

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –  
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА



А.М. Колокатов, А.Г. Гамидов, Г.З. Ибиев

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ:  
исторические примеры использования  
и применение**

Коллективная монография  
Под общ. ред. профессора А.М. Колокатова

Грозный, 2022

**УДК 631**  
**ББК 41**  
**К 637**

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор заведующий отделом научно-информационного обеспечения инновационного развития АПК ФГБНУ «Российский научно-исследовательский» институт информации и технико-экономических исследований по инженернотехническому обеспечению агропромышленного комплекса

**И.Г. Голубев**

доктор технических наук, профессор заведующий кафедрой «Метрологии и стандартизации и управления качеством» ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева

**О.А. Леонов**

**Композиционные материалы: исторические примеры использования и применение.** Коллективная монография / Под общ. ред. профессора А.М. Колокатова. – М.: Издание 2-е, испр. и доп. ГУП «Книжное издательство», 2022. – 252 с.

Монография предназначена для лучшего усвоения и контроля знаний, полученных студентами-магистрантами при изучении дисциплины «Композиционные материалы».

Монография включает в себя введение, основные понятия и определения, исторические примеры использования композиционных материалов и их применение в промышленности, библиографический список и глоссарий.

Монография предназначена для углублённого изучения композиционных материалов студентами-магистрантами, обучающимися по направлению 35.04.06 «Агроинженерия». Материалы, приведенные в монографии, могут быть использованы при написании студентами рефератов и выполнении выпускной квалификационной работы, а также при проведении практических и научно-исследовательских работ.

Монография представляет интерес для профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников, руководителей и специалистов сельского хозяйства, интересующихся развитием науки о композиционных материалах и их применением.

Предназначено для студентов-магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия.

**ISBN 978-5-98896-198-7**

© А.М. Колокатов, Гамидов А.Г., Ибиев Г.З., 2022  
© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева  
© ГУП «Книжное издательство», 2022

Грозный, 2022

## Содержание

	стр
Введение .....	4
1. Основные понятия и определения .....	7
2. Исторические примеры использования КМ .....	13
2.1. Древние строительные материалы из композита .....	13
2.1.1. Древние кирпичи (саман) .....	13
2.1.2. Древние дороги с использованием композита .....	24
2.1.3. Древние постройки из композита с арматурой .....	26
2.1.4. Применение раствора-композита в строительстве .....	27
2.2. Древние суда и мосты из композита .....	33
2.3. Использование композита в саркофагах и мумиях .....	42
2.4. Древнее оружие из композита .....	45
2.5. Древние композиционные материалы .....	58
3. Применение композиционных материалов .....	65
3.1. Применение КМ в машиностроении .....	65
3.1.1. Применение КМ в авиационной промышленности .....	65
3.1.2. Применение КМ в ракетно-космической отрасли .....	101
3.1.3. Применение КМ в судостроении .....	119
3.1.4. Применение КМ в железнодорожном машиностроении .....	135
3.1.5. Применение КМ в автомобилестроении .....	151
3.1.6. Применение КМ в энергетике .....	177
3.1.7. Применение КМ в оборонной промышленности .....	196
3.1.8. Применение КМ в станко-инструментальном машиностроении ...	208
3.2. Применение КМ в качестве защитных покрытий .....	212
3.3. Применение КМ в товарах широкого потребления .....	217
4. Применение нанокompозитных материалов .....	225
Библиографический список .....	239
Приложение (глоссарий) .....	242

## ВВЕДЕНИЕ

В XXI веке состояние экономики высокоразвитых стран будет определяться в значительной степени развитием высоких технологий.

Прорыв в новые области знаний, технологий, создание изделий с требуемыми свойствами, резкое улучшение экономических показателей, обретение технико-экономической независимости вследствие отказа от использования традиционно приемлемых материалов – все это возможно только благодаря современным материалам – новым композиционным материалам.

В широком смысле слова практически всякий современный материал представляет собой композицию, поскольку все материалы чрезвычайно редко применяются в чистейшем виде. Это создает определенные сложности с точки зрения использования термина – он распространяется зачастую механически на все сложные системы, содержащие несколько компонентов. Следует подчеркнуть, что наука о композиционных материалах (раздел материаловедения) зародилась недавно, на рубеже 60-х годов, и разрабатывалась главным образом для решения проблемы улучшения механических характеристик и жаростойкости.

Первый патент на композиционный полимерный материал был выдан в 1909 году. Он предусматривал упрочнение синтетических смол природными волокнами. Первые полимерные КМ армировали рубленным природным волокном, целлюлозной бумагой, хлопчатобумажными и льняными тканями.

Стеклопластики запатентованы в 1935 году. Это были первые полимерные материалы, в которых как упрочнитель использовались неорганические волокна.

В конце 50-х годов XX века обнаружено, что материалы в виде тонких монокристаллов обладают высокой прочностью. Были получены новые виды неорганических поликристаллических волокон – углеродные, борные. Возникла идея использовать все эти сверхпрочные волокнистые материалы для армирования различных матриц, в первую очередь металлических.

История металлических КМ насчитывает не более 60 лет, но успехи в этой области достигнуты значительные, хотя первые металлические КМ разрабатывались главным образом для решения проблемы улучшения механических характеристик и жаростойкости.

На разработку и промышленное освоение новых КМ ушло всего лишь 15...20 лет. Следует отметить, что ранее затрачивалось в среднем 25 лет на поисковые работы, прежде чем какой-либо новый материал становился достоянием промышленности [1-5].

В середине 50-х гг. XX в. ВВС США решили применить в авиастроении новый класс материалов – армированные КМ. Предстояло изучить возможности их изготовления на основе новых видов волокон с высокими прочностными и упругими характеристиками. Практическое производство борных и углеродных волокон обусловило возможность создания КМ на их основе. Реализация этих разработок позволила с начала 70-х гг. XX в. начать широкое применение КМ для производства летательных аппаратов.

Таким образом, видно, как мало прошло времени от лабораторного поиска до решения практических задач производства и применения композитов. Для сравнения приведем следующий пример. На внедрение алюминия и его сплавов в авиационную промышленность ушло более 30 лет, но еще через 40 лет после этого

продолжаются непрерывные поиски наиболее рациональных конструктивных решений с использованием этого металла.

Применение новых КМ в летательных аппаратах подняло на новую качественную ступень самолетостроение, способствовало созданию новой ракетной и космической техники. Есть все основания полагать, что роль композитов в создании новых летательных аппаратов будет ведущей. Так, после совсем недолгих экспериментов в военной технике, высокопрочные композиты были применены при изготовлении самолета «Боинг-767». Использование таких материалов в автомобилестроении позволило снизить расход топлива благодаря уменьшению собственной массы транспортного средства. Потребность автомобилестроителей в композитах достигла к 1990 г. нескольких тысяч тонн.

В XX веке были созданы первые высокопрочные композиты. Уже в 1930-х гг. армированные пластики были способны конкурировать с другими конструкционными материалами.

В конце Второй мировой войны уже успешно применялись КМ, армированные стекловолокном. Дальнейшее развитие промышленности, выпускающей армированные пластики, привело к тому, что сейчас не существует области техники, где не применялись бы эти материалы. Они используются при создании судов и автомобилей, при строительстве жилья и оборудовании складских помещений. Специфические свойства различных армированных волокнами пластиков расширили традиционные области применения полимерных материалов.

В последние годы в связи с расширением комплекса свойств, реализуемых с помощью КМ, значительно расширились исследования по созданию антифрикционных КМ, КМ медицинского и биологического назначения, газонаполненных КМ, тепло- и электропроводных КМ, негорючих КМ, радио-прозрачных и радиопоглощающих КМ и др.

Современная авиация, ракетно-космическая техника, судостроение, машиностроение немыслимы без композитов. Чем больше развиваются эти отрасли техники, тем больше в них используют композиты, тем выше становится качество этих материалов. Многие из них легче и прочнее лучших металлических (алюминиевых и титановых) сплавов, а их применение позволяет снизить вес изделия (самолета, ракеты, космического корабля) и соответственно сократить расход топлива.

Ярким примером эффективного применения КМ является решение задач тепловой защиты при аэродинамическом нагреве и снижения массы орбитального комплекса «Буран».

В скоростной авиации используют от 7 до 25 % (по весу) полимерных композиционных материалов, которые снижают вес изделия, таким образом, от 5 до 30 %.

Важным является и то, что в отходы при изготовлении деталей из полимерных композитов идет не более 10...30 % материала, в то время как у аналогичных деталей из высокопрочных сплавов алюминия и титана, применяемых в авиации, отходы могут в 4...12 раз превышать массу изделия. Кроме того, при изготовлении деталей из полимерных композитов требуются меньшие трудовые и энергетические затраты, уменьшается количество производственных циклов.

Области применения КМ многочисленны. Кроме авиационно-космической, ракетной и других специальных отраслей техники, они могут быть успешно

применены в энергетическом турбостроении, в автомобильной промышленности для деталей двигателей и кузовов автомашин; в машино-строении для корпусов и деталей машин; в горнорудной промышленности для бурового инструмента, буровых машины др.; в металлургической промышленности в качестве огнеупорных материалов для футеровки печей, кожухов и другой арматуры печей, наконечников термодар; в строительстве для пролётов мостов, опор мостовых ферм, панелей для высотных сборных сооружений и др.; в химической промышленности для автоклавов, цистерн, аппаратов сернокислотного производства, ёмкостей для хранения и перевозки нефтепродуктов и др.; в текстильной промышленности для деталей прядильных машин, ткацких станков и др.; в сельскохозяйственном машино-строении для режущих частей плугов, дисковых косилок, деталей тракторов и др.; в бытовой технике для деталей стиральных машин, рам велосипедов, деталей радиоаппаратуры и др. [1-5].

Применение КМ в ряде случаев требует создания новых технологий изготовления деталей и изменения принципов конструирования деталей и узлов конструкций.

В зависимости от особенностей свойств КМ разработано значительное количество технологических процессов, позволяющих изготовить достаточно широкий круг изделий. Очень часто подробности таких процессов мало освещаются в научной и технической литературе, так как являются плодом длительных исследований и стоят очень дорого, обеспечивая прорыв в развитии наукоемких оборонных отраслей, таких, как аэрокосмическая, производство вооружений, средств обороны и защиты.

Ожидается, что к 2020 году объем производства КМ и изделий из них в РФ составит 120 млрд рублей, объем потребления продукции на душу населения - 1,5 кг/год, доля экспорта – 10%. Кроме того, предусмотрены разработка и принятие к 2020 году не менее 553 нормативно-технических, нормативных правовых и иных документов, необходимых для развития отрасли, восьми отраслевых программ по применению КМ в смежных отраслях, 20 региональных программ.

# 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Понятие композиционных материалов (КМ) сформировалось в середине XX века. Однако, композиты вовсе не новое явление, а только новый термин, сформулированный материаловедом для лучшего понимания генезиса современных конструкционных материалов.

Существуют природные аналоги КМ – древесина, кости, панцири и т.д. Многие виды природных минералов фактически представляют собой композиты. Они не только прочны, но обладают также превосходными декоративными свойствами.

Почему интерес к композиционным материалам проявляется именно сейчас? Потому, что традиционные материалы уже не всегда или не вполне отвечают потребностям современной инженерной практики.

ГОСТ 32794-2014 [5] приводит следующее определение: «композит (композитный материал, композиционный материал) – сплошной продукт, состоящий из двух или более материалов, отличных друг от друга по форме и/или фазовому состоянию и/или химическому составу и/или свойствам, скреплённых, как правило, физической связью и имеющих границу раздела между обязательным материалом (матрицей) и её наполнителями, включая армирующие наполнители. (Примечание – матрица и наполнитель композита образуют единую структуру и действуют совместно, обеспечивая наилучшим образом необходимые свойства конечного изделия по его функциональному назначению.)

Ниже приведены встречающиеся в учебной и научной литературе следующие определения композиционного материала. Композит – это:

- искусственно созданный неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов с чёткой границей раздела между ними;

- конструкционный (металлический или неметаллический) материал, в котором имеются усиливающие его элементы в виде нитей, волокон или хлопьев более прочного материала;

- искусственно созданные материалы, которые состоят из двух или более компонентов, различающихся по составу и разделённых выраженной границей, и которые имеют новые свойства, запроектированные заранее;

- многокомпонентный материал, состоящий из полимерной, металлической, углеродной, керамической или другой основы (матрицы), армированной наполнителями из волокон, нитевидных кристаллов, тонкодисперсных частиц и др.;

- неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов, среди которых можно выделить армирующие элементы, обеспечивающие необходимые механические характеристики материала, и матрицу (или связующее), обеспечивающую совместную работу армирующих элементов;

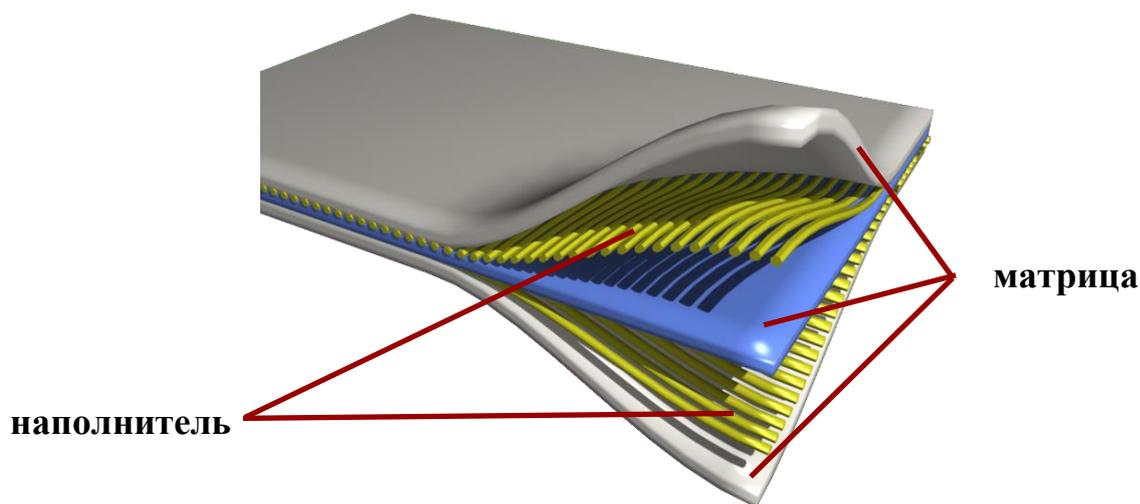
- материалы, состоящие из двух или более компонентов (фаз) и имеющие специфические свойства, отличающиеся от средних свойств их составляющих компонентов;

- материалы, представляющие собой гетерофазные системы, полученные из двух или более компонентов с сохранением индивидуальности каждого отдельного компонента;

- многокомпонентные материалы, состоящие из полимерной, металлической, углеродной, керамической или другой основы (матрицы), армированной наполнителями из волокон, нитевидных кристаллов, тонкодисперсных частиц и др.

В композите есть матрица, включение (наполнитель) и межфазная граница.

Матрицей называется компонент, обладающий непрерывностью по всему объему КМ. Включение (наполнитель) – это разделенный в объеме компонент, он может быть усиливающим или армирующим. Межфазная граница – это граница раздела между матрицей и включением, имеющая свойства, отличные от свойств матрицы и включения.



В большинстве композитов (за исключением слоистых) компоненты можно разделить на матрицу (связующее) и включённые в неё армирующие элементы (наполнители). В композитах конструкционного назначения армирующие элементы (наполнители) обычно обеспечивают необходимые механические характеристики материала (прочность, жёсткость и т.д.), а матрица обеспечивает совместную работу армирующих элементов и защиту их от механических повреждений и агрессивной химической среды.

Целью создания КМ является объединение схожих или разнородных компонентов для получения материала с новыми заданными свойствами и характеристиками, отличными от свойств и характеристик исходных компонентов. С появлением такого рода КМ возникает возможность селективного выбора их свойств, необходимых для нужд каждой конкретной области применения.

Путем подбора состава и свойств наполнителя и матрицы, их соотношения, ориентации наполнителя можно получить материалы с требуемым сочетанием эксплуатационных и технологических свойств.

В композиционных материалах разнородные компоненты создают синергетический эффект – новое качество материала, отличное от свойств исходных компонентов. В конструкционных композитах главное – это высокая удельная прочность (коэффициент конструктивного качества), превышающая аналогичную характеристику стали примерно в 15 раз.

Сочетание разнородных веществ приводит к созданию нового материала, свойства которого существенно отличаются от свойств каждого из его составляющих. Т.е. признаком композиционного материала является заметное взаимное влияние составных элементов композита, т.е. их новое качество, эффект. Варьируя состав матрицы и наполнителя, их соотношение, применяя специальные дополнительные реагенты и т.д., получают широкий спектр материалов с требуемым набором свойств.

Большое значение расположение элементов композитного материала, как в направлениях действующих нагрузок, так и по отношению друг к другу, т.е. упорядоченность. Высокопрочные композиты, как правило, имеют высокоупорядоченную структуру.

Простой пример. Горсть древесных опилок, брошенная в ведро цементного раствора никак не повлияет на его свойства. Если опилками заменить половину раствора - то существенно изменится плотность материала, его теплофизические константы, себестоимость производства и др. показатели. Но, горсть полипропиленовых волокон сделает бетон ударопрочным и износостойким, а полведра фибры обеспечат ему упругость, совсем не свойственную минеральным материалам.

Для КМ характерны следующие признаки:

1. Состав и форма компонентов определены заранее.
2. Компоненты присутствуют в количествах, обеспечивающих заданные свойства материала.
3. КМ является однородным в макромасштабе и неоднородным в микромасштабе.
4. Компоненты различаются по свойствам.
5. Между компонентами существует явная граница раздела.

По структуре наполнителя композитные материалы подразделяют на волокнистые (армированы волокнами и нитевидными кристаллами), слоистые (армированы пленками, пластинками, слоистыми наполнителями), дисперсно-армированные или дисперсноупрочненные (с наполнителем в виде тонкодисперсных частиц).

Матрица является важнейшим компонентом композита. Матрица обеспечивает монолитность композита, фиксирует форму изделия и взаимное расположение армирующих нитей, распределяет действующие напряжения по объему материала, обеспечивая равномерную нагрузку на волокна и её перераспределение при разрушении части волокна, определяет тепло-, влаго-, огне- и химическую стойкость.

Требования, предъявляемые к матрице, можно разделить на эксплуатационные и технологические.

К эксплуатационным относятся: физико-механические и физико-химические свойства, температура эксплуатации, стойкость к окружающей среде или среде эксплуатации. Прочностные характеристики материала матрицы являются определяющими при сдвиговых нагрузках, нагружении композита в направлениях, отличных от ориентации волокон, и циклических нагружениях.

Технологические требования определяют метод изготовления изделий из композитов, возможность выполнения конструкций заданных габаритов и формы, параметры технологических процессов, способы входного и технологического контроля, получение предматериала (препреги, премиксы, пресс-материалы) и сроки сохранения их технологичности; конструкционные элементы (профили, трубы, листы, объемные заготовки) и способы их переработки в изделия (склеиванием, сплавлением, спеканием, сваркой, механической обработкой и т.д.).

В качестве матричного материала используется широкий спектр различных веществ, часто материал матрицы имеет ту же природу, что и армирующий материал, например, углеродная, керамическая, металлическая матрицы. Это

позволяет создавать материалы с использованием предельно допустимых возможностей, присущих армирующему наполнителю, в первую очередь это касается термостойкости, сочетать конструкционные достоинства материалов с общими достоинствами композитов.

По природе матричного материала различают полимерные, металлические, углеродные, керамические и другие композиты.

Наиболее широкое применение в технике получили композитные материалы, армированные высокопрочными и высокомодульными непрерывными волокнами. К ним относят:

- полимерные композитные материалы на основе термореактивных (эпоксидных, полиэфирных, винилэфирных, феноло-формальдегидных, полиимидных и др.) и термопластичных смол, армированных стеклянными (стеклокомпозиты), углеродными (углекомпозиты), органическими (органоккомпозиты), борными (борокомпозиты) и другими видами волокон;

- композитные материалы на основе углерода, армированного углеродными волокнами (углерод-углеродные материалы);

- композитные материалы на основе керамики, армированной углеродными, карбидкремниевыми и другими жаростойкими волокнами.

- металлические композитные материалы на основе сплавов Al, Mg, Cu, Ti, Ni, Cr, армированных борными, углеродными или карбидкремниевыми волокнами, а также стальной, молибденовой или вольфрамовой проволокой;

При использовании углеродных, стеклянных, арамидных и борных волокон, содержащихся в материале в количестве 50...70%, созданы композиции с ударной прочностью и ударным модулем упругости в 2...5 раз большими, чем у обычных конструкционных материалов и сплавов. Кроме того, волокнистые композитные материалы превосходят металлы и сплавы по усталостной прочности, термостойкости, виброустойчивости, шумопоглощению, ударной вязкости и другим свойствам.

На сегодняшний день главенствующая роль среди матричного материала принадлежит полимерам. Объем выпуска полимерных композитов намного превосходит выпуск материалов с другими матрицами.

Использование в одном материале нескольких матриц (полиматричные композитные материалы) или наполнителей различной природы (гибридные композитные материалы) значительно расширяет возможности регулирования свойств композитных материалов. Армирующие наполнители воспринимают основную долю нагрузки композитных материалов.

Механическое поведение композиции определяется соотношением свойств армирующих элементов и матрицы, а также прочностью связей между ними. Характеристики и свойства создаваемого изделия зависят от выбора исходных компонентов и технологии их совмещения.

При совмещении армирующих элементов и матрицы образуется композиция, обладающая набором свойств, отражающими не только исходные характеристики его компонентов, но и новые свойства, которыми отдельные компоненты не обладают.

Например, наличие границ раздела между армирующими элементами и матрицей существенно повышает трещиностойкость материала, и в композициях, в

отличие от однородных металлов, повышение статической прочности приводит не к снижению, а, как правило, к повышению характеристик вязкости разрушения.

Для создания композиции используются самые разные армирующие наполнители и матрицы.

Это – гетинакс и текстолит (слоистые пластики из бумаги или ткани, склеенной термореактивным клеем), стекло- и графитопласт (ткань или намотанное волокно из стекла или графита, пропитанные эпоксидными клеями), фанера. Есть материалы, в которых тонкое волокно из высокопрочных сплавов залито алюминиевой массой.

Материаловеды экспериментируют с целью создать более удобные в производстве, а значит – и более дешёвые материалы. Исследуются саморастущие кристаллические структуры, склеенные в единую массу полимерным клеем (цементы с добавками водорастворимых клеев), композиции из термопласта с короткими армирующими волокнами и прочее.

Разрабатываются композитные материалы со специальными свойствами, например радиопрозрачные материалы и радиопоглощающие материалы, материалы для тепловой защиты орбитальных космических аппаратов, материалы с малым коэффициентом линейного термического расширения и высоким удельным модулем упругости и другие.

Композиционные материалы используются во всех областях науки, техники, промышленности, в т.ч. в жилищном, промышленном и специальном строительстве, общем и специальном машиностроении, металлургии, химической промышленности, энергетике, электронике, бытовой технике, производстве одежды и обуви, медицине, спорте, искусствах и т.д.

#### *Преимущества композиционных материалов*

Главное преимущество КМ в том, что материал и конструкция создается одновременно. Исключением являются препреги, которые являются полуфабрикатом для изготовления конструкций из КМ.

Стоит сразу оговорить, что КМ создаются под выполнение данных задач, соответственно не могут вмещать в себя все возможные преимущества, но, проектируя новый композит, инженер волен задать ему характеристики значительно превосходящие характеристики традиционных материалов при выполнении данной цели в данном механизме, но уступающие им в каких-либо других аспектах.

Это значит, что КМ не может быть лучше традиционного материала во всём, то есть для каждого изделия инженер проводит все необходимые расчёты и только потом выбирает оптимум между материалами для производства.

Некоторые свойства композиционных материалов:

- высокая удельная прочность (до 3500 МПа);
- высокая жёсткость (модуль упругости 130...240 ГПа);
- высокая износостойкость;
- высокая усталостная прочность;
- из КМ возможно изготовить размеростабильные конструкции;
- легкость.

Причём, разные классы композитов могут обладать одним или несколькими преимуществами. Некоторых преимуществ невозможно добиться одновременно.

#### *Недостатки композиционных материалов*

Композиционные материалы имеют достаточно большое количество недостатков, которые сдерживают их распространение. Это :

- высокая стоимость;
- высокий разброс свойств;
- низкая ударная вязкость;
- расслаивание;
- гигроскопичность;
- высокий удельный объём;
- токсичность;
- низкая эксплуатационная технологичность.

## 2. ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КМ

Материалы, которые использовал человек в своей деятельности, всегда играли важную, а часто и определяющую роль в прогрессе цивилизации. Они даже дали названия целым этапам развития человечества: каменный век, бронзовый век, железный век. Сейчас круг материалов, созданных и используемых в быту и технике чрезвычайно широк. Поэтому современную эпоху можно назвать веком композиционных материалов и полимеров.

История возникновения искусственных КМ восходит к истокам цивилизации, когда человек начал сознательно конструировать новые материалы. История использования человеком КМ насчитывает много веков. Уже на ранних стадиях развития цивилизации человек использовал для строительства кирпичи, в которые замешивалась солома, придававшая им повышенную прочность.

Месопотамские строители уже в IV тысячелетии до н.э. упрочняли глину, из которой беднота строила свои жилища, камышовыми веревками или камышовой плетенкой. Постройки, снабженные такой арматурой, сохранились до наших дней. В Вавилоне при постройке жилищ строители также армировали глину тростником. Инки использовали растительные волокна при изготовлении керамики. Английские строители до недавнего времени добавляли в штукатурку немного волоса.

### 2.1. Древние строительные материалы из композита

Самые древние строительные материалы – природный камень и дерево. Использование кирпичей постепенно вытеснило на второй план применение природного камня. Из всех стройматериалов кирпич является самым часто применяемым, надежным и одним из самых древних в истории человечества.

#### 2.1.1. Древние кирпичи

Даже библейские писания упоминают о кирпиче как о строительном материале. В Библии сказано о том, что кирпичи обжигали: *«И сказали друг другу: наделаем кирпичей и обожжем огнем. И стали у них кирпичи вместо камней»* (Ветхий завет. Бытие. Гл. 11:3). Таким образом, применение в строительстве обожженного кирпича восходит к глубокой древности.

Многие археологические раскопки свидетельствуют о том, что история кирпича насчитывает много тысячелетий. Раскопки в Месопотамии, Египте и других очагах цивилизации свидетельствуют, что из «глиняного камня» грандиозные сооружения возводили задолго до н.э. Самые древние предметы из обожженной глины найдены на стоянке древнекаменного века (палеолита) в Словакии, возраст которых составляет 25000 лет.

С большой степенью вероятности можно утверждать, что первые кирпичи появились около 10000 лет назад и уже за 3000 лет до н.э. их начали обжигать в собственных печах, что подтверждается письменами манускриптов. То есть спустя почти 7000 лет после изобретения кирпича его стали производить промышленным способом. До этого его производили ручным формованием из глины, высушивали на солнце или обжигали на кострищах. Из-за низкой водостойкости сырцовый кирпич вытеснялся более долговечным керамическим, который получался путем обжига сырцового.

Археологами на Среднем Востоке были найдены кирпичи, возраст которых может быть более 10000 лет. Ученые выдвинули гипотезу о том, что эти кирпичи

могли быть сделаны из глиняной массы, которая образовалась после затопления рекой близлежащих территорий. Глина и грязь формировались в кирпичи вручную и затем высушивались на солнце. Структура кирпичей показала, что при их изготовлении использовалась также смола. Поначалу строители применяли необожженный кирпич, поскольку под лучами жаркого солнца глина высыхала и становилась твердой, как камень. Находки археологов свидетельствуют, что первые кирпичи изготавливались таким образом уже в 5900...5300 гг. до н.э. в эпоху Обейдской культуры. Прародиной принято считать междуречье Тигра и Евфрата – Древнюю Месопотамию.

