



УДК 69.01
DOI: 10.22227/2949-1622.2025.4.44-56

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH ARTICLE

Исследование прочности и деформативности сцепления арматуры с бетоном в железобетонных изгибаемых элементах

А.А. Квасников^{1*}, И.П. Саврасов²

¹ НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство», Москва, Российская Федерация

² Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА), Москва, Российская Федерация

* A.A.Kvasnikov@gmail.com

Ключевые слова: арматурная сталь, периодический профиль поверхности арматуры, железобетонные балки

История статьи

Поступила в редакцию: 25.11.2025

Доработана: 08.12.2025

Принята к публикации: 10.12.2025

Для цитирования

Квасников А.А., Саврасов И.П. Исследование прочности и деформативности сцепления арматуры с бетоном в железобетонных изгибаемых элементах // Железобетонные конструкции. 2025. Т. 12. № 4. С. 444-56.

Аннотация. Получены экспериментальные данные для исследования влияния геометрических параметров арматуры на напряженно-деформированное состояние изгибаемых железобетонных конструкций и учет параметров профиля арматуры в качестве рабочего параметра при проектировании. Результатом работы явились полученные данные основных физико-механических и деформационных характеристик железобетонных балок, сцепления арматуры различного периодического профиля, которые могут быть применены при проектировании железобетонных конструкций путем выбора периодического профиля арматуры.

Study of the Strength and Deformability of the Bond of Reinforcement with Concrete in Concrete Bending Elements

А.А. Квасников^{1*}, И.П. Саврасов²

¹ А.А. Гвоздев Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete, JSC “Research Centre “Stroitelstvo”, Moscow, Russian Federation

² Moscow State Technical University of Civil Aviation (MSTU CA), Moscow, Russian Federation

*A.A.Kvasnikov@gmail.com

Александр Анатольевич Квасников, кандидат технических наук, начальник центра научно-технического обеспечения, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство», 109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5; ORCID: 0009-0000-6056-9395, E-mail: A.A.Kvasnikov@gmail.com

Иван Петрович Саврасов, кандидат технических наук, помощник проректора, Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА), 125993, г. Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20; E-mail: i.savrasov@mstu.ru

© Квасников А.А., Саврасов И.П., 2025



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

Keywords: reinforcing steel, periodic reinforcement surface profile, reinforced concrete beams

Article history

Received: 25.11.2025

Revised: 08.12.2025

Accepted: 10.12.2025

For citation

Kvasnikov A.A., Savrasov I.P. Study of the strength and Deformability of the Bond of Reinforcement with Concrete in Concrete Bending Elements. *Reinforced Concrete Structures*. 2025; 4(12):44-56.

Abstract. Experimental data were obtained to study the influence of reinforcement geometric parameters on the stress-strain state of flexural reinforced concrete structures and to consider reinforcement profile parameters as a design parameter. The study resulted in the obtained data on the main physical, mechanical, and deformation properties of reinforced concrete beams, as well as the adhesion of reinforcement with various periodic profiles. These data can be applied in the design of reinforced concrete structures by selecting the periodic profile of the reinforcement.

ВВЕДЕНИЕ

Сцепление порождается действием ряда химических, физических и механических факторов. Среди прочих факторов сцепления улучшение сцепления арматуры с бетоном достигается признаком ее поверхности эффективного периодического профиля.

В настоящее время в Российской Федерации доступна для применения в железобетонных конструкциях арматура различного периодического профиля. Однако каждый вид профиля имеет ряд преимуществ и недостатков и необходимо изучение различных параметров, влияющих на совместную работу арматуры с бетоном. В данный период действуют два стандарта на арматурную сталь — ГОСТ 34028–2016 [1] и ГОСТ 5781–82 [2]. По данным стандартам изготавливается арматура кольцевого профиля. В ГОСТ 34028 с более редким шагом поперечных ребер, в ГОСТ 5781 с более частым шагом.

Согласно ГОСТ 34028–2016, арматурный прокат в зависимости от формы и сечения профиля, формы и расположения поперечных ребер может изготавляться четырех форм — 1ф, 2ф, 3ф и 4ф. В ГОСТ 34028–2016 включен более расширенный интервал шага ребер для профиля формы 1ф по сравнению с ГОСТ 5781. За счет этого появляется дополнительная возможность для такой конфигурации профиля за счет увеличенного шага заметно увеличить объем бетонных шпонок между поперечными ребрами для увеличения сцепления с целью более эффективной реализации высоких показателей fr . Выбранное направление исследований позволит оценить прочностные и деформативные показатели сцепления указанных в ГОСТ 34028–2016 видов периодических профилей.

Актуальность исследования заключается в определении деформаций железобетонных изгибаемых элементов, армированных арматурой различного периодического профиля. Данные исследования могут быть использованы при разработке и совершенствовании методов расчета на сейсмические, ударные, взрывные воздействия и т.д. Учитывая массовое применение арматуры кольцевого профиля с частым расположением поперечных ребер в мостовых сооружениях, необходимо исследование данной арматуры в изгибаемых элементах с достаточно большим процентом армирования. Предыдущие исследования по вытягиванию арматуры из бетонных кубов выявили, что на стадиях, близких к пределу текучести, сцепление разрушается по схеме среза и данный профиль обладает наименьшим запасом несущей способности.

