

УДК624.012.41

**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПЕРИОДИЧЕСКИЙ
ПРОФИЛЬ АРМАТУРЫ ДЛЯ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ***В. М. Трофимова, В. Е. Чубаров*

Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

viktrof14@mail.ruvech62@mail.ru

Рассмотрены перспективы применения универсального периодического профиля арматуры в строительстве. При сравнении арматуры класса А500С и А500СП выявлено, что характеристики по предельным состояниям второй группы (прочность, момент трещинообразования, ширина раскрытия трещин, относительная площадь смятия) лучше у балок класса А500СП. Отмечена экономическая эффективность использования универсального периодического профиля за счет снижения погонной массы арматурного стержня.

Ключевые слова: универсальный периодический профиль арматуры, четырехсторонний серповидный профиль, площадь смятия поперечных ребер, арматура, продольные и поперечные ребра, сердечник.

Введение. Согласно ГОСТ 5781-51, арматурная сталь периодического профиля состоит из сердечника с двумя продольными ребрами и наклонными к продольной оси поперечными ребрами, которые обеспечивают сцепление с бетоном [1].

Арматура серповидного профиля по ТУ-14-1-5254-2006 имеет некоторое отличие — ее поперечные ребра не соприкасаются с продольными, вследствие чего концентраторы напряжения в местах пересечения ребер устраняются [2]. Выпускаемые виды арматуры периодического профиля имеют общий недостаток — геометрические размеры профилей теоретически не обоснованы, т.е. арматура сначала изготавливается, а потом доказывается эффективность ее применения [3].

В настоящее время разработан универсальный периодический профиль, геометрические размеры которого теоретически обоснованы. Арматура этого профиля сочетает в себе преимущества арматуры с периодическим профилем по ГОСТ 5781 –51 в величине относительной площади смятия и по ТУ 14 – 15254 –2006 в виде отсутствия пересечения поперечных и продольных ребер [4].

Цель работы заключается в изучении свойств универсального периодического профиля, на основании которых рассматриваются преимущества использования данного профиля в

UDC624.012.41

**UNIVERSAL PERIODIC PROFILE OF
REINFORCEMENT FOR REINFORCED
CONCRETE STRUCTURES***V. M. Trofimova, V.E.Chubarov*

Academy of Construction and Architecture, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

viktrof14@mail.ruvech62@mail.ru

The article examines the prospects of application of a universal periodic profile of reinforcement in construction. As a result of comparison of A500C and A500SP, it was found that the characteristics of the limiting states of the second group (strength, fracture time, crack opening width, relative collapsing area) were significantly better for A500SP class. The paper notes the economic efficiency of using a universal periodic profile, due to the reduction of the concrete mass of the reinforcing bar.

Keywords: universal periodic profile of reinforcement, four-sided sickle-shaped profile, bearing surface of transverse ribs, armature, longitudinal and transverse ribs, core.

строительстве, а также приводится сравнительная характеристика разных видов профилей арматуры.

Механика разрушения бетона. Параметры поперечного ребра определяются в соответствии с пределами прочности бетона при срезе и сжатии между поперечными ребрами, т.е. когда нарушается анкеровка по характеру «срез» при достижении бетоном под рабочими площадками поперечных ребер призмочной прочности R_b и предела прочности при срезе R_{cp} части оснований опорных бетонных цилиндров по следующей формуле:

$$\frac{t-b}{h} = \frac{R_b}{R_{cp}} + 4 = \frac{R_b}{0,7\sqrt{R_b \cdot R_{bt}}} + 4 \quad (1)$$

где t — шаг поперечных ребер; b — ширина верхней части ребра; h — высота ребра; R_b — призмочная прочность бетона; R_{cp} — предельная прочность бетона при срезе; R_{bt} — прочность бетона на осевое растяжение, т.е. обеспечивается определенный характер разрушения бетона в контактном слое между поперечными ребрами арматуры [1].

Следует отметить, что важны не конкретные размеры поперечных ребер, а соотношение параметров в виде $(t - b)/h$.

