



**Тихонов И.Н.**

**доктор технических наук, начальник отдела инновационных разработок и конструктивных решений, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство»**

**Смирнова Л.Н.**

**кандидат технических наук, ученый секретарь, АО «НИЦ «Строительство»**

**Бубис А.А.**

**заместитель руководителя Центра исследований сейсмостойкости сооружений, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, АО «НИЦ «Строительство»**

**Тихонов Г.И.**

**инженер-конструктор отдела инновационных разработок и конструктивных решений, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство»**

**Сафонов А.А.**

**руководитель Испытательного Центра «НИЦстрой», ООО «Институт ВНИИ железобетон»**

---

**Москва, Российская Федерация**

---

УДК 624.042.7, 624.046, 691.328

## О новых видах арматурного проката для сейсмостойкого строительства

**Аннотация:** В результате выхода ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций» расширились возможности производства новых видов арматурного проката, учитывающих потребности различных областей строительства.

Приведённые материалы исследований убедительно доказывают способность арматуры с многорядным (шестирядным и винтовым четырёхрядным) расположением поперечных рёбер на поверхности сохранять сцепление с бетоном в запредельной стадии деформирования. Этот

фактор, а также высокая выносливость при циклических динамических воздействиях, возможность соединения четырёхрядной винтовой арматуры муфтами и анкеровки её гайками раскрывают широкие перспективы использования новой арматуры не только в сейсмостойком, но и в атомноэнергетическом, транспортном и других видах строительства. Новый арматурный прокат отечественного производства способен завоевать лидирующие позиции не только на внутреннем, но и на внешнем строительных рынках.

---

**Ключевые слова:** арматурный прокат, выносливость, двухсторонний многорядный профиль, деформативность, запредельная стадия пластического деформирования, прочность, сейсмостойкое строительство, сцепление с бетоном, циклическое динамическое нагружение.

---

**Tikhonov I.N.,** doctor of technical Sciences, associate professor, head of Department of innovative development and design solutions NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC RCC, Moscow, Russian Federation

**Smirnova L.N.,** candidate of technical sciences, JSC RCC, Moscow, Russian Federation

**Bubis A.A.,** engineer, deputy head of the center for research of seismic resistance of structures, TSNISK named after V.A. Koucherenko JSC RCC, Moscow, Russian Federation

**Tikhonov G.I.,** engineer of the Department of innovative development and design solutions NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC RCC, Moscow, Russian Federation

**Safonov A.A.,** head of RC «NITSstroy», L.L.C. «Institute VNIIZhelezobeton», Moscow, Russian Federation

## About New Types of Reinforcing Rolled Metal for Earthquake Engineering

**Abstract:** As a result of the release of GOST 34028-2016 «Reinforcing bars for reinforced concrete structures» the manufacturability of new kinds of reinforcing bars, taking into account the needs of different areas of construction were increased. The materials of the present study prove the ability of reinforcement with a multi-row (six-row and screw four-row) arrangement of transverse ribs on its surface to maintain adhesion with concrete even at the stage of exceeding the limit values of deformation.

This factor, as well as high endurance at cyclic dynamic effects, possibility of connection using couplings of four-row screw reinforcing bars and anchoring it with nuts, expands the possibilities of using the new valves not only in earthquake engineering, but also in nuclear power, transport and other types of construction. The new reinforcing bars of domestic production are able to gain a leading position not only in the domestic but also in foreign construction markets.

**Keywords:** reinforcing bars, endurance, double-sided multi-row profile, deformability, beyond the stage of plastic deformation, strength, earthquake engineering, adhesion to concrete, cyclic dynamic loading.

### ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с СП 14.13330.2018 и СТО 36554501-059-2018 «Строительство в сейсмических районах» в качестве стержневой ненапрягаемой арматуры следует применять арматуру классов прочности А500 и А600, напрягаемой – А600 и А800.

ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций», вступивший в действие с 1 января 2019 года, регламентирует различные способы производства и виды профиля арматуры разных классов в зависимости от потребностей строителей и требований нормативных и рекомендательных документов, разработанных для проектирования железобетонных конструкций различного назначения.

Учитывая новизну большинства положений ГОСТ 34028 для производителей арматуры, а также для проектировщиков и строителей, были разработаны «Рекомендации по применению специальных видов арматуры по ГОСТ 34028-2016».

Данный документ, основан на последних разработках и исследованиях новых видов арматурного проката, некоторые из которых, наиболее важные для сейсмостойкого строительства, приводятся ниже.

Для безопасности зданий и сооружений, строящихся в сейсмоопасных районах, исключения прогрессирующего обрушения, допускается проектирование их железобетонных конструкций с образованием шарниров пластичности в расчётных сечениях, обеспечивающих диссипацию (рассеяние) энергии сейсмического воздействия [1].

