

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.175

DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-1-31-45

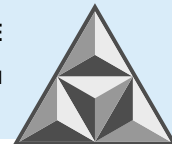
# Композитная полимерная арматура: анализ опыта производства

**Т.А. Низина, Н.С. Леонтьев**

**Татьяна Анатольевна Низина\***, **Никита Сергеевич Леонтьев**

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,  
Саранск, Российская Федерация

*nizinata@yandex.ru\**, *sollers113@mail.ru*



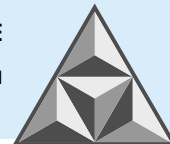
*Проанализированы основные преимущества и недостатки строительной полимерной арматуры. Использован опыт научных исследований и промышленного производства ООО «Кабельные системы» (г. Саранск). Дана общая информация о типах композитной арматуры и соответствующей нормативной документации в Российской Федерации. Проведен сравнительный анализ свойств композитной полимерной и стальной арматуры. Выявлено влияние состава эпоксидного связующего и армирующих волокон на важнейшие потребительские характеристики композитной арматуры в целом и, в частности, на прочность ее сцепления с бетоном. Даны рекомендации по применению композитной полимерной арматуры для решения комплексных задач в современном строительстве.*

**Ключевые слова:** композитная арматура, коррозионная стойкость, щелочестойкость, бетон, полимерное связующее, опесчаненная поверхность

**Для цитирования:**

Низина Т.А., Леонтьев Н.С. Композитная полимерная арматура: анализ опыта производства // *Умные композиты в строительстве*. 2025. Т. 6, вып.1. С. 31-45.  
URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5863/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-1-31-45



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-1-31-45

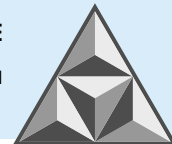
# Composite polymer reinforcement: analysis of production experience

**T.A. Nizina, N.S. Leont'ev**

**Tatyana Anatolyevna Nizina\***, **Nikita Sergeevich Leont'ev**

National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryov, Saransk, Russian Federation

*nizinata@yandex.ru\**, *sollers113@mail.ru*



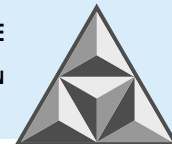
*The authors have analysed the main advantages and disadvantages of construction polymer reinforcement. The authors used the experience of scientific research and industrial production of OOO 'Cable Systems' (Saransk, Russia). The paper provides general information about the types of composite reinforcement and the relevant regulatory documentation in the Russian Federation. The authors have performed a comparative analysis of the properties of composite polymer and steel reinforcement. The authors have revealed the impact of the composition of epoxy binder and reinforcing fibres on the most important consumer characteristics of composite reinforcement in general and, in particular, on the bond strength of composite reinforcement with concrete. The paper gives recommendations on the application of polymer composite reinforcement in solving complex problems in modern construction.*

**Keywords:** composite reinforcement, corrosion resistance, alkali resistance, concrete, polymer binder, sandy surface

**For citation:**

Nizina T.A., Leont'ev N.S. Composite polymer reinforcement: analysis of production experience // *Smart Composite in Construction*. 2025. Vol. 6, Iss. 1. P. 31-45.  
URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5863/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-1-31-45



## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время железобетон является одним из основных конструктивных материалов в строительстве, без которого невозможно обойтись в обозримой перспективе. Большинство гражданских, промышленных и специальных зданий и сооружений возводится с применением железобетонных конструкций. Однако применяемая в железобетоне арматурная сталь, помимо неоспоримых преимуществ, имеет и ряд существенных недостатков:

- низкая коррозионная стойкость;
- высокий удельный вес и недостаточная прочность при растяжении относительно средней плотности;
- ограниченность сырьевой базы.

Ввиду указанных недостатков происходит преждевременный выход из строя железобетонных конструкций в условиях действия агрессивных сред, сокращаются межремонтные интервалы. Поэтому целесообразность применения стальной арматуры снижается, в том числе – по экономическим соображениям. В этой связи с середины XX столетия активно проводятся исследования по созданию альтернативы стальной арматуры – композитной полимерной арматуры (ранее называемой стеклопластиковой). Данное строительное изделие, помимо прочностных и деформативных характеристик, должно обладать особыми показателями: стойкостью к агрессивным средам, радиопрозрачностью, магнитоинертностью и т.д.

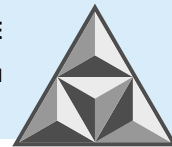
Арматуру композитную полимерную (АКП), как правило, относят к относительно новому виду строительных изделий. Однако еще в 1941 году отечественный ученый А.К. Буров впервые предложил использовать стеклянные волокна для армирования бетонных конструкций. В 1950-е годы было известно три способа армирования:

- дисперсное (распределенное по всему объему материала);
- армирование сплошными композитными обоймами по поверхности конструкций;
- армирование стеклопластиковой арматурой [1].