Alexander A. Kvasnikov, Candidate of Technical Sciences, Head of the Scientific and Technical Support Center, A.A. Gvozdev Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZhB), JSC “Research Center “Construction”, 65 Institutskaya st., Moscow, 109428 Russian Federation; ORCID: 0009-0000-6056-9395, E-mail: A.A.Kvasnikov@gmail.com

Ivan P. Savrasov, Candidate of Technical Sciences, Assistant to the Vice-Rector, Moscow State Technical University of Civil Aviation (MSTU CA); 20 Kronstadt Boulevard, Moscow, 125993, Russian Federation; E-mail: i.savrasov@mstuca.ru

В действующих нормах проектирования СП 63.13330.2018 [3] все положения, имеющие отношение к сцеплению стержневой арматуры с бетоном, эмпирические зависимости и коэффициенты в расчетных формулах базируются на результатах большого числа исследований работы железобетонных элементов, армированных стержнями с профилем именно по ГОСТ 5781 (кольцевым). Достоверность этих данных подтверждается многолетним опытом практического применения стержневой арматуры.

ГОСТ 34028–2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия» [1] введен в действие в 2019 г. взамен стандартов на арматурный прокат — ГОСТ 5781–82 [2], ГОСТ 10884–94 [4], СТО АСЧМ 7–93 [5] и ГОСТ Р 52544–2006 [5] в части класса А500С. Данный стандарт объединяет и систематизирует действующие стандарты на арматурную сталь. В ГОСТ 34028–2016 предусмотрено применение нескольких стандартных типов периодического профиля, однако отдельно оговорена возможность применения других нестандартных типов периодического профиля при условии соблюдения требований стандарта к арматурной стали.

В ГОСТ 34028–2016 впервые включены для свободного выбора и применения для всех классов арматурного проката А400, А500, А600, Ап600, А800 и А1000 четыре формы конфигураций периодического профиля: 1ф, 2ф, 3ф и 4ф. Принятая маркировка профилей различной формы не привязана к классам арматурного проката, как это имело место в отмененных стандартах ГОСТ 5781–82, ГОСТ 10884 и ГОСТ Р 52544–2006.

Кроме абсолютных геометрических параметров профилей в ГОСТ 34028–2016 включено требование по минимальному значению относительной площади смятия поперечных ребер f_R (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Минимальные значения относительной площади смятия поперечных ребер f_R

Minimum values relative to the area of crushing of transverse ribs f_R

Номинальный диаметр, d_n , мм Nominal diameter, d_n , mm	Требования ГОСТ 34028 * Requirements of GOST 34028*
От 4,0 до 6,0 включительно	0,039
Св.6,0 » 8,0 »	0,045
» 8,0 » 10,0 »	0,052
» 10,0 » 40,0 »	0,056

Параметры сцепления периодических профилей форм 1ф, 2ф, 3ф и 4ф определяют по величине f_R и геометрическим параметрам профиля. На рис. 1 показана конфигурация и обозначены основные геометрические параметры стандартных профилей форм 1ф, 2ф, 3ф и 4ф по ГОСТ 34028–2016.

В действующем нормативном документе СП 63.13330.2018, сцепление арматуры с бетоном учитывается применением коэффициента η_1 , учитывающего влияние вида поверхности арматуры в формуле определения расчетного сопротивления сцепления арматуры с бетоном и принимаемого равным 2,5 для всех типов профиля горячекатанной и термомеханической обработанной арматуры периодического профиля.

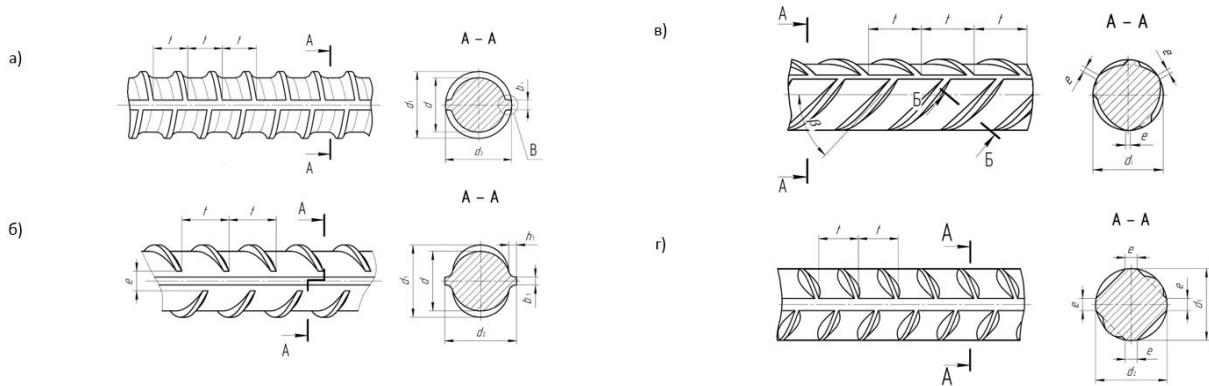


Рис. 1. Конфигурация периодических профилей стандартного типа по ГОСТ 34028–2016:

а — 1ф, двухсторонний кольцевой; б — 2ф, двухсторонний серповидный (европейский); в — 3ф, трехсторонний; г — 4ф, четырехсторонний или двухсторонний четырехрядный

Fig. 1. Configuration of standard periodic sections according to GOST 34028–2016:

а — 1ph, double-sided ring; б — 2ph, double-sided crescent (European); в — 3ph, three-sided; г — 4ph, four-sided or double-sided four-row

МЕТОД

Исследованию сцепления арматуры периодического профиля с бетоном посвящены множество научных работ с различными параметрами и характеристиками исследовательских образцов [7–11]. Авторами статьи ранее были также рассмотрены аналитические методы оценки сцепления арматуры с бетоном [12, 13].

Для исследования вопроса сцепления арматуры с бетоном Канадская ассоциация стандартов (CSA) и Американский институт бетона (ACI) рекомендуют использовать образцы на вытягивание арматурных стержней из бетонных призм.

В испытании на вытягивание арматурный стержень бетонируется в бетонный цилиндр или призму, и затем стержень вытягивается из бетона с одного конца и определяется напряжение сцепления стержня и относительное перемещение стержня к бетону. Как правило, определяется среднее напряжение в пределах длины анкеровки без фактического определения распределения напряжений. Испытание на вытягивание не дает точных данных о характере сцепления арматуры и бетона в элементах, подвергающихся изгибу, сдвигу и т.д., так как при этих воздействиях состояние напряжения и деформации вокруг стержня различно. Несмотря на то что испытание на вытягивание было предпочтительным методом в течение длительного периода, до этого основным средством оценки характеристик сцепления стальных арматурных стержней было проведение испытаний на сцепление в железобетонных балках.

Оценка характеристик сцепления с помощью испытаний железобетонных балок более трудоемко из-за конструирования образцов и относительной сложности проведения испытаний, однако, исследования сцепления в железобетонных балках имеют большее сходство с типичными конструктивными элементами. Ряд организаций предложили руководящие документы для конструирования усиленных железобетонных балок с целью исследования скрепления и развития перемещений проскальзывания, а именно ACI 208, (1958), RILEM TC-RC5, (1994) и BSI 12269-1 (2000).

Причиной перехода от испытаний балок к испытаниям призм являются выводы сравнительного анализа результатов экспериментов, полученных на основе двух методов испытаний, полученных Сорец (1972) [14]. В подробной экспериментальной программе он эффективно показал, что для арматурных стержней оба метода испытаний показывают схожие результаты, в

связи с чем произошел переход к методу испытаний на вытягивание из-за его относительной простоты. Однако, учитывая, что состояние напряжения и деформации в бетоне вокруг стержня не одинаково в испытаниях на сцепление с балкой и на отрыв, заключение Сорец (1972) [14] в случае арматуры, имеющей неравномерное распределение поперечных ребер по поверхности арматуры, требует дальнейшего изучения.

Различные методики исследования сцепления арматуры с бетоном позволяют рассмотреть проблему сцепления с учетом различных факторов. В предшествующих экспериментальных исследованиях были применены различные методики, в том числе вытягивание из бетонных призм, из бетонных обжатых призм, вытягивание из бетонных массивов, в том числе с наличием поперечного армирования. Однако в настоящей научно-исследовательской работе предполагается исследование образцов с эксцентричным приложением нагрузки. В данных образцах создаются напряженные состояния, близкие к реальным, в концевой зоне изгибающего стержневого элемента типа балки. Дополнительно анкеровка в данных элементах осуществляется в средней зоне заделки в целях исключения раскалывания бетона в нагруженной части элемента. В табл. 2 приведен обзор существующих методик исследования сцепления арматуры с бетоном.

Таблица 2

Методики исследования сцепления арматуры с бетоном

Существующие методы исследования	Достоинства метода	Недостатки метода
Вытягивание из бетонных кубов и цилиндров	<ol style="list-style-type: none"> 1. Большой объем выполненных исследований. 2. Простота изготовления элементов. 3. Применение типовых опалубочных форм. 4. Возможность бетонирования в различных направлениях 	Большой разброс данных при исследовании сцепления арматуры больших диаметров, связанных с расколом бетонных элементов
Вытягивание из бетонных массивов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность исследования сцепления арматуры больших диаметров. 2. Варьирование анкеровкой и обжатием арматуры 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ограниченный перечень результатов исследований бетонного элемента. 2. Сложность определения напряженного состояния бетонного элемента
Изгиб железобетонных балочных элементов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Имитация работы реальной изгибающей железобетонной конструкции. 2. Возможность исследования сцепления при эксцентрическом приложении нагрузки к стержню 	Сложность изготовления элементов
Растяжение центрально армированного бетонного элемента	<ol style="list-style-type: none"> 1. Исследование влияния вида периодического профиля на трещинообразование бетонного элемента. 2. Возможность применения преднапряженных элементов 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаточная применимость результатов исследования. 2. Невозможность определения прочности сцепления. 3. Отсутствие аналогов реальных конструкций

