

9. Пеностекло: что это такое и где применяется. [Электронный ресурс]. – Условия доступа: <https://housechief.ru/penosteklo-v-stroitelstve-primenenie.html>
10. Преимущества и недостатки блоков из пеностекла. [Электронный ресурс]. – Условия доступа: <https://uteplimvse.ru/vidy/penosteklo.html>
11. Пеностекло [https://m.vuzlit.ru/740912/penosteklo\\_nezasluzhenno\\_zabytyy\\_material\\_buduschego](https://m.vuzlit.ru/740912/penosteklo_nezasluzhenno_zabytyy_material_buduschego)
12. Российский рынок пеностекла <https://vsedlyastroiki.ru/ru/stroitelnyiy-ryinok-obzoryi-issledovaniya/rossiyskiy-ryinok-penostekla/>

© В. К. Лихобабин, А. А. Бикмамбетова, К. В. Загоруйко, А. В. Рукавишникова, М. Л. Саксон

**Ссылка для цитирования:**

В. К. Лихобабин, А. А. Бикмамбетова, К. В. Загоруйко, А. В. Рукавишникова, М. Л. Саксон Анализ экономической эффективности использования пеностекла как альтернативы существующим материалам теплоизоляции в России // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 3 (37). С. 129–133.

УДК 691.7: 69.003.12

DOI 10.52684/2312-3702-2021-38-4-133-137

**СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В АРМИРОВАНИИ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ**

**В. К. Лихобабин<sup>1</sup>, А. В. Рукавишникова<sup>1</sup>, М. Л. Саксон<sup>2</sup>, Е. А. Суханова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия;

<sup>2</sup>Российская академия народного хозяйства и государственной службы при президенте Российской Федерации, г. Москва, Россия;

<sup>3</sup>ПАО «Астраханская энергосбытовая компания», г. Астрахань, Россия

В работе представлен анализ экономической эффективности использования композитов как современного альтернативного способа армирования бетона в условиях Российской Федерации. Детально представлены виды композитов, их качественные характеристики, история происхождения, мировая практика производства. Освещены уникальные показатели, преимущества и недостатки применения композитной арматуры. Отмечена роль композитов в борьбе за сохранность конструкций, подверженных деструктивной коррозии. Затронуты вопросы комплексного использования стальной и композитной арматуры в статически неопределимых системах. Используя цены Российских производителей строительных материалов, проведен ценовой анализ стальной и композитной арматуры. Обоснована экономическая и экологическая целесообразность применения композитов в строительной отрасли.

**Ключевые слова:** армирование бетона, композитная арматура, стеклопластик, углеволокно, проектирование конструкций из бетона, замена металлической арматуры на композитную в бетонных изделиях.

**MODERN MATERIALS IN REINFORCEMENT OF CONCRETE STRUCTURES AND THEIR EFFICIENCY**

**V. K. Likhobabin<sup>1</sup>, A. V. Rukavishnikova<sup>1</sup>, M. L. Saxon<sup>2</sup>, E. A. Sukhanova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russia;

<sup>2</sup>Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Moscow, Russia;

<sup>3</sup>PJSC "Astrakhan Energy Sales Company", Astrakhan, Russia

The paper presents an analysis of the economic efficiency of using composites as a modern alternative method of concrete reinforcement in the conditions of the Russian Federation. The types of composites, their quality characteristics, history of origin, world production practice are presented in detail. The unique indicators, advantages and disadvantages of using composite reinforcement are highlighted. The role of composites in the struggle for the safety of structures subject to destructive corrosion is noted. The issues of complex use of steel and composite reinforcement in statically indeterminate systems are touched upon. Using the prices of Russian manufacturers of building materials, a price analysis of steel and composite reinforcement was carried out. The economic and environmental feasibility of using composites in the construction industry has been substantiated.

**Keywords:** concrete reinforcement, composite reinforcement, fiberglass, carbon fiber, design of concrete structures, replacement of metal reinforcement with composite reinforcement in concrete products.

