

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №3, Том 14 / 2022, No 3, Vol 14 <https://esj.today/issue-3-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/46SAVN322.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Соколова, В. В. Преимущества карбона и способы его применения / В. В. Соколова, А. А. Юдин, Д. Р. Исламгалиева, Р. К. Нурисламова // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 3. — URL: <https://esj.today/PDF/46SAVN322.pdf>

**For citation:**

Sokolova V.V., Yudin A.A., Islamgalieva D.R., Nurislamova R.K. Benefits of carbon fiber and ways of application. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(3): 46SAVN322. Available at: <https://esj.today/PDF/46SAVN322.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

**Соколова Виктория Владимировна**

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия  
Архитектурно-строительный институт  
Доцент  
Кандидат филологических наук, доцент  
E-mail: vsokolova21@yandex.ru  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=627303](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=627303)

**Юдин Александр Александрович**

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия  
Архитектурно-строительный институт  
Ассистент  
E-mail: erector1991@yandex.ru  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1106862](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1106862)

**Исламгалиева Диана Руслановна**

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия  
Архитектурно-строительный институт  
Магистрант  
E-mail: diana.islamgalieva@yandex.ru

**Нурисламова Раушания Карамовна**

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия  
Архитектурно-строительный институт  
Магистрант  
E-mail: nurirushka\_1999@mail.ru

## Преимущества карбона и способы его применения

**Аннотация.** В статье представлены основные свойства углерода, а также способы его применения. Авторы отмечают, что углерод является одним из самых значимых химических элементов, поскольку является основой всех органических веществ, таких как ДНК, белки и спирты. Наиболее распространённый материал, изготавливаемый из углерода — углепластик (карбон). Он состоит из переплетенных нитей углеродного волокна, расположенных в матрице из полимерных смол. Благодаря высокой прочности, а также малому весу материал нашёл своё применение в авиации и космонавтике. Со временем углепластик начали использовать в гражданских отраслях, в основном в спорте. Технология производства углеродного волокна имеет несколько вариаций. На первом этапе температуру исходного материала повышают до 250 градусов Цельсия, происходит процесс окисления с образованием лестничных структур. На втором этапе температуру повышают до 1500 градусов, начинается процесс карбонизации. Третий этап-графитизация проходит при повышении температуры до 3000 градусов. В

результате образуются углеродные нити или порошки. Одним из наиболее распространённых способов использования карбона является полотно, плетение которого подбирается в зависимости от функционального назначения объекта. В строительстве углеволокно начали использовать с 1980 года. В основном материал использовали при усилении различных видов материалов: железобетонных, каменных, металлических. Описываются некоторые патенты в области строительства с использованием карбона. Рассмотрены иные области применения углепластика, отмечены перспективы развития в области создания дизайнерских предметов искусства и интерьера. В заключении делается вывод о широчайшей сфере применения углепластиков в силу их высоких эксплуатационных характеристик.

**Ключевые слова:** углерод; материал; технология производства; волокно; прочность; усиление; конструкции

Углерод — химический элемент, известный под символом С, самый значимый, пожалуй, после кислорода и водорода. В основе всех органических веществ, от ДНК и белков до спиртов и углеводов лежит этот химический элемент. Мягкий графит и твердый алмаз — все это проявление одного и того же углерода [1].

Однако, не только на Земле есть этот химический элемент, и как показали исследования космической пыли, углерод четвертый по распространенности химический элемент во Вселенной [2].

От английского перевода слова углерод (carbon) — карбон ведет название карбонопластики. Это материал, именуемые еще углепластиком, состоящий из переплетённых нитей углеродного волокна, расположенных в матрице из полимерных смол, благодаря чему достигается плотность материала от 1450 кг/м<sup>3</sup> до 2000 кг/м<sup>3</sup>. Необычайно прочный материал так же необычайно дорог, из-за сложности его производства (рис. 1).



*Рисунок 1. Полотно углеволокна*

Впервые углепластик получил Томас Эдисан, в 1880 году, используя его в лампочке накаливания. Однако должного распространения технология не получила [1].