Геометрические параметры универсального профиля. Арматурный стержень универсального периодического профиля состоит из сердечника круглого сечения диаметром d , продольных и наклонных поперечных ребер, которые выполнены постоянной высоты и имеют отношение ширины верхней части ребра к его высоте как $b/h = 0,8 \dots 1,0$. Шаг размещения ребер: $t = 10,8h \dots 11h$ (рис.1) [4].

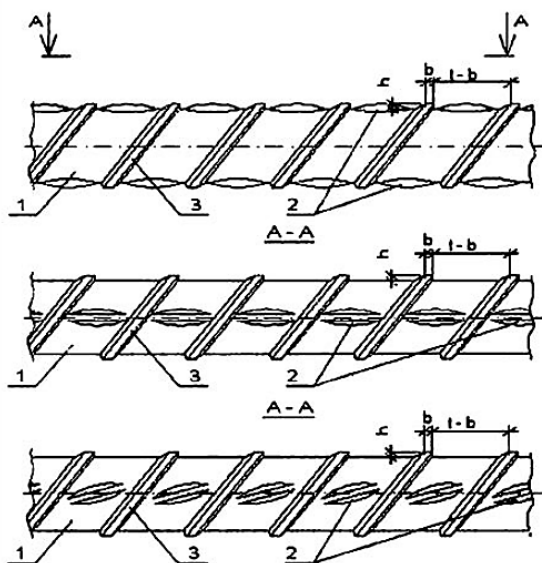


Рис. 1. Геометрические параметры универсального профиля.
1 — сердечник; 2 — продольные ребра; 3 — поперечные ребра

Необходимо устанавливать такие геометрические размеры стержней универсального периодического профиля, чтобы их номинальный диаметр соответствовал диаметрам равновеликих по площади круглых гладких стержней. Иными словами, объем металла (масса) стержней периодического профиля данного номинального диаметра практически равен объему (массе) круглого гладкого стержня того же диаметра [5].

Продольные ребра выполняются наклонными к продольной оси стержня для дополнительного увеличения прочности сцепления [4].

Соотношение значений высоты выступов и диаметра стержня не должно оставаться постоянным. У стержней диаметром 10–14 мм оно близко к 0,1. С увеличением диаметров

значение соотношения постепенно уменьшается примерно до 0,05–0,04. Ширину выступов b необходимо принимать небольшой, чтобы обеспечить требуемую площадь среза между ними. Выступы и стержни соединены выкружками, которые необходимы для улучшения совместной работы выступов металла с основным стержнем, а также для создания хороших условий контакта между бетоном и поверхностями выступов. Радиус выкружков равен $1,5h$ [5].

Высота поперечных выступов влияет на направление развития трещин. Если выступы невысокие и площадь смятия мала, то возникают трещины, которые развиваются в поперечном направлении. При увеличении высоты выступов увеличивается площадь смятия, следовательно, трещины направляются ближе к оси стержня и их появление отмечается существенно раньше.

Плавный профиль поперечных выступов, а также их расположение под наклоном приводит к образованию большого количества мелких трещин локального характера [6].

Относительная площадь смятия поперечных ребер. Этот параметр характеризует эффективность сцепления арматуры с бетоном. Влияние характеристики f_R на прочность, ширину раскрытия трещин и деформативность изгибаемых железобетонных элементов:

- высокая относительная площадь смятия поперечных ребер необходима для обеспечения незначительной ширины раскрытия трещин, а также для достижения жесткого сцепления и низкой деформативности железобетонных конструкций;
- с увеличением f_R ширина раскрытия нормальных трещин уменьшается, а ширина раскрытия продольных трещин увеличивается;
- оптимальная область значений относительной площади смятия поперечных ребер находится в диапазоне от 0,07 до 0,08;
- от величины f_R и наличия поперечной арматуры зависит характер разрушения наклонных сечений железобетонных элементов и длина запуска растянутых стержней за внутреннюю грань свободной опоры (рис. 2) [7].