Это может быть осуществлено при выполнении ряда конструктивных требований при проектировании и применении эффективных видов арматурного проката нового поколения, имеющего высокие характеристики прочности и деформативности металла, а также коррозионной стойкости, свариваемости и сцепления с бетоном.

Производство арматурного проката за последние десятилетия претерпело кардинальные изменения:

- внедрено производство арматуры из непрерывно литой заготовки;
- с целью снижения себестоимости массово используется метод термомеханического упрочнения арматуры, изготавливаемой из низколегированного металла;
- для увеличения производительности прокатных станков внедрен метод продольного разделения проката в потоке стана (слиттинг-процесс);
- из-за увеличения экспортных поставок вместо кольцевого профиля по ГОСТ 5781 (рис.1,а) освоено производство стержневой арматуры с двусторонним расположением серповидных поперечных ребер без пересечения с продольными (европрофиль) (рис.1,б).

Из-за значительного увеличения производительности металлургического производства арматуры в результате внедрения инновационных разработок ухудшилось ее качество.

В процессе непрерывной разливки металла в центральной части заготовки остаются участки, загрязненные неметаллическими включениями, которые, группируясь в ее срединной части, формируют неоднородную структуру и снижают качественные показатели готового проката [2].

В случае использования слиттинг-процесса (разделения заготовки на две и более частей (ниток)), эти микронесовершенства выходят на поверхность стержней и являются причиной проникновения внутрь арматуры агрессивной внешней среды, содержащейся в составе бетона или проникающей снаружи через имеющиеся в нем трещины.

В результате стойкость к коррозионному растрескиванию арматурного проката, произведенного по новой технологии с использованием непрерывной разливки стали и слиттинг-процесса, в 2-10 раз ниже, чем у арматуры, изготовленной из слитка и прокатанной в одну нитку.

Наиболее значимыми свойствами арматуры, применяемой при производстве железобетона, кроме прочности

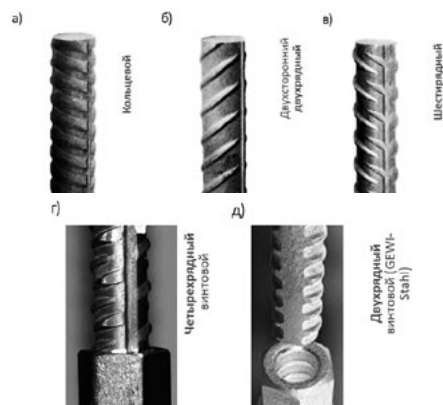


Рисунок 1 — Виды профилей арматурного проката  
а, б – обычные; в, г – инновационные; г, д – винтовые

Figure 1 — Kinds of reinforcing bar profiles  
a, b – ordinary; v, g – innovative; g, d – screw

и деформативности являются её свариваемость и сцепление с бетоном.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В СССР в приоритете было сборное строительство. В связи с этим исследования, ставившие целью совершенствования арматурного проката, выполнялись для железобетонных конструкций, производимых заводами ЖБИ, где основным видом соединения арматурных стержней является сварка. В результате требования к арматурному прокату, производимому в СССР, отличались от требований к арматуре зарубежного производства, используемой в приоритетном на Западе монолитном домостроении, где предпочтительными являются соединения внахлест и механические бессварные соединения.

Учитывая большое распространение сварных соединений арматуры в сборном железобетоне, а также горячекатаный способ ее производства, используемый в то время, отметим, что в строительстве применялись стали с повышенным содержанием легирующих добавок, а именно марганца, кремния и других химических элементов. Эти добавки обеспечивали хорошую свариваемость металла и его прочность, но значительно увеличивали себестоимость арматуры.

Для обеспечения прочности низколегированной арматуры, при сохранении достаточно низкой себестоимости, приходилось увеличивать массовую долю содержания углерода в металле.

Так, в строительстве была допущена для массового применения в железобетоне без предварительного напряжения арматура класса А-III (А400) из марки стали 35ГС, считающаяся за рубежом условно свариваемой из-за содержания в ней углерода более 0,24%.

Для обеспечения безопасности ее применения строительные нормы того времени ограничивали сварку электродуговыми прихватками, которые являлись причиной образования микротрещин и разрушения металла в сварных соединениях. К сожалению, эти требования не всегда выполнялись, что приводило к трагическим последствиям, особенно в сейсмостойком строительстве.

В транспортном строительстве до настоящего времени широко используется для производства арматуры сталь

марки 25Г2С, в которой содержание углерода превышает значения, допускаемые за рубежом для свариваемой арматуры, а также нормируемые положениями ГОСТ 34028.