Чуть позже, в 3000...2000 гг. до н.э. постройки из кирпича были обнаружены в Древнем Египте, Индии, Китае, то есть практически во всех населенных на то время частях света. Метод изготовления кирпича стал известен, скорее всего, с начала правления первой династии ранних царей Верхнего и Нижнего Египта (около 3000 г. до н.э.)

Особенную гордость вызывает кирпичное строительство Древнего Египта и Древней Месопотамии, которые создавали сложные элементы конструкций, в том числе арки, своды и тому подобное. Форма кирпичей варьировалась, использовались в том числе прямоугольные, треугольные и круглые в плане кирпичи, прямоугольные плиты кирпича радиально разрезали на 6...8 частей, что позволяло из получившихся треугольных кусков класть более прочную и фигурную кладку.

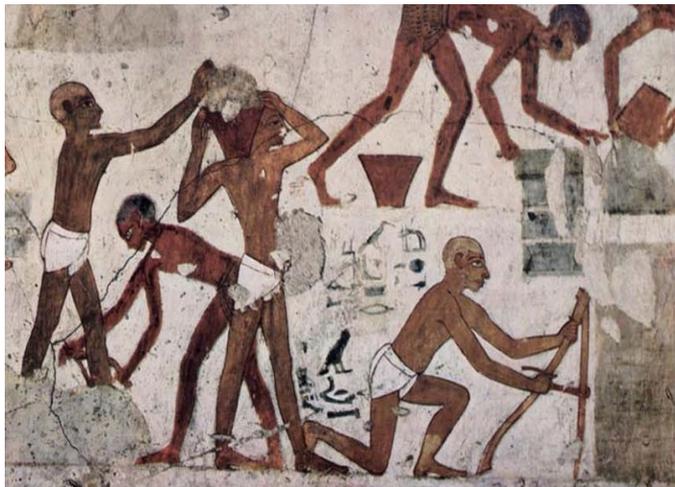
Велико значение кирпича в архитектуре Древней Месопотамии, где и сейчас клейкая глина имеется в избытке. Глина, вода, солома и солнце служили основой первым кирпичам. Резаную солому добавляли для прочности и крепости. Геродот Галикарнаский (484-425 г до н. э.) (II) писал, что Вавилон во времена царя Навуходоносора (VI в. до н.э.) был самым большим и самым красивым городом, украшенным постройками из керамического кирпича. Описывая семиярусный храм (восстановленную Вавилонскую башню, являющуюся одной из 7 чудес света), он отмечает, что его облицовка была выполнена из голубого глазурованного кирпича. Раскопки Вавилона свидетельствуют о том, что часть города на восточном берегу реки Евфрат, которая имела площадь 4 млн. м<sup>2</sup>, была окружена защитной кирпичной стеной.

Архитектурных памятников Шумерской эпохи сохранилось очень мало. Самыми значительными из дошедших до наших дней построек считаются Белый храм и Красное здание в Уруке (3200-3000 гг. до н. э.) Шумерский храм строили на утрамбованной глиняной платформе.

В городе-государстве Ур в Междуречье, который в начале 2000 гг. до н.э. был главным городом Южной Месопотамии, ширина стены, сложенной из необожженного кирпича, составляла 27 м.

Можно сделать предположение, что тысячи лет назад на Востоке уже существовали технологии, которые позволяли изготавливать и обжигать кирпичи разных видов, аналогичных современным. Но в античности бедные люди строили свои жилища из кирпича, высушенного на солнце, а не из обожженного. Поначалу строители использовали необожженный кирпич-сырец, часто с добавлением в глину резаной соломы. Этому помогало жаркое солнце, под лучами которого глина высыхала и становилась твердой, как камень.

На изображениях, сохранившихся со времен фараонов, можно увидеть, как получали кирпичи и как строили из них здания. Причем, надо сказать, что разница между той и нынешней стройкой не так уж и велика. Правильность кладки стен древние египтяне проверяли треугольником, а кирпичи носили на коромыслах, а сам принцип возведения зданий сохранился с тех пор практически без изменений.



Самые древние изображения производства кирпича находятся в гробнице Рехмире в Фивах (Луксор). Фрески показывают, что древние египтяне пользовались отдельными формами для одного кирпича.

На фреске показаны рабочие, черпающие воду из резервуара, и изготовители кирпича, смешивающие глину с водой и соломой и набивающие эту смесь в лежащую на земле рамку.

Верхняя сторона проглаживалась затем куском древесины, потом форма удалялась, и процесс повторялся вновь. Один рабочий мог изготовить таким способом в день несколько сотен абсолютно идентичных кирпичей, которые сушились потом под палящим египетским солнцем.

На берегах Нила глиняные кирпичи до наших дней готовятся таким образом. Однако египтяне были не первыми людьми, использовавшими деревянные формы для изготовления кирпичей.

И хотя в эпоху неолита люди уже умели ценить преимущества деревянных форм – их изготовление было настоящим вызовом. Между изобретением кирпича ручной лепки и его производством в формах существовала промежуточная ступень, когда глина лепилась руками, а края выравнивались дощечками. Такие кирпичи, у которых хотя и были гладкие края, не были прямоугольными и ровными. Они были обнаружены в Овеили в южной Месопотамии (П1) и датируются 6300 год до н.э.

И хотя египтяне не были изобретателями формованных прямоугольных кирпичей, они все-таки использовали их очень оригинальным образом для строительства арок и сводов. А вот камень они использовали, к сожалению, для простых балочных систем и для завершения дверных и оконных проемов.

Два или более неоднородных материала используют вместе, чтобы создать новый уникальный материал или же улучшить характеристики одного из них. Первое использование этого метода, когда в Египте и Месопотамии начали использовать глину и солому для строения зданий. Также солому вносили в состав для укрепления керамических изделий и лодок.

В отличие от современного, древний кирпич был квадратным и плоским (стороны 30...60 см, толщина 3...9 см). Другое греческое слово «keramos» переводится как «глина». А понятие «керамика» обозначает изделия из обожженной глины. Помимо глиняной посуды важнейшим продуктом гончарного ремесла в Древней Греции был хорошо всем знакомый кирпич.

В строительстве Римской империи так же широко использовался керамический кирпич для возведения сложных архитектурных конструкций сводов и арок. На территории Древней Италии господствовали этруски, которые не только возводили

свои храмы из сырцового кирпича, но и украшали их терракотовыми деталями. Кирпич в постройках того времени уже приобретает более привычную для нас продолговатую форму.

С древнейших времен было известно, что малые добавки волокна значительно увеличивают прочность и вязкость хрупких материалов. Во времена египетского рабства евреи добавляли солому в кирпичи, чтобы они были прочнее и не растрескивались при сушке на жарком солнце.

Одно из самых древних, по всей видимости, описаний изготовления композиционного материала приводится в Ветхом Завете (Исход, гл. 5) (П1): «И пришли надзиратели сынов Израилевых и возопили к фараону, говоря: «Для чего ты так поступаешь с рабами твоими? Соломы не дают рабам твоим; а кирпичи, говорят нам, делайте. И вот рабов твоих бьют; грех народу твоему». Но он сказал: «Праздны вы, праздны; поэтому и говорите «Пойдем, принесем жертву Господу». Пойдите же, работайте. Соломы не дадут вам, а положенное число кирпичей давайте».

Самым древним типом кирпичей в западном полушарии считается такой тип кирпичей как саман. С V-IV тысячелетия до н.э. саман приобрёл обширное распространение в безлесных районах.

Саман изготавливался из известковой пористой глины с добавлением смолы, кварца и других минералов, а затем оставлялся сушиться на солнце. Известковую пористую глину можно обнаружить в сухих регионах по всему миру, но, в основном, она добывается в Центральной Америке, Мексике и юго-западных территориях США. Пирамида Солнца была создана из самана древним племенем ацтеков в XV веке и до сих пор остается не разрушенной.

Саман (в пер. с тюркского – солома) или адоб, адоба (исп. adobe, от араб. ат-туб) – строительный материал из глинистого грунта с добавлением соломы (отсюда и название) или других материалов, представляющий собой кирпич, высушенный на открытом воздухе. Солома делала конструкцию легкой, прочной и улучшала теплоизоляционные свойства стен и потолков.

Саман – это древнейший, композитный строительный материал. Основными компонентами самана являются глина и песок, а для придания прочности, монолитности изделию, в него добавляют резаную солому, но можно и любой другой волокнистый материал, например мякину (П1) или костру (П1). По теплоудерживающим характеристикам значительно превосходит керамический кирпич, впрочем, уступая ему в прочности, поэтому применяется для постройки одно- и двухэтажных зданий.



Другие названия самана – кирпич-сырец, глинобетон, глино-фибробетон, глиносырцовый материал. Используется для возведения стен, а в сухом климате – заборов. Во влажном состоянии саман мягкий и легко укладывается в опалубку. Часто используется в виде параллелепипедов стандартных размеров, высушенных заранее.

Саман применяется главным образом в странах Азии для строительства

малозэтажных построек. В России саманные дома часто встречаются в сельской местности, в южных областях Украины и Молдавии.

При кладке стен на гидроизолированный фундамент долговечность постройки может превосходить 100 лет, а после сноса саманного здания строи-тельные отходы легко утилизируются, не нанося вреда местной экологии. Блоки легко разрезаются обычной пилой, что позволяет выполнять сложные решения.

Саман считается строительным материалом регионов, где не растут леса, хотя родиной изначального применения можно считать Европу, где саманные дома сохранились и на сегодняшний день. Восточное направление применения самана обусловлено скорее наличием яркого солнца, позволяющего просушить массу до каменности.

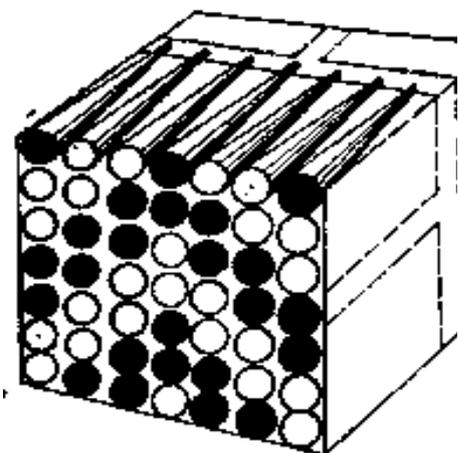
Изготавливается саманный кирпич, правильнее называть блок, поскольку он соответствует его размерам, в основном кустарно. Хорошо перемешанной массе из глины, соломы, песка и воды дают немного выкиснуть, затем придают требуемые размеры деревянной формой, и оставляют на солнце немного подсохнуть. Подсохший саман укладывается в штабель и убирается на сквознячок под навес для окончательной просушки. Полностью высохший материал обладает достаточной прочностью и твердостью для малоэтажного строительства, но требует тщательной защиты от любого вида влаги.

Оптимальными считаются блоки 40x20x16 см. Для приготовления массы сухую глину смешивают с соломой в пропорциях 20:1...10:1 по весу и добавляют воду до получения однородной смеси вязкой консистенции. Количество смеси должно соответствовать объему всех имеющихся форм. Массу оставляют на ночь для созревания. На площадке для сушки с небольшими зазорами раскладывают формы. Плотно набивают их приготовленной массой, излишки которой аккуратно срезают правилом или мастерком и оставляют до утра.



Сразу же вымешивают очередную партию массы, которую набивают на следующий день в снятые с предыдущей партии формы. После двух суток предвари-тельной подсушки вне форм (при температуре 15...20 °С) саманные блоки можно укладывать в стопки высотой до 50...60 см для окончательной сушки в течение месяца, после чего их можно применять для возведения стен.

В Месопотамии около 2500 лет до н.э. проблема износа и истирания стен из необожженных кирпичей была решена созданием композиционных конструк-ций. Для этого в мягкую поверхность стены в наиболее ответственном месте забивали конуса из камня или обожжённой глины.



### Конуса из камня или обожжённой глины

Схема распределения конусов из обожжённой глины, забиваемых в стену из сырых кирпичей с декоративной целью и повышающих устойчивость к истиранию.

Большое значение имел кирпич в архитектуре Древнего Рима, где господствовали этруски. Они не только возводили свои храмы из сырцового кирпича, но и украшали их терракотовыми деталями. Кирпич в постройках того времени уже приобретает более привычную для нас продолговатую форму.

В Византии обожженный кирпич многие века был основным строительным материалом. Кладка выполнялась на известковом растворе, в который добавляли толченую кирпичную крошку. Иногда ряды чередовались с каменными. Средневековые зодчие продвинулись значительно дальше своих «древних» предшественников и использовали не только конструкционные возможности кирпича, но и декоративные. Наряду с узорной кладкой широкое применение получило её сочетание с терракотовыми и майоликовыми деталями.

В конце X века с возрождением городов начали строить кирпичные жилые дома в два-три этажа с мастерскими и лавками внизу. Была придумана узорная кладка, часто использовали кирпич с фигурной поверхностью, покрытый прочной блестящей глазурью. Правда, стоило это немалых денег, и позволить себе такую роскошь могли лишь богатые заказчики – короли, монастыри, крупные феодалы.

После обжига кирпичи приобретают водостойкость. Обжиг – не такой уж простой процесс. Поместив кирпич в огонь, прочным он не станет. До достижения конкретной степени спекания должна быть постоянная температура (900...1150 °С) в течение 8...15 часов. Температура зависит от сорта глины, которая используется. Чтобы не возникло трещин, после обжига требуется медленное охлаждение.

Следующим шагом в истории кирпича стало появление плинфы (в переводе с греческого слово «*plinthos*» обозначает «кирпич»). Плинфа – тонкая и широкая глиняная пластина размером 30x35x2...3 см. Изготавливалась в специальных деревянных формах, сушилась 10..14 дней, а затем обжигалась в печи. На многих плинфах находят клейма, которые считаются клеймами изготовителя. В Древней Греции и Византии плинфы пользовались большим спросом. В нашем восприятии плинфа больше напоминает плитку, чем кирпич. Такая форма кирпича пришла на Русь вместе с византийскими мастерами. Слово «кирпич» заимствовано из тюркских языков не ранее XIV века.

Широкое применение в строительстве керамический кирпич нашел и на Древней Руси. Хотя русская архитектура немыслима без кирпича, но основным материалом для строительства очень долгое время служил лес, а не керамический кирпич. На Руси кирпич узнали примерно в IV веке. Из него возводили стены крепостей, храмы, терема, клали печи. А вот кирпичное ремесло впервые возникло на Руси в середине X века, в период образования единого русского государства –

Киевской Руси. Появление кирпичей на Руси в X в. связывают с влиянием византийской культуры, ведь при крещении Руси в 988 г. со священниками из Византии приехали и строители, владевшие секретами производства кирпича. В результате распространения христианства на Руси монастыри и церкви стали не только религиозными и культурными, но также и инженерными центрами. Ведь первые кирпичные мастерские соорудились как раз при монастырях, продукция которых шла на их нужды.

Первым религиозным сооружением на Руси, построенным из кирпича, считается Десятинная церковь в Киеве (X в.). К концу X века, с принятием христианства, начинается усиленное строительство церквей и храмов – сначала деревянных, а затем и каменных. В этот же период началось производство обожженного глиняного кирпича. К массовой выработке кирпича на Руси приступили после учреждения «Приказа каменных дел» (органа центрального управления), созданного в конце XVI века указом Бориса Годунова.

В древнерусском зодчестве широко использовалась плинфа размером 40x40 см при толщине 2,5...4 см, ведь небольшие тонкие кирпичи значительно легче формовать, сушить и обжигать. Такая плинфа применялась при строительстве Софийского собора в Киеве (XI в.). Для кладки из плинфы характерны относительно толстые швы раствора и использование прослоек из природного камня после нескольких рядов плинфы. Плинфа в России использовалась вплоть до XV в., когда на смену ей пришел кирпич, по размерам подобный современному. Форма и размеры кирпича изменялись на протяжении веков, но всегда оставались такими, чтобы каменщику было удобно работать с ними.

В Москве первые жилые кирпичные дома начали появляться с 1450 году, и лишь через 25 лет возвели первый завод в России (1475 г.), производивший кирпич. До этого кирпичи делали преимущественно при монастырях.

Ярким примером использования кирпичного строительства в России времён Иоанна III Васильевича (1440-1506; с 1462 по 1505 год – великий князь Московский и всея Руси) стало строительство стен и храмов Московского Кремля, которым заведовали итальянские мастера. В 1485 началась перестройка Московского Кремля, где и применили кирпич. «... и кирпичную печь устроили за Андрониковым монастырём, в Калитникове, в чём ожигать кирпич и как делать, нашего Русскаго кирпича уже да продолговатее и твёрже, когда его нужно ломать, то водой размачивают. Известь же густо мотыками повелели мешать, как на утро засохнет, то и ножом невозможно расколупить».

В 1500 г. из кирпича был построен Кремль в Нижнем Новгороде, в 1520 г. – Кремль в Туле, а в 1524 г. Новодевичий монастырь в Москве.

Первым кирпичным домом в Петербурге стали палаты адмиралтейского советника Кикина, построенные в 1707 г. В 1710 г. на Троицкой площади был построен дом канцлера Г.П. Головина. В 1711 сооружен дворец царевны Натальи Алексеевны – сестры Петра I. Летний и зимний дворцы Петра I были построены в 1712 г. Первым крупным кирпичным домом Петербурга стал Меншиковский дворец, строительство которого производилось достаточно долго, в течение 7 лет (1710-1727 гг.). Несколько раз он перестраивался. Но, несмотря ни на что, первоначальный облик его был сохранен и в настоящее время он является филиалом Государственного Эрмитажа.

В 1713 г. Петр I издал специальный указ о строительстве новых заводов близ Санкт-Петербурга, приказав их владельцам *«дабы всякий на своем заводе сделал кирпичу в год по последней мере миллион, а что больше, то лучше»*. Для работы на кирпичных заводах города стали собирать мастеров со всей России. В том же указе под угрозой разорения и ссылки царь запретил строительство каменных зданий во всех других городах страны, чтобы каменщики и прочий мастеровой люд, оставшись без работы, сами потянулись на строительство Петербурга. Каждый въезжающий в Санкт-Петербург был обязан в качестве платы за проезд отдать кирпич, привезенный с собой. По одной из версий, Кирпичный переулок в Петербурге назван так потому, что на том месте, где он расположен, принимался и складировался «кирпичный налог» за въезд в город.

Петр I своим указом разрешил строительство новых кирпичных заводов, в которых производители должны были ставить клейма на свои кирпичи для того, чтобы легче было найти бракоделов. Прочность этого строительного материала определялась очень просто. Привезенную на стройку партию кирпича просто сваливали с телеги: если при этом разбивалось более 3 штук, то вся партия считалась некачественной и браковалась.

При Петре I качество кирпича оценивалось очень строго. «Царский» кирпич подлежал семикратному обжигу. Зато и стоят на невских берегах Петропавловская крепость, Зимний дворец и Смольный дворец свыше 300 лет, не испытывая потребности в ремонте кирпичной кладки.

В давние времена кирпичные заводи назывались кирпичными сараями, а кирпичи – «глиняными буханками». Первые условные знаки на кирпичях были метки отсчета: тысяча кирпичей отмечалась знаком, например, мастер выдавливал пальцем лунку. Позже, метки стали ставить на кирпичях деревянными штампами на мягкой, не успевшей затвердеть, глине. В XVI веке появились клейма с изображениями единорогов, затем с изображением орла, потом, в XVII в. – буквенные клейма. Есть и загадочные, неразгаданные клейма. Например, кирпич с изображением могильного креста и датой – 1890 год.



**Образцы кирпичей  
Соловецкого монастыря**



**Буквенные клейма  
на кирпичях**



Из этих кирпичей был построен дом на ул. Днепропетровской, 10 в Санкт-Петербурге. К В.И. Ленину это клеймо отношения не имеет. Законом, выпускавшим кирпичи с клеймом «Ленинъ», владел в XIX веке крестьянин Петр Семенович Ленин. Местоположение завода не установлено, да и проработал он относительно недолго: основан был в 1870-

х, а в 1881 году уже не упоминался. Однако, находки таких кирпичей встречаются в самых разных местах Санкт-Петербурга. На некоторых кирпичах наблюдается «усекновение» известной фамилии до «Лени» или «Ленин».

В Древнем Востоке кирпич имел своеобразную форму глиняных бутылок и напоминал современные батоны белого хлеба. В центральной китайской провинции Хунань при раскопках могил династии Восточная Хань (25...220 гг. н.э.) археологи обнаружили древний кирпич, на поверхности которого была видна надпись: «Покупайте мои кирпичи. Они принесут счастье и стоят совсем не дорого».

По своей конструкции Великая Китайская стена, протянувшаяся на многие тысячи километров по территории Китая, представляет собой две кирпичные стены на каменном фундаменте, расстояние между которыми у основания составляет 6 м. Для большей устойчивости конструкции вверху стены сближаются на 0,5 м. Пространство между несущими стенами заполнено плотно утрамбованной глиной. Основным материалом для строительства великой Китайской стены был керамический кирпич, который изготавливали из глины, смешанной с соломой, путем прессования и формовки вручную. Сушили керамический кирпич при помощи солнечного тепла. Обжигали простым способом: обкладывали соломой и поджигали. Технологический процесс, по которому изготавливали кирпич строительный керамический во времена строительства великой Китайской стены, был прост.

Ученые, исследовавшие в наше время керамический кирпич из отдельной части великой Китайской стены, были шокированы результатами лабораторных опытов: этот кирпич был подвержен суровым испытаниям на прочность, которые достойно выдержал, оставшись невредимым.

Ученые обнаружили удивительный факт: древнекитайский керамический кирпич способен выдерживать нагрузки, которые в наше время способны выдержать только железобетонные конструкции. До сих пор остается загадкой, как кирпичи, изготовленные с применением примитивной технологии, обладают такими феноменальными свойствами. Потенциалу прочности, заключенному в древние керамические кирпичи, позавидовали бы многие технологические базы современного производства, изготавливающие строительный керамический кирпич сегодня. К сожалению, современный кирпич и технологии его изготовления не всегда показывают такие блестящие результаты, как это было в древнем Китае.

Искусство производства кирпича пришло в страны Европы вместе с военными походами римлян. С XII столетия самыми большими центрами кирпичного строительства становятся Ломбардия (сев. Италия), Франция и Германия. На территории Германии кирпич дал название целому стилю в архитектуре – кирпичная готика господствовала здесь на протяжении XII - XVI вв. Кирпич нашел

свое применение во все времена архитектурных стилей: от романтизма до готики и ренессанса. В Германии в 1854 г. берлинским фабрикантом Шликейзенем был изобретен штранг-пресс. В 1858 г. архитектор Фридрих Хоффманн запатентовал кольцевую печь.

Привычный же нам кирпич прямоугольной формы (его удобней было держать в руке) появился в Англии в XVI веке.

Издревле был выработан особый стандарт кирпича. Дело в том, что для более прочной связи в кладке надо класть кирпич вдоль и поперек друг к другу как 1:0, 5:0, 25...0,3. Русский кирпич второй половины XIX века обычно весил около 10 фунтов (4,1 кг). И имел размеры 26...27x12...13x6...7 см. Такие габариты имеет строительный кирпич многих гражданских и культовых построек Коломны, выстроенных в конце XIX- начале XX в.в.

Вплоть до XIX в. производство кирпича было процессом крайне трудоемким. Формовали его вручную, сушить кирпичи можно было только летом, обжиг проводился в небольших переносных печах. В середине XIX в технологии производства кирпича произошел настоящий переворот: впервые были построены кольцевая обжиговая печь и ленточный пресс, появились первые сушилки для кирпича, глинообрабатывающие машины, вальцы, глиномялки. Это позволило вывести производство кирпича на качественно новый уровень. Следующим возник вопрос качества продукции. Для того, чтобы отделить бракоделов от добросовестных производителей, была придумана система клеймения (XVIII в.): каждый кирпичный завод имел собственный фирменный знак – клеймо, который наносился на кирпич.

Современный стандартный кирпич получил свои размеры в 1927 г. и остается таким и сейчас: 250x120x65 мм. Российский ГОСТ 530–2012 требует, чтобы вес кирпича не превышал 4,3 кг.

Каждая грань кирпича имеет свое название: самая большая, на которую обычно кладут кирпич, называется «постель», длинная боковая – «ложок», а малая – «тычок». Кирпич, укладываемый длинной стороной вдоль стены, образует кладку в полкирпича, ряд таких кирпичей в составе сложной кладки называется ложковым. Если кирпич укладывается длинной стороной поперек стены, ряд будет называться тычковым. Верстами называются крайние ряды кирпича, которые образуют поверхность кладки. Расположенные со стороны фасада версты называются наружными, а обращенные в помещения – внутренними. Все кирпичи, укладываемые между внутренней и наружной верстами, называются забутовочными кирпичами, или забутовкой.

Исторически так сложилось, что керамический кирпич в общей истории строительной индустрии мировой практики нашел надежную нишу своего применения, в которой до сегодняшнего дня играет важную и лидирующую роль. Сегодня уже ни кто не сушит керамический кирпич на костре и не отвечает за качество производимого кирпича своей головой.

С середины XIX в. началось активное развитие кирпичной промышленности, результатом чего стало появление современных заводов по производству кирпича. В наше время более 80 % этого строительного материала производят предприятия круглогодичного действия, среди которых имеются крупные механизированные заводы производительностью свыше 200 млн. шт. в год. Количество видов современного кирпича трудно себе представить, настолько оно широко. Сейчас в

мире выпускается кирпич более 15000 сочетаний форм, размеров, цветов и фактур поверхности. Разнообразие цветов и форм придает строениям неповторимый облик.

Кирпич остаётся наиболее популярным материалом для сооружения различных конструкций: от простых заборов до роскошных вилл и многоэтажных зданий. Кирпич удобен в работе, прочен и долговечен. В настоящее время выпускается полнотельный, пустотельный кирпич, поризованные керамические камни, обладающие повышенными теплозащитными свойствами. Полнотельные кирпичи используют, к примеру, для возведения фундамента, а легкие пустотелые – для кладки стен. Этот древний и вместе с тем современный материал не потерял своей актуальности и в наши дни.

### 2.1.2. Древние дороги с использованием композита

В «Новой британской энциклопедии» упоминается, что жители Месопотамии были «первыми, кто серьезно занялся композиционными материалами», так как их дороги «были вымощены обожженными кирпичами и камнями, которые скреплялись смолой».

Наиболее древние дороги относятся к IV тыс. до н.э., например дорога, найденная у города Ур в Месопотамии – в одном из первых городов шумерской эпохи. На острове Великобритании были обнаружены следы одной из самых первых дорог, которую называли Свит-Трек. Племена, проживавшие в окрестностях холма Святого Михаила, соорудили мощеную деревом дорогу. Исследования методом дендрохронологии позволяют утверждать, что эта дорога была построена в 3807-3806 гг. до н.э. из наложенных друг на друга перекладин из молодых ясеня, дуба, липы и дубового настила поверх них.

К древнейшим мощеным дорогам относят дороги, найденные на острове Крит. Критские дороги покрыты известняковыми плитами толщиной до 15 см и датируются III тыс. до н.э.

Кирпич для мощения дорог впервые был использован в древней Индии 3000 лет до н.э. Дороги с каменным покрытием существовали в Хеттском царстве, Ассирии, империи Ахеменидов. В составе ассирийской армии имелись специальные подразделения, занимавшиеся строительством мостов и выравниванием дорог для боевых колесниц. В Ахеменидской империи при Дарии I (522-486 до н.э.) была построена царская дорога из Эфеса в Сарды и Сузы длиной 2698 км. На царской дороге были установлены дорожные столбы с указанием расстояний, станции на расстоянии дневного перехода с гостиницами, конюшнями для смены лошадей, продовольственными складами и гарнизонами.

Во время правления основателя китайской династии Цинь - Цинь Шихуана (221-210 до н.э.) - сеть дорог общей длиной 7500 км опоясывала страну. Эти дороги были шириной 15 м с тремя полосами, причем центральная полоса предназначалась для императора.

Наиболее развитая сеть дорог сложилась в Древнем Риме. К самым древним дорогам Рима относятся Аппиева дорога (312...244 гг. до н.э.) и Фламиниева дорога (220 г. до н.э.). Римские дороги строились с целью увеличения скорости передвижения войск и торговых караванов.

