металлургов и также начали производить высокопрочную арматуру винтового профиля для предварительного напряжения. Арматура производится в соответствии с требованиями китайских норм и активно используется в массовом строительстве китайской инфраструктуры (рис. 2).

Технические характеристики (табл. 2) [5]: сделана по стандарту GB/T 20065-2016. Предел текучести 1080 МПа. Предел прочности 1230 МПа. Состав: 40Si2MnV. Доступные диаметры – 25, 32, 36, 40, 50 мм. Арматура предназначена для натяжения на бетон. Класс – PSB1080. Длина прокатки 9 и 12 м.

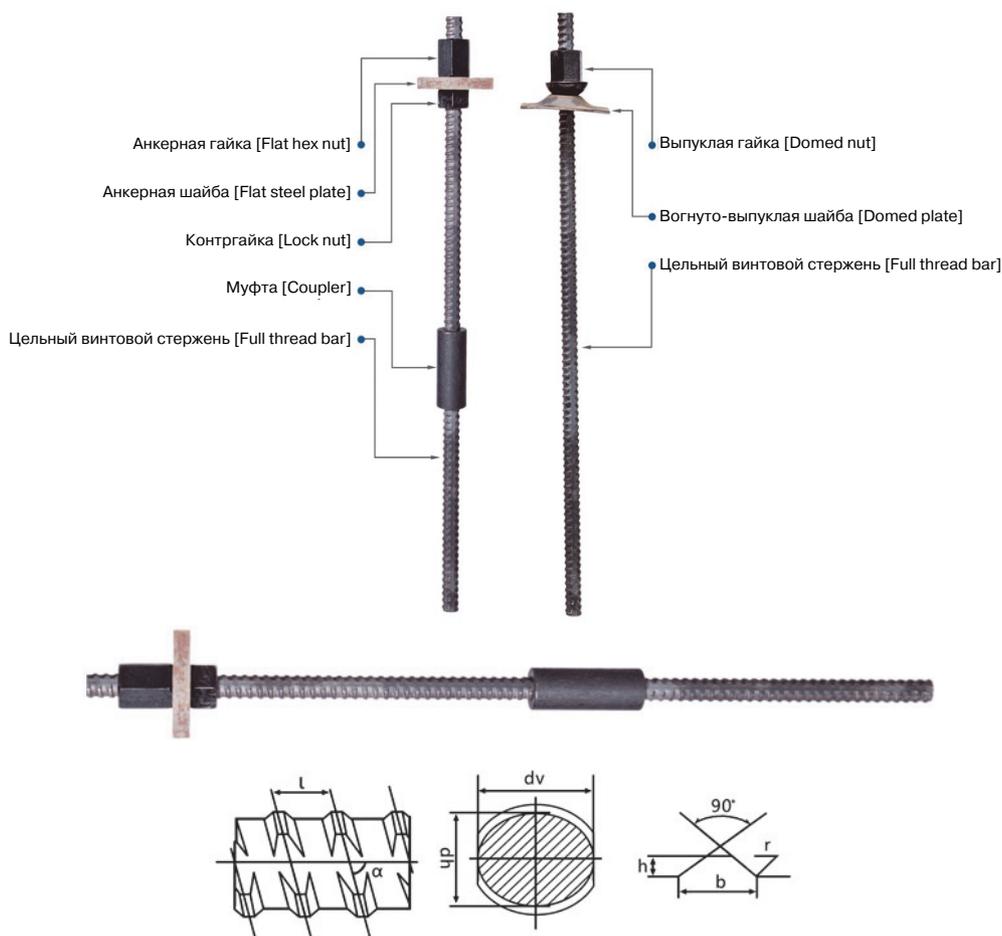


Рис. 2. Арматура винтового профиля фирмы Yidao
 [Figure 2. Thread bar Yidao]

Таблица 2

Физико-механические показатели винтовой арматуры Yidao
 [Table 2. Physico-mechanical properties of Yidao thread bar]

Диаметр [Diameter]	Площадь поперечного сечения [Cross-sectional area]	Вес погонного метра [Weight]	PSB 1080			
			Минимальный предел текучести [Minimum yield stress]		Минимальный предел прочности [Minimum ultimate stress]	
мм [mm]	мм ² [mm ²]	кг/м [kg/m]	МПа [MPa]	кН [kN]	МПа [MPa]	кН [kN]
15	177	1,4	1080	191	1230	218
20	314	2,47	1080	339	1230	386
25	491	4,1	1080	530	1230	604
32	804	6,65	1080	868	1230	989
36	1018	8,41	1080	1099	1230	1252
40	1257	10,34	1180	1358	1230	1546
50	1963	16,28	1080	2120	1230	2414
Удлинение при разрушении A, % [Elongation at fracture A, %]					≥ 6	
Полное удлинение при максимальной нагрузке Agt, % [Total elongation at max force Agt, %]					≥ 3,5	
Релаксация после 1000 часов, % [Relaxation at 1000 h, %]					≤ 4	
Модуль упругости, МПа [Modulus of elasticity, MPa]					2×10 ⁵	

Предназначена для строительства шоссе, мостов, железобетонных анкерных систем, опалубочных панелей, промышленных зданий, гидротехнических сооружений, зданий из сборного железобетона.