Для производства горячекатаной арматуры повышенной прочности класса А-IV (А-600), используемой для предварительно напряженных железобетонных конструкций, по ГОСТ 5781 допускалась для применения высокоуглеродистая сталь 80С с содержанием углерода 0,6-0,7%. Сварка такой арматуры категорически запрещалась. Для свариваемой арматуры классов А-IV(А-600), А-V(А800) и А-VI(А1000) с пониженным содержанием углерода были рекомендованы и использовались дорогостоящие стали 20ХГ2Ц, 23ХГ2Т, 22ХГ2АЮ, 22ХГ2Р и 20ХГ2СР, в которых нужные свойства формировались благодаря химическим добавкам хрома, марганца, циркония, титана, азота, алюминия, бора, кремния.

Для снижения себестоимости арматурного проката с 1990 г. стал массово внедряться метод термомеханического упрочнения металла. Был разработан ГОСТ 10884 «Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций». Данный способ упрочнения позволяет получить высокие прочностные характеристики арматуры из металла с низким содержанием легирующих добавок, уменьшая ее себестоимость, но, к сожалению, снижает показатели свариваемости арматуры из-за потери прочности после повторного тепловложения при сварке.

От эффективности сцепления зависит длина анкеровки арматуры на опорах сборных железобетонных плит и балок, прочность их наклонных сечений, момент образования и ширина раскрытия трещин, длина анкерующих стержней закладных деталей и пр.

В предварительно напряженных железобетонных элементах от вида профиля поверхности арматуры и его распорности в бетоне зависит эффективность применения высокопрочной стержневой арматуры из-за опасности разрушения опорных участков элементов при спуске высоких значений предварительных напряжений на затвердевший бетон. По результатам многочисленных исследований, несмотря на ряд существенных недостатков, касающихся в основном технологии производства и низкой выносливости, при производстве арматуры в СССР был рекомендован для массового применения кольцевой вид профиля по ГОСТ 5781 (рис.1,а).

Нормативные документы того времени для проектирования железобетонных конструкций создавались на базе результатов испытаний элементов (плит, балок стоек и т.п.), армированных кольцевой арматурой по ГОСТ 5781, имеющих высокие показатели сцепления с бетоном.

У железобетонных конструкций зданий и сооружений, запроектированных по СНиП 2.03.01-84\* «Бетонные и железобетонные конструкции» лучшие в мире технико-экономические показатели по расходу арматуры, а их безопасность проверена временем.

Нормативными документами, разработанными для мостостроения, СНиП 2.05.03-84\* (СП 35.13330.2011) «Мосты и трубы» регламентировано использование кольцевой арматуры по ГОСТ 5781.

В данном случае из-за низкой выносливости кольцевой арматуры при циклических динамических воздействиях в нормах для проектирования мостов предусмотрено значительное увеличение армирования относительно кон-

струкций, проектируемых при статическом нагружении. Оно определяется введением к расчётному сопротивлению арматуры понижающих его коэффициентов условий работы ( $m$ ), учитывающих влияние многократно повторяющейся нагрузки и наличие сварных соединений. При  $\rho = \sigma^{\min} / \sigma_{\max} = 0,5$  для А400  $m = 0,75$ , а А600  $m = 0,49$ .

Арматура класса А500, массово применяемая в обычном строительстве, в данных нормах отсутствует.

Для уменьшения влияния последствий от снижения качественных показателей свойств арматурного проката в нормативных документах приняты следующие изменения:

- в СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» рекомендовано в железобетонных конструкциях без предварительного напряжения, эксплуатируемых в среднеагрессивных и высокоагрессивных средах, допускать применение термомеханически упрочненной арматуры классов А400 и А500, горячекатаной арматуры класса А500 и холоднодеформированной арматуры классов А500 и В500, выдерживающих испытания на стойкость против коррозионного растрескивания по ГОСТ 10884 и ГОСТ 31383 в течение не менее 40 часов. Это требование зафиксировано в новом ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций».
- в СП 63.13330.2012 рекомендованы методы расчета и конструктивные требования, учитывающие массовое внедрение в России европейского профиля арматуры с низким браковочным значением критерия  $R_{eH}$  ( $f_R \geq 0,056$ ), характеризующегося пониженной прочностью и повышенной деформативностью сцепления с бетоном относительно арматуры с кольцевым профилем, ранее применяемой по ГОСТ 5781-82.

Длина анкерной и нахлестки стержней, а также ширина раскрытия трещин по новым нормам увеличена на 30-40% по сравнению со старыми нормами [3].

В результате внедрения термомеханически упрочненной арматуры пришлось выполнить значительную корректировку режимов и способов сварки, что значительно усложнило процесс сварочных работ и снизило их качество, как в заводских условиях, так и в строительстве. В РТМ 393-94 и ГОСТ 52544 «Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций» ужесточены требования к контактно стыковой сварке термомеханически упрочненных арматурных стержней, не рекомендуется ванная сварка со съёмными накладками, сварка под слоем флюса, а также значительно усложнена технология некоторых других видов сварных соединений.

В СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах» (п.6.7.4) сказано: «В несущих элементах железобетонных конструкций не допускается применение стыкуемых дуговой сваркой отдельных стержней сварных сеток и каркасов, а также анкерных стержней закладных деталей из арматурной стали марки 35ГС класса А400».

При сейсмичности 9 баллов применять стержневую арматуру периодического профиля диаметром более 28 мм без специальных анкеров не допускается. Стыкование рабочей арматуры (кроме колонн, пилонов) допускается при диаметре стержней до 18 мм включительно в зо-

нах 7, 8 баллов – внахлёстку без сварки, 9 баллов – то же, но с «лапками».

В колоннах, пилонах, а также других элементах при диаметре стержней 20 мм и более соединение стержней должно выполняться с помощью механических соединений (опрессованных и резьбовых муфт), а также сварки с парными накладками (до 22 мм включительно) или на стальной скобе-накладке независимо от сейсмичности площадки.

С 2003 г. различные исследователи и организации разрабатывают и исследуют инновационные виды арматурного проката с принципиально новыми конструктивными решениями профиля поверхности, химическим составом металла, технологией изготовления.

Успешными оказались разработка и исследование арматуры с шестирядным профилем класса А500СП с высоким критерием  $R_{eH}$  ( $f_R \geq 0,075$ ) (рис. 1, в). Эта арматура более 12 лет производится на ЕВРАЗ ЗСМК (Новокузнецк, Кемеровская обл.). К настоящему моменту использовано в железобетоне около 4 млн т подобной арматуры. В результате высокой прочности сцепления с бетоном, а также меньшей ширины раскрытия трещин в железобетонных конструкциях, учитываемых СТО 6554501-005-2006\*\* «Применение арматуры класса А500СП в железобетонных конструкциях», расход арматуры в отдельных элементах с ее применением снижается на 5-30%. Подтверждена надежность и эффективность ее использования в сейсмостойком [6], высотном и других видах гражданского и промышленного строительства.

В процессе освоения производства арматуры класса А500СП экспериментально установлено, что благодаря увеличению оребренности поверхности арматуры, а следовательно, контакта с водовоздушной охлаждающей средой в процессе термомеханического упрочнения увеличиваются прочностные свойства проката. Таким образом, эффективность термоупрочнения арматуры, как и ее сцепления с бетоном, зависит от профиля поверхности стержней, характеризуемой видом профиля и критерием  $R_{eH}$  ( $f_R$ ), минимальные значения которого устанавливаются действующей нормативной документацией для массового производства арматуры (0,056), а оптимальные значения находятся в диапазоне 0,07 – 0,08.

Увеличение критерия  $R_{eH}$  у традиционного европейского профиля с двусторонним расположением поперечных ребер  $f_R > 0,056$  возможно только за счет увеличения площади контакта поперечных ребер с бетоном (из-за чего образуется асимметрия (овальность) сечения стержней, возникают трудности по заполнению их металлом) или же за счет уменьшения расстояния между ними, вследствие чего снижается прочность сцепления с бетоном.

В результате исследований установлено, что совершенствование европейского профиля технологически и практически нецелесообразно.

Арматура класса А500СП положительно зарекомендовала себя на стройках Чувашии, Удмуртии, Татарстана, Сибири и Дальнего Востока. Она применялась при строительстве олимпийских объектов и реконструкции морского порта Сочи (Краснодарский край), в высотном монолитном и сборном строительстве Москвы, Санкт-Петербурга, Астаны и Алматы (Казахстан), космодрома «Восточный», атомной электростанции «Нововоронежская», а также на многих других строительных объектах.



Объемы производства и применения арматуры класса А500СП объективно подтверждают эффективность разработки и массового внедрения инновационных видов арматуры в России. Полученный опыт эффективного внедрения отечественного продукта необходимо использовать на других металлургических предприятиях и стройках России.

В 2016 г. началась разработка нового вида арматурного проката, сохранявшего преимущества многорядного профиля, а именно низкую распорность в бетоне, но имеющего высокие динамические показатели (выносливость при циклическом нагружении), необходимые для транспортного и других видов строительства.

При создании арматуры с новым профилем ставилась задача не только выполнить оба вышеприведенных условия, но и практически осуществить эту разработку на имеющемся у металлургов серийном двухвалковом прокатном оборудовании без значительных материальных затрат на его переделку.

Кроме того, новую арматуру предполагалось использовать в качестве винтовых крепежных элементов и винтовой арматуры с механическими муфтовыми стыковыми соединениями стержней и их анкерной гайками. Данный вид стыковки и анкеровки арматуры является предпочтительным в сейсмостойком строительстве, а также при большом насыщении ею железобетонных конструкций высотного, атомно-энергетического, гидротехнического и других видов строительства.