**Введение**

В последние десятилетия мировой строительный комплекс активно реагирует на революционные достижения химической отрасли, используя на практике инновационные материалы с высокими прочностными параметрами.

Спрос на использование подобных инновационных продуктов продиктован динамичным строительством многофункциональных зданий внушительных размеров, где необходимо соблюсти баланс прочностных и стоимостных характеристик используемых материалов.

В свою современное бетоноведение отдает лидирующее место композитным материалам в борьбе с деструкцией металлов коррозионной природы. Исследования инженеров-коррозионистов три четверти железобетонных конструкций испытывают влияние агрессивных сред. Среди таких конструкций дорожные и мостовые системы, подземные коммуникации коммунального и бытового назначения.

Экономически развитые страны уже длительное время анализируют ущерб от коррозии и траты на финансирование мер, препятствующих



ее распространению, а также на устранение последствий. Результаты, полученные в США, показывают что траты на борьбу с коррозией составляют порядка 280 млрд.долларов, что составляет 3,1 % от ВВП. Результаты аналогичных исследований в Германии дают схожую картину затрат – 2,8 % от ВВП. Также отмечается и колоссальная потеря металла в результате выбраковки металлических конструкций по причине коррозионных процессов, которая составляет 10–20 % от объема производимой стали в этих странах.

В России убытки от коррозии достигают 5 % от ВВП, и по некоторым оценкам эта цифра с течением времени может возрасти. [10 с.112]

Одним из векторов движения отечественной инженерной мысли по направлению увеличения несущей способности конструктивных систем здания стало применение легких полимеров при армировании бетона, в том числе в целях уменьшения нагрузки.

Нормативы и требования по использованию композитной арматуры в строительстве на территории Российской Федерации закреплены в СП 295.1325800.2017 «Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования», вступившие в силу 01.01.2018.

Цель исследования: Целью данной работы является исследование экономической эффективности использования композитов и способ армирования бетона как современного альтернативного способа, сопоставив качественные и строительные характеристики. Сделать вывод о положительном и отрицательном потенциалах применения композитной арматуры.

Материалы, методы исследования и рассуждения по использованию композитной арматуры в строительстве.

Композитная арматура – это стержни из высокомолекулярного соединения – полимеров. Главным усиливающим материалом при изготовлении служат волокна из углерода, базальта, стекла или арамида. Композитная структура – основной фактор прочности стержня, позволяющий выдерживать высокую ударную нагрузку и статическую нагрузку на излом [1, с. 27].

Полимерная арматура выступает альтернативой традиционному металлическому каркасу, т.к. по некоторым позициям имеет ряд преимуществ.

Прочность на разрыв, пожалуй, один из главных показателей возможности применения строительного материала для возведения горизонтальных несущих конструкций зданий. Предел напряжения композитов на разрыв 1000 Мпа, что в 2,5–3 раза выше, чем у стальной арматуры.

Легкий вес композитной арматуры делает ее материалом будущего, отвечающего современным тенденциям снижения нагрузки на фундамент. Производители полимерных волокон гарантируют разницу веса металлической и композитной арматур в 8–10 раз.

Химические соединения, образующие полимерные волокна, из-за особенностей молекулярных связей, не взаимодействуют с распространенными в повседневной эксплуатации здания агрессивными средами. Это свойство делает композитную арматуру устойчивой к коррозиям.

Начальные эксплуатационные характеристики остаются неизменными даже при длительном контакте с водой, щелочной средой бетона, кислотами, газами. Это позволяет увеличить срок службы и в среднем составляет более 80 лет.

Низкая теплопроводимость полимерных волокон снижает теплотери армированных ею строительных объектов, что позволяет сохранять энергетические ресурсы, исключает появление мостиков холода. Стабильность молекулярных связей полимеров проявляется и в реакции на увеличение температур. Температурное расширение полимерных молекул композита гармонирует с температурным расширением бетона. Опытные данные указывают на равенство коэффициентов этих величин. Равная реакция на тепловые изменения среды снижает риск образования трещин.