Горячекатаная с правой резьбой.

Для анкеровки применяются гайка, плоская стальная пластина, контргайка, резьбовая муфта, выпуклая гайка, пластина под выпуклую гайку и гидравлический домкрат.

1.3. Японская высокопрочная винтовая арматура фирмы Sumitomo

Япония, как и многие другие страны, перенимала европейский опыт в создании винто-

го арматурного проката (рис. 3). Но в профилях японского образца появились несколько отличий, таких как отсутствие боковой лычки или вовсе ее замена на желоба, чтобы убрать концентрации напряжений и снизить вес погонного метра арматурного проката. Также изменен угол винтовых ребер по отношению к оси стержней для уменьшения шага ребер и увеличения сцепления с бетоном, которое сильно влияет на работу предварительно напряженной арматуры в бетоне.

Технические характеристики арматуры приведены в табл. 3 [6].

Таблица 3

Физико-механические показатели винтовой арматуры Sumitomo

Обозначение	Предел текучести, Н/мм ²	Предел прочности на растяжение, Н/мм ²	Удлинение, %	Релаксация, %	Погонная масса, кг/м	Номинальный диаметр		Измерения винтовой области				
						dh, мм	dv, мм	Высота a, мм	Ширина b, мм	Шаг c, мм	Угол α°	
23 мм	930	1080	6,0	4,0	3,42	23,0	23,0	1,40	5,5	12,0	81,0	
	930	1180										
26 мм	930	1080				4,38	26,0	26,0	1,70	6,5		12,7
	930	1180										
32 мм	930	1080				6,63	32,0	32,0	2,00	7,0		17,0
	930	1180										
36 мм	930	1080	8,27	36,0	36,0	2,18	8,6	18,0				

Table 3

Physico-mechanical properties of Sumitomo thread bar

Designation	Yield strength, N/mm ²	Tensile strength N/mm ²	Elongation, %	Relaxation, %	Weight, kg/m	Nominal diameter		Measurement of thread area			
						dh, mm	dv, mm	Height a, mm	Width b, mm	Pitch c, mm	Angle α, °
23 mm	930	1080	6.0	4.0	3.42	23.0	23.0	1.40	5.5	12.0	81.0
	930	1180									
26 mm	930	1080									
	930	1180									
32 mm	930	1080									
	930	1180									
36 mm	930	1080			8.27	36.0	36.0	2.18	8.6	18.0	

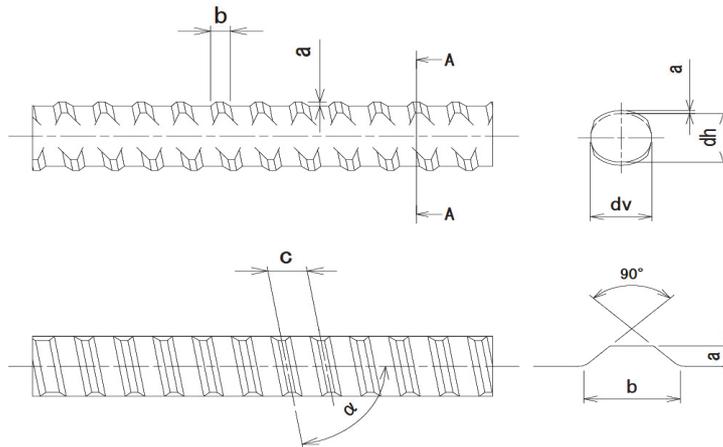
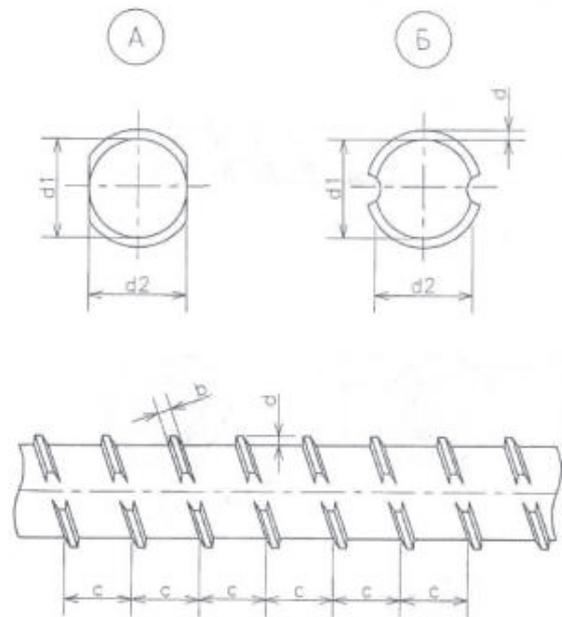


Рис. 3. Арматура винтового профиля фирмы Sumitomo
[Figure 3. Thread bar Sumitomo]

2. Отечественный арматурный винтовой прокат и новый вид арматуры класса Ав1000П

С конца 1970-х годов в СССР делались попытки воссоздания и освоения производства винтовой арматуры на приведенных ниже предприятиях [7]:

- Донецкий металлопрокатный завод, класс арматуры № 25, А-III;
- Макеевский меткомбинат, классы арматуры № 25 и 32, А-III и Ат-V;
- Криворожский меткомбинат, классы арматуры № 18, 25 и 32, А-III и Ат-V;
- Западно-Сибирский меткомбинат, классы арматуры № 14, 16, 18, 20 и 25, А-III, А500С, Ат-V, Ат-VII, а также № 36 класса А500С;
- Череповецкий меткомбинат, класс арматуры № 36 А-V (23Х2Г2Т).