Задачи были успешно выполнены путем разработки новой конструкции четырехрядного профиля арматуры с двухзаходным винтообразным расположением по поверхности серповидных ребер (рис. 1, г). Данная конструкция позволяет изменять в широком диапазоне критерий Рема ( $f_R$ ) и без каких-либо технологических трудностей обеспечить его высокие браковочные значения ( $f_R \geq 0,07$ ).

Для производства арматуры с винтообразным (резьбовидным) расположением поперечных ребер, позволяющим осуществить стыковку арматуры муфтами и анкерную гайками, использовалась синхронизация прокатных валков, что несколько усложняет процесс изготовления арматуры, но обеспечивает преимущества, присущие этому виду продукции.

Для отработки технологии производства, оценки эф-

фективности применения новой арматуры были произведены опытные прокатки на Тульском металлпрокатном заводе и ЕВРАЗ ЗСМК (Новокузнецк), а также исследования в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» [4] и ООО «Институт ВНИИ железобетон».

Для экспериментальной оценки сцепления винтового арматурного проката с бетоном в ООО «Институт ВНИИ железобетон» были изготовлены опытные образцы, представляющие собой кубы бетона размером 250x250x250 мм, в центре которых был замоноличен арматурный стержень. Эффективная длина сцепления арматурного стержня составляла 5Ø арматуры. Заделка арматуры в образце осуществлялась с одной стороны образца, в другой части образца сцепление отсутствовало. Испытуемый стержень продолжается за две стороны образца. Напряжение прикладывается к длинному концу, а устройство измерения сдвига устанавливается на коротком конце. Всего было изготовлено три партии опытных образцов из бетона класса В30, В40 и В50 (рис. 2).

Каждая партия состояла из восьми образцов по четыре образца с арматурой с двухрядным (аналог GEWI-Stahl) и четырехрядным профилем (Ав500П). К каждой партии бетона для контроля фактической прочности были изготовлены контрольные образцы – кубы 100x100x100 мм. Составы бетона опытных образцов и прочность при сжатии представлены в таблице 1.

Для оценки фактических физико-механических характеристик используемого арматурного проката Ø16 мм были испытаны контрольные образцы в количестве 6 шт., в том числе:

- с двухрядным винтовым профилем (аналог GEWI-Stahl), широко используемым в зарубежном сейсмостойком, атомноэнергетическом, транспортном и других видах строительства [5] – 3шт.;
- с четырехрядным винтовым профилем производства Тульского МПЗ – 3 шт.

Испытания контрольных образцов-кубов для оценки прочности бетона при сжатии проводили по методике ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Статические испытания по оценке механических свойств арматурного проката Ø16 мм с двухрядным и четырехрядным винтовым профилем проводили по методике ГОСТ 12004-81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение и их соответствия» с использованием сервогидравлической испытательной системы «SCHENCKPOZ 0691» с регулируемым контуром обратной связи в режиме постоянной скорости перемещения активного захвата составляющей  $S=0.02$  мм/с. Статическая скорость испытаний была подобрана в соответствии с требованиями ГОСТ 12004 таким образом, чтобы средняя скорость нагружения при испытании до предела текучести не превышала 10 МПа/с.

Результаты испытаний приведены на рисунке 3.

Испытания по оценке прочности сцепления арматуры с бетоном проводились по методике ГОСТ Р 57357-2016 «Сталь для армирования железобетонных конструкций. Технические условия» (EN 10080:2005, Steel for the reinforcement of concrete – Weldable reinforcing steel – General, IDT). Метод базируется на RILEM Рекомендациях RC 6, Испытание на сцепление арматурной стали –2. Испытание выдергиванием, Издание 1983.



**Рисунок 2** — Опытные образцы для экспериментальной оценки прочности сцепления арматурного проката с бетоном

**Figure 2** — Experimental samples for evaluation of reinforcing bars of the adhesion strength with concrete

**Таблица 1** — Состав бетона опытных образцов

**Table 1** — Composition of experimental samples of concrete

Наименование материала	Ед. изм	Расход на м <sup>3</sup> бетонной смеси			
		B25	B40	B60	
Цемент (Вольский, Цем I 42,5 Н)	кг	320	400	470	
Щебень (известняковый фр. 5-20 мм)	кг	1150	1150	-	
Щебень (гранитный фр.5-20 мм)		-	-	1200	
Песок (Чадаевское месторождение)	кг	800	760	665	
Добавка (Glenium ACE430)	кг	1,28	1,60	1,90	
Вода	л	170	160	140	
В/Ц		0,53	0,40	0,30	
Плотность бетона	$\rho_m$	г/см <sup>3</sup>	2,413	2,428	2,478
	$S_m$	г/см <sup>3</sup>	0,008	0,009	0,013
	$V_m$	%	0,3	0,4	0,5
Прочность бетона при сжатии	$R_m$	МПа	43,18	62,37	72,17
	$S_m$	МПа	1,81	2,19	0,95
	$V_m$	%	4,2	3,5	1,3