Прочность сцепления бетона и полимерных стержней значительно выше показателей сцепления с металлической арматурой. Экспериментальные данные, полученные в результате испытаний на вырыв из бетонных цилиндров образцов полимерной композитной арматуры, свидетельствуют, что их величина значения сцепления на 30–50 % выше значений сцепления стальной арматуры. [3, с. 5].

В своем составе композитная арматура не содержит молекул металлов, других химических веществ, проявляющих металлические свойства. Эта особенность композитов определяет их как диэлектриков. Кроме того, стеклопластик радиопрозрачен и магнитоинертен.

На данный момент установлено, что эксплуатация объектов, усиленных композитной арматурой, возможна в диапазоне температур, свойственным крайним климатическим зонам России, а именно от  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$  [2, с. 47].

На территории Российской Федерации разрешено и регламентировано применение следующих видов арматуры из высокомолекулярных композитов:

- стеклокомпозитная или стеклопластик (АСК), материалом для производства служит неорганическое стекло;
- базальтокомпозитная (АБК), изготавливают из вулканических горных пород базальта и габродиабаза;
- углекомпозитная (АУК), образуется по средствам пиролиза органических волокон прекурсоров – полиакрилонитрильных или гидратцеллюлозных;
- арамидокомпозитная (ААК), сырьевая база – линейные волокнообразующие полиамиды;

• комбинированная (АКК), включают упрочняющие наполнители из двух или нескольких сырьевых материалов.

Первые упоминания о возможности использования стекловолокна в СССР датируются 1941 годом, но системное изучение свойств было проведено в 1958–1959 годах. Несколькими годами позже были получены подробные данные о базальтовых и углеродных волокнах как об армирующем материале. Параллельно с исследованиями свойств нового материала были определены оптимальные производственные циклы. Родиной арамида является США. В 1960 году команда химического гиганта DuPont получила уникальное волокно, производство которого в 1975 году было поставлено на поток.

Наряду с общими характерными достоинствами каждый вид обладает уникальными качествами (табл. 1).

Таблица 1

**Сравнение видов композитной полимерной арматуры**

Характеристики	Единица измерения	Виды композитной полимерной арматуры			
		АСК	АБК	АУК	ААК
Предел прочности при растяжении	МПа	800	800	1400	1400
Модуль упругости при растяжении	ГПа	50	50	130	70
Предел прочности при сжатии	МПа	500	500	1000	500
Предел прочности при поперечном срезе	МПа	150	150	350	190

Необходимо отметить, что у композитной арматуры есть и ряд недостатков:

Низкий модуль упругости, иными словами показатели бетона, армированного композитами на растяжение значительно ниже, по сравнению с бетоном, армированным сталью. Применение такой арматуры в плитах перекрытия требует проведения уточняющих расчетов.

Низкая огнестойкость, обусловленная тем, что компаунд, связывающий волокна арматуры, под воздействием температуры в 600 °С, полностью теряет свою упругость. Высокие температуры попросту плавят композит, превращая его в жидкость.

Невозможность сварки композитной арматуры. Но если есть такая потребность, то можно использовать композитную арматуру, оснащенную металлическими прутками на концах, что позволит использовать электросварку. Соединение композитной арматуры и металлического прутка производится в заводских условиях.

Невозможность изогнуть готовую арматуру на объекте. В условиях строительства нередко возникает необходимость придания арматуре определенной формы с последующей фиксацией. В отличие от стальной арматуры, стеклопластиковой невозможно придать нужный изгиб. После того, как термореактивный компаунд

затвердеет, её форма не подлежит изменению. Существуют варианты решения: заказать у производителя арматуры необходимые конфигурации или комбинировать сталь и композит в процессе армирования [2, с. 47].

Совокупность преимуществ, уникальных показателей, существующих недостатков полимерного материала как арматуры определяют его строительную нишу.

