

УДК 624.012:691.714:691.32:693.5
DOI: 10.22227/2949-1622.2023.3.32-48

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/ RESEARCH ARTICLE

Оценка эффективности применения винтовой арматуры класса Ав600П в сжатых железобетонных элементах

Г.Э. Окольников^{1*}, Г.И. Тихонов²¹Российский университет дружбы народов (РУДН), Москва, Российская Федерация²АО «НИЦ «Строительство», НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, Москва, Российская Федерация*okolnikova_ge@mail.ru

Ключевые слова: винтовая арматура, железобетон, двухзаходная винтовая резьба, муфтовые соединения, прочность на сжатие

История статьи

Поступила в редакцию: 10.04.2023

Доработана: 17.04.2023

Принята к публикации: 21.04.2023

Для цитирования

Окольникова Г.Э., Тихонов Г.И. Оценка эффективности применения винтовой арматуры класса Ав600П в сжатых железобетонных элементах, Железобетонные конструкции. 2023. Т. 3. № 3. С. 32–48.

Аннотация. Статья посвящена исследованиям применения арматуры нового винтового профиля для армирования железобетонных конструкций. В статье представлены результаты экспериментальных исследований образцов-призм с винтовой четырёхрядной арматурой диаметром 20 и 32 мм класса Ав600П и бетоном классов В30 и В60 при статическом нагружении при сжатии. Целью исследований являлось обоснование внедрения в практику строительства инновационного винтового профиля арматуры, который разовьёт идеи и принципы, ставшие основой для нашедшего широкое применение шестирядного профиля А500СП, чьё конструктивное решение (отсутствие продольных рёбер с расположением поперечных выступов в четыре ряда с возможным образованием ими двухзаходной винтовой резьбы) позволяет значительно увеличить браковочное минимальное значение критерия Рема ($f_R \geq 0,075$), характеризующего и определяющего прочность и деформативность сцепления арматуры с бетоном, от которых зависят прочность и трещиностойкость железобетонных конструкций, а, следовательно, их эксплуатационная безопасность и надёжность. Муфтовые соединения винтовой арматуры позволяют значительно ускорить процесс арматурных работ на строительной площадке в результате замены ими трудоёмких и дорогостоящих сварных соединений. Результаты исследований показали эффективность применения новой винтовой арматуры класса Ав600П для армирования сжатых железобетонных элементов, изготовленных из бетонов классов В30–В60 с муфтовыми резьбовыми контактными, частично контактными и бесконтактными стыковыми соединениями арматуры.

Окольникова Галина Эриковна, кандидат технических наук, доцент, Российский университет дружбы народов (РУДН), 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6
eLIBRARY SPIN-код: 8731-8713, Scopus: 57920658500, ResearcherID: AAT-5786-2020, ORCID: 0000-0002-8143-4614, E-mail: okolnikova_ge@mail.ru.

Георгий Игоревич Тихонов, аспирант Российский университет дружбы народов (РУДН), 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, инженер-конструктор центра №21 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО НИЦ «Строительство», 109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., д.6, корпус 5, eLIBRARY SPIN-код: 5043-3130, ORCID: 0000-0002-7010-4118, E-mail: dwarwe1993@mail.ru.

© Окольникова Г.Э., Тихонов Г.И., 2023



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

Assessment of Effectiveness of Av600P Screw Reinforcement in Compressed Reinforced Concrete Elements

Galina E. Okolnikova^{1*}, Georgy I. Tikhonov²

¹Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

²JSC "SIC "Construction", NIIZHB n.a. A.A. Gvozdev, Moscow, Russian Federation.

*okolnikova_ge@mail.ru

Keywords: screw reinforcement, reinforced concrete, two-start screw thread, coupling joints, compressive strength

Article history

Received: 10.04.2023

Revised: 17.04.2023

Accepted: 21.04.2023

For citation

Okolnikova G.E., Tikhonov G.I. Assessment of Effectiveness of Av600P Screw Reinforcement in Compressed Reinforced Concrete Elements. *Reinforced concrete structures*. 2023;3(3):32–48.

Abstract. The article is devoted to the research of application of reinforcing steel of a new spiral profile for reinforcement of reinforced concrete constructions. The article presents the results of experimental studies of prism specimens with screw four-row reinforcement with diameters of 20 and 32 mm of class Av600P and concrete of classes B30 and B60 under static compression loading. The purpose of the research was to justify the introduction into practice of the construction of an innovative screw reinforcement profile, which will develop the ideas and principles that have become the basis for the widely used six-row A500SP profile, whose design solution (the absence of longitudinal ribs with the arrangement of transverse protrusions in four rows with the possible formation of a two-start screw thread by them) makes it possible to significantly increase the rejection minimum value of the Röh criterion ($f_R \geq 0.075$), which characterizes and determines the strength and deformability of the adhesion of reinforcement to concrete, which determine the strength and crack resistance of reinforced concrete structures, and, consequently, their operational safety and reliability. The coupling joints of screw reinforcement can significantly speed up the process of reinforcing work at the construction site as a result of replacing labor-intensive and expensive welded joints. The results of the research showed the effectiveness of application of new screw reinforcement of the Av600P class for reinforcing compressed reinforced concrete elements made of concrete of classes B30–B60 with coupling threaded contact, partially contact and non-contact butt joints of the reinforcement.

ВВЕДЕНИЕ

С 2016 года в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева проводится плодотворная работа по разработке и внедрению в практику строительства инновационного винтового профиля арматуры [1–7], который разовьёт идеи и принципы, ставшие основой для нашего широкого применения шестирядного профиля А500СП.

Арматура класса Ав600П имеет периодический профиль поверхности без продольных рёбер с расположением поперечных выступов в четыре ряда с возможным образованием ими двухзаходной винтовой резьбы [1, 2, 3]. Данное конструктивное решение позволяет значительно увеличить браковочное минимальное значение критерия Рема ($f_R \geq 0,075$), характеризующего и определяющего прочность и деформативность сцепления арматуры с бетоном, от которых зависят прочность и трещиностойкость железобетонных конструкций, а, следовательно, их эксплуатационная безопасность и надёжность. Муфтовые соединения винтовой арматуры позволяют значительно ускорить процесс арматурных работ на строительной площадке в результате замены ими трудоёмких и дорогостоящих сварных соединений [4, 8–12].