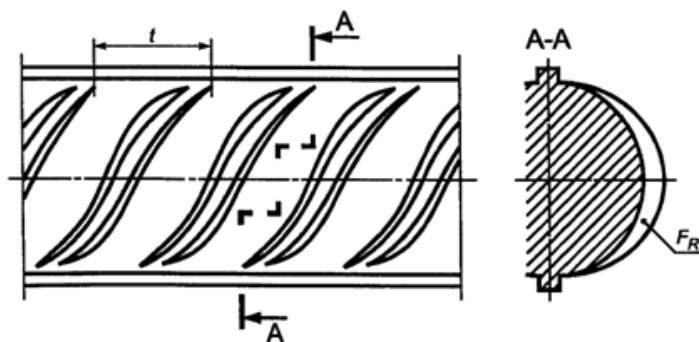


Рис. 2. Относительная площадь смятия поперечных ребер

Характеристики периодического профиля. Надежность анкеровки арматуры периодического профиля определяется двумя параметрами: характеристикой профиля B_A и характеристикой прочности бетона между поперечными ребрами B_B . Геометрические параметры периодического профиля необходимо определять исходя из следующего условия:

$$B_A = B_B \quad (2)$$

Результаты вычислений характеристики B_A по геометрическим размерам для арматуры кольцевого, двухстороннего серповидного и четырехстороннего серповидного профиля арматуры представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика профиля B_A арматуры, применяемой для изготовления железобетонных конструкций

Вид профиля арматуры	Номинальный диаметр арматуры в мм													
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40
Кольцевой профиль по [2]	9,0	5,67	6,0	4,8	4,8	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	3,75	4,0	4,0	4,0
Двухсторонний серповидный профиль по [3]	8,5	7,0	6,25	5,8	6,0	6,17	6,31	6,43	6,53	6,18	6,42	5,82	6,0	5,93
Четырехсторонний серповидный профиль по [4]			9,0	8,0	8,18	9,0	8,15	8,29	8,33	8,44	8,56	8,1	7,83	7,92

Анализируя таблицу, отмечаем, что самые наименьшие значения характеристики B_A имеет арматура кольцевого профиля (в 1,5 раза ниже значений характеристики B_A двухстороннего серповидного профиля и практически в 2 раза ниже характеристики B_A четырехстороннего серповидного профиля). Соответственно, арматура кольцевого профиля будет иметь прочность сцепления с бетоном меньше, чем прочность сцепления с бетоном арматуры двухстороннего серповидного и четырехстороннего серповидного профилей [3].

Рассмотрим характеристику прочности бетона между поперечными ребрами B_B , значения которой представлены в таблице 2 [8].

Таблица 2

Характеристика для арматуры периодического профиля при нормативных значениях прочности бетона

Класс бетона	V10	V15	V20	V25	V30	V35	V40	V45	V50	V55	V60
B_B	8,24	8,52	8,76	8,94	9,07	9,17	9,31	9,39	9,48	9,57	9,65

Геометрические размеры профиля следует рассчитывать, полагая, что выполняется следующее условие:

$$B_A = B_B = 10 \quad (3)$$

Сравнивая показатели из таблиц 1 и 2, отметим, что только для арматуры четырехстороннего серповидного периодического профиля (класс бетона V25 и ниже) достигается близкое к оптимальному использование физико-механических характеристик бетона между поперечными ребрами профиля [3].

Исследование свойств арматуры двухстороннего и четырехстороннего серповидного профиля. Рассмотрим свойства арматуры класса A500С и A500СП опытно-промышленных партий. Для исследования были изготовлены опытно-промышленные партии арматурного проката с двухсторонним и четырехсторонним серповидным профилями номинальным диаметром от 10 до 28 мм. Арматура изготавливалась из металла одних и тех же плавов и при одинаковых режимах термомеханической обработки. На рис. 3 представлен внешний вид арматурных стержней с различным периодическим профилем.