В данное время винтовой профиль арматурного проката могут воспроизвести лишь Запсибметкомбинат, Белорусский металлургический завод и Тульский МПЗ [7; 8].

Несмотря на то что технология создания винтового профиля по сравнению с традиционными профилями приводит к удорожанию стоимости арматурных стержней, это не мешает винтовому прокату массово внедряться в железобетонные конструкции по всему миру. В первую очередь это связано с тем, что арматура, как правило, стыкуется в нахлестку, а значит, ведет к перерасходу арматурной стали, например в Германии на некоторых объектах при стыковке в нахлестку уходит до 50 % всей арматуры объекта [9]. А в густоармированных конструкциях стыковка бывает достаточно затруднительной и может приводить к плохой укладываемости и вибрации бетонной смеси. Есть и другие причины, мешающие внедрению винтового проката, такие как:

- удорожание прокатки стержней на заводах из-за необходимости синхронизации прокатных валов стана (рис. 4);
- чрезмерная распорность проката по двум направлениям со стороны ребер;
- наличие зарубежных патентов на уже существующие основные виды профилей винтового проката.

В РФ и странах СНГ при монолитном строительстве помимо стыковки часто используют сварочные соединения, уменьшающие длину нахлеста. Но в связи с требованиями СП 52-101-2003, увеличивающими длину нахлеста на 15–30 %, сварочные

соединения также перестают быть выгодными, поэтому применение муфтовых резьбовых соединений и развитие новых видов винтового арматурного проката наиболее актуально (рис. 5) [10].

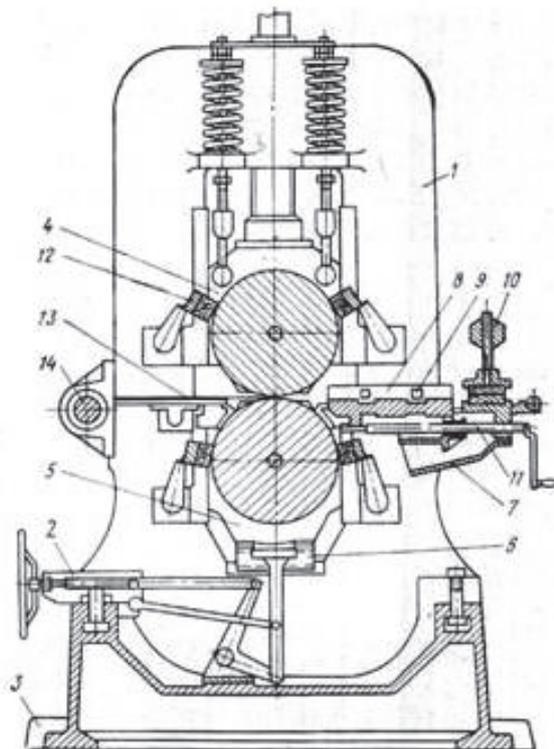


Рис. 4. Рабочая клеть двухвалкового прокатного стана
[Figure 4. Working stand of a two-roll rolling mill]

Стоит отметить, что винтовая арматура обладает большим потенциалом в качестве предварительно напряженной арматуры в железобетонных конструкциях. В технологии ее применения есть значительные преимущества благодаря применению гидравлических домкратов, вытягивающих арматуру по ходу резьбы, и упрощенной системе анкеровки арматуры в теле бетона [11].

Для предотвращения указанных недостатков в 2003–2004 годах был изобретен новый вид арматурного профиля, способный объединить сильные стороны кольцевого профиля по ГОСТу 5781-82, а именно высокие показатели критерия Рема, положительно влияющие на распорность арматуры, и серповидного, имеющего меньшее количество пересечений с поперечными ребрами, которые негативно влияли на выносливость кольцевого профиля. В итоге скрещивания был реализован серповидный четырехсторонний профиль класса А500СП [12].