Римская технология дорожного строительства довольно подробно описана выдающимся архитектором и инженером античности Марком Витрувием Поллионом (I век н.э.). Дорога строилась методом «слоеного пирога»: нижний слой состоял из крупных необработанных камней, следующий слой (около 20 см) представлял собой массу более мелкого битого камня, скрепленного связующим раствором (смесь извести с пуццоланом – перемолотой вулканической породой, такой бетон после застывания отличался водостойкостью). Третий слой (около 15 см) состоял из зацементированных мелких обломков кирпича и керамики. Часто поверх него клали четвертый слой – крупные булыжники из базальтовой лавы. Они имели неправильную форму, однако их обтесывали так, чтобы они плотно прилегали друг к другу. Мостовая имела слегка выпуклый профиль, поэтому попадавшая на нее дождевая вода не стояла в лужах, а стекала в идущие по обе стороны мостовой дренажные канавки.

Дорожная сеть в Риме разрасталась вместе с ростом самой империи: после завоевания новых территорий к Риму начиналось строительство легионерами магистральной дороги, связывавшей новую провинцию со столицей империи. Строительство таких дорог осуществлялось на государственные деньги, а также на деньги жителей городов и собственников земель, по которым проходила дорога. Каждая магистральная дорога получала имя либо в честь цензора, которым была построена или отремонтирована, либо по области назначения. В дальнейшем дорожная сеть в данной провинции развивалась усилиями римских граждан, которые получали наделы и в процессе колонизации создавали местные дороги, примыкавшие к магистральной.

Ширина римских дорог составляла обычно около 3,5 м, дороги также имели пятислойные дорожные одежды толщиной до 1 м. Иногда дороги оборудовались колеями для повозок. Рядом с мощеной частью дороги располагались грунтовые тропы, предназначенные для вьючного и верхового транспорта. Дороги прокладывались длинными прямыми участками, римляне старались не строить объездных дорог, поэтому получались достаточно крутые подъемы. На повороте дорогу расширяли в два раза, поскольку римские двухосные повозки не имели поворачивающейся передней оси. При прохождении дороги через водное препятствие оборудовались каменные броды, через глубокие реки строились арочные мосты или оборудовались паромные переправы, в горах сооружались тоннели [8].

В Древнем Шумере нефтепродукты использовались не только в качестве топлива, но и как материал для строительства дорог и гидроизоляции, для изготовления красок, для склеивания изделий и в литейном деле. Местные жители называли курган, под которым археологи обнаружили руины города Ура, «битумным холмом». Р. Дж. Форбс показал, что в шумерском языке имеются названия для всех видов нефтепродуктов, встречающихся в Месопотамии. И действительно, в других языках - аккадском, древнееврейском, египетском, коптском, греческом, латыни и санскрите - названия битума и других нефтепродуктов имеют шумерские корни. Так, например, слово для обозначения всей группы нефтепродуктов - «нафта» - происходит от шумерского «напату» («камни, которые горят»). Использование шумерами нефтепродуктов также заложило базу для развития химии. Шумеры были знакомы не только с различными красками и пигментами, но и умели изготавливать искусственные полудрагоценные камни, такие, как лазурит [9].

На рубеже XIX в. появились первые шоссейные дороги. Еще в XIX в. на городских улицах пытались внедрить новый тип покрытия – беспыльное покрытие из трамбованного асфальта (разогретого в котлах щебня из природных известняков или песчаников, пропитанных битумом, который уплотнялся на каменном основании). В дальнейшем дорожное покрытие связано с применением вяжущих материалов, наиболее удачным из которых стал новый тип покрытия – асфальтобетон.

### 2.1.3. Древние постройки из композита с арматурой

Археологические раскопки показали, что древнейшим строителям был знаком секрет упрочнения постройки арматурой, то есть принцип армирования. Еще древние римляне массово использовали армирование в постройках.

Первыми применять железо в качестве арматуры стали древние греки. Железными прутьями они укрепляли мраморные колонны при постройке дворцов и храмов. Этот принцип лег в основу создания нового класса современных конструкционных материалов, названных композиционными.

Наиболее известным на сегодняшний день композитом является железобетон. Сочетание бетона и железных прутьев дает материал, из которого сооружают конструкции (пролеты мостов, балки и т.п.), которые выдерживают большие нагрузки, вызывающие растрескивание обычного бетона.

Древние греки первыми применили железо в качестве арматуры при армировании мрамора.

Выдающимся памятником архитектуры являются знаменитые Пропилеи, оформляющие монументальные входные ворота с колоннами в дорическом стиле и широкой лестницей в Афинский акрополь (437-432 до н.э.). Согласно Плутарху, древнегреческий архитектор Мнесикл построил Пропилеи – парад-ные ворота Афинского Акрополя (П1) (рис. 2.1). При их строительстве когда ему понадобилось перекрыть пролеты длиной в 4...6 м, он замуровал в мраморных плитах в специальных канавках двухметровые железные стержни, чтобы перекрытия справились с напряжениями.

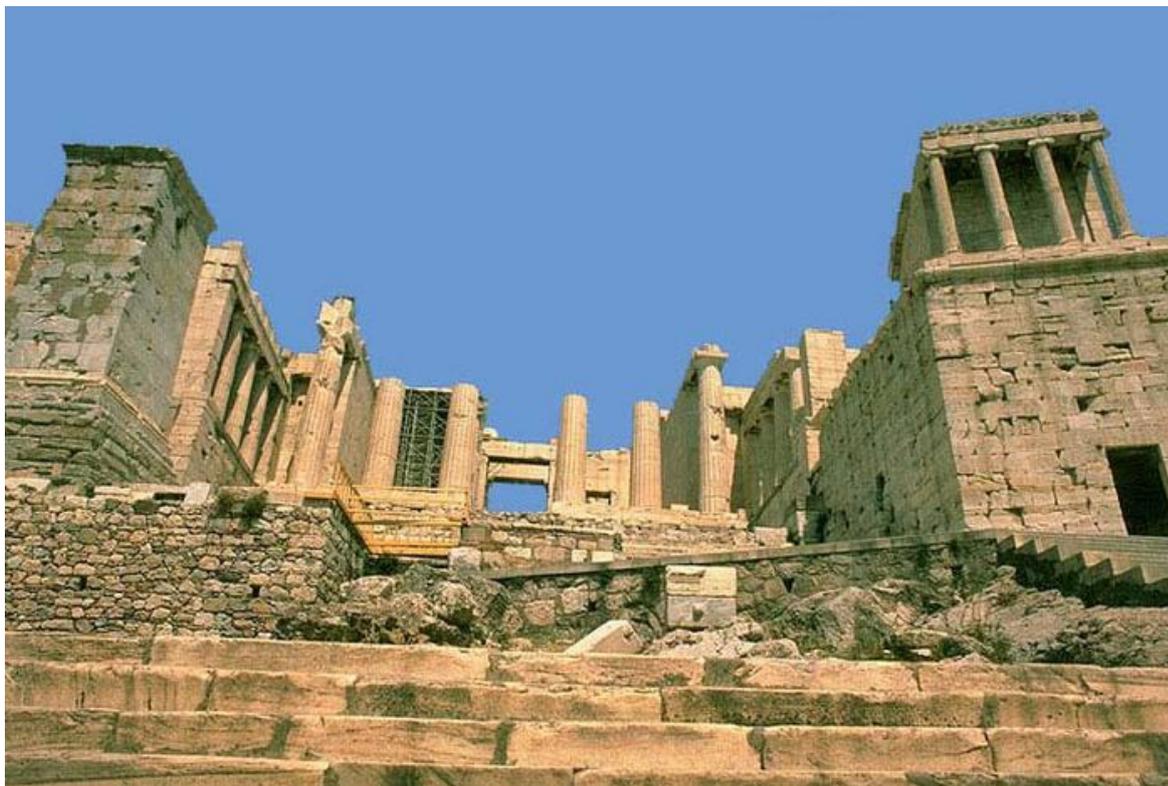


Рис. 2.1. Пропилеи, зодчий Мнесикл, 437-432 до н.э., Афины

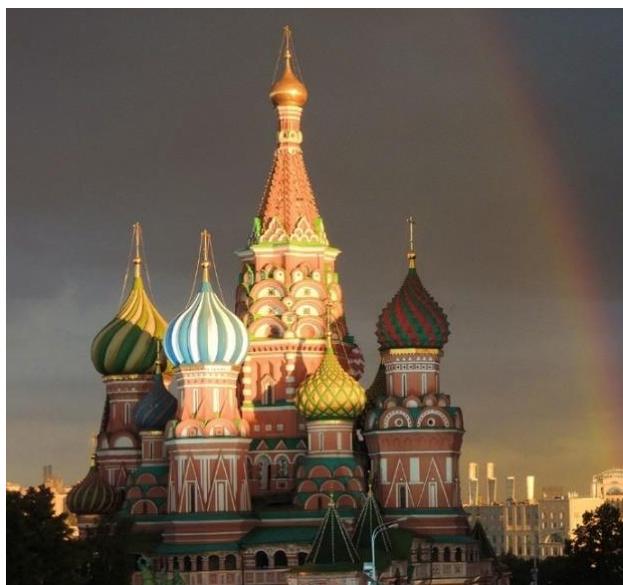
Пропилеи состояли из крытых глубоких ворот, образующих пять разделенных колоннами проходов, картинной галереи (пинакотеки), библиотеки и небольшого помещения стражи справа. К Пропилеям снизу вела широкая дорога без ступеней

для процессий. В средней широкой части Пропилей был пандус, а в боковых – ступени. Дорический ордер в проходах заменялся ионическим. От Пропилей хорошо была видна статуя Афины и часть Парфенона. Пропилеи представляют собой единственный вход на территорию Акрополя на его западной стороне.

Афинский Акрополь является наиболее цельным и гармоничным произведением греческой архитектуры. В ансамбль Акрополя вошли: Парфенон, Пропилеи, Храм Nike Аптерос, статуя Афины Промакос, Эрехтейон, служебные и складские помещения.

После создания Парфенона, афиняне решили украсить Акрополь новыми парадными входными воротами – Пропилеями, которые решено было сделать симметричными. Но около 425 года до н.э. справа от ворот вырос храм богини победы Ники, и эту часть Пропилей сделали несколько меньше, чем левую.

При постройке собора Покрова Пресвятой Богородицы (храм Василия Блаженного) в Москве русские зодчие Барма и Постник (П1) использовали армированные железными полосами каменные плиты.



### **Собор Покрова Пресвятой Богородицы**

Построен в 1555...1561 гг. по приказу Ивана Грозного в память о взятии Казани и победе над Казанским ханством, которые случились именно в день Покрова Пресвятой Богородицы – в начале октября 1552 г.

#### **2.1.4. Применение раствора-композита при строительстве**

Древним римлянам удалось то, что не может сделать современная наука – изобрести строительный раствор, который не рассыплется в течение 2000 лет. У древних римлян раствор был такого фантастического качества, что и сейчас такого нет. Раствор, скрепляющий кирпичи Колизея, занесён в список «Утраченные технологии».

##### *Композитный раствор при строительстве Великой китайской стены*

Китайским ученым удалось выяснить, что секрет древнего строительного раствора, обеспечивающего прочность Великой китайской стены лежит в области науки о композиционных материалах. Высокую прочность древних стен обеспечивал рисовый бульон, который строители добавляли в известковый раствор. Чем больше рисового бульона содержит раствор, тем тоньше его микроструктура и тем эффективнее и устойчивее он скрепляет блоки. Ученым удалось выяснить и «действующее вещество» рисового раствора. Им оказался *амилопектин* – полисахарид, состоящий из разветвленных цепочек молекул глюкозы, один из основных компонентов крахмала. Смесь, содержащая углевод амилопектин,

возможно, была первым в мире органическо-неорганическим композиционным материалом.

«Аналитическое исследование показало, что раствор в древних каменных кладках – это органическо-неорганический композитный материал. Состав был установлен методами термогравиметрической дифференциальной сканирующей калориметрии, рентгеновской дифракции, инфракрасной спектроскопии с Фурье-преобразованием и сканирующей электронной микроскопии. Установлено, что амилопектин формирует микроструктуру смеси с неорганической компонентой, что обеспечивает ценные строительные свойства раствора», - утверждает в статье китайских исследователей.

В Европе, со времен древних римлян, для придания дополнительной прочности строительному раствору использовали вулканическую пыль. Таким образом, строители добивались устойчивости раствора к воде – он не растворялся в ней, а, наоборот, лишь твердел. Эта технология была распространена в Европе и Западной Азии, однако не использовалась в Китае, так как там просто не было необходимых природных материалов.

Поэтому китайские строители вышли из положения, разработав органическую добавку на основе риса. Такой раствор был более прочным и устойчивым к дождям, чем обычный известковый раствор, и стал величайшим технологическим прорывом своего времени. Он использовался только при строительстве особенно важных конструкций: гробниц, пагод и городских стен, некоторые из которых сохранились до наших дней и выстояли под ударами мощных землетрясений.

#### *Раствор-композит при строительстве православных храмов*

Красивые, величественные здания прошлых веков, среди которых выделяются культовые религиозные сооружения, поражают людей своей небывалой прочностью. Заслуга архитекторов прошлых веков заключается в том, что при строительстве этих зданий для связки блоков-камней использовался известковый раствор.

Но чем объясняется многолетняя прочность строений из камня и известкового раствора? Многие храмы и соборы в старину строились не одно десятилетие. Все дело в особом компоненте, имя которому – куриное яйцо. Издревле известно, что в строительный раствор, который использовали при строительстве каменных сооружений добавляли яйца для получения в последствии более крепкого строения. Но вот откуда взялся этот рецепт, да и сам рецепт сейчас никто не знает.

Неужели яйца могли усилить прочность раствора? Оказывается, все вещества, имеющие белок, очень сильно укрепляют строительный раствор. Добавка в известковый раствор куриного яйца многократно усиливала сцепление микрочастиц раствора, придавая строению прочность монолита.

Таким образом, раствор, использованный в древних каменных кладках, представляет собой специфический органо-неорганический композиционный материал, где в качестве органических добавок выступали яичный белок, рисовый отвар, молоко и др.

В старину была и другая технология, когда перед строительством предварительно замачивали умерших животных (коров, быков, лошадей). То, что от них получалось в период разложения, было очень богатым на белок. Эту массу добавляли в строительный раствор, и стены получались очень крепкими. Эта

технология использовалась чуть ли не до середины XIX века. Здания, сделанные по такому способу, невозможно разбить ничем, только взорвать.

Органический амилопектин, попадающий в строительный раствор из упомянутых добавок выступает в качестве ингибитора роста кристаллов карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), в результате чего формируется компактная микроструктура затвердевшего раствора, что является причиной его хорошей работы в составе каменной кладки.

Учёные, которые проводили исследования подтверждают, что яйца служили связующим звеном в растворе между другими материалами и именно от яиц зависела крепкость и долговечность конструкций.

Главное и важнейшее отличие известкового раствора от цементного – пластичность, которой обладает сама известь. Пластичность раствора из извести делает швы из него практически герметичными, без микрополостей и трещин, а вот цементный раствор имеет нехорошее качество – растрескивается.

Самую большую известность получил Карлов мост в Праге. Есть легенда, что во время его строительства со всей Чехии в Прагу везли яйца и молоко, а те крестьяне, что не совсем поняли для чего нужно яйцо и молоко – везли яйца сваренные вкрутую и творог с сыром, чтобы дескать яйца не разбились, а молоко не прокисло. В Бухаре есть постройки, возраст которых исчисляется тысячелетиями и которые стоят несмотря на все землетресения.

В рамках проекта «легенды города» студенты МГУ узнали из чего состоит фундамент здания. Как рассказали анонимные источники, И.В. Сталин лично следил за строительством университета. Ходят слухи, что в строительстве принимали участие армяне, знавшие древние рецепты прочных построек. Именно они и посоветовали использовать яйца.

На практике яйца вводили в состав известкового раствора чаще всего при штукатурке стен для росписи, которая с такими добавками становится прочней и устойчивей к осыпанию.

#### *Заполнитель известковых растворов в древних строениях*

Еще в I веке до н.э. Марк Витрувий Поллион (П1), писал о том, что добавление к строительному раствору битой и затем просеянной черепицы, улучшает качество такого раствора.

В Киевской Руси, наполнителем для кладочных растворов служила мелкотолченая керамика или как её ещё называли – цемянка, то есть такой раствор представлял собой композиционный материал.

Применение в качестве заполнителя цемянки – это прием, имеющий древние традиции, который широко использовался в византийском зодчестве, что также может служить доказательством того, что русские мастера переняли опыт у византийских мастеров.



## Цемянка

Добавление в раствор в качестве наполнителя цемянки, рекомендовалось даже в XIX веке. Об этом есть упоминания в Урочном реестре по части гражданской архитектуры или описания разных работ входящих в состав каменных зданий от 1811 года [10].

К примеру, в растворах Переяславля и Киевских растворах XI века, применялась специально обожженная и размолотая глина. Уже к концу того же века, в качестве цемянки, строители стали употреблять совместно с обожженной глиной и мелкотолченый бой кирпича.

Все строительные растворы архитектурных памятников Киева, которые относятся к XI и началу XII веков, относятся к известково-цемяночным. Вяжущая известковая масса этих растворов обычно составляет не менее 50 %. Следовательно, соотношение вяжущего и заполнителя находятся в пропорции от 1:1 до 2:1, что говорит о том, что эти растворы очень жирные. В данном плане они резко отличаются от современных растворов на основе извести, где соотношение компонентов, как правило, 1:3. Наличие в киевских строительных растворах песка очень не велико. Обычно это от 1 до 5 %, что позволило исследователям сделать предположение, что его специально не добавляли в раствор, а попадал он туда лишь вместе с засоренной известью или толченым кирпичом.

В XII веке, обожженная глина используется уже редко. Ее практически полностью вытеснил кирпичный бой. Объясняется это просто. Цемянка, приготовленная из кирпичного боя, как правило, дает более крупные фракции наполнителя, чем обожженная глина. Присутствие в растворе в качестве наполнителя частиц, имеющих более крупную фракцию снижает его усадку при твердении и обеспечивает ему большую стойкость в отношении растрескивания.

Когда строители заменяли мелкую фракцию цемянки более крупной, то терялось другое преимущество, а в частности, цемянка уже не играла роль гидродобавки, придававшей раствору способность схватываться во влажной среде. Вполне вероятно, что древнерусские строители, данное качество раствора считали не очень важным.

Но, не всё так однозначно. К примеру, в XII веке, в зависимости от архитектурных школ, строительные растворы могли существенно различаться.

Так в Волынских памятниках, в качестве наполнителя, помимо цемянки использовался толченый мел. Иногда, даже количество мела, могло превышать количество цемянки, а иногда наоборот. Абсолютно другой характер носят растворы памятников относящихся к Владимиро-Суздальской архитектуре. Основным наполнителем этих растворов – песок. Цемянка в этих растворах практически полностью отсутствует, а если где и встречается, то в пределах 1,5%. Зато в них везде встречается глина, её содержание составляет около 2...3%, а иногда и больше.

Строительные растворы Галицких древних памятников, очень схожи с Владимиро-Суздальскими. Наполнителями в них являются глинистые частицы и

песок, причем песка, обычно всегда больше чем глины, хотя встречаются и прочие соотношения. Например, в растворе Успенского собора, в качестве связующего выступает гипс, а наполнителя – дробленый алебастр. Иногда, в строительных растворах Древней Руси исследователям попадались кусочки древесного угля.

О вкладе Византии в технологию строительных растворов пишет в своей диссертации А. Липатов [11]. Он сообщает, что со временем в Византии росла толщина растворных швов в кирпичных строениях – от 10...15 к 60...70 и даже 120...150 мм, что связано с введением в раствор кирпичной или керамической крошки (цемянки), кирпичного боя, дробленого щебня и гальки, причем керамическая крошка с успехом заменяет недоступный поццолан. В результате реакции гашеной извести с керамикой получалось нечто вроде армированного бетона. Да и сами кирпичи в такой кладке играют, фактически, роль арматуры. Византийский кирпич отличается по своему виду – это тонкая, около 5 см, плинфа. Таким образом, раствор составлял основной массив стены, в котором плинфы задавали структуру. Кладка с широкими розовыми полосами раствора и слоями кирпича получила название византийской.

А. Липатов пишет: «... как показывает изучение византийских построек, в том числе и Св. Софии Константинопольской, в кладке стен и арочных конструкций зданий используются необычно толстые растворные швы (сопоставимые с толщиной кирпича и превосходящие ее). В этом случае раствор является главной составляющей массива кладки, в которой кирпичи играют роль элементов армирования. В рамках современной терминологии раствор может быть классифицирован как цемент, благодаря значительному размеру кирпичного наполнителя. Важнейшим достижением византийцев также следует считать использование технологии «горячей» извести, позволяющей использовать в качестве наполнителя глину, термически активизируемую при совместном гашении извести и наполнителя. Прочность раствора, изготовленного по такой технологии признана высокой. Такая технология квазицемента получает широкое развитие в Византийской империи. Полученные данные позволяют нам сделать основной акцент в изучении строительного производства Византии на строительных растворах и поставить их во главу угла нашего исследования: византийские постройки со средневизантийского времени и особенно поздне-византийский период демонстрируют качества, присущие бетонным монолитным конструкциям. Византийские растворы, созданные на основе извести и кирпичного наполнителя различного размера, безусловно, не являются полными аналогами современных бетонов, однако могут рассматриваться как квазибетон в византийской архитектуре».

Византия передала свое мастерство принявшим православие соседям: Сербии, Болгарии и Румынии.

Цемянковые растворы (растворы на основе керамической крошки или специально обожженной глины) перенимаются в других местах, хотя, возможно, поначалу работали византийские мастера. Но происходят и изменения в составе растворов. К примеру в Новгороде в церкви Благовещения на Городище (1108) в известковый раствор добавляется бой плинфы и специально обожженная глина, в Николо-Дворищенском соборе (1113), Рождественском соборе Антониева монастыря (1116), Георгиевском соборе (1119) Юрьева монастыря – только бой плинфы и мелко истолченный известняк, в двух последних памятниках применялся

ожелезненный известняк. Авторы этой работы о растворе трех новгородских памятников конца XII века также пишут, что после возобновления строительства в Новгороде в конце 60-х годов XII века, в новгородских строительных растворах наблюдаются изменения, заключающиеся во введении в строительный раствор в качестве наполнителя глины наряду с боем плинфы и известняком. Глинистые растворы известны, что характерно, способны схватываться, как и так негашеная известь, приготовленная из серых известняков с примесями глины. А. Липатов пишет: «Не вполне понятно, каким образом строители подошли к использованию данного типа раствора: путем наблюдений, усовершенствования технологии или позаимствовали его у византийских строителей. Но нет сомнений в том, что известково-цемячно-карбонатный тип растворов преобладает в строительстве второй половины XI-XII вв. на территории древнерусского государства» [11].

На рис. 2.2 представлена кладка Спасского собора в Чернигове (XI век). Хорошо видно, как мало тут плинфы и как много раствора. Слабый раствор за прошедшее тысячелетие разрушился бы. Этот и множество других любопытных образцов кладки древнего Спасского собора можно посмотреть на сайте [11].



Рис. 2.2. Кладка Спасского собора в Чернигове (XI век)

Упомянутое исключение по своим строительным растворам составляют памятники Галицкого, Смоленского и Владимирского княжеств. Например, в Успенском соборе Владимира, построенном в середине XII века по повелению князя Андрея Боголюбского, было отмечено применение гипсового раствора. Предполагается, что собор строили западные мастера, об этом писал Татищев: «По снисканию бо его (Андрея Боголюбского) даде ему Бог мастеров для строения оного из умных земель»; «по оставшему во Владимире строению, а паче по вратам градским, видно, что Архитект достаточный был... Мастеры же присланы были от Императора Фридерика Перваго, с которым Андрей в дружбе был как ниже явится». С.В. Заграевский пишет, однако, что работа мастеров не касалась самого строительства: «Однако необходимо заметить, что известный стереотип, связанный с приходом к Андрею «мастеров из всех земель», относится только к работам по украшению Успенского собора: «Того же лета создана бысть церква святая Богородица в Володимири благоверным и боголюбным князем Андреем, и украси ю дивно многоразличными иконами, и драгим каменьем без щисла и сосуды церковными и верх ея позлати по вере же его, и по тщанию его к святей Богородице, приведе ему Бог из всех земель все мастера и украси ю паче инех церквии».

Из истории известно, что в строительные растворы вводили вулканический пепел из области Поццуоли (район современного Неаполя), с островов Тира и Нисирос, речной ил, диатомовые водоросли (Пиза), иногда добавляли гипс.

В общем-то, до открытия цемента оставалась пара шагов: если иметь печи, дающие более высокие температуры, то можно было бы прийти и до открытия цемента, который получается совместным обжигом известняка и глины при 1450°C. Но такая высокотемпературная печь сама была технической проблемой, и когда она появилась, то стало возможным делать сталь и фарфор.

## 2.2. Древние суда и мосты из композита

Первые КМ на основе полимеров – битумную смолу, наполненную тростником, использовали для строительных целей в Древнем Вавилоне (П1) более 5000 лет назад. Это были строительные материалы на основе армированной битумной смолы.

На сегодняшний день невозможно сказать, где именно появилась первая лодка, но по некоторым данным первые лодки появились в Китае и Египте, чуть позже в Риме и Греции, однако достоверной информации о том, кто же был первый нет. В древности лодки строили не только из дерева, но из папируса или тростника (П1), а также из камыша (П1).

Многие исследователи считают, что именно Египет был тем местом, где зародилось речное судоходство. Нил был полноводной рекой и каждый год выходил из берегов, затапливая всю страну. Селения становились островками, оторванными друг от друга и единственным способом передвижения были барки, плоты и лодки.

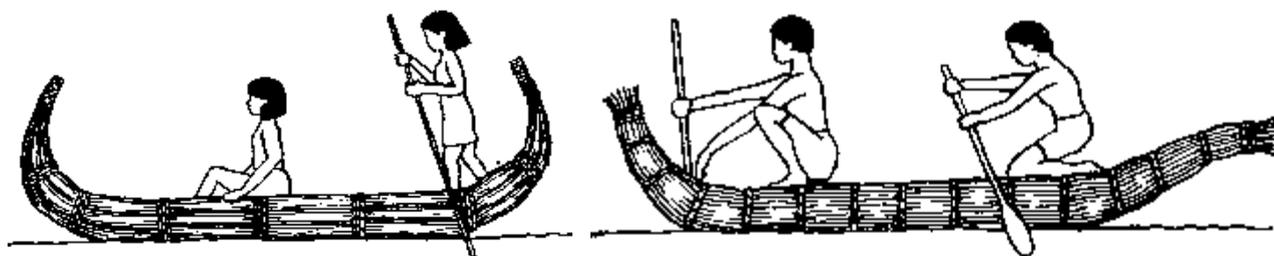
Около 5000 лет до н.э. появились барки, которые строились из папируса (тростника), так как Египет не был богат древесиной (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Барка из папируса, 5000 лет до н.э.

Барка имела серповидную форму, с изогнутыми вверх носом и кормой. Папирус связывался пучками и стягивался тросами.

В Египте и Месопотамии в третьем тысячелетии до н.э. строили речные плоты и лодки из тростника, пропитанного битумом (рис. 2.4). По конструкции они аналогичны судам, используемым даже в настоящее время жителями дельты Нила, и их с некоторым допущением можно считать предшественниками современных судов из стеклопластика.



**Рис. 2.4. Древние египетские и месопотамские папирусные лодки из композита (около 3000 лет до н.э., реконструкция)**

Самой существенной особенностью плота является его непотопляемость. Залитые водой лодка, судно или корабль тонут, а плот нет, так как удерживается на плаву благодаря тому, что удельный вес материала, из которого он сделан, меньше удельного веса воды. После тысячелетий эксплуатации плоты все ещё

широко используются в отсталых странах для перевозки товаров, людей или для нужд рыболовства.