В 60-е годы XX века в Советском Союзе приступили к исследованию свойств стеклопластиковых стержней прямоугольного и круглого сечений и начато опытное изготовление композитной арматуры со следующими характеристиками:

- плотность 1800-2000 кг·м<sup>-3</sup>;
- предел прочности при растяжении – до 1500 МПа;
- модуль упругости – до 50000 МПа при содержании волокна по массе около 80% [2].

Первый нормативный документ Р-16-78 «Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой» по применению АКП разработан в Научно-исследовательском, проектно-конструкторском технологическом институте бетона и железобетона Госстроя СССР (НИИЖБ им. А.А. Гвоздева) в 1978 году. Он был предназначен для расчета конструкций с преднапряженной композитной арматурой. С начала 70-х годов XX столетия стеклопластиковая арматура стала применяться в мостовых конструкциях: в 1975 году в Амурской области построен мост, деревянные элементы которого были армированы преднапряженной композитной арматурой; в 1981 году в Приморском крае построен мост, стальные балки которого были преднапряжены стеклопластиковой арматурой; в 1989 году в



г. Облудье (Еврейская автономная область) возведен мост, в котором стеклопластиковая арматура была применена в составе железобетонных балок.

За рубежом (Германия, 1986 год) был построен автомобильный мост с использованием предварительно напряженной композитной арматуры [3]. В Японии в 1997 году разработаны нормы по расчету и строительству бетонных конструкций с АКП [4]. С начала XXI века исследования по изучению свойств и применению АКП проводятся в Германии, Японии, Нидерландах, США, Канаде, Англии, Франции и других странах [2].

Арматура композитная полимерная является высокоориентированным волокнистым материалом и представляет собой стержень из однонаправленных непрерывных волокон, расположенных в матрице из термореактивного связующего с равномерно расположенным на поверхности анкерочным слоем. Волокна являются основой АКП; в основном применяются стеклянные, базальтовые, арамидные и углеродные волокна.

Тип волокон имеет большое влияние на физико-механические свойства композитной арматуры. В подавляющем большинстве на производствах АКП применяются стеклянные волокна, которые уступают базальтовым и углеродным по прочности на растяжение и модулю упругости, но обладают сравнительно низкой стоимостью. АКП, изготовленная из углеродного волокна, имеет наибольший предел прочности при растяжении и модули упругости. Однако стоимость углеродного волокна в десятки раз превышает стоимость базальтового и стеклянного волокон [5].

В качестве связующего в полимерной арматуре выступают эпоксидные смолы (ЭД-20, KER-828 и другие аналоги). Отвердителем данных смол чаще всего являются термореактивный изометилтетрагидрофталевый ангидрид (изо-МТГФА). Также для отверждения используют ароматические амины, которые придают полимерной арматуре теплостойкость и устойчивость к агрессивным средам [6]. Основную роль при обеспечении щелочестойкости играет состав связующего, существенно влияющий на долговечность армированных конструкций [7].

Известно, что применение ангидридов (изо-МТГФА) приводит к значительному уменьшению щелочестойкости. Согласно ГОСТ 31938-2022, нормируется снижение предела прочности сцепления с бетоном после выдержки в щелочной среде. При разрушении полимерной матрицы щелочной раствор проникает вглубь материала и начинает химически взаимодействовать с волокном, разрушая его, приводя к снижению прочности арматурного стержня. Наиболее подвержены такому разрушению стеклянные волокна.

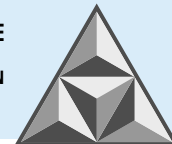
Базальтовые и арамидные волокна являются более стойкими, а углеродное волокно полностью устойчиво к воздействию щелочей.

В [8] достаточно подробно дается сравнительная оценка стойкости в щелочных средах бетонов следующих связующих АКП:

- эпоксиангидритное – эпоксидиановая смола ЭД-20 производства ФКП «Завод имени Я.М. Свердлова» с отвердителем изо-МТГФА производства ООО «АО Реахим»;
- эпоксаминное – двухкомпонентное эпоксидное связующее Этал-370У производства АО «ЭНЦП Эпитал», в состав которого входит аминный отвердитель.

В результате испытаний и исследований [8] были сделаны следующие выводы:

- щелочная среда бетона приводит к диффузному набуханию и деструкции эпоксидных связующих АКП;
- эпоксидоаминное связующее демонстрирует значительно бóльшую щелочестойкость по сравнению с эпоксиангидритным.



Существуют различные способы производства АКП: пултрузия; бесфильтровая нидлтрузия или плэйнтрузия с последующей термообработкой формируемых стержней [9]. При пултрузии ровинговые нити, пропитанные связующим, проходят через фильеру круглого сечения; на выходе из фильеры стержень обматывается жгутом с натягом (большинство производителей используют прочные швейные нити), затем обмотанный по спирали стержень покрывается песком, в результате чего образуется вдавленный или постоянного сечения опесчаненный профиль. При нидлтрузии отсутствует фильера и круглый стержень формируется за счет спиральной обмотки одной или двумя нитями волокна. Образующие стержень нити волокна и нити обмотки имеют один тип, но могут отличаться по плотности. Параметры периодического профиля (диаметр, высота и шаг поперечных выступов) АКП различны в зависимости от применяемой технологии и регламентируются согласно ГОСТ 31938-2022.