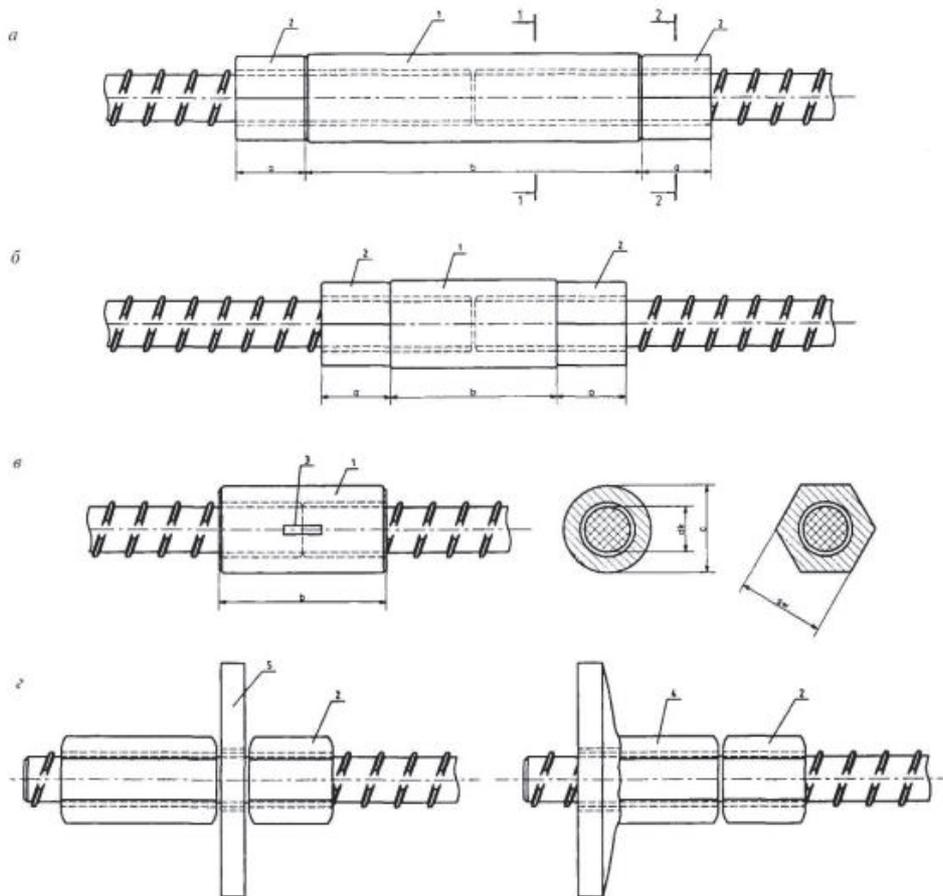


Рис. 5. Винтовая арматура с основными винтовыми соединениями [13]:

а – сжато-растянутый стык с контргайками; *б* – сжатый стык с контргайками; *в* – сжатый (контактный) стык; *г* – два вида концевых анкеров винтовой арматуры; 1 – соединительная муфта; 2 – контргайка; 3 – щель для контроля контакта стержней; 4 – анкерная гайка; 5 – анкерная шайба

[Figure 5. Thread bar with basic thread joints [13]:

a – compressed-stretched joint with lock nuts; *б* – compressed joint with lock nuts; *в* – compressed (contact) joint; *г* – two types of end anchors of thread bar; 1 – coupling; 2 – lock nut; 3 – slot for rod contact control; 4 – anchor nut; 5 – anchor plate]

При одной и той же высоте ребер получилось улучшить показатели критерия Рема даже при увеличении шага между ребрами от 10 до 15 %. Таким образом, между поперечными ребрами есть достаточное количество пространства для того, чтобы в это пространство смог попасть заполнитель из бетонной смеси, тем самым увеличивая сцепление бетона и арматуры. А четырехрядное расположение поперечных ребер исправляет проблему двухосной распорности при двухстороннем расположении серповидных ребер [14].

Для сравнения преимуществ и недостатков трех вышеупомянутых профилей (рис. 6), посредством трехбалльной оценки была составлена табл. 4

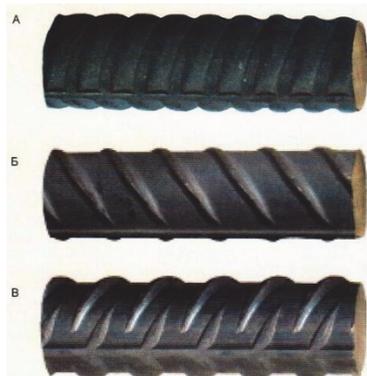


Рис. 6. Виды периодического профиля отечественного арматурного проката:

А – кольцевой; Б – двухсторонний серповидный; В – четырехсторонний серповидный

[Figure 6. Types of periodic profile of domestic rebar: А – ring bar; Б – crescent-shaped two-way; В – crescent four-sided]

Оценка эффективности известных видов периодических профилей арматуры [13]