Плот, помимо своих бесспорных достоинств, из которых самыми существенными являются непотопляемость и устойчивость, имеет и недостатки. Он медлителен – скорость его не превышает 3 узлов (не считая дрейфа по течению). Его мореходные качества невелики: плавание в галфвинде (П1) – это все, что удастся получить, если плот сконструирован правильно.

К 1500 году до н.э. египтяне начали строить торговые корабли. Умельцы до сих пор строят копии древних египетских

кораблей и выходят на них в море. К 1200 году до н.э. стали появляться боевые корабли.

В восьмидесятых годах XIX века русский ученый В.С. Голенищев совершил большое путешествие по Египту в поисках новых древностей страны пирамид. В Нубийской пустыне его внимание привлекли изображения на скалах. Голенищев сделал с них несколько зарисовок и, возвратясь в Россию, издал эти зарисовки. Но лишь полвека спустя ученые обратили должное внимание на «картинную галерею», находящуюся в скалистой пустыне у Красного моря. Особенный интерес вызвали изображения судов, высеченные на скалах. Среди наскальных рисунков Нубийской пустыни можно увидеть изображения папирусных лодок [12] (рис. 2.5).

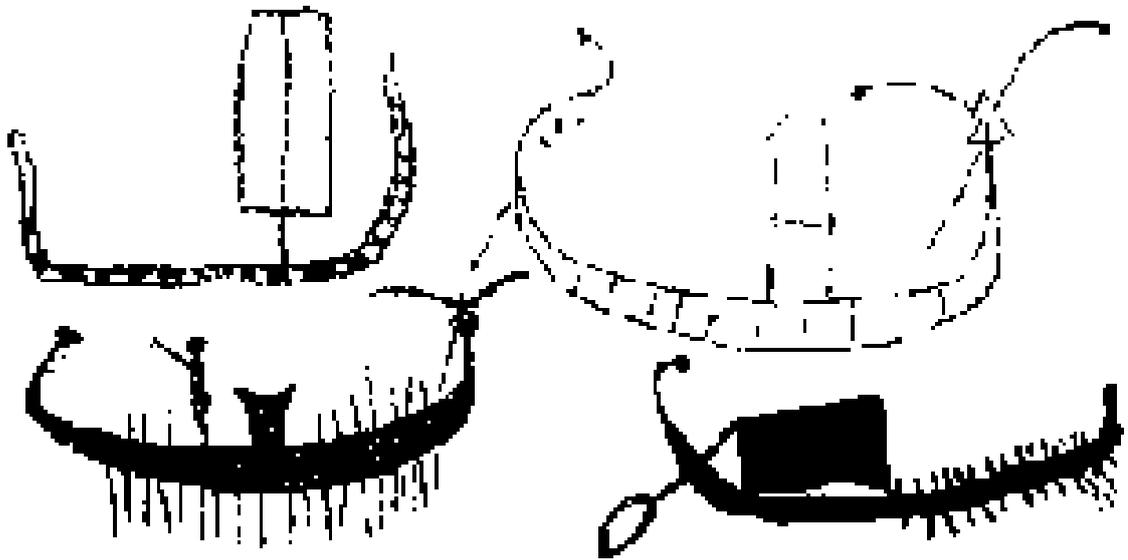
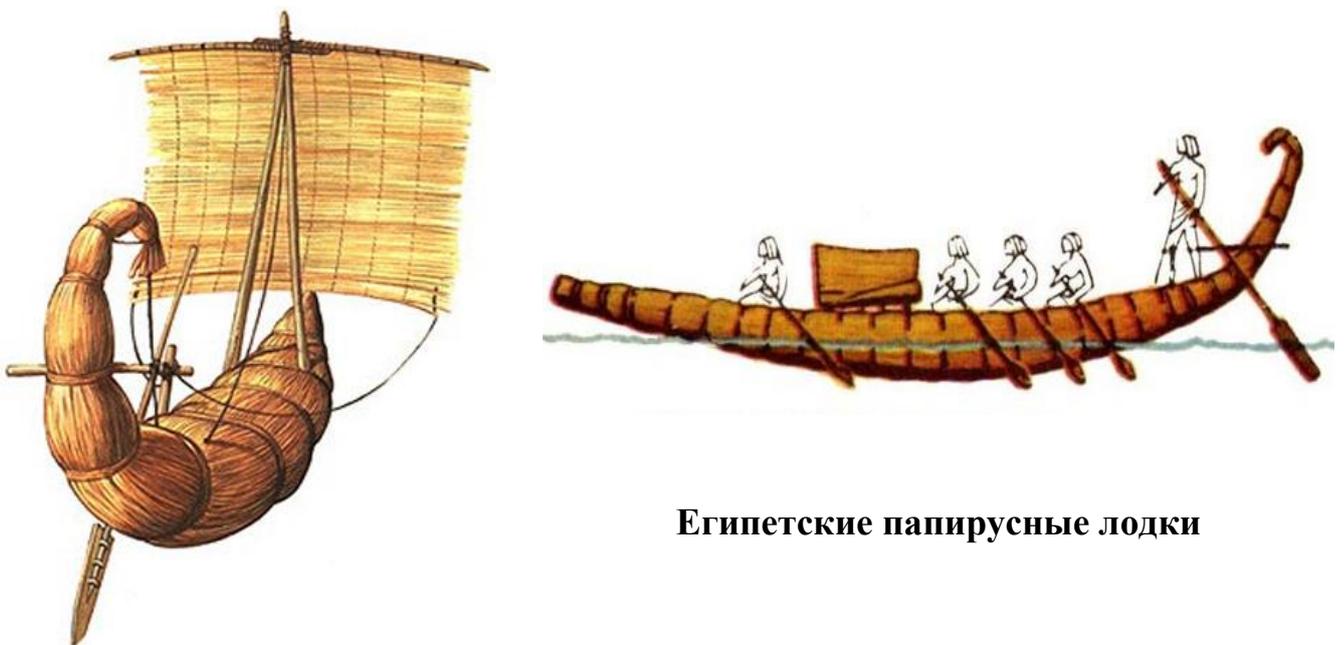


Рис. 2.5. Египетская лодка из папируса (зарисовки В.С. Голенищева)

По Нилу древние египтяне плавали на лодках из папируса.

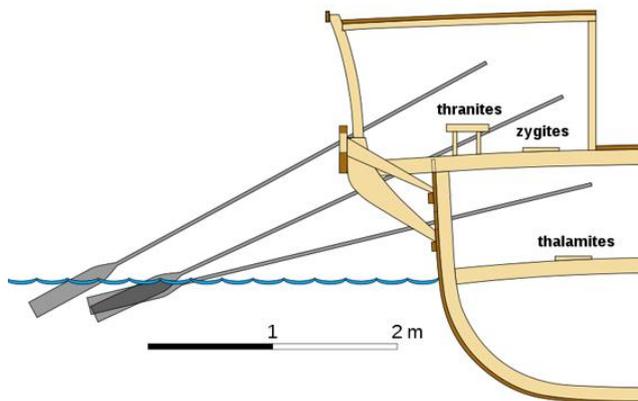


Египетские папирусные лодки

### *Древние триремы (триеры)*

С VII по IV век до н.э. греки делали триремы (Π1), отдельные части которых представляли собой композиционные конструкции.

Точное происхождение и устройство триеры не ясно и до сих пор обсуждается. Кроме того, схема размещения гребцов, распределение гребцов по вёслам, да и сама классификация древних гребных судов, основанная на количестве вёсел, остаются спорными. Найденные изображения кораблей на скульптурных рельефах и фрагментах керамики немногочисленны и в большинстве своём очень схематичны и стилизованы. На рис. 2.6 приведено наиболее известное изображение в виде барельефа, на котором отчётливо видны 3 ряда вёсел, найденное в Афинском Акрополе в 1852 г. (ленормановский рельеф, 410 г. до н.э.).



**Рис. 2.6. Барельеф с изображением расположения гребцов на триреме с реконструкцией транса и трёх рядов вёсел**

В боковых частях верхней палубы трирема могла иметь выступающую наружу и свисающую над водой площадку – транс. Транс позволил, не увеличивая длину весел, увеличить длину их выноса, и в то же время, не расширяя подводную часть корабля, давал необходимое место для маневрирования воинов во время морских сражений. Он защищал корпус корабля при таранном ударе, а также значительно увеличивал продольную жесткость судна. Другим усовершенствованием триремы явилась сплошная палуба, под которой находился трюм таламос, служащий для хранения различных запасов. В IV в. до н.э. на триерах появилась легкая верхняя палуба – катастрома, защищающая гребцов верхнего ряда от стрел и дротиков и служащая для расположения на ней воинов.

Основным видом движителя у триеры являлись расположенные один над другим в шахматном порядке вдоль каждого борта 3 ряда весел. На верхней палубе на концах транса, идущего вдоль левого и правого бортов, были расположены уключины самых длинных весел верхнего ряда. Это были наиболее тяжелые весла, и каждое из них управлялось одним из высокооплачиваемых гребцов – транитом. Средний ряд весел проходил через отверстие в бортах в тех местах, где кончался транс: веслами этого ряда управляли зигиты, причем они были короче весел верхнего ряда. Самыми короткими веслами нижнего ряда управляли таламиты.

В состав римского флота входили многовесельные пентеры и триремы, вооруженные катапультами. Но именно римская трирема стала основным типом военного корабля Средиземноморья.

Трирема являлась своего рода «золотой серединой», многофункциональным крейсером античного флота (рис. 2.7). По этой причине триремы строились сотнями и представляли собой наиболее распространенный тип универсального боевого корабля Средиземноморья. Являясь самым быстрым и маневренным боевым кораблем, трирема доминировала в Средиземноморье, пока не появились более крупные боевые корабли квадриремы и квинквиремы. Триремы сыграли важную роль в греко-персидских войнах, в становлении морской империи Афин и ее падении в результате Пелопонесской войны.

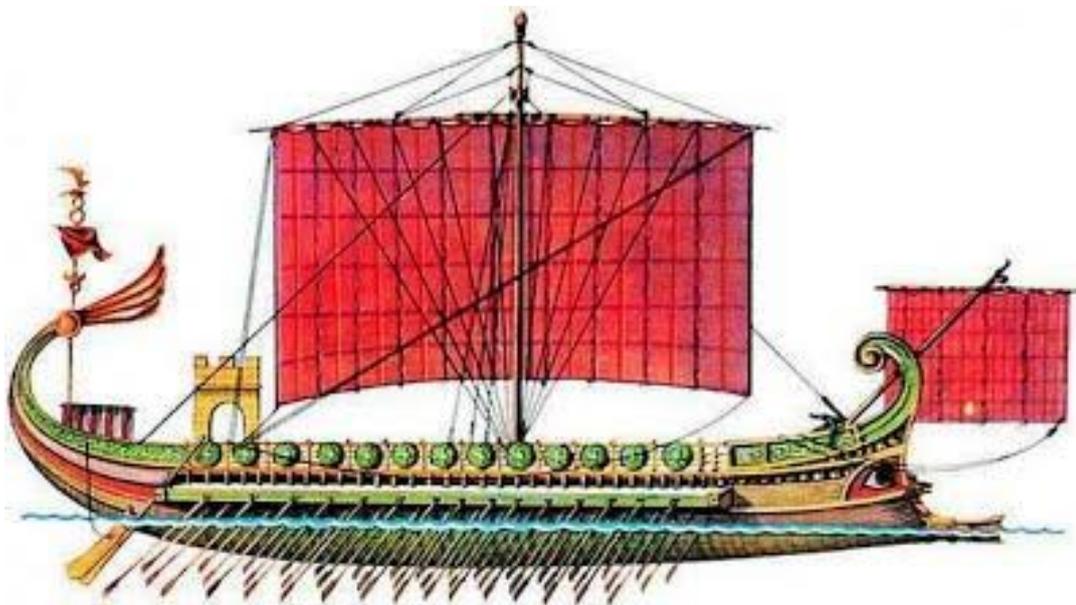


Рис. 2.7. Римская трирема. Финикийское изобретение. II в. до н.э.

Одни исследователи приписывают изобретение триремы финикийцам, другие – коринфянам. Главным оружием триремы был таран – продолжение килевого бруса. Водоизмещение судна достигало 230 т, длина 45 м. Весла на триремах были различной длины. Самые сильные гребцы (траниты) размещались на верхней палубе. Это была высокооплачиваемая и привилегированная часть экипажа. Гребцов среднего яруса называли зигитами, нижнего – таламитами. Командовал кораблем – триерарх, ему подчинялись кормчий и начальник гребцов – гортатор. Скорость хода триремы на веслах составляла 7...8 узлов, но все три яруса весел работали только во время боя. Даже при небольшом волнении весла нижнего яруса втягивали внутрь корабля. Парусное вооружение состояло из большого прямого паруса и малого носовой части судна. Мачты делались съемными и убирались на время боя. В ходе сражения триремы стремились развить максимальный ход, ударить тараном в борт врага, лишить его хода, сломать ему весла и сцепиться для абордажа.

В 1969 году знаменитый норвежский путешественник и ученый Тур Хейердал (П1) построил лодку из папируса, названную «Ра» (длина 17, ширина 5 м), и попытался пересечь Атлантический океан.

Тур Хейердал имел немалые познания относительно тростниковых плотов. Во время пребывания на острове Пасхи в 1956-1957 годах он встретился с одним стариком, который сконструировал ему плот, употребив для этой цели стебли, собранные возле озера, которое образовалось в кратере погасшего вулкана. Стебли были точно такие же, как те, из которых строили плоты на озере Титикака. Вскоре Хейердал убедился, что в центре Африки, на озере Чад, тоже применяются плоты из стеблей папируса. Он внимательно изучал судоходные качества тростниковых лодок на африканских озерах Чад и Тана, затем на Ниле и пришел к выводу, что лодки и плоты из тростника имели немало достоинств, коль скоро применялись в древности [13].

Сейчас папирус почти не растет в Египте. Зато, как узнал Хейердал, он весьма распространен в районе озера Тана в Эфиопии, где достигает высоты 5 м. В связи с этим значительную часть папируса перевезли через Красное море в Суэц, а оттуда в Каир. «Ра» предстояло стать точной копией древнеегипетских плотов, на которых отважные египтяне осуществляли далекие рейсы еще во времена фараонов.

Единственное отличие «Ра» должно было заключаться лишь в больших его размерах.

В феврале 1969 г. началось строительство лодки «Ра» (рис. 2.8). Лодка спроектирована по рисункам и макетам лодок Древнего Египта и построена специалистами с озера Чад из папируса, добытого на озере Тана в Эфиопии. С озера Чад в Египет к подножию пирамиды Хеопса в Гизе доставили 150 м<sup>3</sup> срезанного там папирусного тростника.



Рис. 2.8. Лодка «Ра» из папируса (1969)

С большим усердием и упорством 200000 папирусных стеблей были увязаны канатами из манильской пеньки с добавлением хлопка для прочности. Тростник укладывался в пучки, из которых в свою очередь вязались снопы диаметром до 1,5 м, составлявшие в дальнейшем элементы корпуса будущего плота. Согласно принятому решению длина «Ра» должна была составить 17 м, ширина 5 м, нос и корма должны были круто загибаться кверху - как у «серповидных ладей» на древних рисунках. Всё из папируса, никакой деревянной палубы. Всё подчинено тому, чтобы как можно меньше ограничивать плавучесть и маневренность «Ра».

33 дня трое мастеров вместе с активно помогавшими им 14 египтянами метр за метром сооружали папирусный плот. Чуть ли не каждый день перед строителями возникали все новые проблемы. Наконец, работа окончена. Под пирамидой на сером песке пустыни стоял огромный, золотистый, вызывавший восхищение совершенством своих линий плот «Ра».

Его строители с честью преодолели все трудности, воскресив древнюю технику сооружения папирусных суден. Их детище, весившее 12 т, стало объектом многочисленных экскурсий, гораздо больше интересовавшихся предполагаемой экспедицией, нежели высившимися вокруг «Ра» пирамидами.

В Сафи, куда съехался экипаж, было произведено оснащение плота. Была установлена и укреплена мачта. С её 4 м реи свисал большой, в 48 м<sup>2</sup> пурпурный парус со стилизованным изображением солнца.

По примеру древних моряков Средиземного моря на борт «Ра» было взято 160 глиняных амфор с черносливом, сушеными фруктами, бурдюки с водой, а также

сухари, сделанные по рецепту 5000-летней давности. Что же касается приспособлений, на которых экипаж «Ра» должен был готовить себе еду, то они были самыми современными – газовые плитки.

Если уж говорить о еде, то из расчета трехмесячного плавания её взято было шесть тонн: в частности, соленая и сушеная рыба, копченое мясо, ржаной хлеб, спагетти, вино кьянти, кокосовое молоко, умеренный запас напитков и сигарет. Это был огромный груз, значительно отяготивший плот и отрицательно сказавшийся на скорости и продолжительности рейса «Ра».

Спущенный на воду плот весил более 12 тонн. По расчетам Хейердала, к концу пути вследствие насыщения тростника водой вес этот должен был увеличиться до 20 тонн. Как в античные времена, Ра отбуксировали из порта четыре гребные лодки. Далее на 15 миль от берега его отвел настоящий буксир. Там Ра уловил ветер, наполнивший красный парус.

На 56 день плавания, пройдя 2700 миль, «Ра» встретился с финским траулером «Шенандоа». Плот еще кое-как держался на поверхности. Экипаж переправил на траулер самое ценное снаряжение. А «Ра», невзирая на все, плыл дальше. Но ситуация с каждым днем становилась все хуже. Экипаж получил распоряжение не снимать спасательных жилетов и находиться в постоянной готовности в любой момент покинуть плот. Спустя 57 дней плавания мореплаватели были вынуждены впервые оставить «Ра».

В мае 1970 года разнеслась сенсационная весть: Хейердал снова планирует путешествие на новом папирусном плоту «Ра II», который будет меньших размеров (длина 12, ширина 5 м), зато членов экипажа – больше. Что же касается книги «Экспедиция «Ра», то она готова и выйдет в свет осенью 1970 года, после добавления раздела о рейсе «Ра II».

Только члены экипажа и близкие друзья, в том числе паша города Сафи, знали, что в Марокко начнется строительство «Ра II». На этот раз Хейердал решил пригласить для сооружения «Ра II» мастеров с озера Титикака – южноамериканских индейцев, которые и сейчас используют камышовые лодки для рыболовного промысла. Ведь новый плот должен быть более прочным. Лодки индейцев аймара по виду очень похожи на древнеегипетские, послужившие прообразом для «Ра». Но они применяют иную технику, укрепляя корпус канатами, оплетающими палубу и днище, что обеспечивает большую прочность, чем та, которой обладают лодки с озера Чад.

Хейердал чувствовал себя удовлетворенным, поскольку весь экипаж «Ра» заявил о своем желании принять участие в повторной экспедиции и тем самым решилась одна из наиболее сложных проблем подбора участников рейса. Вскоре четверо индейцев аймара прибыли в Касабланку. В то же время вокруг Африки (поскольку Суэцкий канал был заблокирован) из далекой Эфиопии плыли 12 тонн папирусных стеблей. Они были срезаны возле озера Тана и под маркой «бамбук» стружены в Сафи. Сразу же по прибытии на место назначения они таинственно исчезли, как и индейцы аймара, и лишь посвященные знали, что за глухой стеной, окружавшей Сафийский городской питомник, шла напряженная работа. Так же таинственно исчезли доставленные в Сафи египетская парусина, сплетенная в Италии из лозы каюта, древесина для мачт, руля и весел, разнообразнейшие канаты и многое другое.

В 1970-м году Тур Хейердал доказал, что судоходство между Северной Африкой и Карибским морем возможно древними методами. Используя канарское течение, они проплыли от Марокко до Барбадоса.



### Лодка «Ра-II» (1970)

Эта лодка доработана с учётом опыта предыдущего плавания, и построена мастерами с озера Титикака в Боливии из папируса.

Более подробно о строительстве лодок «Ра» и «Ра II» можно прочитать в книге «Невероятные путешествия» на сайте интернета [13].

В 1977 году Тур Хейердал построил ещё одну тростниковую лодку «Тигрис» (длина 18, ширина 6 м), задачей которой было продемонстрировать, что между Месопотамией и Индской цивилизацией в лице современного Пакистана могли существовать торговые и миграционные контакты.



### Тростниковая лодка «Тигрис» (1977)

Построена в Ираке и отправилась в плавание с международным экипажем на борту через Персидский залив в Пакистан, а оттуда к Красному морю. По прошествии 5 месяцев плавания «Тигрис», сохранявший свои мореходные качества, был сожжён в Джибути 3 апреля 1978 года в знак протеста против войн, разгоревшихся в районе Красного моря и Африканского Рога.

#### *Древние понтонные мосты из композита*

Ассирийцы изготавливали понтонные мосты 1000 лет до н.э., используя плетёные лодки из тростника, пропитанные водостойкими битумами (рис. 2.9). Эти лодки, известные под названием гуфас, используются на Ближнем Востоке и сегодня.



Рис. 2.9. Лодка из тростника для понтонного моста

#### *Древняя лодка в Галилее из композита*

Древняя лодка возрастом в 2000 лет была обнаружена в 1986 года на озере Кинерет (П1), когда в результате длительной засухи воды далеко отступили от берега. Она была погребена под слоем озерных отложений, которые защищали её в течение веков. Исследования показали, что лодка построена способом, применявшимся в древности: сначала из дощечек сбивали корпус, а потом прикрепляли к нему железными гвоздями ребра. Ученые определили 12 пород дерева, применявшегося при её строительстве, то есть лодка представляет собой сложный композитный материал.

Длина лодки 8,2 м, ширина 2,3 м, высота 1,2 м. Судя по ее размерам, лодка плавала с помощью паруса или двух пар весел и использовалась для рыбной ловли и перевозок (рис. 2.10).

Учёные единодушны в определении времени постройки лодки: начало I века н.э. Многие даже допускают мысль о том, что именно эта лодка принадлежала ученикам Христа и он мог ступить на её борт. Правда, единственный аргумент состоит в том, что она вмещала именно 12 человек. Анализ древесины, из которой построена лодка, снова возвращает к сакральному числу 12 пород дерева: *susamog* (платан), *carob* (рожковое дерево), *willow* (ива), *christ aleppo pine* (сосна алепская), *judas tree* (багряник стручковатый), *hawthorn* (боярышник), *plane tree* (платан), *cedar* (кедр), *atlantic terbinth* (терпентин), *tabor oak* (дуб Фаворский), *thorn* (лавр), *laubel* (кипарис).

Консервировалась лодка 14 лет. Процесс включал пропитку дерева синтетическим воском и постепенную сушку, исключая коробление и разрушение материала.



Рис. 2.10. Лодка времён Христа из композитного материала

В феврале 2000 года древняя лодка была установлена в специальном зале музея «Человек в Галилее» имени Игаля Алона (центр Игаля Алона, музей лодки Иисуса, Израиль), как часть постоянной экспозиции музея.

### 2.3. Использование композита в саркофагах и мумиях

Типичным примером использования композитов в древнем мире являются египетские саркофаги и мумии, при изготовлении которых использовались шпон и ткани, пропитанные древесными смолами.

Если внимательно проанализировать искусство мумифицирования, распространённое в Древнем Египте 2500 лет до н.э., то в его основе лежит способ получения композита. В самом деле, тело после соответствующей обработки обматывали лентой из кусков ткани или папируса (наполнитель) и пропитывали природной смолой (основа) с образованием жесткого кокона.

Изготовление мумий в Древнем Египте можно считать первым примером использования метода ленточной намотки при получении композита (рис. 2.11).



Рис. 2.11. Мумия

Мумифицирование занимало в общей сложности 70 дней. Сначала в боку тела делали разрез, чтобы извлечь внутренности – кишки, легкие, печень и желудок. Их бальзамировали отдельно и помещали в канопы (это тип древнего, как правило антропоморфного, сосуда из камня или глины, использовавшегося при погребении). Сердце возвращали в тело, поскольку египтяне считали, что его будут взвешивать боги на загробном суде. Затем мастера бальзамирования обкладывали тело натром (соль и пищевая сода). Будучи консервантом, он вытягивал влагу из кожи и всего тела. По прошествии 35...40 дней тело полностью высыхало. Затем его наполняли льном, опилками, смолой и натром, с тем чтобы оно вернулось к прежней форме, и разрез в боку зашивали. Теперь все тело от макушки до пят оборачивали лентами в несколько слоев. Драгоценности и амулеты (обереги) помещались между слоями ткани, чтобы защитить человека в загробной жизни, и каждый такой слой также пропитывался маслами, смолами и благовониями. В конце концов на голову мумии надевалась маска. Это делал главный бальзамировщик в маске шакала, олицетворявшего Анубиса – бога бальзамирования. Наконец мумия была готова к помещению в саркофаг.

Процесс бальзамирования подробно описан в папирусах Древнего Египта. После проведения необходимых мероприятий по сохранению тела совершалась сложная, но чрезвычайно важная процедура придания покойному внешнего сходства с живым человеком – ведь египтяне верили в загробную жизнь и старались подготовить к ней усопшего должным образом.

С течением времени масла и смолы, пропитывавшие ткань, становились вязкими и густыми, как деготь. Египтяне называли мумии «саху», нынешнее наименование «мумия» («горная смола») восходит к греческой форме арабского слова «битум» – «лекарственная смола».

Древние египтяне этим ритуалом намеревались обеспечить переход человека к богам, сообщает египтолог отделения культуры и восточных языков в Университете Осло Андерс Беттум. «Гробницы и другие формы захоронительных приспособлений – это технологии, которые возникают в различных культурах одновременно. Все знают древнюю египетскую практику мумифицирования мертвых. А вот то, что они хоронили свои мумии в нескольких «слоях»-гробницах, – менее известный факт», говорит египтолог Андерс Беттум.

Египетскую знать хоронили в нескольких гробницах (одна в одной), число их могло достигать до восьми [14].



### Гробницы для мумий

Фараон Тутанхамон, правивший в 1334-24 гг. до н.э. и умерший в возрасте 19 лет, был захоронен в 8 гробницах.

Бальзамирование предохраняло тела от гниения. Египтяне совершенствовали эту технологию на протяжении столетий. Выполнение всех предписаний делало процесс мумификации долгим и трудоемким, однако результат того стоил. Многие из мумий Нового царства до сих пор находятся в удивительно хорошем состоянии. Позднее качество мумификации упало, но сама традиция сохранялась до Птолемеевских времен (династия правителей Египта в IV-I веках до н.э. в эпоху эллинизма).

В XIX в. мумии очень часто разворачивали, чтобы их изучить. Потом было признано, что это для них вредно. Теперь, когда ученые хотят исследовать мумию, они помещают её в магнитно-резонансный томограф, который показывает строение костей и ткани мумии. Также на исследование берутся крохотные кусочки мумифицированного тела, их ДНК анализируют и прочитывают закодированную генетическую информацию. Например, анализ ДНК показал, что Тутанхамон и тело, найденное в гробнице, несомненно связаны родственными узами.

Египтяне старались сделать могилы недоступными для живых – заваливали входы в подземные усыпальницы тоннами щебня и камней, создавали ложные ходы, а настоящие тщательно маскировали, устраивали смертельные ловушки. Надписи на гробницах грозили любопытным страшной гибелью и лишением загробной жизни - «тела их не дождутся упокоения, кары падут на потомков». И порой, если преступники умели читать, это помогало.

## 2.4. Древнее оружие из композита

### 2.4.1. Древние композитные луки

Первый шаг на пути совершенствования лука был сделан, когда луки стали делать не из одного, а из нескольких кусков дерева, соединенных в середине под некоторым небольшим углом и усиленных в определенных местах накладками из различных материалов. Сила боя из такого лука зависела от его величины и прочности центральной части. Такой лук получил название составной или сложный, т.е. это и есть композитный лук.

Композитные луки даже при меньших размерах обладали значительно лучшими боевыми качествами. Композитные луки делаются, как минимум, из трёх различных материалов и сгибаются обычно в направлении, противоположном тому, в котором они находятся в не натянутом состоянии.

В древности в Западной Азии и Китае луки делали из композитных материалов на основе слоистой древесины или древесины и слоёв рога, изобретение которых приписывают азиатским кочевникам. Это оружие ближнего боя, но с достаточно большим радиусом действия.