Table 2

Methods for Investigating the Bond between Reinforcement and Concrete

Existing Research Methods	Advantages of the Method	Disadvantages of the Method
Pull-out from concrete cubes and cylinders	1. Large volume of completed research. 2. Simplicity of specimen fabrication. 3. Use of standard formwork. 4. Ability to cast concrete in various directions	High data scatter when investigating bond for large-diameter reinforcement, associated with splitting of concrete elements
Pull-out from concrete blocks	1. Ability to investigate bond for large-diameter reinforcement. 2. Variable anchorage and prestressing of reinforcement	1. Limited range of results for the concrete element. 2. Complexity of determining the stress state of the concrete element
Flexure of reinforced concrete beam elements	1. Simulates the behavior of a real flexural reinforced concrete structure. 2. Ability to investigate bond under eccentric load application to the bar	Complexity of specimen fabrication
Tension of a centrally reinforced concrete element	1. Investigation of the influence of the type of deformed bar profile on crack formation in the concrete element. 2. Possibility of using prestressed elements	1. Insufficient applicability of research results. 2. Inability to determine bond strength. 3. Lack of analogues to real structures

Основной объем экспериментов проводился с использованием материалов, вид и назначение которых определялись, прежде всего, из условия достижения в железобетонных балках максимальных напряжений сцепления арматурной стали.

Геометрические параметры железобетонных балок приняты на основании «RILEM Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials» [15]. На основе анализа результатов исследований отечественных и зарубежных авторов и на основе имеющегося оборудования были выбраны следующие параметры железобетонных балок: $800 \times 100 \times 180$ (h) мм для арматуры 12 мм и $1260 \times 150 \times 240$ (h) мм для арматуры 20 мм. Принятые классы бетона — В30 и В40. Принятое армирование — 12 и 20 мм.

Основным рабочим параметром исследования железобетонных балок принята арматура различного периодического профиля по ГОСТ 34028–2016. Для подбора арматурной стали были выполнены предварительные испытания по определению прочностных и деформационных характеристик арматуры различных производителей. Экспериментальные образцы в рамках одной серии отличались только параметрами армирования балок.

В первой серии засебонированы образцы из бетона класса В30, с армированием арматурой 12 и 20 мм кольцевого и серповидного профилей. Во второй серии засебонированы образцы из бетона класса В40, с армированием арматурой 12 и 20 мм кольцевого и серповидного профилей.

Испытание балок проводится на гидравлическом прессе INSTRON.

Железобетонную балку помещают на две опоры, одна из которых шарнирно подвижна, а другая шарнирно неподвижна. Перед проведением испытания замеряют размеры поперечного сечения балки, пролет, расстояния от опор до мест приложения сосредоточенной нагрузки, а после испытания уточняют рабочую высоту сечения и защитный слой бетона. Давление пресса

передается на балку через траверсу и катки в виде двух сосредоточенных сил. Образец загружают двумя сосредоточенными силами.

На свободных концах арматурного стержня устанавливаются индикаторы часового типа для измерения втягивания арматуры. Для измерения прогибов устанавливаются индикаторы в центральной части балок.

Схема загружения балок и расстановка приборов представлены на рис. 2, 3. Общий вид испытания балок представлен на рис. 4.

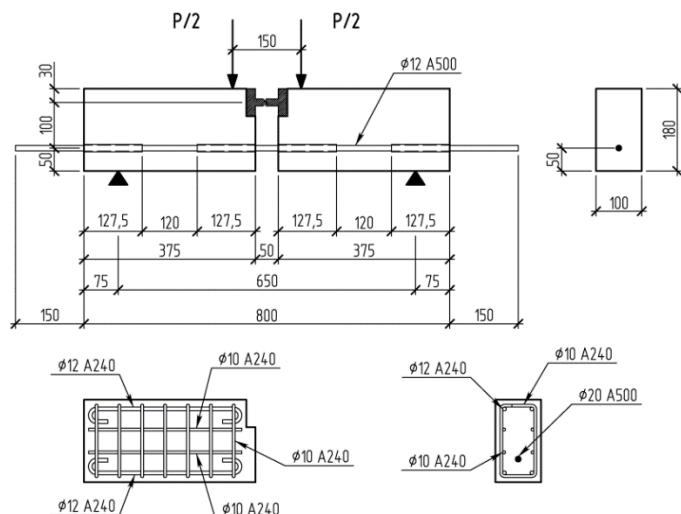


Рис. 2. Схема загружения балок с арматурой 12 мм
Fig. 2. Loading diagram for beams with 12 mm reinforcement