Уникальные свойства материала привлекли ученых спустя 70 лет, проводя эксперименты с его высокой прочностью и малым весом. Как несущий материал углепластик отлично подходит для различных нужд авиации и космонавтики. Со временем материал начал

использоваться в отраслях гражданских, но лишь в самых дорогих ее сферах — в первую очередь в спорте. Замена с привычных материалов на легкий, прочный, но дорогой углепластик не стала резкой, но открылся новый сегмент рынка, основывающийся на профессиональных спортсменах и любителей с широкими финансовыми возможностями.

Удилища, штативы для фотоаппаратов, велосипедные рамы, клюшки для гольфа, ракетки для тенниса — мир открыл для себя новые технологии и активно начал их использовать, символизируя слова «углепластиковый» и «дорогой, качественный, прочный, долговечный».

Если в средневековье использование углерода в одежде и обмундировании, как показывают археологические находки, считалось самым дешевым видом защиты, то современное общество, наоборот, подчеркивает углеродом высокий статус.

Большой потенциал углеволокно раскрыло при сочетании с производством оборудования для зимних видов спорта, например, горных лыж.

Дейв Гуд — 19-летний член сборной США по горнолыжному спорту, однако травма не позволила ему продолжать спортивную карьеру, но молодой человек использовал свои знания о мире большого спорта с умом и начал изобретать вещи, без которых, казалось бы, мы раньше не справлялись.

Основанная им компания GOODE Ski Technologies с 1975 года производила все для занятия горными лыжами, делая упор на профессиональных спортсменов. В этом же году Дейв гуд представил миру ремешок для крепления лыж вместе, без возможности царапаться друг о друга. Затем последовало усовершенствование лыжных палок, где он впервые использовал углеволокно. Лишь к 1995 году компания смогла выпустить первые горные лыжи из углеродного волокна, экспериментируя перед этим на водных лыжах.

Проблемой нового продукта компании GOODE стало то, что лыжи стали слишком легкими, что плохо сказывалось на высоких скоростях, однако это легко исправить утяжелив их. На сегодняшний день углепластик используется не только в лыжах, но и в шлемах, ботинках, креплениях и других аксессуарах для спортивного снаряжения.

Технология производства углеродного волокна имеет различные вариации. В основе лежит природный материал, такой как вискоза, или искусственный, например фенольные смолы [3].

Первый этап состоит из повышения температуры исходного материала до 250 градусов Цельсия при контакте с воздухом. В это время проходит процесс окисления и образуются лестничные структуры.

Вторым этапом проходит карбонизация. Температура повышается до 1500 градусов Цельсия, используется инертная среда: аргоновая или азотная.

Третий этап называют графитизацией и температуру повышают до 3000 градусов Цельсия, по-прежнему используется инертная среда.

Результатом этого процесса получают углеродные нити или порошки.

Чистый вид углеродных волокон имеет высокую прочность при малой толщине, но существует высокая вероятность деформации, то есть материал весьма хрупок. Такие характеристики носят негативный характер для применения, поэтому есть технология использования углепластика до его окончательного формирования или застывания. Для этого полуфабрикат помещают в эпоксидную смолу и дают ему достаточно пропитаться. Материал частично отвердевает, после чего его помещают в низкую температуру на тридцать дней, во

время чего процесс твердения приостановлен. Такой вид углеволокна называется «препрег» (от англ. preimpregnated).

Полуфабрикат готов к дальнейшему применению, однако скорость его твердения составляет один час, а значит на производство такой материал привозят в охлажденном и хранят его тоже в специальных контейнерах с поддержанием низкой температуры.

При производстве углепластиковых изделий необходимо соблюдать строгий контроль качества, такие как ультразвуковая дефектоскопия, рентгеновская, оптическая голография, акустический контроль, в отсутствии которых прочность изделий может понизиться до критических минимумов.

Все это приводит к тому, что углепластик становится очень дорог, и иногда его цена не оправдывает его характеристики. Однако сфера применения углеволокна только растет и основной его функцией остается увиливание основных материалов конструкций.

При производстве углепластика используются несколько способов его получения, наибольшее практическое применение находят следующие:

- контактное формование с укладкой пропитанного смолой волокнистого холста на форму;
- напыление волокнисто-полимерной композиции на поверхность формы;
- намотка пропитанного смолой волокна на форму;
- пултрузия, или формование профильных изделий путем протяжки волокна через ванну с полимером и калибрующую фильеру.