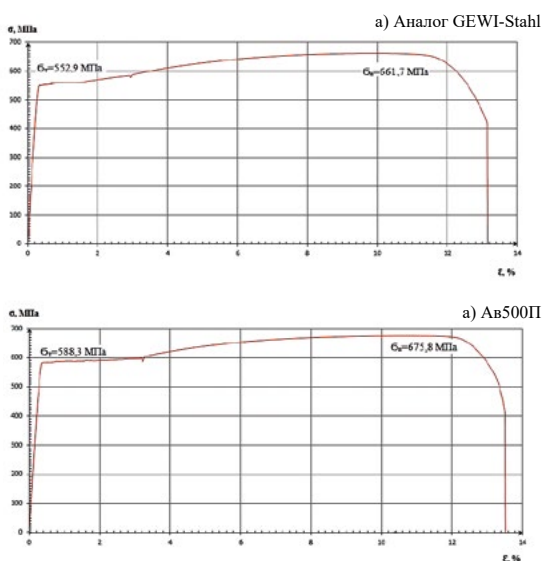
Принцип испытания заключался в следующем. Образец упирался вертикально в опорную плиту натяжного устройства, в которой имелась центральная полость размером  $\approx 2d$ . Сдвиг измеряется в начале и в конце каждого приращения нагружения. К длинному концу арматурного стержня замоноличенного в бетонный куб с заделкой составляющей 5d прикладывалось растягивающее усилие. Другой конец стержня, выступающий из образца на 10 мм, оставался без напряжения. Соотношение между усилием растяжения и сдвигом (т. е. относительное смещение между арматурой и бетоном) измерялось до полного выдергивания арматуры из бетона. Растягивающую нагрузку

увеличивали степенями, составляющими  $\approx 10\%$  от расчетного усилия разрушения сцепления арматуры с бетоном. Выдержка после приложения каждой ступени составляла 5 мин. В процессе испытания непрерывно регистрировалось прикладываемое к арматуре усилие и перемещение активного захвата динамометром и датчиком перемещения испытательной системы. В начале и конце каждой ступени выдержки регистрировался сдвиг ненагруженного конца арматуры относительно плоскости заделки в бетонный образец и удлинение (деформация) нагруженного конца арматуры. Схема испытания показана на рис. 4. Результаты испытаний приведены на рис. 5.

На рис. 5 слева от вертикальной оси приводятся графики, построенные вручную по показаниям приборов и характеризующие величину сдвига незагруженных концов испытанных арматурных стержней двух сопоставляемых видов относительно торцевой поверхности опытных бетонных кубов. В правой части от вертикальной оси приводятся графики, оценивающие суммарную величину сдвига стержней относительно бетона и удлинение нагруженного конца арматуры в процессе поэтапного нагружения, записанные автоматическими датчиками, регистрирующими перемещение захватов испытательной машины.

По полученным результатам испытаний можно заключить:

- арматура с четырёхрядным винтовым профилем ( $f_R = 0,072$ ) имеет прочность сцепления с бетоном выше на 20-30%, чем арматура с двухрядным винтовым профилем ( $f_R = 0,091$ );
- арматура с четырёхрядным расположением поперечных рёбер с длиной анкеровки 5d сохраняет сцепление с бетоном прочностью 72,2 МПа на упругом и пластическом участках деформирования стержня. Более того, прочность сцепления с бетоном продолжает увеличиваться при нагружении нагруженного конца стержня в зоне упрочнения до относительных деформаций, достигающих  $\epsilon = 5\%$  (рис. 3б, 5). Всплески



**Рисунок 3** — Механические испытания винтовой арматуры а – двухрядной (аналог GEWI-Stahl); б – четырёхрядной (Ab500П)

**Figure 3** — Mechanical tests of screw reinforcing bars a – two-row (analog GEWI-Stahl); b – four-row (Ab500p)

показаний датчиков на графиках после достижения  $\sigma_c$  фиксируют процесс поэтапного перераспределения усилий сцепления по длине анкерующей части стержня без потери его прочности, что свидетельствует о высокой энергоёмкости сцепления новой арматуры в запредельной стадии деформирования;

- полученные результаты исследований подтверждают результаты выполненных ранее работ и позволяют с ещё большим основанием делать выводы об эффективности применения арматуры с многорядным периодическим профилем [4], из-за его меньшей распорности в бетоне и высокой энергоёмкости сцепления, для обеспечения перераспределения усилий и диссипации (рассеяния) энергии в железобетонных конструкциях, определяющих высокую надёжность их сопротивления различным видам нагружения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных в ходе экспериментальных исследований результатов можно сделать следующие выводы:

1. Арматура класса Ав500П и арматура известных классов А500С и А500СП изготавливается из одних и тех же марок сталей и по технологиям, нормируемым ГОСТ 34028-2016, что обеспечивает требуемые номенклатуру, механические свойства и качественные показатели.