№ п/п	Геометрические параметры и оценочные характеристики периодического профиля стержней, определяющие высокие эксплуатационные качества арматуры (нормируемые параметры выделены жирным шрифтом)	Оптимальные уровни значений и показателей	Значения геометрических параметров и оценочных характеристик для применяемых в РФ типов арматурных профилей (число значков (+) – условно балльная оценка эксплуатационных качеств)		
			Кольцевой по ГОСТу 5781	Серповидный двухсторонний по СТО АСЧМ 7-93	Серповидный четырехсторонний по ТУ 14-1-5526
1	2	3	4	5	6
1	Относительная площадь смятия поперечных ребер f_r	0,07–0,08	фактическая 0,093–0,128 (++)	Нормируемая не менее 0,043–0,056 (++)	Нормируемая не менее 0,075–0,078 (+++)
2	Шаг поперечных ребер (с учетом допусков) t	(0,6–0,8) d_n	0,3–0,7 d_n (++)	(0,4–1,0) d_n (0,42–0,69) d_n (++)	(0,50–0,86) d_n (+++)
3	Высота поперечных ребер (для серповидных ребер – максимальная) h	$\geq 0,065 d_n$	(0,04–0,05) d_n (++)	(0,065–0,1) d_n (0,067–0,083) d_n (+++)	(0,063–0,083) d_n (+++)
4	Плавность сопряжения боковых поверхностей поперечных и продольных ребер с поверхностью сердечника (радиус сопряжения r)	Максимально возможный	1,5–3,5 мм (только для поперечных ребер) (++)	Не предусматривается и не нормируется (++)	Предусматривается, но не нормируется (+++)
5	Коэффициент охвата сердечника поперечными ребрами	(0,8–0,9) πd_n	(0,85–0,95) πd_n (+++)	(0,75–0,80) πd_n (++)	(0,85–0,95) πd_n (+++)
6	Отношение расстояния в свету между поперечными ребрами к их высоте c_r/h	≥ 8	3,12–6,5 (+)	4,72–7,10 (++)	7,12–10,75 (+++)
7	Возможность увеличения высоты поперечных ребер для достижения оптимальной площади смятия ребер f_r	Не требуется до 0,07–0,08	Не требуется (+++)	Средняя (++)	Высокая (+++)
8	Способность при минимальных нормируемых значениях f_r сохранения сцепления с бетоном при пластических деформациях арматуры за пределом текучести	–	Средняя (++)	Средняя (++)	Высокая (+++)
9	Возможность усиления сцепления с бетоном при повышении площади смятия ребер (при адекватном поперечном армировании конструкции)	Высокая	Малая (++)	Средняя (++)	Высокая (+++)
10	Способность обеспечения нормируемого уровня сопротивления динамическим, в том числе циклическим, нагрузкам	Высокая	Средняя (++)	Высокая (+++)	Высокая (+++)
11	Деформативность железобетонных изгибаемых элементов (балок, плит) при нормативной нагрузке	Низкая	Низкая (+++)	Средняя (++)	Низкая (+++)
12	Трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов (балок, плит) при нормативной нагрузке	Высокая	Высокая (+++)	Средняя (++)	Высокая (+++)
13	Защита от воздействия агрессивных сред (с учетом п. 12)	Высокая	Высокая (+++)	Средняя (++)	Высокая (+++)
14	Способность при минимальных нормируемых значениях f_r к обеспечению надежности и жесткости концевых анкеров (обжатых шайб) на предварительно напрягаемых арматурных стержнях с натяжением на упоры форм	Высокая	Высокая (+++)	Средняя (++)	Высокая (+++)

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6
15	Длина зоны передачи напряжений на бетон при отпуске натяжения арматуры	Малая	Малая (+++)	Средняя (++)	Малая (+++)
16	Распорность профиля на длине зоны передачи напряжений на бетон при значениях f_c : – минимальных нормируемых; – при фактических высоких и близких к оптимальным	Низкая	Высокая (+)	Низкая (+++)	Низкая (+++)
		Низкая	Высокая(+)	Средняя (++)	Низкая (+++)
17	Узнаваемость (простота идентификации) класса арматуры на стройплощадке	Высокая	Средняя (++)	Средняя (++)	Высокая (+++)
18	Технологичность в производстве	Высокая	Средняя (++)	Высокая (+++)	Высокая (+++)
	Суммарная условно балльная оценка эффективности типов периодического профиля арматурных стержней		(+)42	(+)42	(+)57

Table 4

Evaluation of the effectiveness of known types of periodic reinforcement profiles [13]