Galina E. Okolnikova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Civil Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya Street, Moscow, 117198, Russian Federation

Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, eLIBRARY SPIN-код: 8731-8713, Scopus: 57920658500, ResearcherID: AAT-5786-2020, ORCID: 0000-0002-8143-4614, E-mail: okolnikova_ge@mail.ru.

Georgy I. Tikhonov, post-graduate student of RUDN University, design engineer of center №21, NIIZHB n.a. A.A. Gvozdev, JSC "SIC "Construction", 6, building 5, 2nd Institutskaya St., Moscow, 109428, Russian Federation, eLIBRARY SPIN-код: 5043-3130, ORCID: 0000-0002-7010-4118, E-mail: dvarwe1993@mail.ru.

Основным препятствием для применения арматуры с винтовым профилем в строительстве является высокая податливость в соединениях с помощью винтовых муфт [4]. Зарубежные производители арматуры решают эту задачу при помощи применения клеевых составов непосредственно на площадках строительства, меньшими допусками по геометрии, как арматуры, так и муфт и более высокими допусками по податливости [13-20].

Винтовая арматура класса Ав600П может стать доступным отечественным аналогом как наиболее популярного винтового профиля GEWI-Stahl (компания DYWIDAG) [6], имеющего ограниченное применение в силу высокой стоимости, так и применяемого повсеместно серповидного «европрофиля» (при производстве без синхронизации прокатных валков), превосходя последний по критерию Рема (f_R) и имея аналогичную стоимость [1, 2, 3].

Для проверки правомочности данных предпосылок, оценки их выполнения, корректировки действующих нормативных требований, была составлена программа испытаний, предусматривающая исследования основных видов конструктивных железобетонных элементов с новой арматурой. Сжатие является одним из основных видов напряженно-деформированного состояния для железобетонных конструкций. Много работ, представляющих научный интерес, посвящено исследованию несущей способности и устойчивости внецентренно-сжатых элементов [21-23].

В данной работе представлены результаты испытаний железобетонных элементов на сжатие с применением нового вида винтовой арматуры класса Ав600П. Испытания проводились на изготовленных на заводе ЖБИ и в НИИЖБ армированных призмах одинакового размера, предусматривавших своей конструкцией как наличие цельного стержня, так и муфтовое соединение с полным, частичным и отсутствием соприкосновения концов стержней внутри, что моделировало, зачастую, неидеальную сборку элементов на строительной площадке.

МЕТОД

Цель исследования: оценка поведения винтовой арматуры с четырёхрядным профилем класса Ав600П в сжатом бетоне при статическом нагружении.

Исследования предусматривали отсутствие и наличие стыкового муфтового соединения.

Оценивались полностью и частично контактные и бесконтактные стыки арматуры в муфтовых соединениях.

Для проведения исследований были изготовлены образцы-призмы размером 20x20x50 см.

Известно, что результаты испытаний образцов-призм из армированного бетона при сжатии, близком к центральному могут иметь значительный разброс в показаниях разрушающей нагрузки из-за наличия случайного эксцентриситета, учитываемого расчётными формулами норм.

В связи с этим, в образцах данного эксперимента было предусмотрено расположение сжатого арматурного стержня диаметром 20 мм и 32 мм строго в центре сечения призмы. Фиксирование местоположения арматурных стержней осуществлялось с помощью металлических пластин, располагаемых по торцам призм, в середине которых с помощью раззенкованных отверстий и сварки крепились испытываемые стержни (рисунок 1). Для стыка стержней диаметром Ø20 использовались муфты без контргаяк; для стержней диаметром Ø32 – муфты с контргайками и без контргаяк. Контргайки затягивались динамометрическим ключом с усилием 350 Н·м.

В соответствии с планом эксперимента рассматривалось четыре варианта конструкций муфтовых соединений для испытаний на сжатие (рисунок 2):

- 1 – Контактный стык, с параллельной ориентацией торцевых граней стыкуемых арматурных стержней относительно друг друга, $\alpha = 0^\circ$ (полный контакт);
- 2 – Контактный стык, $\alpha \approx 6^\circ$ (частичный контакт);
- 3, 4 – Бесконтактный стык с разными расстояниями между торцами стыкуемых стержней: $\delta = 10$ мм и $\delta = 20$ мм.