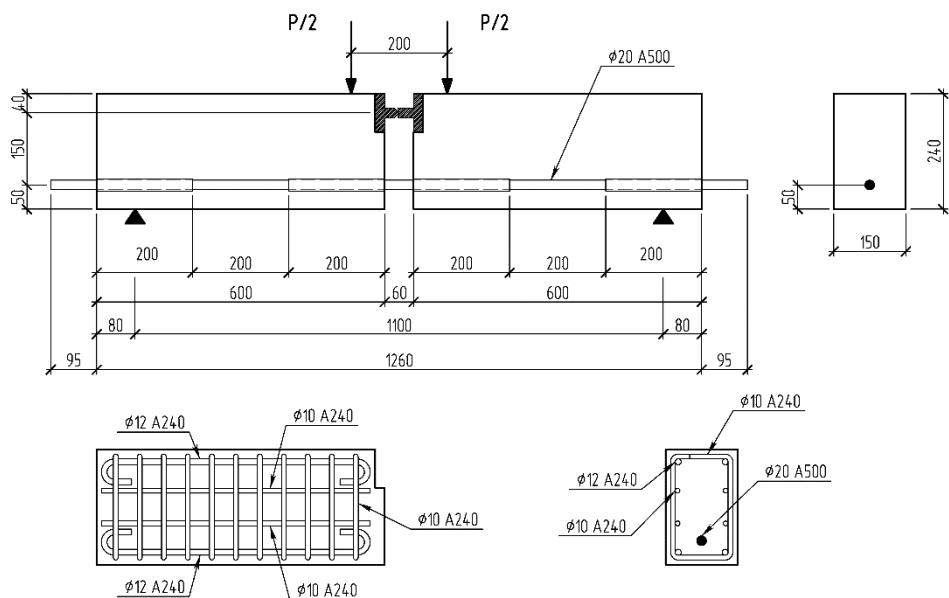


Рис. 3. Схема загружения балок с арматурой 20 мм
Fig. 3. Loading diagram for beams with 20 mm reinforcement



Рис. 4. Общий вид испытания балок

Fig. 4. General view of beam testing

Перед испытанием балок производится тщательный осмотр их внешнего вида и замеченные дефекты (наружные раковины, усадочные или иного характера трещины) отмечаются в испытательных ведомостях. Также выявляются действительные размеры поперечного сечения каждого образца, а после испытания замеряется защитный слой арматуры, определяется действительная полезная высота сечения и расположение растянутой арматуры из середины и с концов элементов. После испытания проводится вторичный замер поперечного сечения элементов вблизи места разрушения, который вводится в расчет прочности опытного образца. После окончания испытания производится фотографирование обеих сторон каждой опытного элемента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разрушение опытных балок 1 и 2 серий происходило вследствие вытягивания арматуры из бетона или разрыва арматурных стержней в зоне шарнирного соединения. Характеры разрушения железобетонных балок в зависимости от параметров арматуры и бетона представлены в табл. 3.

Таблица 3 / Table 3

Характер разрушения железобетонных балок / Failure types of reinforced concrete beams

Номер серии Series	Класс бетона Concrete grade	Шифр балки Nomenclature	Параметры арматуры Rebar parameters		Тип разрушения Failure type
			диаметр diameter	вид профиля surface type	
1	B30	Б1-1	12	Кольцевой / Annular	Разрыв / Fracture
		Б1-2		Разрыв / Fracture	Разрыв / Fracture
		Б1-3		Серповидный Crescent-shaped	Разрыв / Fracture
		Б1-4		Серповидный Crescent-shaped	Разрыв / Fracture
		Б1-5	20	Кольцевой / Annular	Вытягивание Pull-out
		Б1-6		Кольцевой / Annular	Вытягивание Pull-out
		Б1-7		Серповидный Crescent-shaped	Разрыв / Fracture
		Б1-8		Серповидный Crescent-shaped	Разрыв / Fracture

Продолжение таблицы 3 / Continuation of Table 3

Номер серии Series	Класс бетона Concrete grade	Шифр балки Nomenclature	Параметры арматуры Rebar parameters		Тип разрушения Failure type
			диаметр diameter	вид профиля surface type	
2	B40	Б2-9	12	Кольцевой / Annular	Разрыв / Fracture
		Б2-10			Разрыв / Fracture
		Б2-11		Серповидный Crescent-shaped	Разрыв / Fracture
		Б2-12			Разрыв / Fracture
		Б2-13	20	Кольцевой редкий Annular rare	Разрыв / Fracture
		Б2-14			Разрыв / Fracture
		Б2-15		Серповидный Crescent-shaped	Разрыв / Fracture
		Б2-16			Разрыв / Fracture

В табл. 4 приведены результаты экспериментов железобетонных балок с целью исследования влияния различных геометрических параметров арматурной стали на сцепление с бетоном.

Таблица 4 / Table 4

Разрушающие нагрузки, предельные прогибы и деформации втягивания железобетонных балок