Выбирая технологический процесс создания углеволокна, необходимо знать назначение будущей продукции.

Одной ключевой характеристикой карбона и его главной загвоздкой, не позволяющей применять его везде и всюду, является его плохое взаимодействие с изгибающими силами, тогда как на сжатие он работает отлично. Но даже с этим условием, карбон более чем популярен. Один из идеальных способов его использования — полотно (Carbon Fabric), плетение которого выбирается по функциональному назначению создаваемого объекта. Различают вид переплетения карбоновых нитей:

- Полотно (Plane Weave, P).
- Елочка, (Twill, T).
- Сатин (Satin WEAVE, R).
- Leno, Basket Weave.

Для создания полотна используются эпоксидные смолы, качество которых влияет на цену готовой продукции.

Углепластик входит в современную жизнь, заменяя собой некоторые виды металлов или находит применение в совершенно новых сферах. К примеру, в автомобилестроении карбон вытесняет металл, а в медицинском протезировании находит собственную нишу, где не было аналогов до него.

Высокая стоимость углеволокна складывается из процесса его производства и большой доли не механизированного процесса. Однако, вопрос о снижении цены стоит остро, ведь все больше сфер находят применение карбону и не точно, а массово, с большим производством.

На сегодняшний день, больше двух третей рынка углеволокна производится в Азии: тайваньскими и японскими крупными брендами: Mitsubishi, TORAY, TOHO, CYTEC, Zoltec и пр.

Углеволокно в строительстве начали использовать в 1980 году в Калифорнии для укрепления построек, находящихся в сейсмически активной зоне. Наибольшее распространение нашло применение его в усилении различных видов материалов: железобетонных, металлических, каменных [4; 5] (рис. 2).



*Рисунок 2. Усиление железобетонных стен углеволокном*

Внешнее армирование карбоновым волокном возникает при следующих обстоятельствах:

- конструкция повреждена, и ее несущая способность снижена;
- изменение условий эксплуатации объекта, в частности увеличена нагрузка на конструкцию;
- при различных обстоятельствах (механических факторов, воздействия агрессивной окружающей среды и др.) возникла коррозия арматуры, разрушение бетона.

Чаще всего углеволокно применяется при усилении железобетонных конструкций. Альтернативой карбону долгое время служили два метода усиления: набетонка и возведение металлической обоймы. Оба эти метода увеличивают сечение конструкции в несколько раз, а ведь случаются такие объекты, где это сделать проблематично из-за тесной компоновки [6; 7].

Проектируя усиление объектов, выполненных из железобетонных конструкций, необходимо учитывать требования СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования».

Углеволокно наклеивается в местах, где большая нагрузка: в центре пролета плиты перекрытия, в местах стыка конструкций. Используются при этом ламели, а также сетки или ленты, в зависимости от площади усиления. Балки усиливают, применяя хомуты ил лент, а колонны методом бандажирования в поперечном направлении [8; 9].

В первую очередь, необходимо подготовить поверхность бетона, разметить зону. Необходимо убедиться, что нет лишней пыли, температура окружающей среды подходящая, поверхность ровная.

К углеволокну предъявляются примерно те же требования: рулон должен быть не запылен, иметь ровные края. Для обрезания углеродных сеток используют ножницы для резки металла.

При наклеивании полотна используют двухкомпонентные составы адгезивов, смешивание которых необходимо проводить непосредственно в близости объекта усиления, но при этом нужно соблюдать точные пропорции и технику безопасности.

Используют два способа нанесения углеволокну на конструкцию: сухой и влажный. При первом способе полотно прикладывается к бетону, а сверху прокатывается валик с адгезивом. Во втором случае действия меняются местами: наносится адгезив и после прикладывается полотно (рис. 3).



*Рисунок 3. Процесс нанесения углеволокну на конструкцию*

Стоит учитывать, что адгезив полимеризуется довольно быстро, а его поверхность станет слишком скользкой для отделочного материала, поэтому технология должна быть очень отработана, она не терпит долгих размышлений. Так же, если конструкция, усиленная углеволокном планируется быть отделана, то до застывания адгезива, его посыпают песком, крупной фракции.