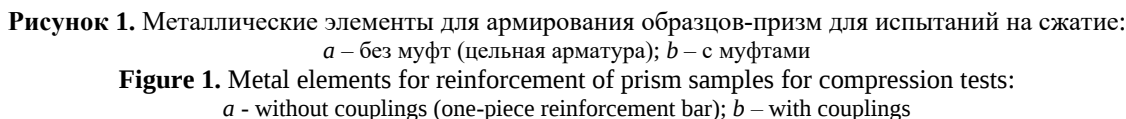
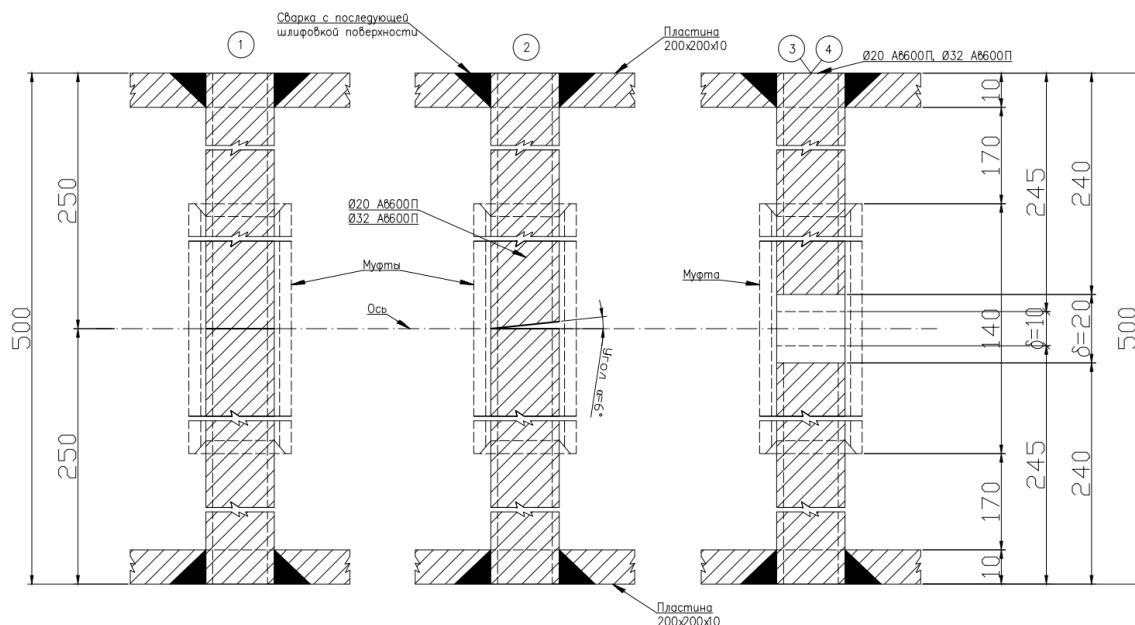


Рисунок 1. Металлические элементы для армирования образцов-призм для испытаний на сжатие:
a – без муфт (цельная арматура); *b* – с муфтами
Figure 1. Metal elements for reinforcement of prism samples for compression tests:
a - without couplings (one-piece reinforcement bar); *b* – with couplings



1 – контактный стык, $\alpha = 0^\circ$; 2 – контактный стык, $\alpha \approx 6^\circ$; 3 – бесконтактный стык, $\delta \approx 10$ мм; 4 – бесконтактный стык, $\delta \approx 20$ мм.

1 - pin joint, $\alpha = 0^\circ$; 2 - pin joint, $\alpha \approx 6^\circ$; 3 - non-contact joint, $\delta \approx 10$ mm; 4 - non-contact joint, $\delta \approx 20$ mm

Металлические элементы для армирования образцов-призм производились на Тульском МПЗ (рис. 3).

Изготовление образцов-призм с винтовой четырёхрядной арматурой диаметром 20 мм выполнялось на заводе ЖБИ (рис. 4). Изготовление образцов-призм с арматурой диаметром 32 мм производилось в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (рис. 5). При укладке бетона в опалубку на заводе ЖБИ использовался глубинный игольчатый вибратор, в НИИЖБ – виброплощадка.



a



b

Рисунок 3. Металлические элементы с винтовой арматурой Ø20 мм и Ø32 мм, изготовленные на Тульском МПЗ:

a – образцы с арматурой Ø20 мм с муфтовыми соединениями без контргайек;

b – образцы с арматурой Ø32 мм с муфтовыми соединениями с контргайками и без них

Figure 3. Metal elements with screw reinforcement Ø20 mm and Ø32 mm manufactured by Tula Metallurgical Plant:

a – samples with thread bar Ø20 mm with coupling joints without lock nuts;

b – samples with thread bar Ø32 mm with coupling connections with and without lock nuts



a



b

Рисунок 4. Изготовление образцов-призм на заводе ЖБИ:

a – опалубка; b – бетонирование

Figure 4. Production of prism samples at the precast concrete plant:

a – formwork; b – concreting



Рисунок 5. Изготовление образцов-призм в лаборатории НИИЖБ
Figure 5. Production of prism samples in the laboratory of NIIZHB

Образцы-призмы изготавливались из бетонов классов В30 и В60. Твердение бетона образцов, изготовленных на заводе ЖБИ, осуществлялось в естественных условиях, образцов, изготовленных в НИИЖБ - в пропарочной камере. Испытания проводились на 28 сутки. Испытания на сжатие железобетонных образцов-призм, армированных винтовой арматурой, выполнялись с использованием гидравлического пресса ИП - 6013-2000 в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (рис. 6). При проведении испытаний замерялись продольные деформации бетона всех 4-х боковых поверхностей образцов-призм при помощи индикаторов часового типа (рис. 6а).



a



b



Рисунок 6. Испытание образцов-призм на сжатие:
a – процесс испытания; *b* – общий вид образцов после испытания

Figure 6. Compression test of prism samples:
a – test process; *b* – general appearance of the samples after the test

Для контроля качества бетона в соответствии с ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» при изготовлении опытных образцов-призм бетонируются кубы размером 10х10х10 см и призмы 10х10х40 см из того же состава бетона классов В30 и В60.

При изготовлении образцов с арматурой Ø32 мм класса Ав600П бетонируются дополнительные контрольные образцы-призмы из бетона того же состава, размером, как и основные образцы, 20х20х50 см.

Сопоставление результатов испытаний и результатов расчёта прочности опытных образцов по предельным усилиям, выполненного по положениям СП 63.13330 для внецентренно сжатых бетонных и железобетонных элементов с учётом нормируемого случайного эксцентриситета. Для расчёта использовалась средняя фактическая призмная прочность бетона, определённая по испытаниям трёх контрольных образцов, изготовленных для каждой партии бетона. Контрольная нагрузка по прочности определялась по ГОСТ 8829-2018 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с программой испытаний для образцов-призм с арматурой диаметром 20 мм класса Ав600П было изготовлено 5 серий образцов для бетона класса В30 и 2 серии образцов-призм для бетона класса В60 с разными вариантами муфтовых соединений арматуры и без стыков арматуры (табл. 1).