2. Арматура класса Ав500П отличается от арматуры классов А500С и А500СП отсутствием продольных ребер и прерывистым расположением поперечных ребер по двухзаходной винтовой линии, благодаря чему ее достаточно просто стыковать соединительными муфтами и анкеровать гайками (рис. 7). Отсутствие продольных ребер при сохранении номинальных контурных размеров поперечного сечения у новой арматуры позволяет обеспечить ее стабильное производство с минусовыми допусками по погонной массе в зависимости от диаметра (от -1 до -8%), предусмотренными ГОСТ 34028 для поставки групп арматуры ОМ2. При определенных условиях вследствие этого расход арматуры снижается в среднем на 3–5%.

3. По сцеплению с бетоном арматура класса Ав500П существенно превосходит арматуру класса А500С и двухрядную винтовую арматуру (аналог GEWI-Stahl) и не уступает арматуре класса А500СП. Выносливость арматуры класса Ав500П благодаря отсутствию продольных ребер значительно выше, чем у известных видов арматуры [4].

Высокие показатели сцепления с бетоном в эксплуатационной и запредельной стадиях деформирования важны для улучшения безопасности зданий и сооружений при воздействии аварийных нагрузок (взрывных, ударных, сейсмических) [1]. После дополнительных исследований это позволит также сделать предложения по актуализации СП63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции» по корректировке формул для определения длины анкеровки и нахлестки стержней, а также ширины раскрытия трещин в железобетоне с целью снижения расхода арматуры на 5–40%.

Положительные результаты исследований сцепления с бетоном и предела выносливости предполагают высокую перспективность и экономическую эффективность использования арматуры с четырехрядным винтовым профилем в железобетонных конструкциях, подверженных динамическим воздействиям, особенно в сейсмостойком строитель-



Рисунок 4 — Схема испытания сцепления арматурного проката с бетоном

Figure 4 — The scheme of test of coupling of reinforcing hire with concrete

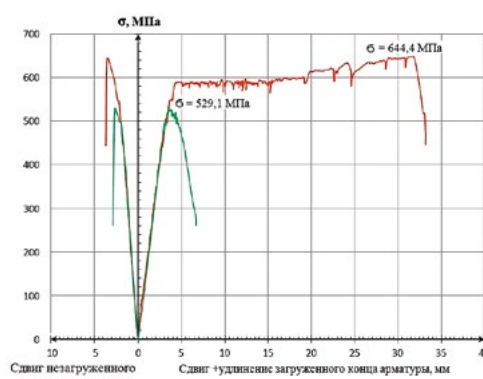


Рисунок 5 — Деформации втягивания незагруженного и сдвиг с удлинением загруженного концов арматуры ( $d=16$  мм, заделка 5d) при выдёргивании из бетона прочностью 72,2 МПа:

- арматура с четырёхрядным винтовым профилем (Ав500П)  $f_t=0,072$ ;
- арматура с двухрядным винтовым профилем (аналог GEWI-Stahl),  $f_t=0,091$

Figure 5 — Deformation of retraction of the unloaded and shear with elongation of the loaded ends of the reinforcing bar ( $d=16$  mm, sealing 5d)

when pulling out of concrete with a strength of 72.2 MPa:

- reinforcing bars with four-row screw profile (Ab500p)  $f_t=0,072$ ;
- reinforcing bars with double-row screw profile (analogue GEWI-Stahl),  $f_t=0,091$

стве [6] и мостостроении, где еще применяется арматура класса А-III (А400) с кольцевым профилем по ГОСТ 5781, имеющим низкий предел выносливости.

4. Арматура класса Ав500П с новым четырехрядным винтовым профилем рекомендована для массового внедрения Постановлением Совета по железобетонным конструкциям при РААСН, а также для предпочтительного применения в сейсмостойком строительстве согласно СТО 36554501-059-2018 «Строительство в сейсмических районах».

Разработка по теме «Арматура нового поколения с четырехрядным винтовым профилем» включена в «Реестр инновационных решений, технологий, продукции, изделий, материалов, высокотехнологичных услуг в сфере капитального строительства объектов использования атомной энергии» (база НДТ) Госкорпорации «Росатом». После проведения дополнительных испытаний и разработки стандартов предприятий, опытного проектирования и строительства эту арматуру предполагается рекомендовать для широкого



**Рисунок 7** — Муфтовые соединения винтовой арматуры класса Ав500П и Ав600П

**Figure 7** — Connection on couplings of screw reinforcing bars of class Av500P and Av600P

использования при строительстве атомных электростанций Госкорпорации «Росатом» в России и других странах.