Номер серии Series	Класс бетона Concrete grade	Шифр балки Nomenclature	Параметры арматуры Rebar parameters		Разрушающая нагрузка P , кН / Failure load P , kN		Прогибы, мм Sags, mm		Втягивание, мм Pull-out, mm	
			диаметр diameter	вид профиля surface type	образца specimen	средняя mean	образца specimen	средняя mean	образца specimen	средняя mean
1	B30	Б1-1	12	Кольцевой Annular	58	59	11,244	10,367	0,04	0,034
		Б1-2			60		9,49		0,028	
		Б1-3		Серповидный Crescent-shaped	56	53,35	12,693	8,994	0,4485	0,323
		Б1-4			50,7		5,295		0,1975	
		Б1-5	20	Кольцевой Annular	113	108	34,8	33,91	1,86	2,0275
		Б1-6			103		33,02		2,195	
		Б1-7		Серповидный Crescent-shaped	125,7	125,35	35,34	34,09	0,805	0,535
		Б1-8			125		32,84		0,265	
2	B40	Б2-9	12	Кольцевой Annular	60	60	10,489	11,576	0,0095	0,0085
		Б2-10			60		12,663		0,0075	
		Б2-11		Серповидный Crescent-shaped	58	59	11,901	10,8935	0,0515	0,05375
		Б2-12			60		9,886		0,056	
		Б2-13	20	Кольцевой редкий Annular rare	142,5	146,7	40,02	52,127	0,12	0,27
		Б2-14			150,9		64,234		0,42	
		Б2-15		Серповидный Crescent-shaped	133	133,55	53,52	55,815	0,175	0,17375
		Б2-16			134,1		58,11		0,1725	

Разрушающая нагрузка балок 1 серии с армированием кольцевым профилем диаметром арматуры 12 мм выше нагрузки балок с серповидным профилем на 10,59 %. Разрушающая нагрузка балок 1 серии с армированием кольцевым профилем диаметром арматуры 20 мм меньше нагрузки балок с серповидным профилем на 13,84 %.

Разрушающая нагрузка балок 2 серии с армированием кольцевым профилем диаметром арматуры 12 мм выше нагрузки балок с серповидным профилем на 1,69 %. Разрушающая

нагрузка балок 2 серии с армированием кольцевым профилем диаметром арматуры 20 мм выше нагрузки балок с серповидным профилем на 9,85 %.

Одними из основных результатов исследований являются деформации втягивания арматурных стержней, результаты представлены на рис. 5–8.

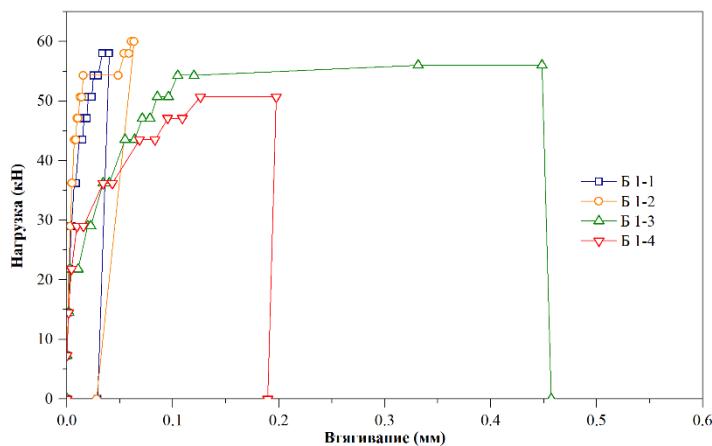


Рис. 5. Деформации втягивания арматуры Ø12 мм опытных балок 1-й серии
Fig. 5. Retraction deformations of Ø12 mm reinforcement of experimental beams of the 1st series

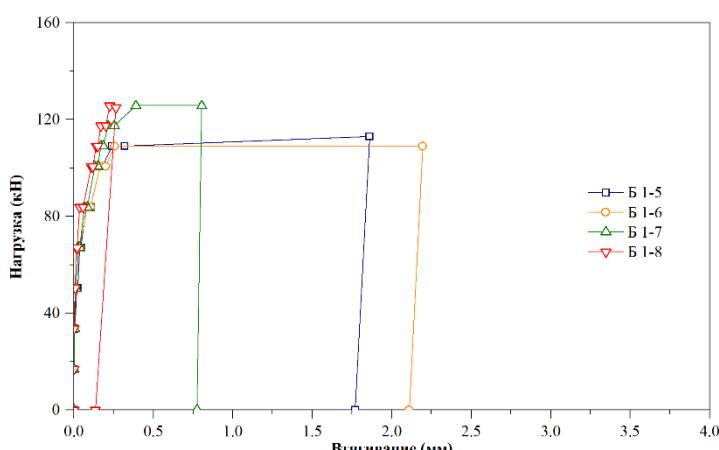


Рис. 6. Деформации втягивания арматуры Ø20 мм опытных балок 1-й серии
Fig. 6. Deformations of the retraction of Ø20 mm reinforcement of experimental beams of the 1st series

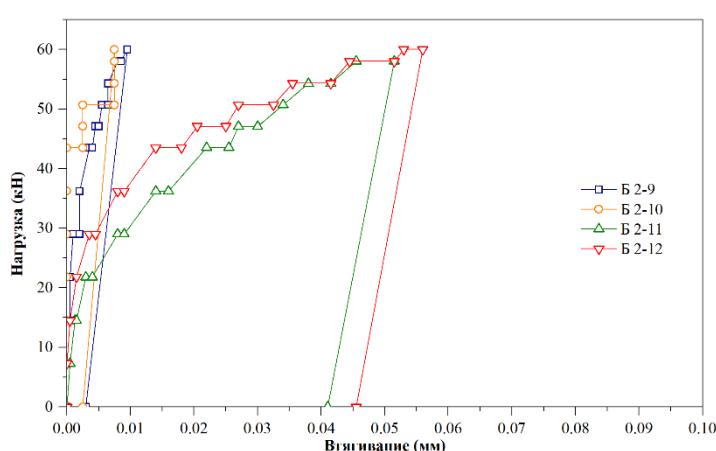


Рис. 7. Деформации втягивания арматуры Ø12 мм опытных балок 2-й серии
Fig. 7. Deformations of the retraction of reinforcement Ø12 mm of experimental beams of the 2nd series