Результаты испытаний на сжатие образцов-призм с арматурой Ø20 мм класса Ав600П представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний на сжатие образцов-призм с арматурой Ø20 мм класса Ав600П

Серия	Номер образца	Разрушающая нагрузка Р, кгс	Напряжения в арматуре σ_s , кгс/см ²		Прочность бетона R_b , кгс/см ²	
			при $\varepsilon_s = \varepsilon_b$	при $\sigma_s = \sigma_{T(02)}$	Призмная прочность	Расчётная при $\frac{\varepsilon_s = \varepsilon_b}{\sigma_s = \sigma_{T(02)}}$
1- без муфты	Ps-5-11	140000	>3175	-	409 х 0,9=388	>364
	Ps-5-12	91500	>3350	-		>226
2 - с муфтой, стык арматуры без зазора	Ps-1-1	140000	3300	-		363
	Ps-1-2	135000	>3588	-		>347
3 - с муфтой, стык арматуры без зазора, скос 6°	Ps-2-3	170000	4070	6000		$\frac{440}{423}$
	Ps-2-4	160000	3285	6000		$\frac{419}{395}$
4 - с муфтой, стык арматуры с зазором 10 мм	Ps-3-6	180000	3268	6000		$\frac{475}{451}$

Продолжение таблицы 1

Серия	Номер образца	Разрушающая нагрузка Р, кгс	Напряжения в арматуре σ_s , кгс/см ²		Прочность бетона R_b , кгс/см ²	
			при $\varepsilon_s = \varepsilon_b$	при $\sigma_s = \sigma_{T(02)}$	Призменная прочность	Расчётная при $\frac{\varepsilon_s = \varepsilon_b}{\sigma_s = \sigma_{T(02)}}$
5 - с муфтой, стык арматуры с зазором 20 мм	Ps-4-7	170000	>3570	6000	409 x 0,9=388	$> \frac{445}{423}$
	Ps-4-8	123000	2230	-		325
6 - без муфты	Ps-5-13	270000	4725	6000	677 x 0,9 = 609	$\frac{715}{703}$
	Ps-5-14	230000	>3375	-		>615
7 - с муфтой, стык арматуры с зазором 20 мм	Ps-4-9	235000	>3450	6000		$> \frac{628}{605}$
	Ps-4-10	220000	3767	-		583

Table 1

The results of compression tests of specimens-prisms with reinforcement Ø20 mm class Av600P

Series	Sample number	Failure load P, kgf	Reinforcing bar stress σ_s , kgf/sm ²		Strength of concrete R_b , kgf/sm ²	
			when $\varepsilon_s = \varepsilon_b$	when $\sigma_s = \sigma_{T(02)}$	Prism strength	Design strength when $\frac{\varepsilon_s = \varepsilon_b}{\sigma_s = \sigma_{T(02)}}$
1- without coupling	Ps-5-11	140000	>3175	-	409 x 0,9=388	>364
	Ps-5-12	91500	>3350	-		>226
2 - with coupling, reinforcement joint without gap	Ps-1-1	140000	3300	-		363
	Ps-1-2	135000	>3588	-		>347
3 - with coupling, reinforcement joint without gap, bevel 6°	Ps-2-3	170000	4070	6000		$\frac{440}{423}$
	Ps-2-4	160000	3285	6000		$\frac{419}{395}$
4 - with coupling, reinforcement joint with 10 mm gap	Ps-3-6	180000	3268	6000		$\frac{475}{451}$

Continuation of Table 1

Series	Sample number	Failure load P, kgf	Reinforcing bar stress $\sigma_s, \text{kgf}/\text{cm}^2$		Strength of concrete $R_b, \text{kgf}/\text{cm}^2$	
			when $\varepsilon_s = \varepsilon_b$	when $\sigma_s = \sigma_{T(02)}$	Prism strength	Design strength when $\frac{\varepsilon_s = \varepsilon_b}{\sigma_s = \sigma_{T(02)}}$
5 - with coupling, reinforcement joint with 20 mm gap	Ps-4-7	170000	>3570	6000	409 x 0,9=388	$> \frac{445}{423}$
	Ps-4-8	123000	2230	-		325
6 - without coupling	Ps-5-13	270000	4725	6000	677 x 0,9 = 609	$\frac{715}{703}$
	Ps-5-14	230000	>3375	-		>615
7 - with coupling, reinforcement joint with 20 mm gap	Ps-4-9	235000	>3450	6000		$> \frac{628}{605}$
	Ps-4-10	220000	3767	-		583

Для образцов-призм с арматурой диаметра 32 мм класса Ав600П было произведено 3 партии бетона и изготовлены 23 серии образцов-призм с разными вариантами муфтовых соединений арматуры и без стыков (табл. 2).

Результаты испытаний на сжатие образцов-призм с арматурой Ø32 мм класса Ав600П представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний на сжатие образцов-призм с арматурой Ø32 мм класса Ав600П

Серия	Номер образца	Разрушающая нагрузка P, кгс	Напряжения в арматуре $\sigma_s, \text{кгс}/\text{см}^2$		Прочность бетона $R_b, \text{кгс}/\text{см}^2$	
			при $\varepsilon_s = \varepsilon_b$	при $\sigma_s = \sigma_{T(02)}$	Призмента прочность	Расчётная при $\frac{\varepsilon_s = \varepsilon_b}{\sigma_s = \sigma_{T(02)}}$
1 - бетонная призма без арматуры (контрольная)	Pb-1-1	100000	-	-	383 x 0,9 = 345 (1-я партия бетона)	278
2 - без муфты	Ps-1-1	89000	>2730	-		>190
3 - с муфтой, стык арматуры без зазора, с контргайками	Ps-2-4	130000	>3890	-		>280
4 - с муфтой, стык арматуры без зазора, скос 6°, с контргайками	Ps-3-7	171000	>5000	6000		$> \frac{372}{349}$