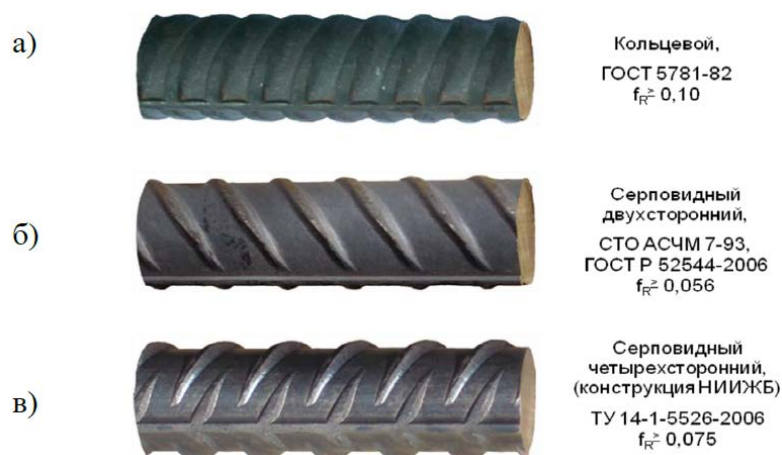


Рис. 3. Внешний вид арматурных стержней с различным периодическим профилем

Для арматуры класса А500С и А500СП проводились сравнительные исследования напряженно-деформированного состояния, прочности, трещиностойкости и деформативности изгибаемых железобетонных элементов.

Результаты испытаний показали, что у балок с арматурой класса А500СП характеристики по предельным состояниям второй группы были значительно лучше, чем у балок с арматурой класса А500С. Рассмотрим некоторые из них.

1. Прогибы при достижении текучести арматуры у балок БСП были меньше, чем у балок БС в 2,8 раза.

2. Момент трещинообразования был выше в 1,2 раза.

3. Разрушающая нагрузка балок БСП была выше, чем у балок БС приблизительно на 13,7%.

4. Смещение торцов арматуры класса А500СП наблюдается при больших нагрузках, чем у арматуры класса А500С. Величины смещения при увеличении нагрузки на каждом этапе приложения нагрузки у арматуры класса А500СП были меньше, чем у А500С в 1,5÷2 раза.

5. По сравнению с двухсторонним серповидным профилем, новый профиль позволяет при той же высоте поперечных ребер увеличить их относительную площадь смятия f_R в 1,3–1,4 раза [7].

6. Увеличенный шаг ребер на 10–15% облегчает внедрение зерен крупного заполнителя между выступами [9].

7. Ширина раскрытия трещин при испытаниях балок БСП была значительно меньше, чем у балок БС (рис. 4).

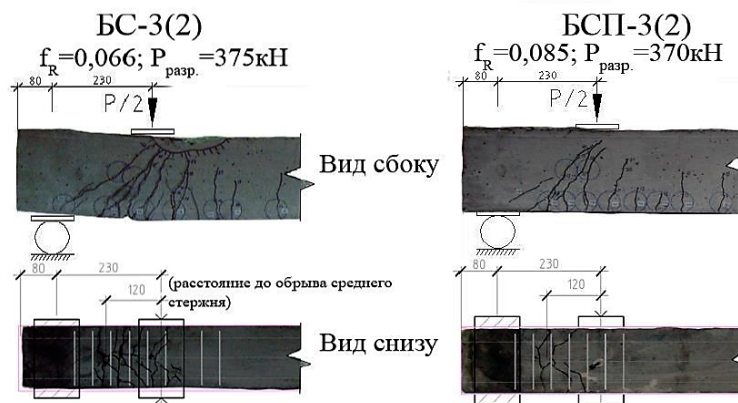


Рис. 4. Характер разрушения балок БС и БСП

Таким образом, анализируя экспериментальные данные, можно сделать вывод о более эффективной работе арматуры класса А500СП в изгибаемых железобетонных элементах по сравнению с А500С [7].

Также необходимо отметить, что арматура класса А500СП диаметром от 10 до 28 мм в составе железобетонных конструкций может применяться:

- в сварных каркасах и сетках при расчетных температурах не ниже 400°С,
- в вязаных каркасах и сетках или отдельными стержнями при расчетных температурах не ниже 550°С [10].