No.	Geometric parameters and evaluation characteristics of the periodic profile of rods that determine the high performance of the reinforcement (normalized parameters are highlighted in bold)	Optimal levels of values and indicators	Values of geometric parameters and evaluation characteristics for the types of reinforcement profiles used in the Russian Federation (the number of icons (+) is a conditional point rating of performance)		
			Ring bar according to GOST 5781	Crescent-shaped two-way according to STO ASCHM 7-93	Crescent four-sided according to TU 14-1-5526
1	2	3	4	5	6
1	The relative area of crushing of the transverse ribs f_r	0,07–0,08	Actual 0,093–0,128 (++)	Normalized not less 0,043–0,056 (++)	Normalized not less 0,075–0,078 (+++)
2	Step of transverse ribs (subject to tolerances) t	(0,6–0,8) d_n	0,3–0,7 d_n (++)	(0,4–1,0) d_n (0,42–0,69) d_n (++)	(0,50–0,86) d_n (+++)
3	Height of transverse ribs (maximum for crescent ribs) h	$\geq 0,065 d_n$	(0,04–0,05) d_n (++)	(0,065–0,1) d_n (0,067–0,083) d_n (+++)	(0,063–0,083) d_n (+++)
4	The smoothness of the mating of the lateral surfaces of the transverse and longitudinal ribs with the surface of the core (mating radius r)	The highest possible	1,5–3,5 mm (only for transverse ribs) (++)	Not provided and not standardized (++)	Provided and not standardized (+++)
5	The coefficient of coverage of the core transverse ribs	(0,8–0,9) πd_n	(0,85–0,95) πd_n (+++)	(0,75–0,80) πd_n (++)	(0,85–0,95) πd_n (+++)
6	The ratio of the distance in the light between the transverse ribs to their height c_r/h	≥ 8	3,12–6,5 (+)	4,72–7,10 (++)	7,12–10,75 (+++)
7	The ability to increase the height of the transverse ribs to achieve the optimal area of crushing ribs f_r	Not required up to 0,07–0,08	Not required (+++)	Medium (++)	High (+++)
8	Ability at the minimum standardized values of f_r to maintain adhesion to concrete during plastic deformation of the reinforcement beyond the yield strength	–	Medium (++)	Medium (++)	High (+++)
9	Possibility of reinforcing adhesion to concrete with increasing rib crushing area (with adequate transverse reinforcement of the structure)	High	Small (++)	Medium (++)	High (+++)

Table 4, ending

1	2	3	4	5	6
10	The ability to provide a normalized level of resistance to dynamic, including cyclic loads	High	Medium (++)	High (+++)	High (+++)
11	Deformability of reinforced concrete bending elements (beams, plates) at standard load	Low	Low (+++)	Medium (++)	Low (+++)
12	Fracture resistance of reinforced concrete bending elements (beams, plates) at standard load	High	High (+++)	Medium (++)	High (+++)
13	Protection against aggressive environments (subject to clause 12)	High	High (+++)	Medium (++)	High (+++)
14	The ability, at minimum normalized values of f_r , to ensure the reliability and rigidity of end anchors (crimped washers) on prestressed reinforcing bars with tension on the mold stops	High	High (+++)	Medium (++)	High (+++)
15	The length of the zone of stress transmission to concrete when releasing tension reinforcement	Small	Small (+++)	Medium (++)	Small (+++)
16	Profile span along the length of the zone of stress transmission to concrete at values of f_r : – minimum normalized; – at actual high and close to optimal	Low Low	High (+) High(+)	Low (+++) Medium (++)	Low (+++) Low (+++)
17	Recognition (ease of identification) of the reinforcement class at the construction site	High	Medium (++)	Medium (++)	High (+++)
18	Manufacturability	High	Medium (++)	High (+++)	High (+++)
The total conditionally point assessment of the effectiveness of the types of periodic profile of reinforcing bars			(+)42	(+)42	(+)57



Рис. 7. Испытания винтовой арматуры Av500П
[Figure 7. Testing thread bar Av500P]

По многим показателям четырехсторонний серповидный профиль явно выигрывает. Поэтому на основе арматурного проката А500СП были сделаны опытные прокатки винтового четырехсто-

ронного серповидного профиля Av500П и Av1000П, уже вовсе не имеющего продольных ребер, тем самым потенциально увеличивая прочность на выносливость железобетонной конструкции. Сейчас

в НИИЖБ имени А.А. Гвоздева проводятся его испытания для определения физико-механических характеристик и обнаружения того, как он ведет себя в муфтовых соединениях и внутри железобетонных конструкций (рис. 7) [15].

Заключение

Рассмотрены основные профили винтового арматурного проката в России и за рубежом. Изучены их технические характеристики и механические свойства, на основе которых можно сделать вывод о том, что развитие винтового арматурного проката и муфтовых соединений для предварительного напряжения наблюдается во многих ведущих государствах, как с некоторыми различиями в производстве арматуры для удовлетворения стандартов металлопроката своей страны, так и с изменениями, касающимися винтового профиля в целом, значительно меняющими его физико-механические характеристики и поведение внутри предварительно напряженных конструкций.

Для отечественного рынка наибольший интерес представляет винтовая арматура с четырехрядным серповидным профилем класса Аv1000П – уникальная российская разработка, способная после прохождения всех испытаний и внесения в нормативные документы не только заменить более дорогой импортный арматурный прокат, но и попасть на экспортный рынок. Подобные разработки необходимы в первую очередь для скоростного строительства мостов, зданий атомной энергетики, строительства в сейсмоопасных районах и т. д., поскольку они сокращают сроки строительства за счет быстрой стыковки стержней муфтами и уменьшают металлоемкость железобетонных конструкций за счет отсутствия в таких конструкциях нахлестов. Данный профиль также позволяет делать предварительное напряжение на значительно более длинных участках железобетонных конструкций, не завися от длины поставляемых стержней и дополнительно упрощая монтаж.

Благодарности

Статья написана при поддержке НИИЖБ имени А.А. Гвоздева.