Продолжение таблицы 2

Серия	Номер образца	Разрушающая нагрузка Р, кгс	Напряжения в арматуре σ_s , кгс/см ²		Прочность бетона R_b , кгс/см ²	
			при $\varepsilon_s = \varepsilon_b$	при $\sigma_s = \sigma_{T(02)}$	Призмента прочность	Расчётная при $\frac{\varepsilon_s = \varepsilon_b}{\sigma_s = \sigma_{T(02)}}$
5 - с муфтой, стык арматуры с зазором 10 мм, без контргаяк	Ps-4-10	135000	3010	-	383 х 0,9 = 345 (1-я партия бетона)	315
6 - с муфтой, стык арматуры с зазором 10 мм, с контргайками	Ps-5-13	160000	3850	5000		$\frac{367}{340}$
7- с муфтой, стык арматуры с зазором 10 мм, с контргайками, с клеем	Ps-6-16	200000	4700	6000		$\frac{361}{431}$
8 - бетонная призма без арматуры (контрольная)	Pb-2-1	190000	-	-	447 х 0,9 = 402 (2-я партия)	528
9 - бетонная призма без арматуры (контрольная)	Pb-2-2	144000	-	-		400
10 - без муфты	Ps-1-2	195000	3600	6000		$\frac{472}{417}$
11 - с муфтой, стык арматуры без зазора, с контргайками	Ps-2-5	230000	>4530	6000		$> \frac{549}{516}$
12 - с муфтой, стык арматуры без зазора, скос 6°, с контргайками	Ps-3-8	225000	4460	6000		$\frac{550}{502}$
13 - с муфтой, стык арматуры с зазором 10 мм, без контргаяк	Ps-4-11	180000	>3680	4000		$> \frac{427}{420}$
14 - с муфтой, стык арматуры с зазором 10 мм, с контргайками	Ps-5-14	195000	3950	6000		$\frac{464}{417}$
15- с муфтой, стык арматуры с зазором 10 мм, с контргайками, с клеем	Ps-6-17	190000	3880	6000		$\frac{451}{403}$
16 - бетонная призма без арматуры (контрольная)	Pb -3-1	242000	-	-	639 х 0,9 = 575 (3-й партия бетона)	672
17 - бетонная призма без арматуры (контрольная)	Pb-3-2	140000	-	-		389
18- без муфты	Пс-1-3	310000	4150	6000		$\frac{786}{744}$
19 – с муфтой, стык арматуры без зазора, с контргайками	Ps-2-6	291000	4290	6000		$\frac{728}{690}$
20 - с муфтой, стык арм. без зазора, скос 6°, с контргайками	Ps-3-9	270000	>3830	6000		$> \frac{679}{630}$

Продолжение таблицы 2

Серия	Номер образца	Разрушающая нагрузка Р, кгс	Напряжения в арматуре σ_s , кгс/см ²		Прочность бетона R_b , кгс/см ²	
			при $\varepsilon_s = \varepsilon_b$	при $\sigma_s = \sigma_{T(02)}$	Призмента прочность	Расчётная при $\frac{\varepsilon_s = \varepsilon_b}{\sigma_s = \sigma_{T(02)}}$
21 - с муфтой, стык арматуры с зазором 10 мм, без контргайек	Ps-4-12	270000	3650	6000	639 x 0,9 = 575 (3-й партия бетона)	$\frac{684}{630}$
22 - с муфтой, стык арматуры с зазором 10 мм, с контргайками	Ps-5-15	251000	4100	6000		$\frac{619}{576}$
23 - с муфтой, стык арматуры с зазором 10 мм, с контргайками, с клеем	Ps-6-18	280000	3800	6000		$\frac{708}{658}$

Table 2

The results of compression tests of specimens-prisms with reinforcement Ø32 mm class Av600P

Series	Sample number	Failure load P, kgf	Reinforcing bar stress σ_s , kgf/sm ²		Strength of concrete R_b , kgf/sm ²	
			when $\varepsilon_s = \varepsilon_b$	when $\sigma_s = \sigma_{T(02)}$	Prism strength	Design strength when $\frac{\varepsilon_s = \varepsilon_b}{\sigma_s = \sigma_{T(02)}}$
1 - concrete prism without reinforcement (control)	Pb-1-1	100000	-	-	383 x 0,9 = 345 (1st batch of concrete)	278
2 - without coupling	Ps-1-1	89000	>2730	-		>190
3 - with coupling, reinforcement joint without gap, with lock nuts	Ps-2-4	130000	>3890	-		>280
4 - with coupling, reinforcement joint without gap, bevel 6°, with lock nuts	Ps-3-7	171000	>5000	6000		$> \frac{372}{349}$
5 - with coupling, reinforcement joint with 10 mm gap of, without lock nuts	Ps-4-10	135000	3010	-		315
6 - with coupling, reinforcement joint with 10 mm gap, with lock nuts	Ps-5-13	160000	3850	5000		$\frac{367}{340}$
7- with coupling, reinforcement joint with 10 mm gap, with lock nuts, with glue	Ps-6-16	200000	4700	6000		$\frac{361}{431}$

Continuation of Table 2

Series	Sample number	Failure load $P, \text{ kgf}$	Reinforcing bar stress $\sigma_s, \text{ kgf/sm}^2$		Strength of concrete $R_b, \text{ kgf/sm}^2$	
			when $\varepsilon_s = \varepsilon_b$	when $\sigma_s = \sigma_{T(02)}$	Prism strength	Design strength when $\varepsilon_s = \varepsilon_b$ $\sigma_s = \sigma_{T(02)}$
8 - concrete prism without reinforcement (control)	Pb-2-1	190000	-	-	447 x 0,9 = 402 (2nd batch of concrete)	528
9 - concrete prism without reinforcement (control)	Pb-2-2	144000	-	-		400
10 - without coupling	Ps-1-2	195000	3600	6000		$\frac{472}{417}$
11 - with coupling, reinforcement joint without gap, with lock nuts	Ps-2-5	230000	>4530	6000		$> \frac{549}{516}$
12 - with coupling, reinforcement joint without gap, bevel 6°, with lock nuts	Ps-3-8	225000	4460	6000		$\frac{550}{502}$
13 - with coupling, reinforcement joint with 10 mm gap, without lock nuts	Ps-4-11	180000	>3680	4000		$> \frac{427}{420}$
14 - with coupling, reinforcement joint with 10 mm gap, with lock nuts	Ps-5-14	195000	3950	6000		$\frac{464}{417}$
15- with coupling, reinforcement joint with 10 mm gap, with lock nuts, with glue	Ps-6-17	190000	3880	6000		$\frac{451}{403}$
16 - concrete prism without reinforcement (control)	Pb -3-1	242000	-	-	639 x 0,9 = 575 (3rd batch of concrete)	672
17 - concrete prism without reinforcement (control)	Pb-3-2	140000	-	-		389
18- without coupling	Ps-1-3	310000	4150	6000		$\frac{786}{744}$
19 – with coupling, reinforcement joint without gap, with lock nuts	Ps-2-6	291000	4290	6000		$\frac{728}{690}$
20 - with coupling, reinforcement joint without gap, bevel 6°, with lock nuts	Ps-3-9	270000	>3830	6000		$> \frac{679}{630}$
21 - with coupling, reinforcement joint with 10 mm gap, without lock nuts	Ps-4-12	270000	3650	6000		$\frac{684}{630}$
22 - with coupling, reinforcement joint with 10 mm gap, with lock nuts	Ps-5-15	251000	4100	6000		$\frac{619}{576}$