Активно внедряется композитная арматура при устройстве ленточных фундаментов ниже нулевой отметки залегания, а также для заливки фундаментных плит. Строители отмечают, что на сегодняшний день стеклопластиковая арматура это самый оптимальный армирующий ресурс для устройства подобных конструкций [5, с. 122].

Незаменимой составляющей стала композитная арматура в конструкциях, подверженных в процессе эксплуатации действию общей коррозии и динамическим нагрузкам, как и в конструкциях, работающих в условиях ускоренной коррозии железобетона, такие как гидротехнические сооружения, причалы, сухие доки, укрепительные конструкции прибрежных линий пресных и соленых естественных водоемов.

Композитная арматура активно используется при выполнении кладки стен из блоков, кирпича, газосиликатных блоков. Стеклопластиковые волокна наиболее успешно справляются с задачей связующего компонента. Нередко в строительстве используют утеплитель, в том числе между бетонными элементами. Применение в такой ситуации полимерной арматуры, позволяет улучшить сцепление бетонных элементов.

Положительно зарекомендовал себя полимер как материал, повышающий жесткость полов в жилых домах и промышленных комплексах, обеспечивающий долговечность дорожек и дорожного покрытия.

Уже обычной практикой является, что в целях предупреждения трещинообразования, укрепление полов цехов промышленных комплексов, оборудованных станками и механизмами, вызывающих повышенные вибрации и динамические нагрузки, производится композитной арматурой.

Особый интерес представляет внедрение композитной арматуры в комплексе с металлической арматурой в статически неопределимых системах. В растянутых зонах пролетных сечений плитных систем междуэтажных перекрытий, покрытий зданий и сооружений традиционно применяется стальная арматура, а в опорных сечениях закладывается композитная арматура.

Мировая практика внедрения композитов имеет опыт строительства атомных электростанций с применением углеродных нитей.

Лидерами по производству и применению композитных материалов являются такие страны как Китай, Япония, США и некоторые страны Европы (рис. 1).

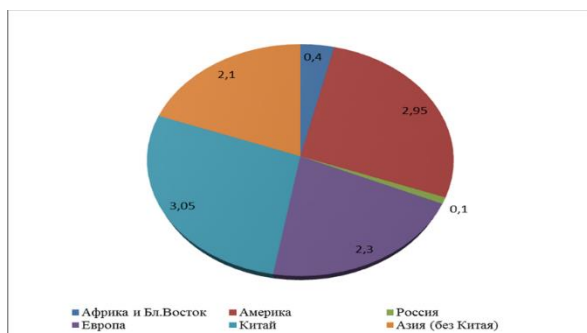


Рис. Мировой рынок композитов по объему (по данным 2017 года), млн т

Производство и применение композитных материалов в России находится на зачаточном уровне. Такое положение дел обусловлено скудной сырьевой базой для производства полимерных композитов, а также оснащение оборудованием, ограниченным в производстве модификаций композитов.

На отечественном рынке строительного сырья лидирующие позиции занимают стеклопластиковая и базальтопластиковая неметаллические арматуры. Именно эти виды композитной арматуры активно внедряются как альтернативный вариант металлической арматуре.

Равенство растягивающих нагрузок, в изгибаемых бетонных конструкциях (балки, плиты), является основным условием возможности заменить классическую металлическую арматуру

на полимеркомпозитную. Сопоставляются величины прочности изделий и трещиностойкости, полученные при испытаниях.

Расчет строительных конструкций с использованием композитной арматуры следует производить в соответствии с их параметрами [1, с. 69].

Так сопоставление характеристик стальной арматуры С-400, стеклопластиковой и базальтопластиковой композитных арматур, приведенное в таблице 2, позволяет определить варианты замены. К примеру, стальная арматура С-400 весом 2980 г/м может быть заменена арматурой неметаллической стеклопластиковой АНС-16 весом 320 г/м или арматурой базальтопластиковой АНБ-14 весом 242 г/м.

Для того чтобы произвести замену каркасов и сеток из стальной арматуры на полимеркомпозитные материалы необходимо применить графические зависимости, полученные экспериментальным путем, иными словами графики равнопрочной замены металла на соответствующую композитную арматуру [1, с. 84].