Участие авторов

Г.Е. Гришин – сбор и обработка материалов, написание текста. Г.И. Тихонов – сбор и обработка материалов. Г.Э. Окольникова – проверка и обработка материалов.

Список литературы

1. Алиев Ш.А. Совместная работа бетона и стержневой арматуры периодического профиля. Баку, 1964. 175 с.
2. Bompa V., Elghazouli A.Y. Monotonic and cyclic performance of threaded reinforcement splices // Structures. 2018. Vol. 16. Pp. 358–372.
3. Xingu Zhonga, Tianyu Zhanga, Chao Zhaoa, Xiaojuan Shua, Mingyan Shena, Yohchia Frank Chenbc. New non-destructive dynamic tensile testing of prestressing fine-rolled screw-threaded steel bars // Engineering Structures. 2019. Vol. 182. Pp. 153–163.
4. Eurocode 2. Design of concrete structures. Part 1–1. General rules and rules for buildings. EN 1992-1-1. 2004, December. 225 p.
5. National standard of the People's Republic of China. 2017, September 1. 121 p.
6. Steel bars for prestressed concrete / Japanese Standards Association. 1994, June 1. 55 p.
7. Тихонов И.Н. Армирование элементов монолитных железобетонных зданий: пособие по проектированию. М., 2007.
8. Мулин Н.М., Коневский В.П., Судаков Г.Н. Новые типы профиля для стержней арматуры // Эффективные виды арматуры для железобетонных конструкций: сб. трудов НИИЖБ. М., 1970. С. 16–45.
9. Katzer J., Szatkiewicz T. Properties of concrete elements with 3-D printed formworks which substitute steel reinforcement // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 210. Pp. 157–161.
10. Дегтярев В.В. Требования отечественных и зарубежных норм к анкеровке и соединениям внахлестку без сварки стержневой арматуры периодического профиля // Бетон на рубеже третьего тысячелетия: материалы 1-й Всероссийской конференции по проблемам бетона и железобетона: в 3 кн. Кн. 2. М., 2001. С. 941–954.
11. Жунусов Г.Ж., Дмитриев С.А., Мулин Н.М. Анкеровка в бетоне горячекатаной арматуры периодического профиля крупного диаметра // Исследование прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных конструкций: сб. тр. НИИЖБ. Вып. 26. М.: Госстройиздат, 1982.
12. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2009.
13. Тихонов Г.И. Исследование эффективности применения арматуры с новым четырехсторонним периодическим профилем в железобетонных конструкциях. М., 2019.
14. Кольнер В.М., Алиев Ш.А., Гольдфайн Б.С. Сцепление с бетоном и прочность заделки стержней арматуры периодического профиля // Бетон и железобетон. 1965. № 11. С. 15–19.
15. Тихонов И.Н. Разработка, производство и внедрение инновационных видов арматурного проката для строительства // Строительные материалы. 2019. № 9. С. 67–75.

Для цитирования

Гришин Г.Е., Тихонов Г.И., Окольникова Г.Э. Обзор высокопрочной винтовой арматуры, применяемой в предварительно напряженных конструкциях // Вест-

ник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2020. Т. 21. № 1. С. 81–93. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2020-21-1-81-93>

DOI 10.22363/2312-8143-2020-21-1-81-93

Review paper

Overview of high-strength screw thread reinforcement used in pre-stressed structures

Grigorii E. Grishin

Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev of JSC Research Center of Construction, 6 2-ya Institutskaya St, bldg. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

Georgy I. Tikhonov

Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev of JSC Research Center of Construction, 6 2-ya Institutskaya St, bldg. 5, Moscow, 109428, Russian Federation
Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation

Galina E. Okolnikova

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation

Article history:

Received: April 13, 2020

Revised: June 1, 2020

Accepted: June 2, 2020

Keywords:

thread bar, tensile strength, hydraulic jack, anchor, coupling

Article provides an overview of the world and domestic samples of high-strength threaded rebar for pre-stress in concrete structures. First of all, their technical characteristics were analyzed that affect the speed of installation of buildings and structures and the metal content of reinforced concrete structures used in them. We also consider the individual characteristics of the profile of rebar that are specific to individual countries, followed by an assessment of their behavior in reinforced concrete structures. Special attention is paid to domestic developments in this direction, in order to assess the competitiveness of innovative profiles both within Russia and on the world market. One of the most important developments in recent years in our country is the rebar class Av1000P, the history of which described in the second chapter of this review. The reason for the development of this profile was significant problems related to the crack resistance, thrust and endurance of previous types of thread and periodic profiles of high-strength rebar products. In addition to the reinforcement profiles, a high-speed method of joining and anchoring with the help of coupling threaded connections was partially considered, which is only possible on a screw profile armature without labor-intensive threading on rods.

Acknowledges

The article was written with the support of Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev.

Contribution of authors

Grigorii E. Grishin – collection and processing of materials, writing a text. Georgy I. Tikhonov – collection and processing of materials. Galina E. Okolnikova – verification and processing of materials.