Армируя ленточный фундамент с помощью карбона, то следует соблюдать следующие правила: помещают углеродную сетку на увлажненный бетон, а после нанесения адгезивного состава, углеродную сетку придавливают.

Новым изобретением российских ученых является создание износостойкого поверхностного слоя дорожного полотна, в качестве вяжущего в котором используют покрытие «Карбон-полимер». Улучшение эстетических и функциональных свойств происходит путем механического воздействия на дорожное полотно накаткой регулярного рельефа на поверхность дорожного полотна. Следующим этапом в полученные пазы заполняют вяжущим на половину от их глубины, оставляя возможность стоку воды (рис. 4).

Так же запатентованы строительные элементы в виде панелей, которые применяют при возведении стеновых ограждающих конструкций малоэтажных зданий и сооружений в районах с холодным климатом. Некоторым отличительным элементом этих панелей от прочих, служит использование в многослойной конструкции теплоизоляционных плит на основе карбона. Выпуск таких плит реализовали компании Технониколь, Роквул и прочие.



*Рисунок 4. Износостойкий поверхностный слой дорожного полотна*

Для получения теплоизоляции с большими показателями прочности на сжатие при изготовлении используют двуокись углерода. В профессиональную линейку теплоизоляционных плот, применяемых для изоляции кровли больших площадей (торговых, промышленных и жилых комплексов) добавляют частицы наногрифта.

Углеволокно находит свое применение и в других сферах жизни: автомобилестроение, авиация, ракетостроение, спортивные товары, медицина, однако с недавнего времени карбон стал проникать в сферу интерьера. Дизайнеры предлагают мебель, арт объекты, а также аксессуары повседневного пользования: часы, ювелирные украшения, канцелярию, корпуса мобильных телефонов, визитки, платежные карты и прочее (рис. 5).



*Рисунок 5. Многообразие применения углеволокна*

Самыми дорогими предметом искусства, на сегодняшний день, являются те, что выполнены с применением карбона. Успешным проектом считается стул Carbon Chair от Бертьяна Пота и Марсея Вандерса, легкость и воздушность которого создана из сплетенных нитей углеволокна, обеспечивая одновременно и конструктивную жесткость и эстетичность. А так как стулья выполнены вручную, то узор каждого изделия остается индивидуальным [10].

Корейский дизайнер Иль Хоон Рох, экспериментируя, использовал 1500 метров углеволоконной нити на создание кресла Luno, вес которого в итоге составил менее одного килограмма. Конструкция напоминает пористую губку, однако обладает прочностью, чтоб выдержать человеческое тело и эргономичностью (рис. 6).



*Рисунок 6. Кресла Lipo, созданное при помощи углеволоконной нити*

Карбоновые винтовые лестницы от Эндрю МакКоннелла меняют представление о капитальности сооружения, смотря на которые, теряешь точку опоры и местонахождения в пространстве (рис. 7).



*Рисунок 7. Карбоновые винтовые лестницы от Эндрю МакКоннелла*

Главной областью для углепластиков становится конструкции, размеры которых ранее были крупногабаритными для создания должной прочности, а теперь могут быть облегченными, не теряя должной несущей способности.

Мы рассмотрели углепластик как материал, который приходит на замену другим, в уже сложившихся формах и конструкциях, изменяя внешний вид, облегчая и распределяя нагрузку. Рассмотрели углепластик и с точки зрения «помогатора» — композита для ремонта и усиления, но потенциал углеволокна намного, намного больше.