Continuation of Table 2

Series	Sample number	Failure load $P, \text{ kgf}$	Reinforcing bar stress $\sigma_s, \text{ kgf/sm}^2$		Strength of concrete $R_b, \text{ kgf/sm}^2$	
			when $\varepsilon_s = \varepsilon_b$	when $\sigma_s = \sigma_{T(02)}$	Prism strength	Design strength when $\varepsilon_s = \varepsilon_b$ $\sigma_s = \sigma_{T(02)}$
23 - with coupling, reinforcement joint with 10 mm gap, with lock nuts, with glue	Ps-6-18	280000	3800	6000	639 x 0,9 = 575 (3rd batch of concrete)	$\frac{708}{658}$

Проанализировав результаты экспериментальных исследований образцов-призм с арматурой диаметров 20 и 32 мм класса Ав600П, можно сделать следующие выводы:

1. Максимальная прочность призм с бетоном со средней призмочной прочностью 388 кгс/см² и с арматурой Ø20 мм класса Ав600П без стыкового муфтового соединения и с полным контактным стыком в муфте была одинакова и составила 140000 кгс.

2. Среднее значение прочности призм с арматурой Ø20 мм класса Ав600П с частично контактным и бесконтактным стыками составило 161000 кгс, что превысило прочность призм без стыкового муфтового соединения и с полным контактным стыком в муфте на 15%.

3. Прочность призм с бетоном со средней призмочной прочностью 345 кгс/см² первой партии бетона с арматурой Ø32 мм без стыкового муфтового соединения (89 т) была ниже прочности образцов с контактным муфтовым стыком арматуры Ø32 мм (130 т) на 40% и прочности образцов с бесконтактным муфтовым стыком с зазором 10 мм без контргайек (135 т), а также прочности образцов с остальными видами муфтовых соединений: с ограниченным контактом (скос 6°) (171 т), с зазором 10 мм и контргайками (160 т), с зазором 10 мм, контргайками и клеевым соединением (200 т).

4. Прочность призм с бетоном со средней призмочной прочностью 402 кгс/см² второй партии бетона с арматурой Ø32 мм без стыкового муфтового соединения (195 т) была ниже прочности образцов с контактным (230 т) на 18% и частично контактным (скос 6°) (225 т) муфтовыми соединениями и близка прочности образцов с бесконтактными муфтовыми соединениями других видов.

5. Прочность призм с бетоном со средней призмочной прочностью 575 кгс/см² третьей партией бетона с арматурой Ø32 мм без стыкового муфтового соединения (310 т) превысила прочность образцов с контактным (291 т) на 6,5% и частично контактным (скос 6°) муфтовым соединением (270 т) на 15%.

6. Прочность бетонных и армированных призм зависит от состава бетона, способа его уплотнения и условий нагружения, обуславливаемых эксцентриситетом приложения нагрузки.

7. Выполненный анализ деформаций и соответствующих им напряжений в предельном состоянии арматуры при сжатии показал их зависимость от напряжённо-деформированного состояния сечений призмы по длине. Средние деформации бетона на базе 20 см и более могут не соответствовать локальным деформациям арматуры по её длине, которые, как показывает анализ, вероятно, могут достигать своих предельных значений.

8. С увеличением прочности бетона с В30 до В60, разрушающая нагрузка призм без соединительной муфты и с муфтовым бесконтактным соединением становится практически одинаковой. При этом арматура класса прочности 600 МПа, в данном случае, может достигать своих предельных значений.

9. Все образцы разрушились при средних деформациях бетона ниже его предельных относительных деформаций. Средние относительные деформации были близки к величине ϵ_{y0} . Такое разрушение образцов связано с явлением продольного изгиба арматуры в теле бетона при приближении его к пластическому состоянию. Тот факт, что образцы с муфтой и с арматурой, установленной с зазором, показали более высокую прочность, связано с включением муфты в работу и, как следствие, более высокой изгибной жёсткости этой части стыкуемых стержней.

10. Сопоставление результатов расчёта и испытаний образцов-призм при сжатии с армированием цельными стержнями и соединённых муфтами с контактными и бесконтактными стыками арматуры показало высокую надёжность муфтовых соединений четырёхрядной винтовой арматуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали эффективность применения винтовой арматуры класса Ав600П в сжатых элементах, изготовленных из бетонов классов В30÷В60 с муфтовыми резьбовыми контактными, частично контактными и бесконтактными стыковыми соединениями.

Снижение прочности призм с цельной арматурой и контактными муфтовыми соединениями у образцов с бетоном класса В30 можно объяснить отсутствием поперечного армирования, низкой прочностью бетона на растяжение и явлением продольного изгиба цельных стержней и стержней с контактным стыком в соединительных муфтах.