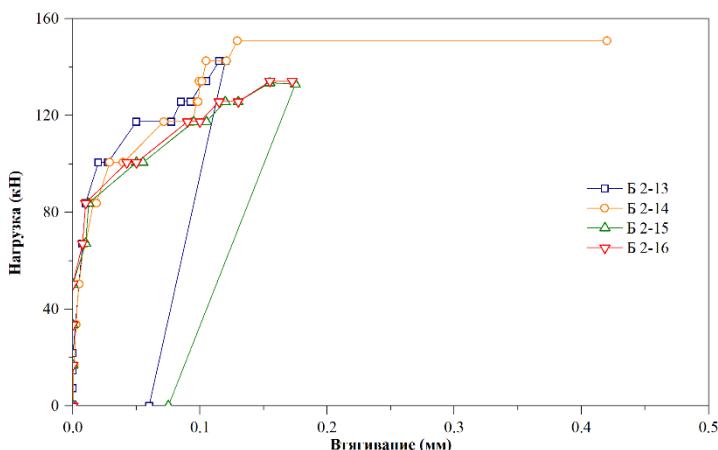


Рис. 8. Деформации втягивания арматуры Ø20 мм опытных балок 2-й серии
Fig. 8. Deformations of the retraction of reinforcement Ø20 mm of experimental beams of the 2nd series

Деформации втягивания балок 1 серии с армированием кольцевым профилем диаметром арматуры 12 мм меньше втягивания арматуры с серповидным профилем на 89,47 %. Деформации втягивания балок 1 серии с армированием кольцевым профилем диаметром арматуры 20 мм больше втягивания арматуры с серповидным профилем на 278,97 %.

Деформации втягивания балок 2 серии с армированием кольцевым профилем диаметром арматуры 12 мм меньше втягивания арматуры с серповидным профилем на 84,19 %. Деформации втягивания балок 2 серии с армированием кольцевым профилем диаметром арматуры 20 мм меньше втягивания арматуры с серповидным профилем на 55,40 %.

Таким образом, установлено, что разрушающая нагрузка балок с кольцевым профилем превышает значения для серповидного за исключением испытания образцов Ø20 мм при классе бетона В30. Деформации втягивания (проскальзывания) арматуры меньше для кольцевого профиля в большинстве случаев, характер разрушения — преимущественно разрыв стержня с учетом анкеровки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведено экспериментальное исследование влияния геометрических параметров периодического профиля арматуры по ГОСТ 34028–2016 на НДС изгибаемых железобетонных элементов.

2. Выявлено, что кольцевой профиль 1ф обеспечивает несущую способность выше серповидного 2ф при классах бетона В30–В40; характер разрушения — сдвиг бетонных шпонок или разрыв арматуры с обеспеченной анкеровкой. Характер разрушения опытных балок зависит от геометрических параметров периодического профиля арматурного проката.

3. Результаты испытаний свидетельствуют о возможности применения арматурного профиля 1ф с разреженным шагом поперечных ребер без применения дополнительных понижающих коэффициентов.

4. Применение арматуры кольцевого профиля средних диаметров с $f_R > 0,1$ в железобетонных конструкциях повышает риск проскальзывания арматуры. Данный факт объясняется частым шагом поперечных ребер при большом диаметре арматуры, при котором бетонные шпонки разрушаются по схеме среза.

5. По результатам исследований предлагается применение коэффициента η_1 , равного 2,4 — для горячекатаной и термомеханически обработанной арматуры периодического профиля

кольцевого типа 1ф при $f_R \geq 0,1$. Значение коэффициента обосновывается одновременным влиянием пониженной на 13,84 % прочности сцепления кольцевого профиля и повышенной деформативности данного профиля.

6. Результаты исследования применимы в проектировании мостовых конструкций и сейсмостойких элементов при оптимизации профиля арматуры с учетом коэффициентов надежности без дополнительных анкеров.