Арматура класса Ав500П рассматривается в «Рекомендациях по армированию железобетонных конструкций с применением специальной арматуры по ГОСТ 34028-2016»,

разработанных Минстроем России. [(Федеральный центр нормирования. Методические материалы. 2018 г. табл. п.15): [www.faufcc.ru](http://www.faufcc.ru)].

5. Новая четырёхрядная винтовая арматура обеспечивает импортозамещение винтовой двухрядной арматуры (GEWI-Stahl), повышает качество и расширяет применение механических муфтовых соединений взамен сварных и нахлесточных, конкурирует с продукцией фирм Duwidag, Peikko, Halfen, Lenton и др. Арматура с четырёхрядным винтовым профилем является инновационным отечественным продуктом, разработанным с целью получения максимального эффекта от его внедрения, а также для завоевания лидирующих позиций на мировом рынке арматуры.

Принимая во внимание технологичность производства, высокие технико-экономические показатели, предпочтительность применения в сейсмостойком строительстве и универсальность использования новой четырёхрядной винтовой арматуры, можно сделать заключение о ее высоких конкурентных преимуществах на российском и зарубежном рынках арматурного проката.

#### Литература

1. Тихонов И.Н., Мешков В.З., Звездов А.И., Саврасов И.П. Эффективная арматура для железобетонных конструкций зданий, проектируемых с учётом воздействия особых нагрузок // *Строительные материалы*. 2017. №3. С. 39-45.
2. Тихонов И.Н., Елшина Л.И. О влиянии свойств новых видов арматурного проката на надёжность и экономическую эффективность же-

- лезобетонных конструкций // *Вестник «НИЦ «Строительство»*. 2017. №1 (12). С. 54-67.
3. Тихонов И.Н., Блажко В.П., Тихонов Г.И., Казарян В.А., Краковский М.В., Цыба О.О. Инновационные решения для эффективного армирования железобетонных конструкций // *Жилищное строительство*. 2018. №8. С. 5-10.
4. Тихонов И.Н. Разработка, производство и внедрение инновационных видов арматурного проката для строительства // *Стро-*

- ительные материалы. 2019. №9. С. 67-75.
5. Тихонов И.Н., Мешков В.З., Расторгуев Е.С. Проектирование армирования железобетона. ЦИТП им. Г.К. Орджоникидзе. 2015. 273с.
6. Тихонов И.Н., Смирнова Л.Н., Бубис А.А. О требованиях новых нормативных документов к армированию железобетонных конструкций для строительства в сейсмических районах // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2019. №5, С.19-27.

#### References

1. Tikhonov I.N., Meshkov V.Z., Zvezdov A.I., Savrasov I.P. *Effektivnaya armatura dlyazhelezobetonnykhkonstruksii zdaniy, proektiruemyykh s uchetomvozdeistviyaosobykh nagruzok* [Effective reinforcement for reinforced concrete structures of buildings designed taking into account the impact of special loads]. // *Stroitel'nyematerialy*, 2017, No. 3. pp.39-45.
2. Tikhonov I.N., Elshina L.I. *O vliyaniisvoistvovnykhvidovarmaturnogoprokatananadezhnost' i ekonomicheskuyeeffektivnost' zhelezobetonnykhkonstruksii* [On the influence of properties of new types of reinforcing steel

- on the reliability and economic efficiency of reinforced concrete structures]. // *Vestnik «NITS «Stroitel'stvo»*, 2017, No. 1(12). pp.54-67.
3. Tikhonov I.N., Blazhko V.P., Tikhonov G.I., Kazaryan V.A., Krakovsky M.V., Tsyba O.O. *Innovatsionnyeresheniya dlya effektivnogo armirovaniyazhelezobetonnykhkonstruksii* [Innovative solutions for effective reinforcement of reinforced concrete structures] // *Zhilishchnoestroitel'stvo*, 2018, No. 8. pp.5-10.
4. Tikhonov I.N. *Razrabotka, proizvodstvo i vnedrenie innovatsionnykhvidovarmaturnogoprokatadlyastroitel'stva* [Development, production and introduction of innovative

- kinds of reinforcing bars for construction] // *Stroitel'nyematerialy*, 2019, No. 9. pp.67-75.
5. Tikhonov I.N., Meshkov V.Z., Rastorguev E.S. *Proektirovaniearmirovaniyazhelezobetona. M., TSITP im. G.K. Ordzhonikidze*, 2015, 273 p.
6. Tikhonov I.N., Smirnova L.N., Bubis A.A. *O trebovaniyahnovyhnormativnyhdokumentov k armirovaniyuzhelezobetonnykhkonstrukcijdlyastroitel'stva v seismicheskikhrajonah* [On the requirements of new normative documents to the reinforcement of reinforced concrete structures for construction in seismic areas]. // *Seysmostoykoyestroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy*, 2019, No. 5. pp.19-27.

**Для цитирования:** 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.

**For citation:** 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. *Seismostoikeyestroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 6, pp. 20-27. (In Russian)