Впервые широкое распространение лук получил в Египте. Здесь он был важнейшим оружием, широко применявшимся на войне в течение всей египетской истории. Неудивительно, что метательное оружие, опыт в обращении с которым легко было приобрести на охоте, первое время сохраняло ведущую роль и на поле боя. Египетские луки часто превышали 1,5 м и при применении соответствующих пород дерева были достаточно мощным оружием.



#### Древнеегипетский лук

Армия Древнего Египта в III тысячелетии до н.э. состояла из лучников, пращников и метателей бумерангов.

Египетского фараона Тутанхамона в гробнице сопровождала коллекция луков из 46 штук.

Лук и стрела, важнейшее оружие дальнего боя и промысловой охоты, чрезвычайно широко употреблялись в Древней Руси. Практически все более или менее значительные битвы не обходились без лучников и начинались с перестрелки. Византийский историк X в. Лев Диакон отмечал огромную роль лучников в войске киевского князя Святослава Игоревича (князь новгородский, князь киевский с 945 по 972 год).

Конструкция и составные части древнерусского композитного лука, как и луков соседних народов Восточной Европы, выяснена по археологическим материалам довольно хорошо.

Составные части древнерусского лука, как и у арабов, турок, татар и других восточных народов, имели специальные названия: середина лука называлась рукоятью, длинные упругие части по обе стороны от нее – рогами или плечами лука, а завершения с вырезами для петель тетивы – концами. Сторону лука, обращенную

к цели во время стрельбы, называли спинкой, а обращенную к стрелку – внутренней стороной (или животом, как у арабов). Места стыков отдельных деталей (основы с концами, накладок рукояти с плечами и т. д.) скрепляли обмоткой сухожильными нитями и называли плечами. Тетива для луков свивалась из растительных волокон, шелковой нити и сыромятной кожи.

Еще в XIII веке монгольские воины использовали уникальную технологию изготовления луков из сухожилий волов, рогов, бамбуковых стеблей, шелка и смолы сосны, причем их прочность лишь на 20 % уступает современным аналогам. Монголы создали свой первый композиционный лук, используя такие материалы, как древесина, кость и животный клей. Монгольский лук делали обычно из нескольких слоев древесины, в основном это была береза, которые склеивали с помощью животного клея. Роговые накладки находятся на внутренней стороне лука, закрепленные жилами.

Сила средневековых простых луков была от 20 до 40 кг (последняя цифра соответствовала длинным английским или варяжским лукам) и до 80 кг у композитных (у арабов, турок, русских и других народов). Мощнее их только современные блочные луки. Именно поэтому лучники, использовавшие простые луки тянули тетиву к уху, а те, кто применял композитные луки к груди. При этом каждый лучник выбирал лук по своим силам, как и определял длину стрелы по своему росту и длине рук.

При стрельбе из лука широко использовались приспособления, предохраняющие руки лучника от повреждений: перчатки и наплечники, щитки для запястья левой руки и костяные или роговые кольца для указательного пальца правой руки.

Для удобства и сохранности лук носили подвешенным к поясу или на ремне через плечо в специальном футляре – налучье. Стрелы носили в отдельном футляре – колчане, оперением кверху, обычно до 20 стрел на колчан.

На Руси стрелы обычно изготавливали из сосны, ели, березы. Длина их колебалась чаще всего в пределах 75...90 см, толщина – 7...10 мм. Поверхность древка стрелы должна быть ровной и гладкой, иначе стрелок серьезно поранит руку. Древки обрабатывались с помощью костяных ножевых стругов и шлифовались брусками из песчаника.

Оперение стрелы чаще всего выполняли в два пера. Перья подбирали так, чтобы их естественный изгиб был направлен в одну сторону и придавал стреле вращение, тогда она летела устойчивее.

На территории Руси подобный лук был известен уже в I тысячелетии до н.э. Материалом для их изготовления служили рог, вареные сухожилия крупных животных и дерево твердых пород – можжевельника, березы, ясеня, дуба. Эти заготовки склеивали клеем из рыбьей чешуи и помещали под пресс. Потом собранный вчерне лук для лучшей сохранности оклеивали берестой, тонкой кожей или пергаментом, покрывали лаком. Форма композитного лука с натянутой тетивой напоминает букву М с плавными перегибами. Именно такими изображаются древнерусские луки на всех памятниках искусства. Древние художники изображали с композитными луками и воинов, и охотников. Дальность стрельбы из такого лука достигала 300 м, при стрельбе с лошади увеличивалась на 50...60 м, прицельная дальность стрельбы составляла порядка 100 м. Но подобный лук стоил очень дорого, да и на его производство требовалось не менее двух лет.

Применялись на Руси и простые луки. При археологических раскопках в Новгороде, Старой Руссе и других городах найдено много деревянных простых луков до метра, а иногда до 130 см длиной. Чаще всего они делались из упругого можжевельника. Нередко им придавалась форма композитных луков. Это были детские игрушечные луки. Их найдено много потому, что обучение стрельбе из лука начиналось с детских игр. Стрельба из лука была сложным делом, требовавшим длительного обучения.

В Новгороде в 1953 г. в слое второй половины XII в. впервые был найден большой обломок древнерусского композитного лука. Лук был склеен из двух прекрасно оструганных длинных планок различных пород дерева (можжевельника и березы) и винтообразно оклеен тонкими полосками бересты для предохранения от сырости. Лук обуглен в месте рукояти, а концы его не сохранились. Пролежав 800 лет в земле, лук сохранил способность вибрировать. Длина сохранившейся части лука 79,5 см, ширина рога в середине 3,4 см, а у конца - 2,7 см, толщина от 5 мм у конца лука до 9,5 мм в середине плеча. В разрезе лук имеет вид уплощенного овала. Внутренняя поверхность планки плоская, на ней имеются три продольных желобка (1,5 мм шириной и около 1 мм глубиной) для более прочной склейки с подобной же по форме березовой планкой. Внешняя поверхность планки округлая. Около рукояти лука она обгорела, а у не сохранившегося конца лука имеет слегка скошенный поперечный срез (торец), к которому примыкал деревянный конец лука. Подобную же форму имела и березовая планка, но она сохранилась хуже, в двух обломках, один из которых, ближе к рукояти лука, до сих пор очень прочно склеен с можжевелевой планкой. Березовая планка располагалась по спинке лука. Длина двух ее обломков 58 см, ширина от 2,3 см, а у рукояти до 2,7 см у конца, толщина 6...7 мм. На внутренней плоской поверхности березовой планки желобков для склейки нет. Внешняя поверхность планки шероховатая, на ней сохранились следы клея. В разрезе планка также сегментовидная. Берестяная оклейка лука хорошо сохранилась. Длина полосок бересты около 30 см, ширина 3,5 см, толщина около 0,5 мм. Во время винтообразной оклейки лука край берестяной ленты шириной 8 мм нахлестывался и перекрывался следующим витком. Этот лук был усилен сухожилиями, которые наклеивались на спинку лука. Но они не сохранились. Концы сухожильных нитей закреплялись у рукояти и у концов лука. Эластичный и очень прочный рыбий клей не препятствовал сокращению сухожилий при снятой тетиве. Без тетивы концы композитного лука загибались во внешнюю сторону. Судя по зазору между березовой планкой и берестяной оклейкой, слой сухожилий на этом луке имел толщину от 2 до 3 мм. Однако на Руси с IX по XIV в. имели широкое распространение и более сложные по конструкции луки. Об этом свидетельствуют многочисленные находки комплектов костяных и роговых накладок от рукояти композитных луков.

На Руси с IX по XIV в. имели широкое распространение и более сложные по конструкции луки. Об этом свидетельствуют многочисленные находки комплектов костяных и роговых накладок от рукояти композитных луков. На Руси делались луки, которые были пригодны для использования в любую погоду - и в жару, и в дождь, и в мороз. Что, например не могли себе позволить ни ландскнехты крестоносцев, ни ордынцы, их оружие не могло стрелять из-за мороза или в дождь.

Тетива для луков свивалась из волокнистых растений, шелковых нитей, из сыромятной кожи животных, а иногда и женских волос. Тетива в виде тонкой

веревки, шнура или перекрученного ремешка стягивала концы лука. Тетива обычно одной стороной крепилась к луку, а другая имела петлю, которая перед применением взводилась на подзор. Для хранения, удобства ношения и для сохранения от сырости и повреждений луки помещали в специальных кожаных футлярах – налучьях, подвешивавшихся к поясу или на ремне через плечо. Стрелковое оружие очень боялось сырости. Особенно тетива. Поэтому лук всегда хранили, сняв тетиву с подзора, и обязательно положив лук в налучье. А в боевое положение приводили только непосредственно перед применением.

Страной, где простой, но длинный тисовый лук распространился очень широко, стала Англия. Английские лучники были вооружены луком – longbow, длина которого была порядка 1,6...2 м, длина стрелы – от 0,915 м до 1,5 м, дальность полета легкой стрелы до 210 м, тяжелой стрелы до 140 м, прицельная дальность – до 90 м. Простые европейские луки делались из тиса, ясеня, вяза. Иногда луки оснащались усиливающими накладками из льна, кожи и сухожилий. Скорострельность лука была очень высокой. Английские лучники выпускали в минуту 10...12 стрел, а знаменитые в то время гемуэзские арбалетчики – только четыре стрелы. При стрельбе из лука одно ранение из 4 обычно приходилось в голову.

При стрельбе из лука широко применялись приспособления, предохранявшие руки лучника от повреждений. Это перчатки и наплечники, щитки для запястья левой руки и костяные (роговые) кольца для указательного пальца правой руки. Тренированные лучники воины обходились и без этих приспособлений. Установив стрелу на тетиву, лучник поднимал лук, одновременно натягивая его, пока стрела не достигала линии прицеливания. Затем он посылал стрелу в цель. Занимая позицию, лучник втыкал в землю вокруг несколько стрел, и в дальнейшем полностью зависел от проворства подносчиков. Длинных английских стрел невозможно было носить с собой много. Уже пара-тройка десятков таких снарядов становился похожим на вязанку хвороста.

Восточные луки того же периода были составные – деревянно-роговые. И они послужили основой для создания уже более сложных и мощных композитных луков. К этому же типу относятся китайские луки с их сигмообразной формой, с особо крупным и особо загнутым верхним рогом, который снабжался накладкой из нефрита. Эти крупные (до 140 см длиной) и мощные луки, без особых изменений изготавливались и применялись в Китае с I тысячелетия до н.э.

Английские большие луки, которые принесли победу при Креси (1346) и Азенкуре (1415), почти всегда делались из тиса. Сегодня тисовая древесина не имеет большого промышленного значения, а потому до недавнего времени ей не уделяли внимания в научных исследованиях. Однако учёный, занимающийся изучением оружия прошлых веков, установил, что микроскопическое строение древесины тиса заметно отличается от строения других пород, она представляется нам наиболее способной запасать упругую энергию. Поэтому тис, вероятно, особенно подходит для изготовления луков.

Вопреки распространенному мнению, английские большие луки, как правило, делались не из английского тисового дерева, а из испанского тиса, и по существовавшему в то время закону каждая ввозимая партия испанского вина должна была сопровождаться партией испанских заготовок для луков. Как известно,

тисовое дерево хорошо произрастает не только в Испании, но и по всему району Средиземноморья. Так, буйные заросли тиса покрывают сегодня руины Помпеи. Однако свидетельств об использовании тисовых луков в Испании и странах Средиземноморья как в древности, так и в Средние века почти не встречается. Они были приняты почти исключительно в Англии, Франции и отчасти в Германии и Нидерландах. Опустошения, производимые англичанами, обычно доходили до районов Бургундии и вряд ли когда-либо распространялись южнее Альп или Пиренеев.

Этим объясняется тот факт, что в этих странах получила распространение конструкция так называемого композиционного лука. Такой лук имел деревянную сердцевину, толщина которой составляла около половины толщины лука и которая подвергалась лишь небольшим напряжениям. К этой сердцевине приклеивались внешний слой из высушенных сухожилий, подвергающийся растяжению, и сделанный из рога внутренний слой, подвергающийся сжатию. Оба этих материала превосходят тис способностью запасать упругую энергию. Лучше тиса они сохраняли и свои механические свойства в жаркую погоду - ведь температура животного около 37°C. На практике высушенные сухожилия сохраняют свои свойства до температуры 55 °С, но теряют их в сырую погоду.

Древние изготовители луков в Восточной и Западной Азии использовали не только сухожилия животных. Некоторые мастера, очевидно, знали, что в природе существуют другие материалы, прочнее, чем дерево. Они создали самый сложный по конструкции лук, для изготовления которого требовалось большое искусство. Этот композитный или составной лук – удивительное проявление изобретательности в механике. Судя по его названию, он состоит из нескольких различных материалов. В своей классической форме – это деревянная сердцевина, к внешней стороне которой приклеены сухожилия, а к внутренней – роговые пластины (обычно из рогов буйвола). Современные мастера называют такой лук по-разному: сложный, слоеный, или усиленный. Здесь используется термин составной лук для того, чтобы показать, что в этом тщательно разработанном луке применены различные материалы: древесина, роговые пластины и сухожилия [15].

В составном луке разумно используются свойства материалов, из которых он изготовлен. Сухожилия на спинке лука испытывают растягивающее напряжение. Роговые пластины, имеющие максимальный предел прочности около 13 кг/мм<sup>2</sup> (вдвое больше, чем твердая древесина), предназначены для работы на сжатие. Роговые пластины также имеют высокий коэффициент упругого восстановления или способность приобретать первоначальную форму после снятия нагрузки. Благодаря гибкости этих материалов короткие, легкие, упругие плечи лука способны накапливать при натяжении большое количество энергии. Кроме того, гибкие плечи составного лука дают возможность значительно увеличить длину натяжения тетивы, не увеличивая общую длину оружия. Сочетание большой длины натяжения и коротких плеч позволяет выстреливать стрелу из составного лука с большей скоростью и на большую дальность, чем из деревянного простого лука с такой же силой натяжения. Наши испытания показали, что точная копия составного лука с силой натяжения 27 кг должна выпускать аналогичную стрелу с такой же скоростью, как и копия средневекового тисового длинного лука с силой натяжения 36 кг (около 50 м/с).

Одним из древнейших сохранившихся образцов составных луков является западноазиатский «угловой лук», появившийся в 3 тысячелетии до н.э. Этот лук образует тупоугольный треугольник при надетой тетиве и полукруг при полном ее натяжении. Изображения таких луков имеются на печатях из Месопотамии, росписях в египетских гробницах и ассирийских монументальных рельефах. По всей видимости, такая конструкция применялась в течение примерно двух тысяч лет – с 2400 до 600 г. до н. э.

Помимо художественных изображений археологи получили многочисленные образцы составных угловых луков из египетских захоронений. В 1922 г. в гробнице Тутанхамона обнаружили наиболее известные экземпляры. Там находилось 32 составных угловых лука, 14 деревянных простых луков и 430 стрел, а также колчаны и чехлы для луков (налучи).

На рис. 2.12 показан составной лук XI века, изготовленный в Индии и предназначенный для охоты и соревнований в стрельбе на дальность полета стрелы. Лук сделан из дерева, сухожилий и роговых пластин и покрыт тонким слоем искусно раскрашенной коры. Такое сочетание материалов делает оружие более мощным, чем средневековый длинный лук.

Комбинированные луки использовались в Турции и ряде других мест до сравнительно недавнего времени. Лорд Абердин писал в 1813 г. по пути на Венский конгресс об использовании против отступающих по Восточной Европе наполеоновских армий татарских войсковых частей, вооруженных, по-видимому, подобными луками. Очевидно, комбинированные луки были во многих отношениях лучше английского большого лука, но последний был дешевле и проще в изготовлении. Луки древних греков тоже были комбинированными, так что сделать лук Одиссея или Филоктета <sup>3</sup> требовало незаурядного мастерства.

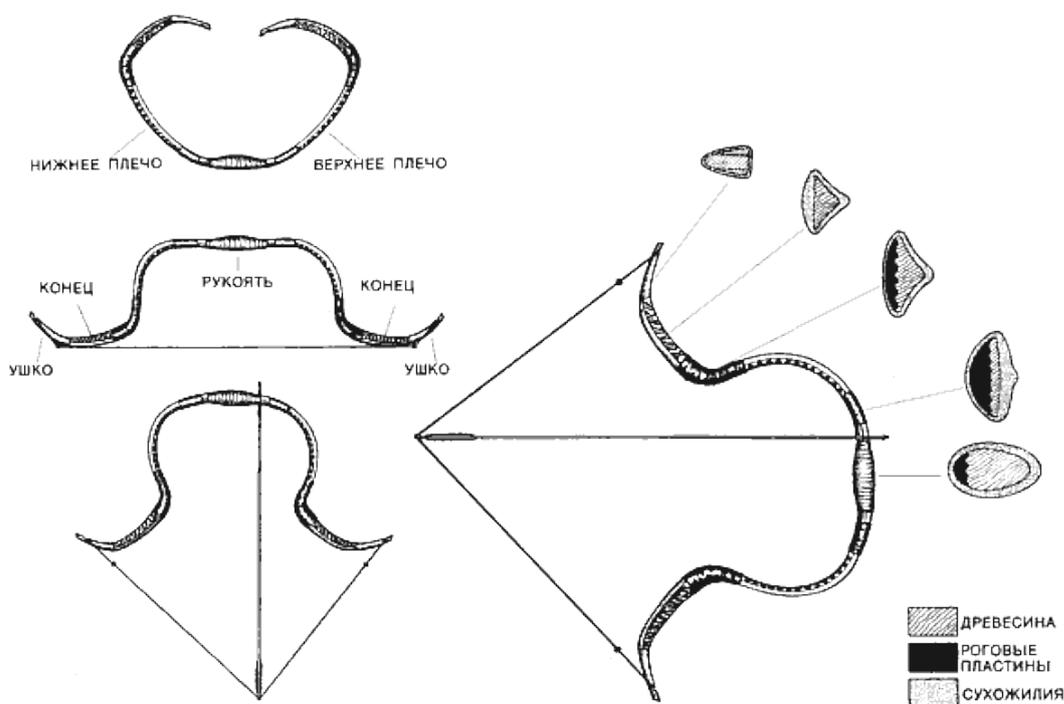


Рис. 2.12. Составной лук XI века, изготовленный в Индии

## 2.4.2. Оружие из дамаска и булата

Русский булат, индийский вутц, дамасская сталь – легендарные композиты прошлого. Такие композиты состоят из высокоуглеродистых железных волокон в низкоуглеродистой железной матрице эвтектоидного или близкого к нему состава

Булат является первым созданным человеком композитом, определение которого строится с привлечением понятий «волокно» и «матрица». Булат – это КМ на основе системы железо-углерод, содержащий сверхуглеродистые макроволокна, переплетенные и сглаженные прослойками матрицы примерно эвтектоидного состава, в совокупности образующие неравновесную структуру. Булат – прямой предшественник современных КМ.

Первые упоминания о булате встречаются ещё у Аристотеля (384-322 гг. до н.э.; древнегреческий философ, воспитатель Александра Македонского), которое использовалось для изготовления холодного оружия – клинков мечей, сабель, кинжалов, ножей и др.

Впервые Европа познакомилась с булатом при столкновении армии Александра Македонского (356-323 гг. до н.э.) с войском индийского царя Пора в битве на реке Гидасп (приток Инда) в июле 326 до н.э.

Внешне булат отличается наличием беспорядочного узора, который получается при кристаллизации. На него, как на одно из отличий от сварочного дамаска, где узор получается закономерным, указывал ещё Аль-Бируни (П1).

### *Оружие из дамасской стали*

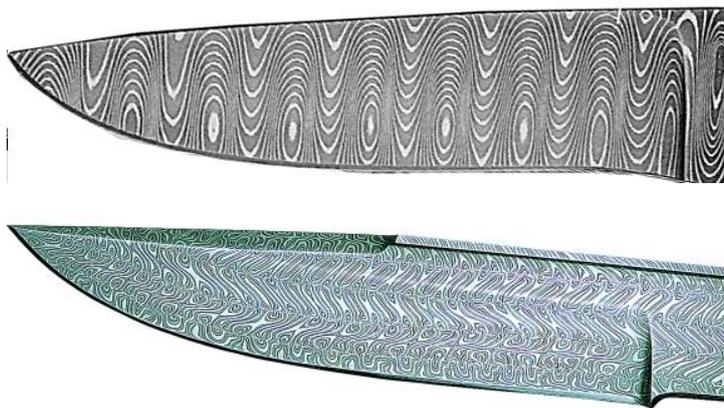
Уже в III веке до н.э. согласно археологическим находкам европейские кельты (племена индоевропейского происхождения) изготавливали сварные дамаски.

Согласно современным данным, ещё за 300 лет до н.э. дамасская сталь изготавливалась мастерами на юге и в центре Индии. Сырьём для изготовления была особая булатная сталь, называемая «вутц» (wootz) или «вуц», получаемая из специальной железной руды, которая как раз и добывалась в центральной и южной части древней Индии и Шри Ланки.

С VIII в. и до начала XVIII в. н.э. дамасские сабли и кинжалы ковались на Ближнем Востоке и в Индии из булатной стали. Клинки славились своей исключительной прочностью, небывалой остротой и витиеватой структурой поверхности. Такой клинок мог рассекать надвое упавший на острие лоскут шелка. Однако технология их изготовления была утрачена.

Известно, что ещё в Древний Рим привозили хорошую сталь (феррум индикум) для мечей именно от тамиллов (народ в Южной Азии; проживает в Индии, Шри-Ланке и др.) с юга Индии или Цейлона.

Очень твердое стальное лезвие как бритва разрезало волос на лету. Древние индийские ремесленники использовали нанотехнологии при изготовлении своих клинков из легендарной дамасской стали, но даже и не догадывались об этом.



Дамаскская сталь – вид стали с видимыми неоднородностями на стальной поверхности, чаще всего в виде узоров, получаемых различными способами.

Различается два рода стали, которые именуются общим термином «дамаск»: сварочный дамаск (при многократной перековке стального пакета, состоящего из сталей с различным содержанием углерода) и рафинированные стали.

Дамасские клинки использовались в период крестовых походов для того, чтобы запугать «крестоносцев» (крестовые походы – серия религиозных военных походов в XI-XV вв. из Западной Европы против мусульман. В узком смысле – походы 1096-1291 гг. в Палестину, направленные на «освобождение» в первую очередь Иерусалима, против турок-сельджуков).

Во время крестовых походов европейцы столкнулись с лезвиями из дамасской стали, обладающими уникальными свойствами. У них был на поверхности характерный волнистый узор – его по названию плетения ткани называли дамаск, необычные механические свойства (гибкость и твердость) и острое лезвие. Европейские оружейники не умели делать такие клинки.

Писатель Вальтер Скотт (1771-1832; шотландский писатель, поэт, историк, адвокат; основоположник жанра исторического романа) в своей книге «Талисман» (1825) описал сцену битвы между британским рыцарем Ричардом Львиное сердце и сарацином Саладин, происходившей в конце третьего Крестового похода (октябрь 1192 г.). Ричард пользовался британским мечом, блестящим, как солнце, у Саладина была кривая турецкая сабля тускло-голубоватого цвета, украшенная десятками миллионов извилистых линий, которые были ничем иным, как мельчайшими углеродными наночастицами, которые и придавали такую прочность мечам из дамасской стали.

Про булат говорят, что секрет его давно утерян. Однако, в одном лишь 1906 году и только в одном бельгийском городе Льеже было произведено 850 т узорчатой стали нескольких десятков сортов. Она предназначалась лишь для изготовления стволов охотничьих ружей, а в те же времена клинки из узорчатой стали по всей Европе ковались уже буквально поштучно и по особым заказам.

Что же такое булат и узорчатые стали вообще, как различаются их сорта, в чем сходство и отличия технологий, по которым они изготавливались?

Называли узорчатый металл в разные времена и в разных странах по-разному. Употребляются названия «вутц», «булат», «дамаск», «дамасская сталь», «булатная сталь», «сварочная сталь», «рафинированная сталь», «дендритная сталь», а также «красное», «белое» и «многосуточное железо». Встречаются термины «красный булат», «синий булат», «ликвационный булат», «сварочный булат», «микробулат», «порочковый булат» и, в противовес «ложному», какой-то «настоящий булат». Есть еще и «настоящий дамаск».

Наиболее известны и популярны названия «вутц», «булат» и «дамаск». «Вутцем» в Англии называли слитки клинковой стали, которые привозили для исследований из Индии. Впервые этот термин появился в печати в 1795 году в сообщении Английской Королевской академии об индийской стали. В последнее время слово «wootz» понимают, как английскую транскрипцию дравидских (не индоевропейских) слов ukko или hookoo, используемых для обозначения стали в центральных и южных районах Индии.

Название «булат» имеет не менее древнее происхождение и произошло от индо-иранского «пулад», которое обозначает просто литую сталь. На современном официальном языке Индии хинди «paulad» имеет значение стали. Частица «пу-» в древнеиндийском языке санскрите имеет значение «очищение, чистка», а в индоарийских диалектах существует слово для обозначения железа - «лауха». Если допустить родство названия литой тигельной стали «пулад» и древнего индоарийского термина «пу-лауха», то можно принять перевод слова «пулад» как «очищенное железо».

От чего такого должно быть очищено железо, чтобы стать клинковой сталью? Ответ несколько парадоксальный – от слабости. Мягкое железо на Востоке в древности называли «женским», т.е. слабым и, в некотором смысле, нечистым. Лишь переплавив его в смеси с особыми веществами можно было придать ему твердость и упругость, сделать его сильным, пригодным для изготовления клинков.

Булат производили в Индии, в Средней Азии и в Иране под названиями табан, хорасан, фаранд. Аль-Бируни приводил некоторые сведения о его производстве: «Второй сорт получается, когда в тигле указанные вещества плавятся неодинаково и между ними не происходит совершенного смешения. Отдельные частицы их располагаются вперемешку, но при этом каждая из них видна по особому оттенку. Называется это фаранд. В мечях, которые их (два оттенка) соединяют, он высоко ценится».

На Руси были знакомы с восточным булатом и изделиями из него, есть также сведения о закупке булата для производства оружия. Для его классификации использовались такие термины, как красный и синий булат, красное железо. В России литой булат, аналогичный старинным восточным образцам, был получен на Златоустовском заводе под руководством русского горного инженера, начальника Златоустовских заводов генерала-майора Павла Петровича Аносова. Аносов начал заниматься булатом в 1828 г. по поручению Горного ведомства. После огромного числа опытов были получены образцы булатных клинков и слитки булатной стали. В отчётах Аносова описываются и воспроизведённые им способы получения классической кованой дамасской стали, но делается вывод о том, что это нетехнологично.

В 1839 г. оружие и другие изделия из русского булата демонстрировались в Санкт-Петербурге, в 1841 году работа П.П. Аносова «О булатах» была представлена на Демидовскую премию.

Булат – собирательное название для твёрдых и вязких сплавов железа и углерода. Химически булат отличается от стали количественным содержанием углерода. По этому показателю булат близок к чугунам. Но физически он сохраняет ковкость низкоуглеродистых сталей и ощутимо превосходит последние по твёрдости после закалки. Такие свойства больше связаны со структурой металла, нежели с химическим составом (по аналогии с чистым без примесей графитом и

алмазом, у которых химический состав идентичен, но физические свойства различны). Таким образом, один только химический анализ не позволяет определить отношение металла к булатам. Булат требует отличных от стали способов обработки (ковки, закалки) и может быть повреждён неправильной термической обработкой, обратившись обычной сталью или нековким чугуном. Тем не менее булат может быть доведён до расплавления и после остывания остаться булатом, или, как в случае с дамаском, может быть многократно прокован и сварен кузнечной сваркой сам с собой или с другими булатами и сталями. Из множества сталей (но далеко не из всех) может быть получен булат практически без изменения химического состава исходного материала, но способность сплава приобрести в процессе кристаллизации характерную для булатов структуру сильно зависит от лигатуры сплава и булаты не получаются из высоколегированных сталей, а из легированных, если получаются, то только низшие сорта булатов.