References

1. Aliyev ShA. *Sovmestnaya rabota betona i sterzhnevoi armatury periodicheskogo profilya* [Joint work of concrete and rod reinforcement of periodic profile]. Baku; 1964. (In Russ.)

Grigorii E. Grishin, postgraduate student, design engineer of Design Center No. 25 of NIIZHB named after A.A. Gvozdev, eLIBRARY SPIN-code: 8317-3139, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4646-7514>

Georgy I. Tikhonov, postgraduate student of the Department of Construction of Engineering Academy of RUDN University, design engineer of Design Center No. 25 of NIIZHB named after A.A. Gvozdev, eLIBRARY SPIN-code: 5043-3130, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7010-4118>

Galina E. Okolnikova, Associate Professor of the Department of Construction of Engineering Academy of RUDN University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, eLIBRARY SPIN-code: 8731-8713, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8143-4614>, okolnikova-ge@rudn.ru

2. Bompá V, Elghazouli AY. Monotonic and cyclic performance of threaded reinforcement splices. *Structures*. 2018;16:358–372.
3. Xingu Zhonga, Tianyu Zhanga, Chao Zhaoa, Xiaojuan Shua, Mingyan Shena, Yohchia Frank Chenbc. New non-destructive dynamic tensile testing of prestressing fine-rolled screw-threaded steel bars. *Engineering Structures*. 2019;182:153–163.
4. Eurocode 2. *Design of concrete structures. Part 1–1. General rules and rules for buildings*. EN 1992-1-1. 2004, December.
5. National standard of the People’s Republic of China. 2017, September 1.
6. Japanese Standards Association. *Steel bars for prestressed concrete*. 1994, June 1.
7. Tikhonov IN. *Armirovanie elementov monolitnykh zhelezobetonnykh zdaniy [Reinforcement of elements of monolithic reinforced concrete buildings]: a manual for design*. Moscow; 2007. (In Russ.)
8. Mulin NM, Konevsky VP, Sudakov GN. Novye tipy profilya dlya sterzhnei armatury [New types of profile for rebar rods]. *Effektivnye vidy armatury dlya zhelezobetonnykh konstruksii [Effective types of reinforcement for reinforced concrete structures]*: proceedings of NIIZhB. Moscow; 1970. p. 16–45. (In Russ.)
9. Katzer J., Szatkiewicz T. Properties of concrete elements with 3-D printed formworks which substitute steel reinforcement. *Construction and Building Materials*. 2019;210:157–161.
10. Degtyarev VV. Trebovaniya otechestvennykh i zarubezhnykh norm k ankerovke i soedineniyam vnaKhlestku bez svarki sterzhnevoi armatury periodicheskogo profilya [Requirements of domestic and foreign standards for anchoring and lap joints without welding rod fittings of periodic profile]. *Beton na rubezhe tret'ego tysyacheletiya [Concrete at the turn of the third millennium]*: materials of the 1st All-Russian Conference on the Problems of Concrete and Reinforced Concrete (book 2). Moscow; 2001. p. 941–954. (In Russ.)
11. Zhunusova GZh, Dmitriev SA, Mulin NM. Ankerovka v betone goryachekatanoy armatury periodicheskogo profilya krupnogo diametra [Anchoring in concrete of hot-rolled rebar of a periodic profile of a large diameter]. *Issledovanie prochnosti, zhestkosti i treshchinostoikosti zhelezobetonnykh konstruksii [Research of strength, rigidity and crack resistance of reinforced concrete structures]*: proceedings of NIIZhB (issue 26). Moscow: Gosstroyizdat Publ.; 1982. (In Russ.)
12. GOST 5781-82. *Stal goryachekatanaya dlya armirovaniya zhelezobetonnykh konstruksii. Tekhnicheskie usloviya [Hot-rolled steel for reinforced concrete structures. Technical conditions]*. Moscow: Standartinform Publ.; 2009. (In Russ.)
13. Tikhonov GI. Issledovanie effektivnosti primeneniya armatury s novym chetyrekhstoronnim periodicheskim profilem v zhelezobetonnykh konstruksiyakh [Study of the effectiveness of using rebar with a new four-sided periodic profile in reinforced concrete structures]. Moscow; 2019. (In Russ.)
14. Kolner VM, Aliev ShA, Goldfein BS. Stseplenie s betonom i prochnost' zadelki sterzhnei armatury periodicheskogo profilya [Grip with concrete and strength of sealing bars of periodic profile reinforcement]. *Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]*. 1965; (11):15–19. (In Russ.)
15. Tikhonov IN. Razrabotka, proizvodstvo i vnedrenie innovatsionnykh vidov armaturnogo prokata dlya stroitelstva [Development, production and implementation of innovative types of rebar rolled products for construction]. *Stroitelnye materialy [Construction materials]*. 2019;(9):67–75. (In Russ.)

For citation

Grishin GE, Tikhonov GI, Okolnikova GE. Overview of high-strength screw thread reinforcement used in pre-stressed structures. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2020;21(1):81–93. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2020-21-1-81-93> (In Russ.)