### *Нормативная база по применению композитной арматуры*

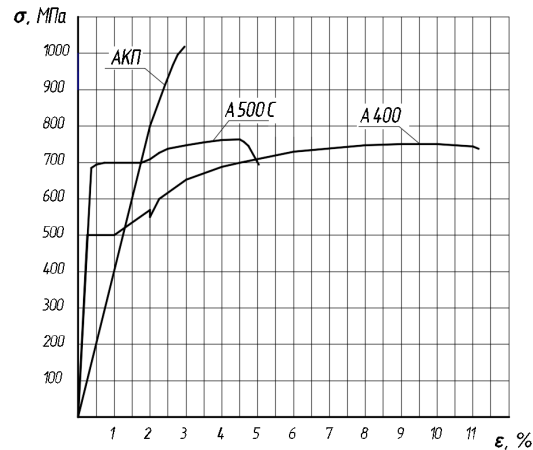
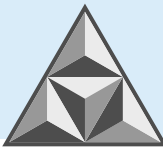
Следует отметить, что в России долгое время отсутствовала нормативная база по полимерной арматуре. Однако с 2014 года введены несколько нормативно-технических документов, что способствовало активизации применения АКП в строительстве. Так, обновленный ГОСТ 31938-2022 содержит следующие отличия:

- добавлен сортамент с нормами по соответствию площади сечения и массе;
- регламентированы типы профилей;
- добавлены сведения о материалах для производства АКП и пр.

Также были разработаны и введены государственные стандарты РФ: ГОСТ 32486-2021 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения структурных и термомеханических характеристик», ГОСТ 32487-2015 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения характеристик стойкости к агрессивным средам» и ГОСТ 32492-2015 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик». В качестве правил проектирования конструкций из бетона, армированных полимерной арматурой, в 2018 году были введены СП 295.1325800.2017 и СП 405.1325800.2018 в которых установлены основные нормативные и расчетные характеристики АКП и фибры, указан порядок расчета по двум предельным состояниям, даны рекомендации для проектирования конструкций с предварительно напряженной полимерной арматурой. Расчет конструкций с применением АКП стал возможен с помощью современных программных комплексов: в ПК ЛИРА 10.8 внесены библиотеки материалов композитной арматуры по ГОСТ 31938-2022; в данном комплексе реализованы положения СП 295.1325800.2017 и Приложения Л СП 63.13330.2012. Характеристики полимерной арматуры и корректирующие коэффициенты можно использовать в автоматическом режиме, а также изменять. Кроме того, возможность выбора АКП в качестве арматуры для железобетонных конструкций уже предоставляется в последних версиях ПК SCAD Office.

### *Сравнение прочностных характеристик композитной и стальной арматуры*

Одной из важных характеристик арматуры является предел прочности при растяжении. На рис. 1 даны совмещенные диаграммы растяжения АКП со стеклянными волокнами и стальной арматуры А400 и А500С, приведенные соответственно в [10] и [11].



**Рис. 1.** Диаграммы «напряжение – относительная деформация» стальной арматуры классов А400, А500С и композитной арматуры со стеклянными волокнами [10, 11]

**Fig. 1.** Stress - relative strain diagrams of steel reinforcement of classes А400, А500С and composite reinforcement with glass fibres [10, 11]

Анализ рис. 1 указывает на линейное поведение АКП, вплоть до разрушения. При этом отсутствует площадка текучести (как у хрупкого материала), а предел прочности АКП существенно выше предела прочности стальной арматуры. Но при выполнении расчетов конструкций с АКП необходимо учитывать их долговременные свойства. В табл. 1 представлены пути определения расчетных значений сопротивления растяжению для стальной арматуры и АКП, согласно СП 63.13330.2018 и СП 295.1325800.2017 соответственно (расчет по предельным состояниям первой группы).

**Таблица 1.** Формулы для определения расчетных значений сопротивления растяжению для стальной и композитной арматуры (первая группа предельных состояний)

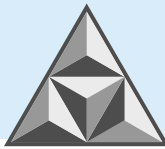
**Table 1.** Formulas for determining design values of tensile strength for steel and composite reinforcement (first group of limit states)

Стальная арматура	Арматура композитная полимерная	
	Длительная нагрузка	Кратковременная нагрузка
$R_s = \frac{R_{s,n}}{\gamma_s},$ <p>где <math>\gamma_s</math> – коэффициент надежности по арматуре, принимаемый равным 1.15, <math>R_{s,n}</math> – нормативное значение сопротивления растяжению</p>	$R_f = \gamma_{f,l} \times R_{f,n},$ <p>где <math>\gamma_{f,l}</math> – коэффициент снижения сопротивления растяжению (от 0.3 до 0.6 в зависимости от типа волокна), <math>R_{f,n}</math> – нормативное значение сопротивления растяжению</p>	$R_f = \frac{\gamma_{f1} \times R_{f,n}}{\gamma_f},$ <p>где <math>\gamma_f</math> – коэффициент надежности по материалу (1.2 или 1.5 в зависимости от значения коэффициента вариации), <math>\gamma_{f1}</math> – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации конструкции (от 0.7 до 1.0), <math>R_{f,n}</math> – нормативное значение сопротивления растяжению</p>

Согласно СП 295.1325800.2017, минимальные значения предела прочности при растяжении  $R_{f,n}$  у АКП составляют от 800 до 1400 МПа в зависимости от типа волокна. У АКП, в отличие от стальной арматуры, есть два расчетных сопротивления растяжению.