Массовое сознание до сих пор настолько пропитано мифами о булате, что еще несколько лет назад обыватели любым узорчатым ножом тут же начинали рубить гвозди или пытались согнуть его дугой. Это ожидание сверхъестественных свойств очень живуче, поскольку еще златоустовский учёный П.П. Аносов сообщал, что в его время «...под словом булат каждый россиянин понимает металл более твердый и острый, чем обычная сталь». И великий русский металлург Д.К. Чернов говорил, что «...самая лучшая сталь, которая когда-либо, где-либо производилась, есть, без сомнения, булат».

Хотя некоторые современные материалы превосходят булат по отдельным параметрам, по совокупности свойств нет ни одного современного искусственного материала совмещающего одновременно гибкость и прочность, поэтому до сих пор сохранились немногочисленные энтузиасты, владеющие искусством его приготовления и обработки. Индийский вутц для проверки сворачивался как пояс вокруг бедер, и после подобного длительного сгиба возвращался в исходное, не изогнутое положение без вреда для прочности.

В СССР также проводились эксперименты с булатом, описанные Ю.Г. Гуревичем. Советский способ заключался в том, что железо или малоуглеродистую сталь расплавляли в индукционной печи, нагревали до 1650°C, раскисляли кремнием и алюминием, после чего добавляли углерод в виде графита. В результате получали чугун с 3...4% содержанием углерода. После эта жидкость немного охлаждалась и в неё порциями подавалась стружка из малоуглеродистой стали или железа, в сумме 50...70% от массы чугуна. Готовый к отливке расплав находится в кашицеобразном состоянии – в нём взвешены эти частицы. При кристаллизации получался булат с высокоуглеродистой матрицей, в которую вкраплены низкоуглеродистые частицы. Эти частицы науглероживались только снаружи, а внутри сохраняли небольшое содержание углерода (от 0,03 до 1%, в зависимости от способа охлаждения). Среднее же содержание углерода в матрице составляло около 1,5%. Для придания дополнительных свойств могут быть добавлены легирующие элементы (например, никель и хром придают булату коррозионную стойкость). Для получения цветастых булатов обычный булат окислялся при 200...400 °С, что в результате давало сиреневые узоры на фоне золотистой матрицы.

Другое очень популярное название «дамаск», отражает внешний вид поверхности клинков и произошло от «дамаст» - «волнистый, струйчатый». Узорчатые металлы со струйчатыми видами узоров издревле называли «дамаском»

или «дамасской сталью» из-за схожести по узору с издавна производимой в Дамаске литой сталью особого сорта.

Таким образом, изначально «дамаском» именовалась именно сирийская литая сталь, а лишь затем это название перешло и на другие разновидности узорчатой стали. В 19-м веке особо дотошные исследователи довольно долго препирались на эту тему, вводя термины «настоящий» дамаск и «ложный», но потом сами запутались и, в общем, договорились не особо вдаваться в нюансы.

Действительно, «определить» - значит «ограничить». На нашем несовершенном языке можно дать жесткое определение вещи, лишь посмотрев на нее с какой-нибудь одной стороны – исторической (старинный булат), этнографической (индийский, иранский булат), описательной (струйчатый, коленчатый булат), технологической (литой или сварочный). Впрочем, знатоки в разговорах между собой не особо связывают себя столь узкой точкой зрения.

Сегодня в России и во всем мире утвердилась классификация узорчатых сталей по способу их получения, где наиболее известны две большие группы.

Первая группа объединяет технологии производства, основанные на тигельной плавке, при которой проявляющаяся в виде узора неоднородность металла образуется из-за особой кристаллизации высокоуглеродистого расплава. Так получают классические «булаты».

Вторую группу составляют способы, основанные на соединении изначально разнородных стальных пластин кузнечной сваркой. Так изготавливают разнообразнейшие «дамаски».

Таким образом, говоря «дамаск» подразумевают сварочный металл, а говоря «булат» - литой.

Впрочем, нельзя исключить и третью, промежуточную группу, которая образуется, когда расплавляется лишь часть из составляющих, а другая остается твердой или, если угодно, одна часть остается твердой, а другая расплавляется. К таким довольно архаичным клинковым материалам относятся ирано-арабский «фаранд», китайское «многосуточное железо», японская «тамахагене», общевосточный «сварочный булат».

Тиглевые булаты, где узоры появляются за счёт образования крупных карбидов как результат высокого содержания углерода и методов медленного охлаждения, к дамасским сталям не относятся.

Удивительно, что по непонятным причинам секрет производства этой стали был надолго утерян: европейские мастера никогда и не пытались воспроизвести эти достижения, и даже мастера исламского мира утратили этот секрет где-то с середины 18-го века.

Однако в наши дни учёные разгадали секреты дамасской стали, и помогли им в этом методы современного материаловедения и нанотехнологий.

Открытие немецких ученых кристаллографов из Дрезденского технического университета позволит раскрыть утраченную технологию изготовления знаменитых дамасских мечей, сообщает журнал National Geographic.

«Новейшие исследования в области нанотехнологий позволили выяснить, что при производстве дамасской стали применялись углеродные наноструктуры, подобные современным», – сообщает журнал «Тонус». По словам автора статьи, профессор Питер Пауфлер (Peter Paufler) из Технического университета, провёл ряд

исследований дамасских сабель. И сейчас с большой уверенностью может говорить, что при их производстве применялись нанотехнологии.

В составе вутца есть железо и примесь карбида железа, который содержится в виде нанонитей. До исследований Пауфлера было не до конца понятна природа их возникновения. По его предположению, этот эффект возникает именно за счёт использования нанотрубок.

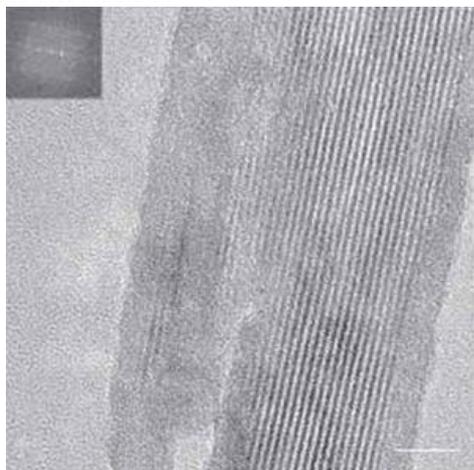
Некоторые примеси в стали при высокой температуре вызывали рост углеродных нанотрубок (углерод в вутц попадал как продукт горения дерева и листьев в печи при плавке стали).

Созданные трубки наполнялись карбидом железа. Так и возникали эти тончайшие нити. Они сформировались при нагревании до 800°C из углеводородов внутри микропор, причем катализатором могли служить ванадий, хром, марганец, кобальт, никель и некоторые редкоземельные металлы, содержащиеся в руде. Циклическая механическая обработка (ковка) и соответствующий температурный режим постепенно распределяли углеродные нанотрубки в плоскостях, параллельных плоскостиковки, делая микроструктуру стали мелкозернистой и пластинчатой.

Углеродные нанотрубки – это протяженные цилиндрические нано-структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких микрон. Состоят из нескольких свёрнутых в трубку гексагональных графенов (графитовых плоскостей) и заканчивающихся полусферической головкой.

По мнению дрезденских исследователей, именно вкрапление этих сложных элементов и объясняет уникальные свойства дамасской стали. Нанотрубки, как оказалось, присутствуют в мягких слоях стали, которая отличается неоднородной структурой.

Образец стали, взятый от подлинной дамасской сабли работы известного оружейника XVII века Ассэда Уллаха, ученые Дрезденского университета (Германия) четыре года назад исследовали с помощью электронного микроскопа высокого разрешения. В структуре материала они обнаружили углеродные нанотрубки. Ученые и до этого не раз пытались определить микроструктуру дамасской стали, но на этот раз они сначала протравили образцы соляной кислотой, и именно это дало неожиданные результаты. После обработки обнаружились неразрушенные структуры цементита (карбида железа, который упрочняет сталь). Это позволило физикам предположить, что волокна цементита заключены в углеродные нанотрубки (см. рис.), которые и защищают его от растворения в соляной кислоте.



**Нановолокна цементита,  
заключенные в углеродные  
нанотрубки, в образце дамасской  
стали после травления соляной  
кислотой**

Откуда в дамасской стали взялись нанотрубки? Сформировались из углеводородов внутри микропор, причем катализатором могли служить ванадий, хром, марганец, кобальт, никель и некоторые редкоземельные металлы, содержащиеся в руде. При производстве дамасской стали температура обработки была ниже стандартной 800°C. Во время циклической тепловой обработки получались углеродные нанотрубки, которые потом превращались в нановолокна и крупные частицы цементита ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Циклическая механическая обработка (ковка) и соответствующий температурный режим постепенно распределяли углеродные нанотрубки в плоскостях, параллельных плоскостиковки, делая микроструктуру стали мелкозернистой и пластинчатой. И действительно, как показали последние исследования ученых из Дрезденского университета, микроструктура цементита представлена нановолокнами.

Авторы исследования считают, что особенная слоистая структура дамасских лезвий связана также с примесями, содержащимися в руде из редких индийских месторождений. Уменьшающиеся запасы этой руды привели к тому, что многие оружейники, не знавшие тогда о легирующих элементах, не смогли получить дамасскую сталь, и после истощения рудников в конце XVIII века никому так и не удалось полностью воссоздать её. Даже зная древний рецепт, европейские оружейники не смогли сделать настоящую дамасскую сталь, которая имела уникальные свойства благодаря наноструктурам.

Ученые предполагают, что углеродные нанотрубки и нановолокна образовывались в клинках вследствие сложного процесса обжига иковки. А как только клинки уже были практически готовы, кузнецы травили сталь кислотой, выявляя на них неподражаемый и узнаваемый рисунок. Специалисты считают, что, поскольку углеродные нанотрубки устойчивы к действию кислоты, они защищали находящиеся внутри них нановолокна из более хрупкого цементита. После травления многие подобные наноструктуры выпирали из поверхности лезвия, придавая клинку сходство с пилой на наноуровне и, соответственно, необыкновенную остроту.

Несравненно острые, прекрасные и роскошные мечи и ножи из дамасской стали некогда были предметом роскоши у знатных людей Востока и Запада. К сожалению, вслед за тем, как в конце XVII в. ресурсы железа в главном месторождении иссякли, технология выплавки дамасской стали также канула в Лету. Очевидно, что в древности люди и не знали, что используют именно нанотрубки и не до конца понимали их природу, но совершенно очевидно, что они обладали технологией их производства.

## 2.5. Древние композиционные материалы

Многие изобретения древности не могли быть реализованы из-за отсутствия требуемых материалов. Точно также бесчисленное количество насосов, рычагов, воротов, двигателей легендарного Архимеда без сомнения были бы значительно более эффективными, если бы изготавливались из подходящих композитных материалов.

В литературе мало сведений о применении в древности материалов на основе композитов. Поэтому, ниже нами приведены некоторые из них.

### *Лак шеллак*

Само слово «лак», распространившееся на все виды лаков, исходно обозначает природную смолу шеллак (П1) и восходит к индийскому термину лакх. Шеллак – это лак животного происхождения, то есть продукт жизнедеятельности насекомых *Kerria lacca*, секрет которых идет на его производство. Шеллак представляет собой сложную полимерную композицию, содержащую наряду с прочими компонентами простые и сложные полиэферы, поэтому его можно смело отнести к композиционным материалам.

Шеллак, использовался в Индии и Китае в течение нескольких тысячелетий, о чём упоминается в Веде, написанной около 1000 лет до н.э. В Индии этот лак использовали для заполнения рукояток мечей и для изготовления точильных камней смешением его с мелким песком. Последний пример является прообразом современных шлифовальных кругов на полимерной связке.

### *Древние якоря*

Древние греки были первыми, кто начал использовать в качестве якорей выдолбленные изнутри деревянные бревна, в которые был залит свинец [16].

### *Пиротехнический композит – греческий огонь*

Греческий огонь (или жидкий огонь) - горючая смесь, применявшаяся в военных целях во времена Средневековья. Впервые была употреблена византийцами в морских битвах.

Точный состав греческого огня до сих пор неизвестен, так как в исторических документах названия веществ не всегда точно идентифицированы, но с большой уверенностью можно сказать, что состав его представлял собой сложный композиционный материал. Так, в русских переводах-описаниях слово «сера» могло означать любое горючее вещество, в том числе и жир. Наиболее вероятными компонентами были негашёная известь, сера и сырая нефть или асфальт. Также в состав мог входить фосфид кальция, который при контакте с водой выделяет газ фосфин, самовоспламеняющийся на воздухе [17].

В «Огненной книге» Марко Греко приводится такой состав греческого огня: «1 часть канифоли, 1 часть серы, 6 частей селитры в тонко измельченном виде растворить в льняном или лавровом масле, затем положить в трубу или в деревянный ствол и зажечь. Заряд тотчас летит в любом направлении и все уничтожает огнём». Следует отметить, что данный состав служил только для выброса огненной смеси, в которой использовался «неизвестный ингредиент».

Прототип греческого огня появился предположительно в 190 до н. э. при защите острова Родос. Но ещё в 424 году до н.э. в сухопутном сражении при Делии древнегреческими воинами из полого бревна выпускалась некая зажигательная смесь сырой нефти, серы и масла. Собственно «греческий огонь» был изобретён в 673 году инженером и архитектором Каллиником из завоеванного арабами

сирийского Гелиополя (современный Баальбек в Ливане), который, по-видимому, сконструировал специальное метательное устройство - «сифон» - для метания зажигательной смеси. Каллиник бежал в Византию и там предложил свои услуги императору Константину IV в борьбе против арабов.

Установка с греческим огнём представляла собой медную трубу - сифон, через который с грохотом извергалась жидкая смесь. В качестве выталкивающей силы использовался сжатый воздух, или меха наподобие кузнечных.

Предположительно, максимальная дальность сифонов составляла 25...30 м, поэтому изначально греческий огонь использовался только во флоте, где представлял страшную угрозу медленным и неуклюжим деревянным кораблям того времени. Кроме того, по свидетельствам современников, греческий огонь ничем нельзя было потушить, поскольку он продолжал гореть даже на поверхности воды. Впервые сифоны с греческим огнём были установлены на византийских дромонах во время битвы при Киликии. Историк Феофан писал о ней: «...в год 673 ниспровергатели Христа предприняли великий поход. Они приплыли и зазимовали в Киликии. Когда Константин IV узнал о приближении арабов, он подготовил огромные двухпалубные корабли, оснащённые греческим огнём, и кораблениосители сифонов... Арабы были потрясены... Они бежали в великом страхе».

Состав настоящего «греческого огня» хранился около 400 лет в секрете и постоянно использовался греками на войне. Между прочим, пустил его в ход император Константин IV Погонат в борьбе против арабов, осаждавших Константинополь в 678 г.; императору Алексею он послужил против пизанцев и т.д. В конце концов секрет перешел к сарацинам, которые с успехом воспользовались этим боевым пособием для защиты против крестоносцев и, благодаря ему, нередко разбивали их наголову, как например, при Дамiette. С появлением пороха «греческий огонь» исчез из употребления.

Греческий огонь был двух видов: метательный и палящий. Первый вид имел свойства пороха и выбрасывал каменные шары из железных труб. Второй вид, имевший свойство только сильно гореть, греки выдували из длинных труб; под напором воздуха вылетал огненный шар, который опаливал в первую очередь лошадей и всадников. Акт горения описывается так: до извержения появлялось густое облако дыма, за которым следовал сильный треск, а затем показывалось пламя. На основании этих данных было сделано множество попыток воспроизвести «греческий огонь» посредством смесей из серы, селитры, вара, смолы, воска и горючих масел. Попытка наконец удалась, но совершенно так же, как воспроизведение «фараоновой змеи», забавной пиротехнической игрушки, продажа которой запрещена в России вследствие удушливости и ядовитости выделяемых газов. Т.е. получилось подражание греческому огню, а не оригинал его [18].

Греческий огонь являлся скорее психологическим оружием: опасаясь его, вражеские корабли старались держаться на расстоянии от кораблей византийцев. Сифон с греческим огнём устанавливался, как правило, на носу или корме корабля.

Над раскрытием секретных компонентов смеси работали многие алхимики и, позднее, учёные. Одним из таких исследователей был француз Дюпре, который в 1758 году объявил о том, что открыл секрет греческого огня. Были проведены испытания около Гавра, в результате которых был сожжён деревянный шлюп, находившийся на большом расстоянии в открытом море. Король Людовик XV,

впечатлённый и испуганный действием этого оружия, выкупил у Дюпре все его бумаги и уничтожил их [17].

В середине XIX века, после начала освоения Китая, было открыто, что состав греческого огня близок к китайским зажигательным веществам, содержащим в большом количестве селитру, и известным с первого тысячелетия до н.э. Греческий огонь стал прообразом современных напалмовых смесей.

#### *Глиняные горшки из композита*

Финикийцы (Финикия – древнее государство, находившееся на восточном побережье Средиземного моря с центром в современном Ливане) ещё три с половиной тысячелетия назад догадались для повышения прочности своих глиняных горшков закладывать в их стенки стеклянные нити.

#### *Древние крылья из композита*

Мечта о полёте зародилась у человека в глубокой древности. Желание летать подобно птице нашло отражение в античных легендах и мифах. В мифе, который создали древние греки, отразилась эта мечта. Миф о Дедале и Икаре создан в древних Афинах, важнейшем центре торговли, промышленности, искусства и науки древней Греции. Миф рассказывает об афинском архитекторе, скульпторе, художнике и изобретателе Дедале и его сыне Икаре, которые навсегда остались примером для многих мечтателей. Этот миф показывает нам, что уже в древности человек мечтал о небе, поэтому самым выдающимся достижением Дедала считались не его произведения искусства, а именно сделанные им крылья. Крылья Дедал изготовил из перьев, скрепив их льняными нитками и воском, то есть крылья представляли собой ни что иное, как композиционный материал.

Происхождение мифа неясно. Он был литературно обработан Еврипидом в несохранившейся трагедии «Критяне» и, по образцу какого-то эллинистического произведения древнеримским поэтом Овидием. Вот что говорится об этом мифе в поэме Овидия «Метаморфозы».

Чтобы спастись с острова Крит от раздражённого Миноса, мастер Дедал сделал для себя и сына крылья, скреплённые воском, и Дедал просил: «Не поднимайся слишком высоко; солнце растопит воск. Не лети слишком низко; морская вода попадёт на перья и они намокнут». Но уже во время перелёта в Элладу Икар настолько увлекся полётом, что забыл наставление отца и поднялся очень высоко, приблизившись слишком близко к Солнцу. Лучи Солнца растопили воск, в результате Икар упал и утонул недалеко от острова Самос в море, которое и получило в этой части название Икарийского. Его тело, прибитое волнами к берегу, было похоронено Гераклом на маленьком островке Долиха, названном по его имени Икария.

В этом прекрасном мифе событие выступает как средство создания образов и символов. Благодаря необычной смерти, Икар стал известен в мифологии. Его имя – это легенда названия моря и острова. Икар – это образ и символ. Так выражение «полет Икара», символизирует смелые (часто тщетные) рискованные дерзания. А само имя стало нарицательным, олицетворяя образ человека, смело идущего к успеху, поднимающегося над обыденностью жизни.



**Скульптурная группа «Дедал и Икар»,  
1857 год, академик Михайлов П.С.,  
Государственный Русский музей**

Миф об Икаре представлен на рельефах виллы Альбани в Риме, на одной из картин на стенах в Помпее, в виде памятника в городе Агия Галини на острове Крит (есть легенда, что именно отсюда Икар начал свой полёт), в виде мемориала «Крыло Икара» города Ахтубинска, в бронзовом образе на фонтане города Красноярска, в виде чеканки на здании авто-бусного парка № 7, а также в виде сувениров. В его честь названы остров Икария и Икарыйское море.

*Древние воздушные змеи из композита*

Воздушные змеи относятся к древнейшим летательным аппаратам. Обнаружено огромное количество достоверных исторических фактов, интересных гипотез и мифов, в которых отражается история рождения, развития и применение воздушных змеев человеком. В Азии в ходу были мифы об огромных змееобразных драконах, парящих в воздухе, прообразами для которых послужили мифические животные, такие как дракон. Известно, что в IV веке до н.э. воздушные змеи были широко распространены в Китае. Точная дата их происхождения неизвестна, однако считается, что змеи запускались над Китаем более 3 тысячелетий назад, что было подтверждено археологами, которые нашли останки древнего «летающего» артефакта.

Полагают, что первые воздушные змеи представляли собой склеенные бамбуковые каркасы, обтянутые шёлком (изобретённым китайцами более 4000 лет назад) или бумагой. Иногда определенную часть каркаса змея делали подвижной, чтобы создавать эффект движения крыла или хвоста. Для ребер чаще всего использовали тонкие полоски бамбука, так как их отличает легкость, прочность и гибкость. Примерно около 105 года китайцы из волокон растений научились делать бумагу, которую потом применяли для обтяжки змеев. Сорт бумаги был особенный и отличался необычайной тонкостью и в то же время повышенной прочностью. Эту прочность бумаге обеспечивала её повышенная волокнистость. Часто бумагу обрабатывали специальным клейким маслом.

Таким образом, можно смело утверждать, что древние китайские воздушные змеи (или кайты) были сделаны из композиционных материалов.

Полтора тысячелетия спустя в китайской хронике «Всеобщее зеркало, управлению помогающее» появилась запись о том, что люди летали под крылом гигантского воздушного змея уже в VI веке. Конечно, это был не управляемый полет, а парение, но человек сумел-таки оторваться от земли.

Существует гипотеза, что для построения знаменитого комплекса пирамид в Гизе древние египтяне использовали воздушных змеев. Археологи давно ломают голову над тем, каким образом египтянам удавалось перемещать огромные каменные глыбы. Сейчас учеными разрабатывается теория, согласно которой они использовали силу ветра для того, чтобы поднимать с места большие камни.

Калифорнийский программист Морин Клеммонс изучал древние египетские иероглифы, и его внимание привлекло изображение человека с веревками, устремленными ввысь, причем наверху эти веревки прикреплены к странному объекту, который раньше связывали со значением «птица». Программисту пришло в голову, что это вовсе никакая не птица, а обыкновенный воздушный змей. Он решил проверить свою теорию на практике и соорудил огромный воздушный змей, к которому прикрепил цементную глыбу в 180 кг. К величайшему удивлению программиста, его эксперимент увенчался успехом, и глыба смогла подняться в воздух. После этого открытия Морин Клеммонс поделился своими догадками с профессором Калифорнийского университета египтологом Мортезой Гариб. Вместе они повторили опыт поднятия тяжести с помощью воздушного змея, однако на этот раз от земли оторвался обелиск весом 3,5 тонны. Ученый и программист были немало удивлены тем, с какой легкостью тяжелый обелиск оторвался от земли. Это открытие стало обоснованием для новой теории, согласно которой древние египтяне при построении пирамид в Гизе использовали именно воздушные змеи. Ученые не исключают, что Стоунхендж и другие монументальные постройки на территории Англии также были возведены с помощью змеев [19].

Возможно, кайты впервые появились в Микронезии, Полинезии и Меланезии. Там до сих пор кайты, изготовленные из листьев, традиционно используются для рыбной ловли. Рыбак в каноэ гребет себе подальше от берега с кайтом высоко летящим над водой. От кайта идет веревка с приманкой, изготовленной из паутины, волочащейся по воде. Тень кайта напоминает большую кормящуюся птицу, а приманка – небольшую летающую рыбку. Это привлекает мелкоротую маленькую рыбку-иглу, которая атакует приманку, и запутывается в паутине. Рыбак сматывает веревку, снимает рыбку, и запускает кайт снова. Хороший рыбак с помощью одного кайта и приманки может наловить достаточно много рыбы.

У полинезийцев есть миф о двух братьях – богах, открывших людям кайт, в то время как они затеяли кайтовую дуэль между собою. Победивший брат поднял свой кайт выше кайта брата. До сих пор на островах Полинезии проводятся соревнования, где выше всех летающий кайт посвящается богам.

Согласно европейским историческим слухам, в Европе изобретение воздушных змеев приписывается греческому учёному, философу Архиту (Archytas), который, около 400 года до н.э., сконструировал деревянную птицу, основываясь на исследованиях полетов птиц. Называлась она «механический голубь».

В 200 г. до н.э. китайский генерал Хань Цинь из династии Хань запустил кайт над стенами осажденного им города для оценки того, насколько далеко придется рыть туннель, чтобы зайти за оборонительные ряды, исходя из реакции последних. Получив эту информацию, он успешно осуществил свой замысел, застав противника врасплох.

Ранние китайские кайты были далеко не игрушками, это были кайты, предназначенные для военных целей. Исторические летописи свидетельствуют, что они отличались большим размером. Некоторые из них были способны поднимать в воздух людей для наблюдения за передвижениями противника, другие же использовались для разброса пропагандистских листовок над неприятельскими рядами. Согласно книге «Летопись Странных Событий», когда император Ксяо Янь из династии Лиань был окружен повстанцами под предводительством Хоу Джинга,

возле города Тайченг, он смог с помощью кайта послать сигнал с просьбой о помощи.

Существует легенда о том, что в 202 году до н.э. генерал Хуан Тенг и его армия были окружены противниками, и им грозило полное уничтожение. Говорится, что случайный порыв ветра сорвал с головы генерала шляпу, и тогда к нему пришла идея создания большого количества воздушных змеев, снаряженных звуковыми устройствами. Воздушные змеи были сделаны из бамбука, бумаги и шелка. Глубокой ночью эти воздушные змеи летали прямо над головами армии противников, которые, услышав загадочные завывания в небе, устрешенные гневом «богов» бежали с поля битвы.

В Японию кайты были завезены буддийскими монахами. Они использовали их для отпугивания злых духов и привлечения богатых урожаев. В период правления династии Эдо пилотирование кайтов приобрело в Японии необычайную популярность. Впервые японцам ниже самурайского класса было позволено запускать воздушные змеи. Городское управление Эдо (нынешний Токио) безуспешно пыталось отговорить население от этого «повального, пагубно влияющего на работу» увлечения. Даже в современном японском языке есть такое понятие как «помешанный на кайтах» или «кайто-маньяк».

Не смотря на то, что японцы очень много позаимствовали из китайской культуры, их кайт-дизайн и кайтовые традиции сильно отличаются. С самых давних времен они использовали кайты для чисто практических целей. К примеру, при строительстве гробниц и храмов использовались большие кайты для поднятия на крыши черепицы и других материалов.

Первое упоминание о русском воздушном змее появилось в летописи, которая описывала событие из русской истории. В 906 г. киевский князь Олег при осаде Царьграда (Константинополя) использовал для устрашения неприятеля поднятых в воздух «коней и людей бумажных, вооруженных и позлащенных», т.е. фигурных воздушных змеев.

В 105 году н.э. римляне запускали украшенные тканевые флюгеры как военные флаги (сейчас их называют ветровыми носками). Обычно они по форме были похожи на вытянутых животных с широкими открытыми ртами и поднимались на шестах, это позволяло воздушному змею попасть в потоки ветра. Ниспадающий цилиндрический хвост такого воздушного змея из ткани, извивающийся как туловище змеи, придавал «змеиным» наездникам уверенности в себе и создавал им более устрашающий вид, который был способен навести страх на врага. В добавок, подобные воздушные змеи указывали стрелцам направление и силу ветра. Любопытные записи в старинных византийских рукописях рассказывают о практических применениях воздушных змеев в военных целях. Так, в одной из них говорится, что в IX в. византийцы якобы поднимали на воздушном змее воина, который с высоты бросал в неприятельский стан зажигательные вещества. В книге Вольтера Мелиме «Нобилитатibus» (1346) есть иллюстрации, на которых изображаются различные «ветряные мешки» (носки) для бомбометания ядер с целью устрашения противника. В книге Конрада Киссера «Рокуэль де Машинс» (1430), показано, как воздушные змеи в результате эволюции стали напоминать длинный плоский кайт, который и распространился по всей Европе.