Анализ стоимостных характеристик погонного метра стальной арматуры С-400, альтернативных арматуры неметаллической стеклопластиковой АНС-16 и арматуры неметаллической базальтопластиковой АНБ-14, приведенный в таблице 3, показывает что, финансовая экономия в результате замены металлической арматуры на равнопрочную композитную арматуру составляет 50–60 %.

Таблица 2

### Характеристики видов арматур

ГОСТ 5781-82 $\sigma_b = 590 \text{ Н/мм}^2$ , $\sigma_t = 390 \text{ Н/мм}^2$ , $\sigma_p = 355 \text{ Н/мм}^2$ , $E_p = 200000 \text{ Н/мм}^2$					$\sigma_b = 1250 \text{ Н/мм}$ , $\sigma_p = 1000 \text{ Н/мм}^2$ , $E_p = 55000 \text{ Н/мм}^2$				$\sigma_b = 1450 \text{ Н/мм}$ , $\sigma_p = 1200 \text{ Н/мм}^2$ , $E_p = 78000 \text{ Н/мм}^2$			
Обозначение	Наружный диаметр, мм	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Вес, г/м	Растягивающая нагрузка, Н*	Обозначение, наружный диаметр, мм	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Вес, г/м	Растягивающая нагрузка, Н*	Обозначение, наружный диаметр, мм	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Вес, г/м	Растягивающая нагрузка, Н
14 С-400	15,5	154,0	1210	54 670	АНС-12	86,54	184	86 540	АНБ-12	86,54	184	103840
16 С-400	18,0	201,0	1580	71 355	АНС-14	122,65	242	122650	АНБ-14	122,65	242	147180
18 С-400	20,0	254,0	2000	90 170	АНС-16	165,04	320	165 040	АНБ-16	165,04	320	198048
20 С-400	22,0	314,0	2470	111 470	АНС-18	188,59	430	188590	АНБ-18	188,59	430	226308
22 С-400	24,0	380,0	2466	134 900	АНС-20	240,40	530	240400	АНБ-20	240,40	530	288480
25 С-400	27,0	491,0	3850	174 305	АНС-22	329,89	662	329890	АНБ-22	329,89	662	395868

Следует отметить, что экономия от использования композитной арматуры может быть увеличена за счет сопутствующей экономии на транспортной логистике, погрузо-разгрузочных работах на 10-15%, так как вес 1 погонного метра композитной арматуры в среднем легче в 6-8 раз равно прочностной металлической арматуры.

Современные расчеты применения стеклопластиковой арматуры тоже включают возможность уменьшения защитного слоя бетона, так как антикоррозийная стойкость каркаса из такого композита не требует дополнительной защиты.

Еще одним фактором, который необходимо учесть при определении экономической эффективности использования композитов, является

динамичный рост цен на металлопрокат как на внешнем, так и на внутреннем рынках. Если за последние 10 лет до ноября 2020 года рост цен на плоский прокат, трубы, арматуру составляет в целом 30 - 35 %, то в декабре 2020 года стоимость арматуры подскочила на 50%, до 55— 60 тысяч рублей за тонну. Рост цен на композитную арматуру за аналогичный период в целом вырос на 15 %, на отдельные высокотехнологичные позиции до 20%. Относительная стабильность цен на композиты, несомненно, делает их финансово надежным строительным ресурсом [7].

универсальной альтернативой стальной арматуры. Спрос и активное распространение такой арматуры ограничены крайне высокой стоимостью. Погонный метр углекомпозитной арматуры отечественного производителя составляет 1550 рублей, что в 10 раз дороже стальной [8, с. 29].

Вывод.

1. На основании полученных результатов по сопоставимости замены стальной арматуры на композитную пришли к выводу, что композитный материал намного эффективней стальной арматуры, вдобавок он дешевле по стоимости.

2. Кроме того, если рассматривать применение композитной арматуры в общественных зданиях, то дополнительно необходимо в проектах предусматривать «дождевое» пожаротушение.