Первое сопротивление – расчетное при длительных нагрузках  $R_f$ ; для его получения необходимо ввести коэффициент снижения сопротивления растяжению (коэффициент длительности), принимаемый от 0.3 до 0.6 в зависимости от типа волокна АКП. Применение данного коэффициента обусловлено тем, что АКП обладает ползучестью, что не позволяет полностью использовать ее прочностные свойства. Исходя из опыта членов авторского коллектива по производству АКП, считаем, что данный коэффициент можно было бы поднять для некоторых производителей арматуры при условии проведения специальных длительных испытаний, подтверждающих эффективную работу арматурных стержней.





Второе сопротивление – расчетное сопротивление растяжению при кратковременных нагрузках, равное произведению нормативного сопротивления растяжению (принятому равным пределу прочности) на коэффициент, учитывающий щелочестойкость и принимаемый в зависимости от условий эксплуатации (от 0.7 до 1.0). Полученное значение необходимо поделить на коэффициент надежности по материалу (1.2 или 1.5, в зависимости от коэффициента вариации, согласно СП 295.1325800.2017).

Для стальной арматуры, согласно СП 63.13330.2018, нормативное значение сопротивления растяжению  $R_{s,n}$  зависит от класса арматуры и составляет от 240 (для А240) до 1920 МПа (для К1900). Для получения расчетного сопротивления стальной арматуры  $R_s$  и расчета по предельным состояниям первой группы вводят уменьшающий коэффициент надежности, равный 1.15, согласно СП 63.13330.2018.

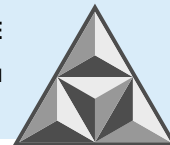
Сдерживающим фактором применения АКП является низкий модуль упругости при растяжении  $E_f$  относительно данной характеристики стальной арматуры [12], минимальное значение которого для арматуры со стеклянными волокнами, согласно ГОСТ 31938-2022, составляет 50 000 МПа. При равных нагрузках прогибы конструкций с АКП будут кратно выше, чем у конструкций со стальной арматурой. Поэтому в конструкциях, не рассчитываемых на прогибы, таких как плита на упругом основании, применение АКП наиболее целесообразно. Ширина раскрытия трещин в конструкциях с АКП будет значительно превышать данный параметр у железобетонных аналогов, так как она обратно пропорциональна модулю упругости арматуры. В незначительной мере это превышение компенсируется за счет максимальной ширины раскрытия трещин, которая для АКП немного выше, чем для стальной арматуры (согласно СП 295.1325800.2017, у стальной арматуры  $a_{crs} = 0.3; 0.4$  мм, у АКП  $a_{crsf} = 0.5; 0.7$  мм, при длительных и кратковременных нагрузках соответственно). Это означает, что при расчете по второй группе предельных состояний при равных нагрузках общая площадь сечения АКП будет значительно превышать общую площадь сечения стальной арматуры. В конструкциях с преднапряженной АКП уменьшаются прогибы и ширина раскрытия трещин, но в современном строительстве преднапряжение композитной арматуры не получило широкого распространения. В основном это связано с трудностями по подготовке оснастки при проведении предварительного напряжения АКП [13].

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как уже отмечалось выше, на прочностные и деформативные свойства АКП влияет тип волокон. Однако полимерное связующее также влияет на физико-механические характеристики арматуры. Полимерная матрица, помимо коррозионной стойкости арматуры, призвана обеспечивать равномерное распределение напряжений между волокнами. Для максимального использования прочности волокон в АКП полимерное связующее должно выдерживать более высокие предельные деформации, чем сами волокна. При соответствии прочностных характеристик связующего и волокон достигаются наилучшие физико-механические характеристики АКП.

При производстве композитной арматуры полимерные связующие могут подвергаться различным способам модификации, что отражается на конечных характеристиках АКП, в частности, огнестойкости, сцеплении с бетоном, прочности на срез, прочности при сжатии и растяжении, а также модуле упругости [14].

Для оценки качества производимой в ООО «Кабельные системы» (г. Саранск) АКП были проведены исследования по влиянию состава эпоксидного связующего и типа армирующих волокон на характеристики композитной арматуры, в частности, предел прочности и модуль



упругости при растяжении. Испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 31938-2022 и ГОСТ 32492-2015.