Самое раннее свидетельство полета индийского кайта обнаруживается на расписных миниатюрах, датированных периодом правления Моголов, около 1500 года. Марко Поло доставил истории о кайтах в Европу в конце XIII века.

В XV веке Леонардо Да Винчи, в рамках изучения летательных аппаратов экспериментировал и с кайтами. Он разработал систему соединения двух обрывов ущелья с помощью кайта, что в последствии было осуществлено на практике через столетия при строительстве моста у Ниагарского водопада. В 1756 г. знаменитый математик Л. Эйлер написал следующие строки: «Воздушный змей, эта игрушка для детей, презираемая учеными, может, однако, заставить глубоко над собой задуматься».

В XVIII-XIX веках кайты стали использоваться в качестве практических инструментов в научных изысканиях. В 1782 г. знаменитый американский ученый Бенджамин Франклин изучал грозу и молнию с помощью воздушных змеев, после чего изобрел молниеотвод. Михаил Ломоносов тоже строил воздушных змеев – для исследования электричества в атмосфере. Его последователь Георг Вильгельм Рихман, во время такого опыта 26 июля 1753 года, был убит разрядом атмосферного электричества. Ломоносов, однако, и после этого отважился продолжать свои опыты. Змеи в то время были плоские, не очень устойчивые, хотя делали их для научных целей значительных размеров, площадью в несколько квадратных метров.

Джордж Кейли, Самюэль Ленгли, Лоренс Харгрейв, Александр Белл, и братья Райт – все экспериментировали с кайтами, и внесли свой вклад в развитие самолетостроения. Погодная служба США запускала кайты, сконструированные Вильямом Эдди и Лоренсом Харгрейвом, для поднятия в воздух метеорологических приборов и фотоаппаратуры.

## **3. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

### **3.1. Применение КМ в машиностроении**

Высокая коррозионная стойкость, способность к восприятию ударных нагрузок, отличное качество поверхности, красивый внешний вид обусловили широкое применение КМ практически во всех отраслях промышленности: машиностроение и металлообработка; электроэнергетика; промышленность строительных материалов; медицинская промышленность; лёгкая промышленность; топливная промышленность; стекольная и фарфорофаянсовая промышленность; пищевая промышленность; микробиологическая промышленность; чёрная металлургия; цветная металлургия; химическая и нефтехимическая промышленность; лесная, деревообрабатывающая и целлюлознобумажная промышленность и полиграфическая промышленность.

Машиностроение делится на следующие отраслевые подгруппы: общее, среднее, тяжёлое и точное машиностроение; производство металлических изделий и заготовок; ремонт машин и оборудования.

Общее машиностроение представлено транспортным и сельскохозяйственным машиностроением. Транспортное машиностроение – это авиационная промышленность, ракетно-космическая отрасль, судостроение, железнодорожное машиностроение и вагоностроение,

В состав среднего машиностроения входят: автомобилестроение; тракторостроение; станко-инструментальное машиностроение; разработка и производство технологического оборудования для лёгкой и пищевой промышленности; строительство роботов (робототехника); промышленность бытовых приборов и машин.

Тяжёлое машиностроение – группа отраслей машиностроения, занятых разработкой и производством: металлургического оборудования (металлургия); горно-шахтного оборудования; тяжёлого кузнечно-прессового оборудования; подъёмно-транспортного оборудования и машин (подъёмно-транспортное машиностроение): грузоподъёмных кранов, лифтов, подъёмников (вышек), машин непрерывного транспорта (конвейеров и пр.); тяжёлых экскаваторов; оборудования для генерации и передачи электрической энергии (энерго-машиностроение) и другого оборудования.

Ведущие отрасли точного машиностроения – приборостроение, радиотехническое и электронное машиностроение, электротехническая промышленность. Продукция отраслей этой группы исключительно разнообразна – это оптические приборы, персональные компьютеры, радиоэлектронная аппаратура, авиационные приборы, волоконная оптика, лазеры и комплектующие элементы, часы.

В машиностроении композиционные материалы широко применяются для создания защитных покрытий на поверхностях трения, а также для изготовления различных деталей двигателей внутреннего сгорания (поршни, шатуны).

#### ***3.1.1. Применение КМ в авиационной промышленности***

Использование пластмассовых композитов в авиационной промышленности в былые времена ограничивалось внешней обшивкой самолетов, носками крыла и задними кромками крыла, бортовыми кухнями воздушного судна и прочими применениями для производства не конструктивных деталей. Но в наши дни

пластмассовые композиты используются для производства таких несущих конструкций, как крылья, фюзеляжи и поперечные балки.

Область применения КМ в авиастроении весьма обширна. Они применяются для высоконагруженных деталей самолетов (обшивки, лонжеронов, нервюр, панелей и т.д.) и двигателей (лопатки вентиляторов и компрессоры).

Широкое применение КМ в авиационной и ракетно-космической технике обусловлено такими свойствами, как высокая удельная прочность и стойкость к воздействию высоких температур, стойкость к вибрационным нагрузкам, малый удельный вес. От них требуется особая стойкость к колебаниям температуры и вибрации и относительная легкость. В авиационных двигателях композиты снижают вес, что влечет за собой экономию топлива. Поэтому КМ широко используются, так как более совершенного компонента для создания различных частей самолета или ракеты ещё найти не удалось.

Появившиеся в 30-х годах XX века стеклопластики сразу привлекли внимание самолётостроителей, причём вначале они применялись для изготовления формообразующей оснастки. Компания Douglas Aircraft первой использовала стеклопластики на фенольном связующем для производства штампов, на которых быстро и дешево получала опытные образцы металлических деталей методом гидропрессования.

Стеклопластик успешно применялся для ступеней, пространственных кондукторов и других технологических приспособлений, необходимых для точной сборки сложных крупногабаритных деталей самолётов. Вскоре начали широко внедряться ненасыщенные полиэфирные смолы, а перед Второй мировой войной появились и первые эпоксидные смолы, проторившие композитам дорогу в облака. Начало войны подтолкнуло разработки по применению композитов в самолётостроении. Например, стеклопластиковые обтекатели позволили снизить вес лёгкого бомбардировщика Douglas A-20, а бумажно-слоистый композит значительно упростил изготовление коробчатого шпангоута крыла тренировочного моноплана PT-19.

Во время войны Германия пыталась также разработать самолет-невидимку, задолго до Stealth в США. Тогда необходимо было использовать в корпусе композитный материал, где между слоями фанеры находился бы наполнитель из легкой бальзы – дерева, растущего в Южной Америке. Но в 1944 году этот материал для немцев был недостижим, поэтому пришлось использовать эрзац-композит «формхольц»: между слоями 1,5 мм фанеры была смесь пропитанных смолой древесных опилок и пористого угля [20].

В 1942 году по решению правительства США на авиабазе Wright Patterson началось широкое изучение КМ для применения в авиации. В 1944 г. там прошел аэродинамические испытания стеклопластиковый фюзеляж, а позже были изготовлены 6 пар композитных крыльев для тренировочных самолётов AT-6 и BT-15, которые показали отличные лётные качества. Именно в годы войны были разработаны такие прогрессивные технологии формования, как намотка и напыление, появились препреги и сотовые наполнители. Спрос на эти работы формировался государственным заказом, который стимулировал частные компании к проведению инновационных разработок в области новейших технологий и материалов, что оказалось весьма эффективным для становления отрасли композитов и самолётостроения.

В конце сороковых были разработаны новые технологии формования – вакуумный мешок, пултрузия, а также намотка крупногабаритных изделий

С начала пятидесятых стеклопластики всё шире применяются для изготовления рулей, закрылков и различных обтекателей. Но композиты пригодились не только для деталей планера: оказалось, что из стеклопластиков получают превосходные каналы и трубопроводы самой сложной конфигурации. После войны тысячи небольших фирм стали активно заниматься конверсией авиационных технологий в гражданском секторе: в 1947 году появился первый стеклопластиковый автомобиль, а к 1948 году количество композитных катеров и яхт исчислялось многими тысячами. Энтузиасты композитов порой создавали настоящие технические шедевры. Компания Convair Aircraft построила первый летающий автомобиль (рис. 3.1), корпус и съёмное оперение которого были изготовлены из стеклопластика. Опытный образец поднялся в воздух 1 ноября 1947 года, но смелым планам дать тысячам отставных военных пилотов возможность летать на собственной машине не суждено было сбыться.



Рис. 3.1. Летающий автомобиль из стеклопластика (1947)

В середине 50-х годов ВВС США решили применить в авиастроении новый класс материалов – армированные КМ. Предстояло изучить возможности их изготовления на основе новых видов волокон с высокими прочностными и упругими характеристиками.

Практическое производство борных и углеродных волокон обусловило возможность создания КМ на их основе. Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства (НАСА) и ВВС США явились кураторами исследовательской и технологических программ. Реализация этих разработок позволила с начала 70-х годов начать широкое применение композитов для производства летательных аппаратов.

В 1961 году было получено первое углеродное волокно, и спустя десятилетие стоимость килограмма волокна снизилась в десятки раз.

В 1967 году взлетел первый самолёт с планером, целиком изготовленным из композитов – однодвигательный четырёхместный Windecker Eagle, который превзошёл в скорости машины своего класса – Cessna 210 и Bonanza V-35.



**Самолёт Windecker Eagle  
с планером из композита  
(1967)**

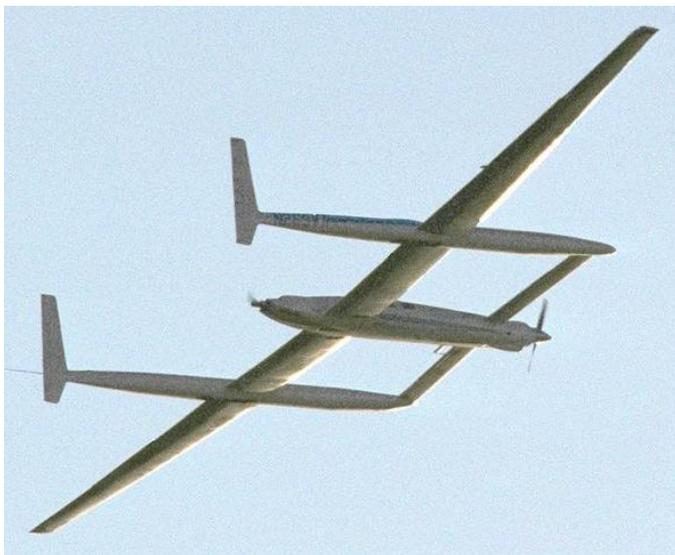
Еще в 60-е годы авиаконструкторы искали материалы альтернативные тяжеловесным металлам. Предпочтение было отдано легким и прочным композитам. С 1960-х годов в авиации и космонавтике существует настоятельная необходимость в изготовлении прочных, лёгких и износостойких конструкций. Из КМ изготавливаются корпусные детали обшивок воздушных и космических аппаратов, детали внутреннего интерьера, наиболее нагруженные силовые элементы и конструкции летательных аппаратов, искусственных спутников, теплоизолирующие покрытия шаттлов (П1) и космических зондов.

В семидесятых начался промышленный выпуск кевлара и появились авиационные органопластики, а перехватчик Grumman F-14A положил начало применению боропластиков в самолётостроении. Так и росло композитное древо – могучие корпорации выпускали новые материалы, государство поддерживало развитие инновационных технологий, а тысячи энергичных частных компаний быстро находили возможности применения и того, и другого.

В конце 70-х годов XX века была разработана оперативно-тактическая ракета «ОКА», корпус которой был изготовлен из КМ. При изготовлении ракет класса воздух-поверхность в качестве теплозащитного покрытия (ТЭП) в соплах ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ) используют композитный материал типа АГ4-В – это стекловолокно, пропитанное фенолформальдегидной смолой. Теплопроводность этого материала небольшая, при соприкосновении с высокотемпературными газами идет пиролиз, на который тратится много энергии, поэтому прогара в критической зоне сопла не происходит.

Из композита типа АГ4-В полностью изготовлены сопла системы аварийного спасения (САС) космического корабля «СОЮЗ». Спускаемые отсеки всех космических кораблей имеют защитную обмазку, выполненную из углеволокна, пропитанного смолой. На самолетах МИГ-23 использовался радиопрозрачный обтекатель, изготовленный из стеклоткани, пропитанной смолой.

Применение новых КМ в летательных аппаратах подняло на новую качественную ступень самолётостроение. Вес композитных деталей составляет не больше 20 % аналогичных деталей из алюминия, при превосходящей прочности, гибкости и устойчивости к давлению, не говоря уже о том, что как неметаллы, они не боятся коррозии. Стоит отметить также, что, в отличие от древесных композитов, стекловолоконные, арамидные и углеволоконные не содержат формальдегида, ядовитых газов, вроде метанола. Как следствие в готовом виде детали из композитов весьма экологичны в использовании, не требуют особенного ухода. При регулярной очистке композитные детали годами выглядят как новые.



### **Углепластиковый планер Voyager (1987)**

В 1987 году беспосадочный кругосветный перелёт совершил построенный энтузиастами в единственном экземпляре Voyager, углепластиковый планер которого весил всего 450 кг.

Применение КМ обеспечивает новый качественный скачок в увеличении мощности двигателей, энергетических и транспортных установок, уменьшении массы машин и приборов. Высокомодульные карбоволокониты применяют для изготовления деталей авиационной техники, карбоволокониты с углеродной матрицей заменяют различные типы графитов. Они применяются для тепловой защиты дисков авиационных тормозов, химически стойкой аппаратуры. Изделия из борволоконитов применяют в авиационной технике (профили, панели, роторы и лопасти компрессоров, лопасти винтов и трансмиссионные валы вертолетов и т.д.). Органоволокониты применяют в качестве изоляционного и конструкционного материала; из них изготавливают трубы, емкости для реактивов, покрытия корпусов и другое.

Ранние модели самолётов компаний Airbus и Boeing A310 и B767 содержали всего 5...6 % стекловолоконных КМ (рис. 3.2). В самолётах A320, A340 и B777 было использовано уже 10...15 % КМ по весу. На этом этапе минимальное количество материала использовалось на силовых деталях.

В основном КМ применялись для отделочных работ в салонах, в обтекателях, зализах и оперениях. Но уже в 1986 году конструкция А310-200 была модернизирована, что помогло повысить топливную эффективность. Среди изменений было внедрение вертикального оперения из углепластиков, также тормоза колёс стали делать из композитов на основе углеродных волокон.

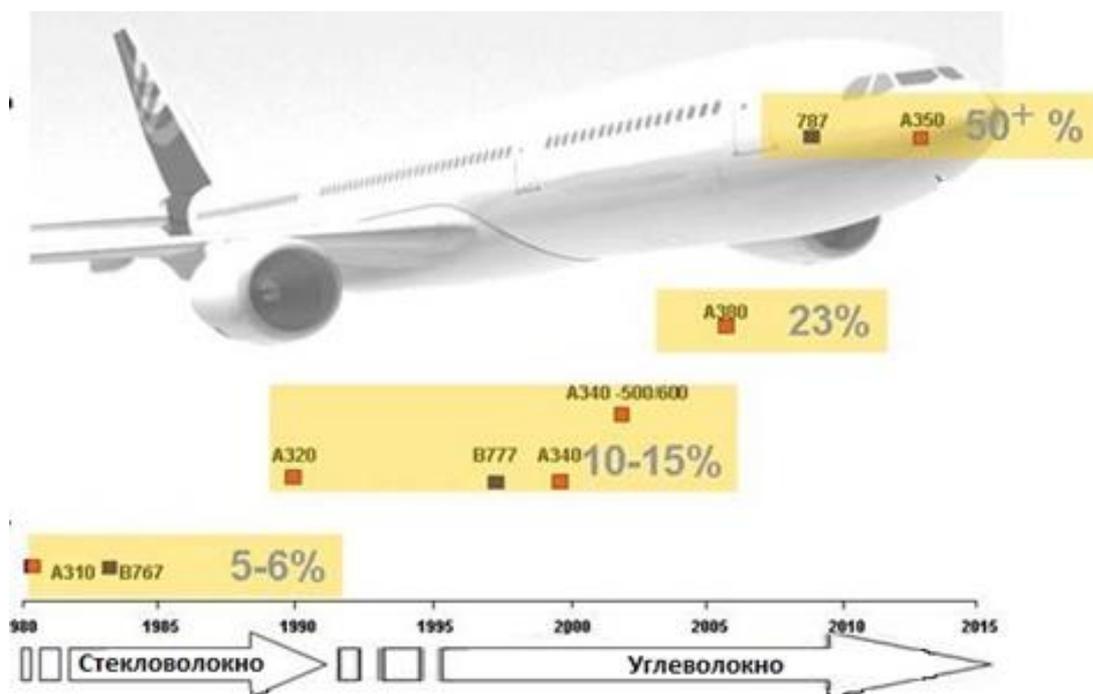


Рис. 3.2. Содержание КМ в самолётах компаний Airbus и Boeing

В современных самолётах этих двух корпораций А350 (рис. 3.3) и В787 Dreamliner доля КМ по массе превышает 50 %. В конструкции А350 52 % от веса самолёты будут составлять КМ, 20 % - алюминий, 14 % - титан, 7 % - сталь, 7 % - остальные. В самолёте В787 схожее соотношение: 50% - КМ, 20% - алюминий, 15% - титан, 10% - сталь, 5% - остальные. На рисунке 3.3 наглядно виден изгиб крыла, обусловленный гибкостью деталей, произведенных из композитов. В отличие от металлического крыла, гибкое композитное обладает значительно лучшими аэродинамическими свойствами.



Рис. 3.3. Airbus A-350 в ливрее ETRIHAD AIRWAYS

Для летательных аппаратов малой авиации доля КМ в весе самолета достигает 65 %, из металла для них производятся только стойки шасси и двигатели (самолеты Diamond, Grob и т.п).

Казанским авиационным производственным объединением (КАПО) им. Горбунова в выпущенном в начале 90-х среднемагистральном узкофюзеляжном пассажирском самолёте Ту-204 из КМ сделано 25 % деталей, в том числе вся механизация крыла: закрылки, элероны, интерцепторы, рули высоты и направления, а также панели люков, полов и интерьера.



### Самолёт Ту-204

Благодаря КМ вес Ту-204 оказался на 1200 кг меньше, чем был бы у аналогичной полностью металлической модели. Снижение веса самолета на 1 кг экономит до 3 т топлива в год.

Вес композитных деталей Ту-204 составляет не больше 20 % аналогичных деталей из алюминия, при превосходящей прочности, гибкости и устойчивости к давлению. Стоит отметить также, что, в отличие от древесных композитов, стекловолоконные, арамидные и углеволоконные не содержат формальдегида, ядовитых газов, вроде метанола. Как следствие в готовом виде детали из композитов весьма экологичны в использовании, не требуют особенного ухода. При регулярной очистке композитные детали годами выглядят как новые.

В октябре 2013 г. впервые в воздух поднялся новый военно-транспортный самолет Ил-476 (Ил-76МД-90А), который на 70 % состоит из новых компонентов, по сравнению с предыдущими версиями Ил-76. Помимо новой силовой установки, адаптера аналоговых и цифровых систем было сделано новое композитное крыло. Ил-476 является модернизацией транспортника Ил-76МД.



### Самолет Ил-476

Благодаря усиленным композитным крыльям максимальная взлетная масса самолета составляет 210 т. При этом грузоподъемность самолёта увеличилась с 50 до 60 т.

Впервые в мировом авиастроении в 2015 году российские специалисты начали изготавливать силовые элементы консолей крыла и панели центроплана с применением инфузионной технологии и автоматизированной выкладки сухого углеродного наполнителя.

Сейчас в России разрабатывается новый проект Иркут MC-21 (Магистральный Самолёт XXI века) – проект ближне-среднемагистрального узкофюзеляжного пассажирского самолёта, который в будущем должен прийти на смену Ту-154 и семейству Ту-204 на российском рынке пассажирских самолётов и выйти на

международный рынок, где доминируют гиганты Airbus и Boeing с самолётами-бестселлерами Airbus A320 и Boeing 737.

Программа семейства самолётов МС-21 разрабатывается совместно с ОКБ Яковлева и корпорацией «Иркут».

Предполагается, что основную конкуренцию самолёту МС-21 составит китайский самолёт COMAC C919, но, вместе с тем, МС-21 претендует на ту же коммерческую нишу, что и Boeing-737 MAX и Airbus A320neo.

Совместно с компаниями «Объединенная авиастроительная корпорация» и «Авиационная холдинговая компания «Сухой» была создана компания АО «АэроКомпозит» с целью концентрации компетенции по разработке и производству изделий из ПКМ для авиационной промышленности. В настоящее время компания создает проектно-конструкторскую и производственно-технологическую базы для разработки и производства силовых конструкций из ПКМ. «АэроКомпозит» будет вести производство деталей на заводах Казани и Ульяновска уже не только для российского, но для зарубежного рынка. На заводах будут выпускаться элементы кессона крыла, лонжероны, интегральные панели крыла, и элементы механизации для российских самолетов МС-21 и Superjet 100. В Казани также будет организовано производство деталей для самолетов компаний Boeing и Airbus, которые будут выпускаться под маркой партнера предприятия, австрийской компании FACC. Компания планирует выпускать детали для 60...80 самолетов в год, на каждый из которых приходится около 3 т композитных материалов.

В настоящий момент «АэроКомпозит» ведет активную работу над созданием крыла для МС-21 и новых модификаций самолета Sukhoi Superjet 100. В производственные мощности «АэроКомпозит» входят два завода – АО «КАПО-Композит» и АО «АэроКомпозит-Ульяновск» (П1), а также опытная лаборатория технологий и конструкций из ПКМ.

«АэроКомпозит-Ульяновск» – единственный в мире завод по производству крупных силовых элементов конструкций и агрегатов для авиации из КМ, создаваемых при помощи метода вакуумной инфузии. Эксперты ведущих западных авиастроительных концернов признают, что ульяновские технологии опередили время и крыло даже самого нового композитного лайнера Boeing-787 «Дримлайнер», которое сделано, можно сказать, по старинке, с помощью автоклава из капризных и сверхдорогих препрегов. Если такой материал не используется, его надо замораживать, и то не более чем на 10 суток.

В современной авиации по части аэродинамики всё уже придумано. Улучшить что-либо можно на доли процентов. Остаётся борьба за снижение веса (композиты дают выигрыш от 5 до 10 %), ресурс планера и агрегатов. Ресурс самолёту МС-21 обещают до 100 тыс. часов, и это заслуга композитов.

8 июня 2016 г. на Иркутском авиационном заводе состоялась торжественная церемония выкатки новейшего российского пассажирского самолета МС-21, полную версию видео которой можно посмотреть на сайте [21].

В 2017 году на заводе АО «АэроКомпозит-Ульяновск» (П1) в Ульяновской области начнется серийное производство композитного крыла для МС-21. В настоящее время на заводе ведется работа по изготовлению композитного крыла для второго МС-21, освоена и реализуется технология сборки композитных и металлокомпозитных конструкций, ранее не применявшаяся в России.

По официальным планам Объединённой авиастроительной корпорации, ввод в эксплуатацию первых самолётов семейства МС-21 и их сертификация намечены на 2017-2018 годы. По планам корпорации, после 2020 года производство самолётов МС-21 должно выйти на плановые показатели и достигнуть уровня в 40 самолётов в год.



### Самолет Иркут МС-21

Это инновационный самолет. Главная из инноваций: впервые в России и ранее чем у многих ведущих авиационных производителей самолет будет иметь композитное крыло.

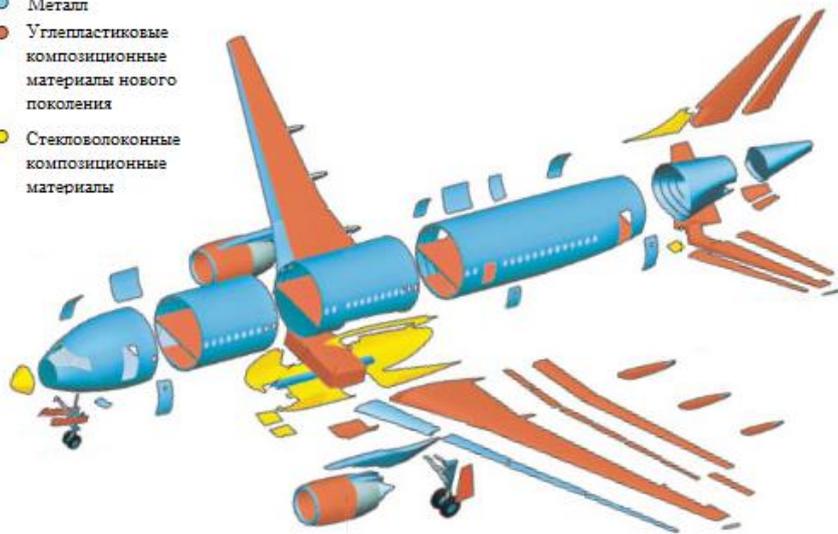
#### *Технология выкладки композитного крыла МС-21*

Чтобы композитное крыло МС-21 получилось надёжным и работоспособным, слои должны быть уложены идеально, никаких полостей и смещений между ними. След человеческого пальца на ленте означает заведомый брак. Оснастка – формообразующая поверхность, на которую рука робота точными движениями выкладывает сухое углеродистое волокно – с виду обычная чёрная лента. Очень похоже на швейное производство: бобины с лентой в герметично закрытом ящике с прозрачной крышкой (16 бобин) и робот, который снуёт туда-сюда. За два часа, практически безошибочно, он выполняет тот же объём работы, что смена из 10 человек за два дня. Лазер комплекса мгновенно разогревает ленту, на которую нанесён тончайший клейкий слой – биндер. И каждый последующий слой прикрепляется к предыдущему. Получается слоёный пирог, формируется пресформа. Каждый слой – отдельный контроль. Каждому элементу – контроль. И визуальный, и роботизированный. По-хорошему, в идеальных условиях человеку здесь делать нечего. Оператор только контролирует процесс. Отличие от металлообработки – наличие у робота пары – пылесоса. Он собирает всю «композитную пыль» в специальный бункер. После фрезерной обработки – ультразвуковой контроль. Тут уже ничего не изменить, производство стоит перед фактом: или да – деталь кондиционная, или нет. Если да, то на этом композиционное производство заканчивается и деталь отправляется на покраску. Четыре панели кессона крыла (правая-левая, верхняя-нижняя) присоединяются к центроплану, и получается искомое – крылья самолёта [22].

Принципиально важно, что речь идет не просто о широком применении композитов, а об их использовании в высоконагруженных конструкциях. Это в свою очередь оказывает существенное влияние на аэродинамическую компоновку и на аэродинамику самолета.

Традиционно аэродинамики стараются увеличить *удлинение крыла* (отношение размаха крыла к средней хорде крыла), поскольку это способствует уменьшению сопротивления. Однако это стремление упирается в увеличение массы конструкции, что заставляет искать оптимум.

- Металл
- Углепластиковые композиционные материалы нового поколения
- Стекловолоконные композиционные материалы



## КМ в самолёте МС-21

Из композитов будут сделаны также отдельные элементы фюзеляжа, центроплан и оперение.

Композитная конструкция позволяет заметно увеличить удлинение крыла по сравнению с металлическими конструкциями, что и реализуется на МС-21. Типовое удлинение крыла у самолетов прошлого поколения около 8...9, в современных самолетах – 10...10,5, а на МС-21 закладывается 11,5. В результате аэродинамическое качество, а это основной параметр, характеризующий совершенство самолета, на больших скоростях полета у МС-21 выше, чем у лучших современных аналогов, на 5...6 %. По нынешним меркам это большое преимущество. Отсюда существенная экономия топлива, увеличенная скорость и высота полета. Таким образом, главная особенность данного самолета заключается в так называемом «черном» (композитном) крыле лайнера. По сравнению, например, с российским самолетом Ту-204, у которого доля углеродных композитов в массе планера составляет 14 %, у нового МС-21 это число увеличено до 40 %.