Новые материалы вносят новый порядок в формирование области, в которой он изобретен. Например, железобетон перевернул представление о возможностях строительства высотных зданий, создал перспективы, заложил идеи для архитекторов, которые реализуются многие годы, создавая мир вокруг нас и стекла и бетона, растущие в высь города,

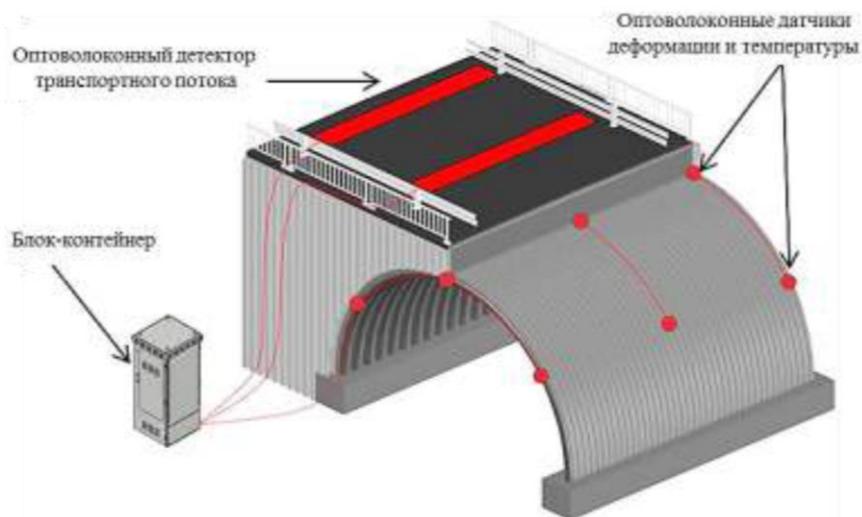
соревнующиеся башни и уникальные конструкции и сооружения, ранее не возможные. Именно этот скачек предстоит совершить карбону [11–13]. Его свойства настолько уникальны и эффективны, что привлечение его в нашей действительности — это лишь самое начало. Проектирование уникальных сооружений на основе этого материала потрясут и изменят все стандартные конструктивные решения, ведь на смену громоздким тяжелым объектам придут легкие и невесомые.

Примером внедрения углепластика может служить следующий объект: в Ульяновской области построен автомобильный мост длиной пролета 11,98 м из композиционных материалов нового поколения, которые были изготовлены в непосредственной близости от строительной площадки [14; 15] (рис. 8).



*Рисунок 8. Готовый арочный мост*

Анализ этого объекта показал, что снижены затраты на транспортные расходы, уменьшена зона складирования материалов, срок службы моста превышает 50 лет. Если сравнивать срок возведения (3,5 мес.) и сметную стоимость, и грузоподъемность (100 т.) то они сопоставимы с традиционными технологиями возведения объекта. Отличием остается внедренная система мониторинга, состоящая из датчиков, установленных в критических точках моста, данные от которых постоянно фиксируются специальной системой (рис. 9), давая возможность эксплуатировать мостовое сооружение без капитального ремонта долгое время [16; 17].



*Рисунок 9. Схема мониторинга арочного моста*

Карбон остается материалом, применение которого еще не вошло в массу, а сохраняет свою принадлежность к высшему классу, за счет своих уникальных функций и соответствующей стоимости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Келли А. Инженерный триумф углеволокон // Композиты и наноструктуры. — 2009. — № 1. — С. 38–49.
2. Ким С. Сырье-композиты-углеволокно // The Chemical Journal. — 2014. — № 10. — С. 64–73.
3. Татрокова П.В., Ибатуллина А.Р. Способы получения и производство углеволокна // Сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 150-летию со дня рождения профессора НА Васильева. — 2021. — С. 114–118.
4. Коренец А.М., Братошевская В.В. Использование углеволокна в современном строительстве // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. — 2021. — С. 99–100.
5. Бедов А.И., Габитов А.И., Галлямов А.А., Салов А.С., Гайсин А.М. Применение компьютерного моделирования при оценке напряженно-деформированного состояния несущих конструкций зданий из каменной кладки // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2017. № 1. С. 42–49.
6. Лялин Д.А., Пугач Е.М. Технологичность возведения железобетонных каркасов многоэтажных зданий // Вестник Евразийской науки. — 2022 № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/44SAVN222.pdf>.
7. Бедов А.И., Знаменский В.В., Габитов А.И. Оценка технического состояния, восстановление и усиление оснований строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. Часть 1. Обследование и оценка технического состояния оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. М: Изд-во АСВ, 2021 (2014, 2016) 704 с.
8. Егоров, Д.С. Использование углеродного волокна в строительстве / Д.С. Егоров, В.П. Хлопков. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2020. — № 47(337). — С. 37–40.
9. Бедов А.И., Габитов А.И., Салов А.С., Гайсин А.М., Хабибуллина Л.И. Применение компьютерного моделирования при оптимизации сечений элементов железобетонного каркаса // Строительство и реконструкция № 6(74) 2017 (ноябрь-декабрь). С. 3–12.
10. Сидякина И.Н., Москалюк О.А. Углепластики как инновационные материалы в дизайне // Инновационные материалы и технологии в дизайне. — 2019. — С. 107–108.
11. Попов А.Н., Пономарева К.С. Применение углепластиков // Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. — 2014. — № 2. — С. 35–39.