7. Перспективы исследований включают учет ползучести бетона, влияние модуля упругости и разработку уточненных эмпирических зависимостей для СП 63.13330.2018 [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 34028–2016. Межгосударственный стандарт. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2017. 41 с.
2. ГОСТ 5781–82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. М. : Издательство стандартов, 2005. 10 с.
3. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М. : Минстрой России, 2018. 143 с.
4. ГОСТ 10884–94. Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия. М. : ИПК Издательство стандартов, 1995. 14 с.
5. СТО АСЧМ 7–93. Прокат периодического профиля из арматурной стали. Технические условия. М. : Ассоциация Черметстандарт, 1993.18 с.
6. ГОСТ Р 52544–2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2006. 19 с.
7. Квасников А.А. Совместная работа арматуры различного периодического профиля и бетона при ограниченных поперечных деформациях // Бетон и железобетон. 2009. № 4. С. 21–24.
8. Стахов Д.О. Обзор и сравнение методов исследования характеристик сцепления арматуры с бетоном // Молодой ученый. 2021. № 23 (365). С. 62–68.
9. Мирсаяпов И.Т., Минзянов Р.И., Хорьков Е.В., Вагизов М.Р., Шулаева Д.А. Экспериментальное исследование сцепления стальной профилированной арматуры с бетоном // Железобетонные и каменные конструкции: настоящее и будущее : сб. тез. докл. Междунар. науч. конф., посвящ. 50-летию кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» и 105-летию Казанской школы железобетона. Казань, 2024. С. 73–74.
10. Саврасов И.П. Экспериментальные исследования механических свойств и сцепления с бетоном арматуры класса прочности 500 н/мм² // Бетон и железобетон. 2009. № 4. С. 16–21.
11. Семенюк С.Д., Седляр Т.Н. Методика экспериментальных исследований сцепления арматуры серповидного профиля с легкими бетонами // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : сб. ст. Междунар. науч. конф., посвящ. 50-летию Полоцкого государственного университета. 2018. С. 92–94.
12. Kvasnikov A., Semchenkov A., Meshkov V. Bond to concrete action of reinforcing bars with different deformation patterns // Structural concrete. 2009. Vol. 10. No. 4. Pp. 203–209.
13. Choi O.C., Lee W.S. Interfacial bond analysis of deformed bars to concrete // ACI structural journal. 2002. Vol. 99. No. 6. Pp. 750–756.
14. Soretz S. A comparison of beam tests and pull-out tests // Materials and Structures. 1972. Vol. 28. No. 5. Pp. 261–264.
15. RILEM Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials. RILEM, 1994. 618 p.

REFERENCES

1. GOST 34028–2016. Interstate Standard. Reinforcing Rolled Products for Reinforced Concrete Structures. Specifications. Moscow, Standartinform, 2017; 41. (in Russian).
2. GOST 5781–82. Hot-rolled Steel for the Reinforcement of Reinforced Concrete Structures. Specifications. M.: Standards Publishing House, 2005; 10. (in Russian).
3. SP 63.13330.2018. Concrete and Reinforced Concrete Structures. Main Provisions. Moscow, Ministry of Construction of Russia (Minstroy Rossi), 2018; 143. (in Russian).
4. GOST 10884–94. Thermomechanically Strengthened Reinforcing Steel for Reinforced Concrete Structures. Specifications. Moscow, IPK Publishing House of Standards, 1995; 14. (in Russian).
5. СТО АСЧМ 7–93. Rolled Periodic Profile from Reinforcing Steel. Specifications. Moscow, Association Chernmetstandart, 1993; 18. (in Russian).

6. GOST R 52544–2006. Weldable Reinforcing Rolled Products of Periodic Profile of Classes A500C and B500C for the Reinforcement of Reinforced Concrete Structures. Specifications. Moscow, Standartinform, 2006; 19. (in Russian).
7. Kvasnikov A.A. Joint Work of Reinforcement with Different Periodic Profiles and Concrete under Confined Transverse Deformations. *Beton i Zhelezobeton (Concrete and Reinforced Concrete)*. 2009; 4:21-24. (in Russian).
8. Stakhov D.O. Review and Comparison of Methods for Investigating the Bond Characteristics of Reinforcement with Concrete. *Molodoy Uchenyy (Young Scientist)*. 2021; 23(365):62-68. (in Russian).
9. Mirsayapov I.T., Minzianov R.I., Khorkov E.V., Vagizov M.R., Shulayeva D.A. Experimental Study of the Bond between Steel Deformed Reinforcement and Concrete. *Reinforced Concrete and Masonry Structures: Present and Future : Collection of Abstracts of the International Scientific Conference Dedicated to the 50th Anniversary of the Department "Reinforced Concrete and Masonry Structures" and the 105th Anniversary of the Kazan School of Reinforced Concrete*. Kazan, 2024; 73-74. (in Russian).
10. Savrasov I.P. Experimental Studies of the Mechanical Properties and Bond with Concrete of Reinforcement with a Strength Class of 500 N/mm². *Beton i Zhelezobeton (Concrete and Reinforced Concrete)*. 2009; 4:16-21. (in Russian).
11. Semenyuk S.D., Sedlyar T.N. Methodology for Experimental Studies of the Bond between Reinforcement of Crescent-Shaped Profile and Lightweight Concretes. *Architectural and Construction Complex: Problems, Prospects, Innovations : Collection of Articles of the International Scientific Conference Dedicated to the 50th Anniversary of Polotsk State University*. 2018; 92-94. (in Russian).
12. Kvasnikov A., Semchenkov A., Meshkov V. Bond to concrete action of reinforcing bars with different deformation patterns. *Structural concrete*. 2009; 10(4):203-209.
13. Choi O.C., Lee W.S. Interfacial bond analysis of deformed bars to concrete. *ACI structural journal*. 2002; 99(6):750-756.
14. Soretz S. A comparison of beam tests and pull-out tests. *Materials and Structures*. 1972; 28(5):261-264.
15. RILEM Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials. RILEM, 1994; 618.