Экспериментальные исследования осуществляли на универсальной гидравлической разрывной машине Р-50, предназначенной для статических испытаний стандартных образцов конструкционных материалов на растяжение, сжатие и изгиб с усилием до 50000 кгс. Условия проведения испытаний: температура воздуха 22°C, влажность 50%. Объектом испытаний являлись арматурные стержни:

- арматура стеклокомпозитная (АСК) диаметром 10 мм и длиной 300 мм из рядовой производственной партии; полимерная матрица: эпоксидиановая смола ЭД-20 и отвердитель изо-МТГФА;

- арматура базальтокомпозитная (АБК) диаметром 10 мм и длиной 300 мм из опытно-экспериментальной партии; полимерная матрица: модифицированное эпоксидное связующее двухкомпонентное горячего отверждения.

Результаты сравнительных испытаний АСК и АБК приведены в табл. 2.

**Таблица 2.** Результаты сравнительных испытаний стеклокомпозитной и базальтокомпозитной арматуры

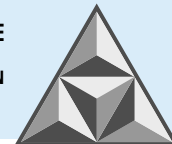
**Table 2.** Results of comparative tests of glass-composite and basalt-composite reinforcement

Измеряемый показатель, ед. измерения	Нормативное значение (ГОСТ 31938-2022)		Нормативная документация на метод испытания	Результаты испытаний	
	АСК	АБК		АСК	АБК
Номинальный диаметр, мм	Не менее 9.5	Не менее 9.5	ГОСТ 31938-2022	9.54	10.05
Предел прочности при растяжении, МПа	Не менее 1000	Не менее 1000	ГОСТ 32492-2015	1180	1590
Модуль упругости при растяжении, ГПа	Не менее 50.0	Не менее 50.0	ГОСТ 32492-2015	51.5	54.0

Испытанные стержни АСК и АБК по показателям предела прочности при растяжении и модулю упругости соответствуют ГОСТ 31938-2022. Установлено, что показатели предела прочности обеих партий образцов значительно превышают нормируемые значения. При этом показатели АБК превосходят соответствующие показатели АСК. Проведенные исследования показали, что применение модифицированного эпоксидного связующего и базальтовых волокон приводит к значительному повышению механических свойств композитных стержней и, как следствие, способствует улучшению эксплуатационных характеристик композитной полимерной арматуры.

Как известно, наличие сцепления цементного бетона с поверхностью арматурных стержней в течение всего периода эксплуатации обеспечивает несущую способность армированной бетонной конструкции. Прочная связь стальной арматуры с бетоном обеспечивается за счет геометрии стержня, адгезии, а также сил трения, возникающих при усадке бетона в результате обжатия стержня и адгезии [15]. Совместная работа АКП и бетона зависит от типа профиля стержня и обеспечивается сцеплением между обмоткой стержня нитью из скрученного волокна либо за счет вдавленного профиля стержня или нанесения песчаного покрытия. При этом показатели прочности сцепления с бетоном у различных типов профиля существенно отличаются. В [16] показано, что наибольшее сцепление с бетоном имеет арматура с опесчаненной поверхностью.

Для оценки прочности сцепления арматуры с бетоном, нормируемой согласно ГОСТ 31938-2022, проведены экспериментальные испытания производимой в ООО «Кабельные системы» (г. Саранск) арматуры стеклокомпозитной (АСК).



АСК получали на основе смолы ЭД-20, отверждаемой изо-МТГФА (диаметр 10 мм, длина 300 мм), с опесчанной поверхностью. Длина сцепления арматурных стержней с бетоном составляла от 44 до 46 мм. Образцы формировались в форме куба со стороной 100 мм, класс бетона по прочности при сжатии – В25, возраст образцов при испытании – 28 сут. Испытания проводили при температуре 22°C и относительной влажности воздуха 50%; результаты после статистической обработки приведены в табл. 3.

**Таблица 3.** Результаты испытаний по определению прочности сцепления стеклокомпозитной арматуры с бетоном  
**Table 3.** Test results for determining the bond strength of glass composite reinforcement with concrete

Измеряемый показатель, ед. измерения	Нормативное значение (ГОСТ 31938-2022)	Обозначение нормативной документации на метод испытания	Результаты испытаний
Номинальный диаметр, мм	Не менее 9,5	ГОСТ 31938-2022	9.54
Предел прочности сцепления с бетоном, МПа	Не менее 12	ГОСТ 32492-2015	19.86

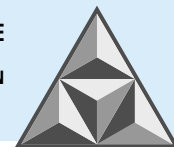
По результатам испытаний установлено, что стержни АСК по показателю предела прочности сцепления с бетоном отвечают требованиям ГОСТ 31938-2022. При этом данный показатель значительно превышает нормируемые значения. Стержни выдерживаются с частичным разрушением цементного камня в зоне сцепления, песок срезается с поверхности стержня. На основании полученных данных можно рекомендовать арматуру композитную полимерную с опесчанной поверхностью производства ООО «Кабельные системы» (Республика Мордовия, г. Саранск) для армирования бетонных изделий и конструкций.

### СРАВНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНОЙ И СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ

Известно, что широкое использование АКП ограничивают также требования противопожарной безопасности. По ГОСТ 31938-2022 установлена минимальная температура стеклования  $T_g$ , составляющая не менее 90°C. Данная температура показывает предельную рабочую температуру полимерной матрицы в АКП. При ее превышении происходит переход матрицы из стеклообразного состояния в упруго-эластическое, и АКП теряет свои эксплуатационные свойства (для сравнения: стальная арматура марки А400 при нагреве до 600°C полностью сохраняет эксплуатационные свойства). Поэтому, учитывая требования противопожарной безопасности, в Российской Федерации использовать АКП в несущих конструкциях возможно только при осуществлении дополнительных мероприятий по нанесению огнезащитных составов и увеличению толщины защитного слоя бетона.

Стоимость арматуры также существенно влияет на технико-экономические показатели возводимых конструкций. При проведении сравнительного анализа АКП со стеклянными волокнами и стальной арматурой выявлены примерно одинаковые цены на равные диаметры (краткий обзор рынка по состоянию на декабрь 2024 года приведен в табл. 4).

Также необходимо отметить, что стержни композитной арматуры, в отличие от стальной, невозможно соединять в каркас с помощью электросварки и нельзя сгибать непосредственно на площадке строительства (гнуемые стержни из АСК можно подготавливать только в условиях производства), что неудобно и приводит к удорожанию процесса армирования. Стыки АКП внахлестку также увеличивают стоимость армируемых конструкций за счет повышенного расхода. Однако АКП может поставляться в бухтах, что уменьшает количество соединений.

**Таблица 4.** Обзор стоимости стальной и композитной арматуры**Table 4.** Cost overview of steel and composite reinforcement

Диаметр, мм	Стоимость стальной арматуры А500С за 1 пог. м, руб., согласно [17]	Средняя стоимость АКП со стеклянными волокнами за 1 пог. м, руб., согласно [18, 19]
6	12	11
8	22	23
10	34	35
12	49	45

Многие производители считают низкую плотность ( $1800 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  против  $7850 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  у стали), одним из главных преимуществ АКП. При типовом армировании это влияет на общую массу армируемой конструкции незначительно, однако низкий вес АКП положительно сказывается на транспортных расходах. Так, композитная арматура длиной 50.0 м и диаметром до 10.0 мм может быть скручена в бухту диаметром до 1.0 м. Примером подтверждающим возможное снижение логистических расходов, является тот факт, что в стандартный грузовой полуприцеп вмещается около 6000 м<sup>2</sup> готовой сетки из АКП диаметром 10.0 мм с шириной ячейки 150.0 мм; для стальной сетки при тех же параметрах объем был бы не более 2500 м<sup>2</sup>.

Важным аспектом сравнения полимерной и стальной арматуры является оценка их влияния на термическое сопротивление ограждающей конструкции. Хотя коэффициент теплопроводности у АКП значительно ниже, чем у стальной арматуры, использование композитной арматуры не обеспечивает существенного снижения теплопотерь, так как основным проводником тепла в конструкции является больший по объему бетон.

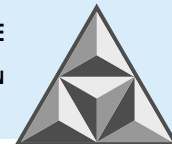
АКП является радиопрозрачным и магнитоинертным материалом, что позволяет использовать ее в специальных сооружениях; однако из-за диэлектрических свойств АКП допускается применять не все технологии электропрогрева бетона в зимний период.

Широкой областью применения армированных конструкций могут являться объекты транспортной инфраструктуры, для эффективной эксплуатации которых следует учитывать отрицательные факторы, влияющие на долговечность материалов и конструкций, и, соответственно, принимать меры, снижающие влияние агрессивных сред. Данные конструкции, помимо нагрузок и температур, подвержены воздействию агрессивных сред, в результате чего в материалах развиваются коррозионные процессы, что значительно снижает срок их эксплуатации. Стальная арматура не может противостоять процессам, которые приводят к образованию трещин, отслоению защитного слоя бетона, деформации и потере прочности. Неоспоримым преимуществом АКП перед стальной арматурой является высокая коррозионная стойкость. Благодаря этому свойству АКП может успешно применяться в конструкциях, эксплуатация которых связана с риском коррозии арматуры; для ее применения не требуются меры специальной защиты, в результате чего уменьшаются расходы на эксплуатацию сооружений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учетом вышеизложенного, существенными преимуществами композитной полимерной арматуры перед стальной являются: стойкость к агрессивным средам, радиопрозрачность, магнитоинертность, низкий вес в контексте транспортировки. На основании этого можно выделить наиболее целесообразные случаи применения АКП:

- армирование конструкций, лежащих на упругом основании, где расчет по второй группе предельных состояний не является определяющим;
- армирование конструкций, подвергающихся действию агрессивных сред;

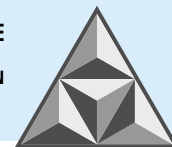


– армирование преднапряженных конструкций, при условии разработки для этого оптимальной оснастки;