12. Удалова Е.А., Салов А.С., Парфенова А.А., Ганеева Э.И., Габитов Б.Н., Ямилова В.В. Исторические этапы развития теории и практики применения стали в строительной индустрии // История науки и техники. 2020. № 2. С. 30–38.
13. Типтев Д.Н., Овчинников И.И. Применение полимерной композитной арматуры при строительстве транспортных сооружений // Вестник Евразийской науки. — 2021 № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/34SAVN221.pdf>.
14. Мишкин С.И., Раскутин А.Е., Евдокимов А.А., Гуляев И.Н. Технологии и основные этапы строительства первого в России арочного моста из композиционных материалов // Труды ВИАМ. 2017. № 6(54). — URL: [http://viam-works.ru/ru/articles?art\\_id=1115](http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1115).
15. Бикташева А.Р., Салов А.С., Удалова Е.А., Габитов А.И., Анваров Р.А. Исторические аспекты развития теории и методов обеспечения промышленной безопасности объектов нефтегазового комплекса // История науки и техники. 2022. № 4. С. 24–32.
16. Программа расчета сметной стоимости обмерных работ и обследования зданий и сооружений: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020664190, 09.11.2020. Салов А.С., Бикташева А.Р. Заявка № 2020663145 от 26.10.2020.
17. Юдин А.А., Соколова В.В., Салов А.С., Удалова Е.А., Габитов А.И. Этапы развития строительного производства в особых условиях // История науки и техники. 2022. № 3. С. 17–25.

**Sokolova Victoriya Vladimirovna**

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia  
E-mail: vsokolova21@yandex.ru  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=627303](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=627303)

**Yudin Aleksandr Aleksandrovich**

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia  
E-mail: erector1991@yandex.ru  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1106862](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1106862)

**Islamgalieva Diana Ruslanovna**

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia  
E-mail: diana.islamgalieva@yandex.ru

**Nurislamova Raushaniya Karamovna**

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia  
E-mail: nurirushka\_1999@mail.ru

## Benefits of carbon fiber and ways of application

**Abstract.** The article presents the main properties of carbon ways of application. The authors note that carbon is one of the most significant chemical elements, because it is the basis of all organic substances, such as DNA, proteins and alcohols. The most common material made from carbon is CFRP (Carbon-fiber-reinforced polymers). It consists of intertwined filaments of carbon fiber disposed in a matrix of polymer resins. Due to high strength and low weight, this material applied in aviation and astronautics. Eventually, carbon fiber began to be used in civil industries, mainly in sports. The production technology of carbon fiber has several variations. At the first stage, the temperature of the initial material is increased to 250 degrees Celsius, an oxidation process takes place with the formation of ladder structures. At the second stage, the temperature is increased to 1500 degrees, the carbonization process begins. The third stage — graphitization takes place when the temperature increased to 3000 degrees. As a result, carbon filaments or powders are formed. One of the most common ways to use carbon fiber is a fabric, the weaving of which is selected depending on the functional purpose of the object. One of the most common ways to use carbon fiber is canvas, which weaving depends on the functional purpose of the object. Carbon fiber has been used in constructing since the 1980s. Basically, the material was used to strengthen various types of materials: reinforced concrete, stone, metal. Some patents in the area of constructing use carbon are described. Other areas of carbon fiber application are considered; development prospects in the field of creating design objects of art and interior are noted. In conclusion, an inference is made about the widest scope of carbon fiber plastics due to their significant characteristics.

**Keywords:** carbon; material; producing technology; fiber; strength; reinforcement; structures