При выполнении сжатых муфтовых соединений четырёхрядной винтовой арматуры не требуется специального торцевания соединяемых концов стержней и допускается зазор между ними до 10 мм. В случае плотного накручивания соединительных муфт на концы стержней, возможно их использование без контргаек [5].

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем благодарность Игорю Николаевичу Тихонову, автору арматуры класса Ав600П, за предоставление информации по арматуре с четырёхрядным винтовым профилем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонов И.Н., Блажко В.П., Тихонов Г.И., Казарян В.А., Краковский М.Б., Цыба О.О. Инновационные решения для эффективного армирования железобетонных конструкций, Жилищное строительство. 2018. № 8. С. 3-10.
2. Тихонов И.Н., Смирнова Л.Н., Бубис А.А., Тихонов Г.И., Сафонов А.А. О новых видах арматурного проката для сейсмостойкого строительства, Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 5. С. 20-27.
3. Окольникова Г.Э., Тихонов Г.И., Гришин Г.Е. Сцепление с бетоном новых видов арматурного проката для строительства, Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2020. Т. 21. № 2. С. 144–152. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2020-21-2-144-152>
4. Гришин Г.Е., Тихонов Г.И., Саврасов И.П., Окольникова Г.Э. Определение податливости винтовых муфтовых соединений арматуры класса прочности 500 Н/мм², Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. Т. 18. № 5. С. 475–484. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-5-475-484>
5. Тихонов Г.И. Исследование железобетонных призм со сжатой четырёхрядной винтовой арматурой Ав600П. Тезисы докладов к конференции, Научный потенциал строительной отрасли. Сборник материалов II научно-практической конференции. Москва, АО "НИЦ "Строительство", 2021 Издательство: Научно-исследовательский центр «Строительство» <https://doi.org/10.37538/2713-1157-2021-36-41>
6. Гришин Г.Е., Тихонов Г.И., Окольникова Г.Э. Обзор высокопрочной винтовой арматуры, применяемой в предварительно напряженных конструкциях, Вестник 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>

7. Тихонов И.Н., Копылов И.В. Эффективность производства и применения арматурного проката с новыми видами периодического профиля, Строительные материалы. 2021. №12. С. 35-47.
8. Hao Hu, JiaqiWang, Xingfei Yan. Cracking analysis of members connected by grouted splice sleeves under axial tension, Construction and Building Materials. 2022. Volume 322, 7 March 2022, 126487.
9. Ying-ChengLin. Behavior of a steel coupled beam moment frame based on nonlinear analyses, Journal of Constructional Steel Research. 2014. Volume 99, August 2014. P. 10-17.
10. Chunfeng Zhao, Zengde Zhang, Jingfeng Wang, BoWang. Numerical and theoretical analysis on the mechanical properties of improved CP-GFRP splice sleeve, Thin-Walled Structures. 2019. Volume 137, April 2019. P. 487-501.
11. Hongya Qua, Hao Lv, Tao Zhang, Tiantian Lic, Zhiqiang Wang. Experimental study and theoretic analysis of shear failure mechanism for short precast bridge columns with grouted splice sleeve (GSS) connectors under direct shear load, Engineering Structures. 2022. Volume 272, 1 December 2022, 115010.
12. V.BompaA.Y.Elghazouli. Monotonic and cyclic performance of threaded reinforcement splices, Structures. 2018. Volume 16, November 2018. P. 358-372.
13. Louai Alaoud, Yousef Al-Salloum, HusainAbbas. Experimental investigation for GFRP rebar couplers for reinforced concrete, Journal of King Saud University - Engineering Sciences. 2021. Volume 33, Issue 2, February 2021. P. 104-110.
14. Xue Zhang, Yuheng Zhao, Yufeng Guo, Zhengyao Li. Equivalent stress-strain model of half grouted sleeve connection under monotonic and repeated loads: Experiment and preliminary application, Engineering Structures. 2022. Volume 260, 1 June 2022, 114247.
15. Qian Gu, Ge Dong, Xiang Wang, Hongbin Jiang, Shaomin Peng. Research on pseudo-static cyclic tests of precast concrete shear walls with vertical rebar lapping in grout-filled constrained hole, Engineering Structures, Volume 189, 15 June 2019, Pages 396-410.
16. Jianwei Chen, Zhanwen Wang, Ziyi Liu, Shilong Ju. Experimental investigation of mechanical behaviour of rebar in steel half-grouted sleeve connections with defects in water/binder ratio, Structures. 2020. Volume 26, August 2020. P. 487-500.
17. Chao Liu, Liufeng Pan, Hai Liu, Huawei Tong, Yubing Yang, Wei Chen. Experimental and numerical investigation on mechanical properties of grouted-sleeve splices, Construction and Building Materials. 2020. Volume 260, 10 November 2020, 120441.
18. Ernian Zhao, Chenning Song, Xin Zhang, Qiang Zhou, Kai Yan. Experimental study on monotonic, cyclic mechanics and fatigue performance of pressed cone sleeve splices, Structures, Volume 39, May 2022, Pages 482-495.
19. Wenlong Han, Zuozhou Zhao, Jiaru Qian, Yao Cui, Shiwei Liu. Seismic behavior of precast columns with large-spacing and high-strength longitudinal rebars spliced by epoxy mortar-filled threaded couplers, Engineering Structures, Volume 176, 1 December 2018, Pages 349-360.
20. Chenglin Wu, Genda Chen, Jeffery S.Volz, Richard K.Brow, Michael L.Koenigstein. Global bond behavior of enamel-coated rebar in concrete beams with spliced reinforcement, Construction and Building Materials. 2013. Volume 40, March 2013, P. 793-801.
21. Тамразян А.Г. К устойчивости внецентренно сжатых железобетонных элементов с малым эксцентриситетом с учетом реологических свойств бетона, Железобетонные конструкции. 2023. Т. 2. № 2. С. 48–57.
22. Савин С.Ю., Колчунов В.В., Федорова Н.В. Несущая способность железобетонных внецентренно сжатых элементов каркасов зданий при коррозионных повреждениях в условиях особых воздействий, Железобетонные конструкции. 2023. Т. 1. № 1. С. 46–54.
23. Алексейцев А.В. Анализ устойчивости колонны при горизонтальных ударных воздействиях, Железобетонные конструкции. 2023. Т. 2. № 2. С. 3–12.