3. Поиски и внедрение новых технологий, материалов в строительном секторе направлены на снижение стоимостных затрат и повышение эксплуатационных характеристик зданий и сооружений, а также на сохранение баланса потребления исчерпаемых природных ресурсов. Арматура из полимеров достойная альтернатива традиционным армирующим материалам как по прочностным показателям, так и по ценовому фактору. Кроме того, применение такого рода инновационных продуктов снижает эксплуатационные затраты при капитальном и текущем ремонтах зданий. Композитный материал – достаточно молодой строительный ресурс, производство которого стремительно развивается, а прочностные показатели пристально изучаются и усиливаются. Важным моментом в совершенствовании композитов как армирующего волокна является его активное использование в тех нишах отечественного строительства, где он уже показал лучшие практические результаты, так как именно высокий спрос стимулирует появление новых разработок, увеличение объемов производства и как следствие ценовую доступность.

Таблица 3

**Анализ стоимостных характеристик**

Наименование арматуры	Стоимость за 1 м/пог. по ценам заводоизготовителей (руб.)	Вес 1 м/пог., г
Стальная арматура 22-С-400 ГОСТ 5781-82	144,3 [5]	2,980 [5]
Арматура неметаллическая стеклопластиковая АНС-16 ГОСТ 31938-12	73,4 [6]	320 [6]
Арматура неметаллическая базальтопластиковая АНБ-14	49,7 [6]	242 [6]

Особое внимание заслуживает достаточно новый композитный материал на строительном рынке – углекомпозитная арматура, которая по значению модуля упругости при растяжении превосходит другие виды композитов.

Углепластиковая композитная арматура российского производства Monsterod обладает модулем упругости при растяжении 130000 МПа, зарубежные аналоги, например углекомпозиты фирмы Sika CarboDur (Швейцария) обладают модулем упругости при растяжении 148000 МПа. Намечившаяся тенденция совершенствования углепластиковой арматуры по показателю модуля упругости при растяжении дает возможность более широкого применения композитов, делая их

**Список литературы**

1. Люкшин Б.А. Композитные материалы: учебное пособие. – Томск., 2012. 101 с.
2. Попов А.Ю., Госина К.К., Петров И.В. Классификация, состав, достоинства и недостатки композитных материалов. // Омский научный вестник, 2015. №3 С.45-49.
3. Семечко А.С., Мешков В.З. и др. Особенности сцепления с бетоном стержневой арматуры различных профилей. //БСТ Экспертиза, 2008. № 8. С. 5-8.
4. Анахин Н.Ю., Грошев Н.Г., Онопричук Д.А. Исследование современных строительных материалов. Территория науки. 2016. №6. С.120-125.
5. Данные завода ООО "УГМК-Сталь". Режим доступа <https://www.steel.ugmk.com/ekb/catalog/armatura/>.
6. Данные завода композитных материалов ООО «Армпласт». Режим доступа: <https://armplast.ru/czenyi/kompozitnaya-setka-kupit/stekloplastikovaya-setka-kupit.html>.
7. Данные Московской биржи. Режим доступа: <https://www.moex.com/>.
8. Международный научно-исследовательский журнал «Российский экономический вестник». 2020 №6. С. 28-34.
9. Рахмонов А.Д., Поздеев В.М., Соловьев Н.П. Неразрезные балочные системы с комбинированным армированием: монография. Йош-кар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. -184с.
10. Караваев И.В., Румянцева В.Е. К вопросам методики проведения испытаний анкеровки арматуры неметаллической композитной в бетоне. // Строительные материалы и технологии, 2015. №1 С. 108-116.

© В. К. Лихобабин, А. В. Рукавишникова, М. Л. Саксон, Е. А. Суханова

**Ссылка для цитирования:**

Лихобабин В. К., Рукавишникова А. В., Саксон М. Л., Суханова Е. А. Современные материалы в армировании бетонных конструкций и их эффективность // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 4 (38). С. 133–137.