Экономическая эффективность арматуры с универсальным периодическим профилем обусловлена снижением расхода стали при производстве 1 погонного метра проката (от 2 до 6%). Можно изготавливать конструкции периодического профиля арматуры различных классов без изменения основных параметров профиля: шага t , высоты h , ширины верхней части b поперечных ребер, относительной площади смятия f_r . Различать классы арматуры позволяет чередование наклонных и продольных ребер профиля. На рис. 5 представлена маркировка арматуры класса А600 и А700.

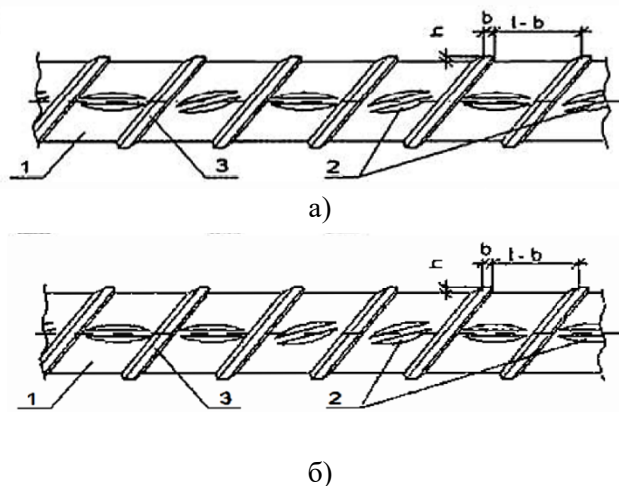


Рис. 5. Маркировка арматуры:

- а — класс А600 с чередующимися продольными ребрами серповидного профиля «одно прямое-одно наклонное»; б — класс А700 с чередующимися продольными ребрами серповидного профиля «два прямых-два наклонных»

Выводы:

1. В случае возникновения чрезвычайных ситуациях природного или техногенного характера при предельных внешних воздействиях выпускаемая в настоящее время арматура не обеспечивает в полной мере надежность прямой анкеровки ее в бетоне.
2. Универсальный периодический профиль арматуры повышает надежность прямой анкеровки арматуры в бетоне при предельных внешних воздействиях в случае возникновения чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера.
3. Идентификация класса арматуры достигается за счет непрерывной двухсторонней маркировки стержня.
4. Снижение погонной массы арматурного стержня универсального периодического профиля, благодаря чему достигается экономический эффект [3].

Библиографический список.

1. Арматурный стержень периодического профиля: патент 2545235 С1 Рос. Федерация: Е04С 5/03 / В. В. Бедарев. — №2013141521/03; заявл. 11.09.13; опубл. 27.03.15, Бюл. № 9. — 8 с.

2. ТУ 14 -1 -5526 -2006. Прокат арматурный класса А500СП с эффективным периодическим профилем / НИИЖБ. — Москва : ФГУП ЦНИИчермет. — 2006. 19 с.
3. Холмянский, М. М. Контакт арматуры с бетоном / М. М. Холмянский. — Москва: Стройиздат, 1981. — 184 с.
4. Бедарев, В. В. Общая теория сцепления и анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне / В. В. Бедарев, Н. В. Бедарев, А. В. Бедарев. — Новокузнецк, 2014. — 160 с.
5. Мулин, Н. М. Стержневая арматура железобетонных конструкций / Н. М. Мулин. — Москва : Стройиздат, 1974. — 233 с.
6. Мадатян, С. А. Арматура железобетонных конструкций / С. А. Мадатян. — Москва : Воентехлит, 2000. — 256 с.
7. Саврасов, И. П. Прочность, трещиностойкость и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, армированных сталью класса А500 с различным периодическим профилем: автореферат дис. ... канд. техн. наук / И. П. Саврасов. — Москва, 2010. — 25 с.
8. СП52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры / ГУП "НИИЖБ". — Москва : Госстрой России. — 2003. — 53 с.
9. Гвоздев, А. А. Армирование элементов монолитных железобетонных зданий / А. А. Гвоздев. — Москва : НИИЖБ, 2007. — 65 с.
10. СТО 36554501-005-2006. Применение арматуры класса А500СП в железобетонных конструкциях / Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский центр «Строительство». — Москва : НИЦ «Строительство», 2008. — 8 с.