REFERENCES

1. Tikhonov I.N., Blazhko V.P., Tikhonov G.I., Kazaryan V.A., Krakovsky M.B., Tsyba O.O. Innovative solutions for efficient reinforcement of reinforced concrete structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2018. No. 8, Pp. 3–10. (Rus.).
2. Tikhonov I.N., Smirnova L.N., Bubis A.A., Tikhonov G.I., Safonov A.A. About New Types of Reinforcing Rolled Metal for Earthquake Engineering. *Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Construction's safety]*. 2019, No. 6, Pp. 20-27. (Rus.)

3. Okolnikova G.E., Tikhonov G.I., Grishin G.E. Adhesion to concrete of new types of rebar rolled products for construction. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2020. 21(2):144–152. (Rus.) <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2020-21-2-144-152>
4. Grishin G.E., Tikhonov G.I., Savrasov I.P., Okolnikova G.E. Couplings slip determination of the threadbar of strength class 500 N/mm². *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2022. 18(5):475–484. (Rus.) <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-5-475-484>
5. Tikhonov G.I. Research of reinforced concrete prisms with compressed four-row screw reinforcement Av600P. Abstracts of reports for the conference. Scientific potential of the construction industry. Collection of materials of the II scientific and practical conference. Moscow, JSC "SIC "Construction", 2021 Publisher: Scientific Research Center "Construction" (Rus.) <https://doi.org/10.37538/2713-1157-2021-36-41>
6. 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> (Rus.)
7. Tikhonov I.N., Kopylov I.V. Efficiency of production and application of rebar with new types of periodic profile. *Building materials*. 2021. No. 12, Pp. 35-47. (Rus.)
8. Hao Hu, Jiaqi Wang, Xingfei Yan. Cracking analysis of members connected by grouted splice sleeves under axial tension. *Construction and Building Materials*. 2022. Volume 322, 7 March, 126487.
9. Ying-Cheng Lin. Behavior of a steel coupled beam moment frame based on nonlinear analyses. *Journal of Constructional Steel Research*. 2014. Volume 99. Pp. 10-17.
10. Chunfeng Zhao, Zengde Zhang, Jingfeng Wang, Bo Wang. Numerical and theoretical analysis on the mechanical properties of improved CP-GFRP splice sleeve. *Thin-Walled Structures*. 2019. Volume 137. Pp. 487-501.
11. Hongya Qua, Hao Lv, Tao Zhang, Tiantian Lic, Zhiqiang Wang. Experimental study and theoretic analysis of shear failure mechanism for short precast bridge columns with grouted splice sleeve (GSS) connectors under direct shear load. *Engineering Structures*. 2022. Volume 272. 115010.
12. Bompá V., Elghazouli A.Y. Monotonic and cyclic performance of threaded reinforcement splices. *Structures*. 2018. Volume 16. Pp. 358-372.
13. Louai Alaoud, Yousef Al-Salloum, Husain Abbas. Experimental investigation for GFRP rebar couplers for reinforced concrete. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. 2021. Volume 33. Issue 2. Pp. 104-110.
14. Xue Zhang, Yuheng Zhao, Yufeng Guo, Zhengyao Li. Equivalent stress-strain model of half grouted sleeve connection under monotonic and repeated loads: Experiment and preliminary application. *Engineering Structures*. 2022. Volume 260. 114247.
15. Qian Gu, Ge Dong, Xiang Wang, Hongbin Jiang, Shaomin Peng. Research on pseudo-static cyclic tests of precast concrete shear walls with vertical rebar lapping in grout-filled constrained hole. *Engineering Structures*. 2019. Volume 189. Pp. 396-410.
16. Jianwei Chen, Zhanwen Wang, Ziyi Liu, Shilong Ju. Experimental investigation of mechanical behaviour of rebar in steel half-grouted sleeve connections with defects in water/binder ratio. *Structures*. 2020. Volume 26. Pp. 487-500.
17. Chao Liu, Liufeng Pan, Hai Liu, Huawei Tong, Yubing Yang, Wei Chen. Experimental and numerical investigation on mechanical properties of grouted-sleeve splices. *Construction and Building Materials*. 2020. Volume 260. 120441.
18. Ernian Zhao, Chenning Song, Xin Zhang, Qiang Zhou, Kai Yan. Experimental study on monotonic, cyclic mechanics and fatigue performance of pressed cone sleeve splices. *Structures*. 2022. Volume 39. Pp. 482-495.
19. Wenlong Han, Zuozhou Zhao, Jiaru Qian, Yao Cui, Shiwei Liu. Seismic behavior of precast columns with large-spacing and high-strength longitudinal rebars spliced by epoxy mortar-filled threaded couplers. *Engineering Structures*. 2018. Volume 176. 1 December 2018. Pp. 349-360.
20. Chenglin Wu, Genda Chen, Jeffery S. Volz, Richard K. Brow, Michael L. Koenigstein. Global bond behavior of enamel-coated rebar in concrete beams with spliced reinforcement. *Construction and Building Materials*. 2013. Volume 40, March 2013. Pp. 793-801.
21. Tamrazyan A.G. On the Stability of Eccentrically Compressed Reinforced Concrete Elements with a Small Eccentricity, Taking into Account the Rheological Properties of Concrete. *Reinforced Concrete Structures*. 2023;2(2):48–57. (Rus.)

22. Savin S.Yu., Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Ductility of Eccentrically Compressed Elements of RC Frame Damaged by Corrosion under Accidental Impacts. *Reinforced Concrete Structures*. 2023;1(1):46–54. (Rus.)
23. Alekseytsev A.V. Stability of the RC Column under Horizontal Impacts. *Reinforced Concrete Structures*. 2023;2(2): 3–12. (Rus.)