– армирование специальных конструкций с повышенными требованиями по радиопрозрачности и магнитоинертности.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Фролов Н.П.** Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1980. 104 с.
2. **Степанова В.Ф., Степанов А.Ю., Жирков Е.П.** Арматура композитная полимерная. М.: Бумажник, 2013. 200 с.
3. **Клементьев А.О., Смердов М.Н.** Обзор литературы по применению в железобетонных пролетных строениях мостов неметаллической композитной арматурой // *Вестник Уральского гос. ун-та путей сообщения*. 2013. № 4 (20). С. 74-80.
4. **Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Ильченко Е.Д., Михалдыкин Е.С.** Систематизация и анализ нормативно технической документации по применению полимерных композиционных материалов в транспортном строительстве. Часть 1. // *Интернет-журнал «Наукоедение»* Том 9. 2017. №1. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/32TVN117.pdf> (дата обращения 19.01.2025).
5. **Кебер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С., и др.; под ред. Берлина А.А.** Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие. СПб.: Профессия, 2008. 560 с.
6. **Кочнова З.А., Жаворонок Е.С., Чалых А.Е.** Эпоксидные смолы и отвердители: промышленные продукты. М.: Пэйнт-Медиа, 2006. 200 с.
7. **Тарнопольский Ю.М., Кинцис Т.Я.** Методы статических испытаний армированных пластиков. М.: Химия, 1981. 271 с.
8. **Хозин В.Г., Зыкова Е.С., Фахрутдинова В.Х., Гиздатуллин А.Р.** Влияние щелочной среды бетона на эпоксидные связующие и полимеркомпозитную арматуру // *Строительные материалы*. 2015. № 1. С. 41-44.
9. **Старовойтова И.А., Хозин В.Г., Сулейманов А.М., Халикова Р.А., Зыкова Е.С., Абдулхакова А.А., Муртазина А.И., Хадеев Э.П.** Одноосноориентированные армированные пластики: анализ состояния, проблемы и перспективы развития // *Изв. КГАСУ*. 2012. № 4 (22). С. 332-339.
10. **Лобанов Д.С.** Экспериментальные исследования деформационных и прочностных свойств полимерных композиционных материалов и панелей с наполнителем: дисс. ... канд. техн. наук. М., 2015. 148 с.
11. **Рогатнев Ю.Ф., Джавид М.М.** Сравнительный анализ опытных значений деформативных и прочностных характеристик арматуры классов А400, А500С и А600 // *Строительная механика и конструкции*. 2014. № 2 (9). С. 92-99.
12. **Гиль А.И., Бадалова Е.Н., Лазовский Е.Д.** Стеклопластиковая и углепластиковая арматура в строительстве: преимущества, недостатки, перспективы применения // *Вестник Полоцкого гос. ун-та*. 2015. Сер. Ф. № 16. С. 48-53.
13. **Белуцкий И.Ю., Сим А.Д.** Специфика проектирования, изготовления конструкций, напряженно-армированных низкокомодульной композитной арматурой // *Вестник Сибирского гос. ун-та путей сообщения*. 2020. № 3 (54) С. 38-45.
14. **Беккер А.Т., Уманский А.М.** Полимерное связующее композитной арматуры. Виды, характеристики и перспективы модификации // *Вестник науки и образования*. 2018. №3 (39). С. 22-27.
15. **Бондаренко В.М., Суворкин Д.Г.** Железобетонные и каменные конструкции: учебник для вузов. М.: Высш. школа, 1987. 384 с.
16. **Хозин В.Г., Гиздатуллин А.Р.** Совместимость полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном в конструкциях // *Строительные материалы*. 2017. № 11. С. 30-38.
17. Официальный сайт МЕТАЛЛСЕРВИС. Арматура рифленая. URL: [https://mc.ru/metalloprokat/armatura\\_riflenaya\\_a3/mark/a500s](https://mc.ru/metalloprokat/armatura_riflenaya_a3/mark/a500s) (дата обращения 09.01.2025).
18. Официальный сайт МЕГАСТРОЙ. Арматуры и прутки стеклопластиковые. URL: [https://saransk.megastroy.com/catalog/armatura?field142\[\]=стеклопластиковая](https://saransk.megastroy.com/catalog/armatura?field142[]=стеклопластиковая) (дата обращения 09.01.2025).



19. Официальный сайт Лемана ПРО (Леруа Мерлен). Арматура стеклопластиковая. URL: <https://saransk.lemanapro.ru/catalogue/armatura/stekloplastikovaya> (дата обращения 09.01.2025).

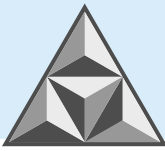
Поступила в редакцию 22.01.2025

Одобрена после рецензирования 21.02.2025

Принята к опубликованию 04.03.2025

## REFERENCES

1. **Frolov, N.P.** (1980), *Stekloplastikovaya armatura i stekloplastbetonnye konstruksii [Glass-fibre reinforcement and glass-fibre reinforced concrete structures]*, Stroyizdat, Moscow, 104 p. (in Russian).
2. **Stepanova, V.F., Stepanov, A.Yu. and Zhirkov, E.P.** (2013), *Armaturnaya kompozitnaya polimernaya [Composite polymer armature]*, Boumazhnik, Moscow, Russia, 200 p. (in Russian).
3. **Klementiev, A.O. and Smerdov, M.N.** (2013), "Literature review on the application of non-metallic composite reinforcement in reinforced concrete bridge spans", *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya [Bulletin of Ural State University of Railway Engineering]*, vol. 4, no. 20, pp. 74-80 (in Russian).
4. **Ovchinnikov, I.I., Ovchinnikov, I.G., Ilchenko, E.D. and Mikhaldykin, E.S.** (2017), "Systematisation and analysis of normative and technical documentation on the use of polymer composite materials in transport construction", part 1, *Internet journal 'Naukovedenie'*, vol. 9, no. 1, Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/32TVN117.pdf> (accessed 19.01.2025) (in Russian).
5. **Keber, M.L., Vinogradov, V.M., Golovkin, G.S. et al.** (2008), *Polimernye kompozitsionnye materialy: struktura, svoystva, tekhnologiya: ucheb. posobie [Polymer composite materials: structure, properties, technology: textbook]*, in Berlin A.A. ed., Profession, SPb., Russia, 560 p. (in Russian).
6. **Kochkova, Z.A., Zhavoronok, E.S. and Chalykh, A.E.** (2006), *Epoksidnye smoly i otverditeli: promyshlennyye produkty [Epoxy resins and hardeners: industrial products]*, Paint-Media, Moscow, Russia, 200 p. (in Russian).
7. **Tarnopolsky, Yu.M. and Kintsis, T.Ya.** (1981), *Metody staticheskikh ispytaniy armirovannykh plastikov [Methods of static tests of reinforced plastics]*, Izd-vo 'Khimiya', Moscow, 271 p. (in Russian).
8. **Khozin, V.G., Zykova, E.S., Fakhrutdinova, V.H. and Gizdatullin, A.R.** (2015), "Effect of alkaline environment of concrete on epoxy binders and polymer composite reinforcement", *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*, no. 1, pp. 41-44 (in Russian).
9. **Starovoitova, I.A., Khozin, V.G., Suleymanov, A.M., Khalikova, R.A., Zykova, E.S., Abdulkhakova, A.A., Murtazina, A.I. and Khadeev, E.P.** (2012), 'Uniaxially oriented reinforced plastics: analysis of the state, problems and prospects of development', *Izv. KGASU [Proceedings of KGASU]*, vol. 4, no. 22, pp. 332-339 (in Russian).
10. **Lobanov, D.S.** (2015), Experimental investigations of deformation and strength properties of polymer composite materials and panels with filler: Ph.D. Thesis cand. tech. sc., Moscow, Russia, 148 p.
11. **Rogatnev, Yu.F. and Javid, M.M.** (2014), "Comparative analysis of experimental values of deformation and strength characteristics of reinforcement of classes A400, A500C and A600b", *Stroitel'naya mekhanika i konstruksii [Construction Mechanics and Structures]*, vol. 2, no. 9, pp. 92-99 (in Russian).
12. **Gil, A.I., Badalova, E.N. and Lazovsky, E.D.** (2015), Fiberglass and carbon fibre reinforcement in construction: advantages, disadvantages, prospects of application, *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Polotsk State University]*, Ser. F, no. 16, pp. 48-53 (in Russian).
13. **Belutsky, I.Y. and Sim, A.D.** (2020), "Specificity of design, fabrication of structures stress-reinforced with low-modulus composite reinforcement", *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya [Bulletin of Siberian State University of Railway Engineering]*, vol. 3, no. 54, pp. 38-45 (in Russian).
14. **Becker, A.T. and Umansky, A.M.** (2018), "Polymer binder of composite reinforcement. Types, characteristics and prospects of modification", *Vestnik nauki i obrazovaniya [Bulletin of Science and Education]*, vol. 3, no. 39, pp. 22-27 (in Russian).
15. **Bondarenko, V.M. and Suvorkin, D.G.** (1987), *Zhelezobetonnye i kamennyye konstruksii: uchebnyy dlya vuzov [Reinforced concrete and stone structures: textbook for universities]*, Vysh. shkola, Moscow, 384 p. (in Russian).



16. **Khozin, V.G. and Gizdatullin, A.R.** (2017), "Compatibility of polymer-composite reinforcement with cement concrete in structures", *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*, no. 11, pp. 30-38 (in Russian).
17. The official site METALSERVICE. Fluted armature. Available at: [https://mc.ru/metalloprokat/armatura\\_riflenaya\\_a3/mark/a500s](https://mc.ru/metalloprokat/armatura_riflenaya_a3/mark/a500s) (accessed 09.01.2025) (in Russian).
18. The official site of MEGASTROY. (2025), Fibreglass reinforcements and bars. Available at: [https://saransk.megastroy.com/catalog/armatura?field142\[\]=стеклопластиковая](https://saransk.megastroy.com/catalog/armatura?field142[]=стеклопластиковая) (accessed 09.01.2025) (in Russian).
19. The official site of Leman PRO (Leroy Merlin). (2025), Fibreglass reinforcement. Available at: <https://saransk.lemanapro.ru/catalogue/armatura/stekloplastikovaya/> (accessed 09.01.2025) (in Russian).

*Received* 22.01.2025

*Approved* 21.02.2025

*Accepted* 04.03.2025