В производстве спортивных и военных самолетов компания «ОКБ Сухого» впервые применила КМ в самолетах третьего и начала четвертого поколения – обтекатели радаров производились из фенолформальдегидных КМ. Сейчас компания производит детали из углеволокна, а препрег изготавливается на специализированных предприятиях. Данный материал используется для производства носовых обтекателей истребителей пятого поколения и почти всего планера спортивных самолетов. Авиация предъявляет специальные требования к материалу. Он должен быть радиопрозрачным и обладать высокой стабильностью свойств. Одним из важных свойств препрега для компании является возможность его хранения длительный период без потери свойств. Показатель для нового препрега составляет 2 месяца [23].

Все последние десятилетия основу авиационных материалов составляли алюминиевые и титановые сплавы, а также некоторые виды сталей. Однако с появлением на свет самолетов 5-го поколения, а в перспективе – с созданием гиперзвуковой авиационной и ракетной техники этим «крылатым» металлам требуется замена. И она уже есть.

Углепластики – новое поколение авиационных материалов, разработанных российскими учеными. Им свойственны более высокая (по сравнению с металлами) жесткость, удельная и усталостная прочность. Их преимущества также неоспоримы в области тепловых, электрофизических и множества других характеристик. В

настоящее время на долю углепластиков приходится до половины веса современного самолета как боевого, так и гражданского и до 70% их поверхности. Вот лишь небольшой перечень узлов и деталей, изготовленных из углепластиков – элероны, внешние, основные и центральные ступенчатые двери, откидные обтекатели, покрытия пола, вертолетные лопасти, обтекатели ракет-носителей и многое другое.

В состав каучуков, используемых в авиационно-космической промышленности, входит много термоотверждающихся пластиков. К их числу относятся эпоксидная, фенольная, бисмалеимидная, уретановая, цианоэфирная и винилэфирная смолы. Используются также и термопластики, включая поликарбонат, полиэтилентерефталат (PET), нейлон, сополимер акрилонитрил-бутадиенстиро-ла, ацеталь, полиэтилен, полистирол и жидкокристаллические полимеры. В качестве наиболее часто используемых материалов для армирования авиационно-космических композитов используются волокна, тканые материалы или пленки, изготовленные из углерода, стекла или арамида.

Для производства высококачественных композитов, используемых для конструктивных применений при производстве самолетов, обычно используют эпоксидные и фенольные смолы. Для армирования, как правило, используют углеродное волокно. Чаще всего такое волокно изготавливается путем воздействия очень высоких температур на нити из полиакрилонитрила (PAN).

Доля использования КМ в конструкции современных магистральных самолетов достигает 50 %. К примеру, на самолетах Boeing 787 Dreamliner и Airbus A350 КМ используются в конструкции фюзеляжа, крыла, центроплана и хвостового оперения. Американская компания Boeing Commercial Airplanes разработала цельный полномасштабный композитный фюзеляж для широко-фюзеляжного двухдвигательного реактивного пассажирского самолёта Boeing 787 Dreamliner.



**Цельный полномасштабный композитный фюзеляж на основе углепластика самолёта Boeing 787**

Габариты фюзеляжа:  
длина – 7 м, ширина - 6 м.



## **Двигатель GENx от General Electric**

Имеет в себе КМ: из них изготовлены корпус, лопатки турбины и форсунки, впрыскивающие топливо в камеру внутреннего сгорания.

Для производства конструкционных пластмассовых композитов наиболее часто используемой технологией является насыщение тканых материалов из углеродного волокна матрицей из невулканизированной смолы, такой как эпоксидная, для формирования предварительно пропитанной конструкции. В ходе следующего этапа, который называется наслаивание, специалисты помещают предварительно пропитанную деталь в пресс-форму, располагая поверх сотоподобную структуру, затем основная часть покрывается дополни-тельными слоями предварительно пропитанных листов. Затем детали вулканизи-руют в автоклаве под воздействием высокой температуры и давления (технология соединения внешних слоев с внутренней основной частью). Затем получаемую композитную панель подгоняют по размеру.

Наслаивание с предварительной пропиткой представляет собой метод производства, используемый для создания крыльев для нового реактивного самолета Boeing 787, который на 50 % состоит из композитов: на сегодняшний день это самая большая доля композитов, используемая при производстве самолетов коммерческой авиации. Самолет перевозит 200...300 пассажиров. Как сообщают в компании Boeing, он расходует на 20 % топлива меньше, чем реактивные лайнеры того же размера. Также крылья, передняя часть фюзеляжа и хвост нового европейского боевого самолета Eurofighter Typhoon изготовлены из композитов, произведенных методом наслаивания [24].

Метод наслаивания предварительно пропитанных углеродных/ эпоксидных слоев используется также для создания отсека вертикального хвостового оперения нового реактивного самолета на 555 мест Airbus A380, который является самым большим в мире самолетом коммерческой авиации.



Наслаивание также используется для производства композитного хвостового стабилизатора для штурмовика F/A-18E/F военно-морского флота США

## **Хвостовой стабилизатор штурмовика F/A-18E/F из композита**

На самолете нового поколения Sukhoi Superjet 100 из КМ выполнены агрегаты механизации крыла, рулевые поверхности, створки шасси и обтекатели. Компанией ЗАО «Гражданские самолеты Сухого» ведется работа по увеличению доли использования КМ в конструкции планера самолета, в том числе в конструкции крыла и центроплана. Ожидается, что широкое применение КМ будет способствовать: снижению веса планера самолета до 15 %; повышению топливной эффективности; повышению ресурса; уменьшению эксплуатационных расходов до 10 % и расходов на техническое обслуживание до 30 % (так как требуется меньшее число осмотров конструкции) за счет большей коррозионной стойкости и большего ресурса КМ по сравнению с металлами; уменьшению количества деталей в конструкции и, соответственно, снижению трудоемкости и стоимости сборки. Таким образом, можно утверждать, что будущее авиации – за конструкциями из композитов.

Согласно прогнозу, в период с 2011 по 2020 год будет построено около 56000 самолетов общего назначения: производство вырастет на 115 % (примерно 9% в год) [25]. Стоит иметь в виду, что на предполагаемом пике производства в 2017-2018 годах его объем в штуках будет таким же, как в 2006-2007. Тем не менее, десятилетний прогноз 2011...2020 существенно отличается от предыдущего в некоторых аспектах: замедление общего роста рынка в связи с недавними экономическими потрясениями; ухудшение ситуации в сфере авиастроения; сокращение спроса на одноместные и четырехместные поршневые самолеты; преимущество небольших легких спортивных самолетов перед другими; резкое сокращение производства экспериментальных самолетов в связи с ростом популярности легких спортивных самолетов.

Предположительно с 2011 по 2020 годы будет произведено 12700 тонн важных и второстепенных конструкций для самолетов их композитов. Во время «пика» в 2017 году производство КМ достигнет тех же объемов, что в 2008, несмотря на то, что производство самолетов снизится на 30 %. Это значит, что композитные конструкции внедряются в самолетостроение гораздо быстрее, чем это прогнозировалось в 2008 году.

В 2017 года доля рынка композитных аэроконструкций достигнет \$1 млрд, а концу 2020 года - \$8 млрд. Таким образом, объем производства композитных конструкций вырастет в 2 раза в течение десятилетия 2011...2020.

Сегодня глобальный рынок частных самолётов стремительно развивается, особенно эта тенденция чётко прослеживается в странах с лидирующими мировыми экономиками. Бизнес-джет (П1) является самым удобным средством передвижения. При этом, клиенты хотят больше внутреннего пространства и больше комфорта. Для таких покупателей предлагаются модернизированные версии салонов – убираются лишние сидения, устанавливаются новые и более комфортабельные кресла, кухня получает новое оснащение, медиа-системы дополнительно «наворачиваются», появляется душевая кабинка и т.д. Сегодня на глобальном рынке бизнес-джетов существует ряд компаний, самолёты которых готовы удовлетворить потребности самых взыскательных, влиятельных и богатых людей мира.

Французская самолетостроительная компания Dassault Aviation предлагает 6 моделей современных бизнес-самолётов. Флагманами считаются Falcon 7X и Falcon 8X. Различия, конечно же, кроются в габаритах, мощности и вместимости. Длина салона Falcon 7X без учета кокпита и багажного отделения 11,9 м. В самолёте Falcon 8X полезная длина салона 13 м, т.е. она только длиннее по салону.

Старший эксперт по технологии производства Dassault Aviation поделился своим видением перспектив КМ в производстве бизнес-джетов. Суперсредний бизнес-джет Dassault Falcon SMS (Super-Mid-Size) будет иметь хвостовое оперение, полностью изготовленное из композитных материалов. Как сообщается, Dassault имеет договор с компанией Fokker Aerostructures на разработку и изготовление всего хвостового оперения бизнес-джета с применением термопластичных смол. Это будет самый крупный структурный элемент из термопластичных композитов в гражданской авиации. Такой материал более дорогой, но проще в изготовлении и более стойкий к силовым воздействиям, чем терморезактивные смолы.



### **Хвостовое оперение из композитов бизнес-джетов Dassault Falcon SMS**

Fokker уже изготавливает хвостовое оперение для бизнес-джетов G650

Канадская авиастроительная компания Bombardier Business Aircraft объявила о начале летных испытаний второго опытного экземпляра бизнес-джета Global 7000, который совершил свой первый полет 4 марта 2017 г. Это событие подтверждает успешное продвижение программы новейших бизнес-джетов Global 7000 и Global 8000. Bombardier планирует передать первый самолет заказчику уже во второй половине 2018 года. Еще три летных прототипа в настоящее время находятся в финальной стадии производства.

Отличительной чертой обоих бизнес-джетов станут новые крылья, новые технологии, удобства класса люкс и большая чем раньше эффективность в использовании топлива.

#### *Звукопоглощающие панели из ПКМ для двигателей*

В июне 2016 года государственный научный центр РФ ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина (предприятие холдинга «РТ-Химкомпозит», входит в структуру госкорпорации «Ростех») запустил серийное производство улучшенных звукопоглощающих конструкций (ЗПК) из ПКМ для турбовентиляторных двигателей PowerJet SaM-146, которые устанавливаются на региональных самолетах Sukhoi Superjet 100 (SSJ 100). В компании пояснили, что конструкциями нового поколения оснастят не только новые силовые установки, но и все моторы, которые уже находятся в эксплуатации.

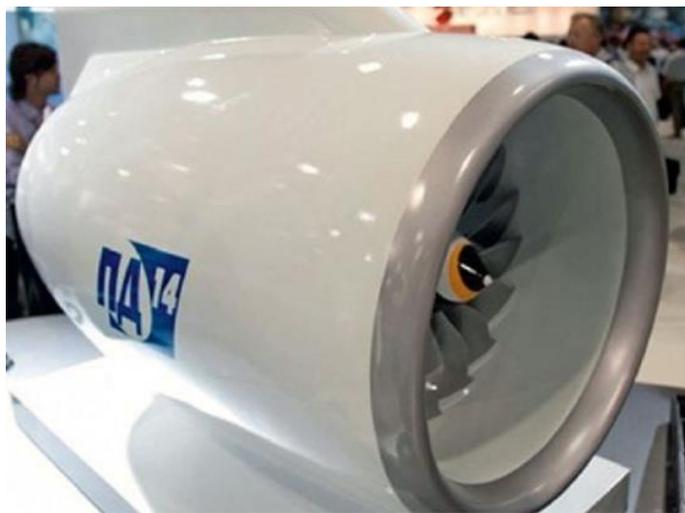
Конструктивные доработки двигателей SaM-146 производства компании PowerJet S.A. (российско-французское совместное предприятие, учрежденное НПО «Сатурн» и французской Snecma) были обусловлены необходимостью приведения

параметров надежности и безопасности авиалайнера в соответствии новым требованиям Европейского агентства по безопасности в авиации (EASA).

Новые ЗПК отличаются не только соответствием международным требованиям по акустике, но и повышенной стойкостью к механическому воздействию. В то же время раскрыть конкретные характеристики новых ЗПК в компании отказались, сославшись на коммерческую тайну. Известно, что существующие панели представляют собой многослойные сотовые конструкции резонансного типа, выполненные из ПКМ и их использование вместо металлических трехслойных сотовых ЗПК позволит сократить шумы в 1,5 раза.

ЗПК соответствуют аэрокосмическому стандарту AS/EN 9100 и входят в систему шумоглушения двигателя SaM146, которым агрегируется самолет Sukhoi SuperJet. Планируется также выпуск звукозащитных конструкций для турбореактивного двигателя ПД-14, которой будет оснащаться перспективный магистральный самолет МС-21.

В 2016 году в кооперации с «Авиадвигателем» и «Сатурном» начаты работы по двигателю ПД-14. В отличие от SaM-146 спектр применения изделий из ПКМ в этом двигателе планируется шире. Наряду с зарекомендовавшими себя звукопоглощающими панелями, композитными будут створки реверса, панели газогенератора и агрегаты мотогондол [26].



ПД-14 – двигатель пятого поколения, он соединяет в себе лучшие отечественные традиции с новыми авиационными стандартами XXI века. Турбореактивный двигатель – сложнейшее инженерное устройство, требующее очень непростых конструкторских решений. Например, одна лопатка турбины, а их в ступенях насчитывается около 70, вращается с частотой 12000 об/мин, и на нее действует центробежная сила, равная 18 т. Для сравнения: это нагрузка на

подвеску двухэтажного лондонского автобуса [27]. Проект ПД-14 – новая страница в истории турбовентиляторных двухконтурных двигателей и первая отечественная разработка в области гражданского двигателестроения за последние 29 лет:

Для ПД-14, при ведущей роли Центрального института авиационного моторостроения (ЦИАМ), головного НИИ отрасли, и ОКБ «Авиадвигатель», было разработано 16 критических технологий: монокристаллические лопатки турбины высокого давления перспективной системой охлаждения, работоспособные при температуре газа до 2000 К; пустотелая широкохордная лопатка вентилятора из титанового сплава, благодаря которой удалось повысить КПД вентиляторной ступени на 5% в сравнении с ПС-90; малоэмиссионная камера сгорания из интерметаллидного сплава; звукопоглощающие конструкции из композиционных материалов; керамические покрытия на деталях горячей части; полые лопатки турбины низкого давления и др.

При участии Всероссийского института авиационных материалов (ВИАМ) для ПД-14 было разработано порядка 20 новых материалов. Использование

композитных материалов в конструкции двигателя и мотогондолы существенно снизили вес двигателя.

Но создать материал – полдела: для его использования в гражданском авиадвигателе необходима сертификация по международным нормам. Иначе двигатель, как бы он ни был хорош, не допустят к полетам за пределами России. Правила тут очень строги, поскольку речь идет о безопасности людей. То же самое относится и к процессу изготовления двигателя: предприятиям отрасли требуется сертификация по нормам Европейского агентства авиационной безопасности (EASA). Все это заставит повысить культуру производства. Сама разработка ПД-14 проходила по новой, цифровой технологии, благодаря чему уже 7-й экземпляр двигателя был собран в Перми по технологии серийного производства, в то время как раньше опытная партия изготовлялась в количестве до 35 экземпляров. В целом же проект ПД-14 сохранит для России более 10000 высококвалифицированных рабочих мест.

В настоящее время в мире только 15 % двигателей, находящихся в эксплуатации, относятся к 5-му поколению.

Кроме отечественных компаний, только фирмы США, Великобритании и Франции владеют технологиями полного цикла создания современных турбореактивных двигателей. То есть государств, производящих современные авиационные турбореактивные двигатели, меньше, чем стран, обладающих ядерным оружием или запускающих в космос спутники. К примеру, многолетние усилия Китая до сих пор так и не привели к успеху в этой области. Китайцы быстро скопировали российский истребитель Су-27, однако скопировать его двигатель АЛ-31Ф им так и не удалось. Китай до сих пор вынужден закупать этот уже давно не самый современный двигатель в России. Поэтому технологии разработки авиационных двигателей оберегаются как важнейшая государственная тайна [27].

#### *Применение композитов в беспилотном авиационном строении*

Композиты – это основа многих современных проектов в области развития устройств с минимально заметным действием, одним из которых стали беспилотные летательные аппараты. КМ весьма активно использовались в их конструкции, результатом чего стала возможность их обнаружения только лишь с близкого расстояния. Беспилотный летательный аппарат (БПЛА, реже БЛА; в разговорной речи также «беспилотник» или «дрон», от англ. Drone – трутень) – летательный аппарат без экипажа на борту.

Холдинг «РТ-Химкомпозит» стал участником проекта Госкорпорации Ростех и австрийского концерна Diamond Aircraft Industries по созданию в России производства средних БПЛА. Участие холдинга обеспечит производство композиционных деталей БПЛА на территории России. Их доля в общей массе планера самолета составит около 70 %. Это первый инновационный проект на территории России по использованию в таком количестве композитов в самолетостроении для коммерческих перевозок.

Ученые «РТ-Химкомпозит» разработали армирующие материалы – высокопрочные синтетические волокна для легких конструктивных КМ для БПЛА. Применение нового уникального материала при создании беспилотников уменьшит вес планера в 2...2,5 раза и обеспечит его радиопрозрачность.

Некоторые БПЛА делают с упруго деформируемым крылом, которое в них выполняется из композита с большой степенью упругости. Это позволяет

сворачивать крыло без опасения потерять его форму. Крыло также хорошо противостоит соударениям с землей и препятствиями. Примером может служить БПЛА Maverick – компактный и очень легкий электрический летательный аппарат, разработанный американской компанией Prioria Robotics. Гибкое упругое крыло позволяет размещать его в небольшом тубусе диаметром 15 см.



**БПЛА с упруго деформируемым крылом из композита**

Кроме того, такое крыло способно частично компенсировать порывы ветра и улучшать стабильность полета. Аппарат оснащен камерой для видео съемки. Запуск БПЛА может производиться как «с руки», так и с помощью специальной пневматической катапульты. После вылета из катапульты аппарат разворачивает крылья. Гибкое крыло не имеет элеронов, поэтому управление осуществляется с помощью небольших аэродинамических рулей в хвостовой части. БПЛА Maverick имеет массу 1,16 кг, радиус действия до 5 км и способен находиться в воздухе от 45 до 90 минут, совершая полет со скоростью от 40 до 100 км/ч [28].

В конструкции ряда БПЛА применяется кевлар для повышения защиты, например, в RQ-11B Raven («Ворон») - малом разведывательном БПЛА производства США, который выполнял боевые вылеты в Ираке и Афганистане. Аппарат настолько мал, что может быть запущен в считанные минуты с руки, аналогично авиамоделю. Разработан на основе конструкции беспилотного аппарата FQM-151 «Пойнтер» и выпускается в нескольких модификациях. RQ-11 Raven может транспортироваться в трёх небольших контейнерах и оснащен запасной аккумуляторной батареей и зарядным устройством, которое можно подключить к автомобилю «Хаммер». RQ-11 Raven ориентируется по GPS или может управляться оператором вручную.

БПЛА Raven, считающиеся одними из самых массовых малоразмерных беспилотников в мире, стоят на вооружении армии США. Они применяются для выполнения задач наблюдения и разведки на низких высотах и нередко используются гражданскими организациями.



**БПЛА RQ-11 Raven**

Планёр самолёта представляет собой высокоплан с Т-образным хвостовым оперением, защищённый тканью кевлар.

### *Применение композитов в мультикоптерах*

Со времени создания первых мультикоптеров (П1) прошло почти столетие. За это время мультикоптеры значительно эволюционировали и стали именоваться БПЛА или дронами. Количество используемых винтов – 4, 6 и 8, а самыми популярными признаны четырехвинтовые модели – квадрокоптеры. Сфера их использования весьма обширна – от миниатюрных игрушек для детей и взрослых до профессиональных моделей, способных производить уникальную съемку, например, извержений вулканов. Популярность дронов растет с каждым днем, они становятся доступнее для обычного человека, желающего получить новые впечатления и от управления полетом, и от качественной съемки с «высоты птичьего полета».

Мультикоптеры и все разновидности БПЛА – квадрокоптеры (П1), гексакоптеры (П1) и октокоптеры (П1) производятся с несущей рамой из КМ – карбона или углепластика, и их шасси также делается из КМ.

При изготовлении карбоновых балок (лучей) БПЛА в специальной оснастке им иногда придают сложную форму, чтобы появилась возможность сделать луч разного сечения и разместить внутри него регулятор оборотов. В итоге получается монолитная конструкция, которая обладает гораздо большей жесткостью и из конструкции исключается лишний крепеж.

Центральная часть БПЛА, как правило, изготавливается из карбоновых пластин. В случае производства композитной рамы из углепластика появляется возможность увеличить жесткость, снизить вес, придать раме красивый внешний вид, а также предусмотреть более высокотехнологичные крепления лучей и шасси. Применение КМ даёт возможность создания сверхлегких шасси самой разнообразной формы. Они могут быть складывающимися, поворотными вокруг оси БПЛА, со встроенными амортизаторами и т.д.

Реализован проект, в ходе которого разработан и изготовлен карбоновый винт, в ходе испытания которого было выявлено, что он превосходит импортные аналоги не менее чем на 20 %, а по ряду показателей более чем в 2 раза [29].

Для целого ряда мини квадрокоптеров рамы изготавливают из композитного материала – карбона или углепластика. Например, для сборки мелкого квадрокоптера 180-го размера для быстрых FPV полетов применяют карбоновую раму [30].



### **Рама из карбона для мини квадрокоптера**

Карбоновое волокно и текстолит, толщина нижней пластины - 3 мм чистый карбон, толщина верхней пластины и пластины для камеры – 1,5 мм карбон, внутренняя часть текстолит, вес 81 г.

По мнению авторов [31] российскому потребителю предлагается 7 лучших квадрокоптеров. Это профессиональный квадрокоптер DJI Phantom 2, квадрокоптер для новичков с HD-камерой Syma X5C, универсальный квадро-коптер Walkera QR

X350 PRO, миниквадрокоптер с FPV Hubsan X4 FPV H107D, квадрокоптер больших размеров WLToys V262C, квадрокоптер для фото- и видеосъемки Parrot Bebop Drone, квадрокоптер-трансформер DJI Inspire 1.



**Квадрокоптер**



**Гексакоптер**

Существуют разновидности аппаратов самолетного и вертолетного типа, такие как автожиры (П1) и конвертопланы (П1), детали которых также выполнены из КМ.

В июле 2017 года по данным Агентства дорог и транспорта Дубая одноместные пассажирские мультикоптеры EHang 184 начнут летать над Дубаем на регулярной основе. Перемещение дрона по маршруту будет контролироваться оператором с земли через 4G-сеть, сам пассажир при посадке в беспилотник указывает только пункт назначения.

#### *Применение композитов в БПЛА с машущим крылом*

БПЛА с машущим крылом основаны на бионическом принципе – копировании движений, создаваемых в полете летающими живыми объектами. Аппараты, основанные на имитации движений птиц, получили название **орнитоптеров (махолётов)** (П1), а аппараты, в которых копируются движения летающих насекомых – **энтомоптерами**.

Главные преимущества, которые имеют птицы и летающие насекомые перед существующими типами летательных аппаратов – это их энерго-эффективность и маневренность. Если разработчикам машущих БПЛА удастся по показателям энергоэффективности и маневренности приблизиться к тому, что уже имеется в живой природе, то тогда их усилия будут не напрасными, и можно ожидать, что этот класс аппаратов начнет находить свое применение.

*Орнитоптеры.* При создании БПЛА, имитирующих движения птиц, много внимания уделяется механическому приводу крыльев. Механические передачи должны обеспечивать необходимый набор движений и при этом быть простыми и легкими (из КМ). Кроме махов вверх/вниз с нужной частотой, система управления движением в подходящие по внешним условиям моменты должна реализовывать режим парения, для того, чтобы аппарат мог максимально эффективно использовать набегающие и восходящие потоки воздуха [32].

Интерес к махолётам связан с тем, что теоретически они могли бы иметь значительно более высокий КПД, чем самолёты, использующие пропеллеры или реактивные двигатели для создания тяги. Например, из-за того, что подъёмная сила у махолётов, как и горизонтальная сила тяги, создаётся за счет взмаха крыла, а не за счёт обтекания воздухом профиля крыла, то махолёт может использовать нулевой угол атаки и тем самым сильно снизить затраты энергии на преодоление сопротивления воздуха. Но такая ситуация сохраняется только на низких скоростях

полёта. На высоких скоростях для поддержания полёта достаточно маленьких крыльев, и чем они больше, тем полёт менее эффективен из-за возрастания сопротивления воздуха, а для создания достаточной силы тяги махолёта нужны большие крылья. Из-за этого противоречия возможная область применения махолётов ограничивается аппаратами небольшой массы, которые могли бы летать медленно.

Мечта о полёте зародилась у человека в глубокой древности. Со временем появились попытки реализовать этот замысел. Путь к нему, казалось, был очевиден – следует сделать из прутьев и полотна или перьев большие крылья и, подражая движениям птиц, подняться в воздух. Но в действительности всё оказалось не так просто. На таких «крыльях» экспериментаторы не могли летать и часто платили за свою смелость жизнью. Предпринималось много попыток построить орнитоптер (махолёт), которым мог бы управлять человек.

Пока нет серийно выпускаемых орнитоптеров и практического применения они пока не имеют. Однако во всем мире проводятся интенсивные исследования в этой области и в последние годы появилось много разных интересных орнитоптеров. Внизу нами в хронологическом порядке приведены концепты некоторых *орнитоптеров*.

## 1485-1487, Италия

Первый известный проект летательной машины Леонардо да Винчи – это проект орнитоптера, где человек должен находиться в лежачем положении. Для взмахов крыльями нужно использовать и силу рук, и силу ног «пилота». Ось крыла располагалась таким образом, чтобы при движении вниз оно одновременно двигалось назад, создавая наряду с подъемной силой и силу, направленную вперед, необходимую для горизонтального полета. Остается неизвестным, построил Леонардо махолет по своим эскизам или нет. Он был убежден, что «человек, преодолевающий сопротивление воздуха с помощью больших искусственных крыльев, может подняться в воздух».

Уверенный в своей правоте, Леонардо придумал аппарат, который позволил бы человеку парить в воздухе, как птица, размахивая большими механическими крыльями, приводимыми в движение только силой мышц. Существует множество рисунков такого «ornitotteri», придуманных Леонардо. Одни из них изображают лежащего человека, который собирается взлететь с помощью механизмов, присоединенных к крыльям; другие – движение вперед при помощи более совершенной системы винтов и шкива. Есть и рисунки человека, расположенного вертикально в летательном корабле

Леонардо да Винчи до малейших подробностей проработал несколько проектов различных типов орнитоптеров. При разработке этих летательных аппаратов он выдвинул ряд замечательных конструктивных идей, которые используются сейчас в современном самолетостроении: фюзеляж в виде лодки, поворотное хвостовое оперение, убирающееся шасси [33].

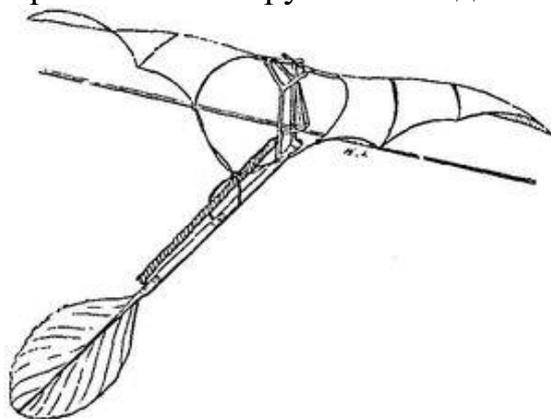
Считается, что Леонардо предвосхитил изобретение парашюта, велосипеда, танка, лёгких переносных мостов для армии, прожектора, катапульты, робота, вертолета и махолета, арбалета, автомобиля.

## 1808, Австрия

В 1808 году в Вене Якоб Деген сделал попытку подняться в воздух на орнитоптере, частично уравновешенном водородным баллоном.

## 1872, Франция

В одной из первых свободнолетающих моделей беспилотных орнитоптеров, созданной Альфонсом Пено (1850-1880) в качестве двигателя использовалась закручиваемая резина. В период примерно с 1870 по 1876 гг. Альфонс Пено в научных целях изготовил несколько моделей летательных аппаратов. Эти аппараты с резиновым и пружинным двигателем, в частности



модель вертолёт с соосными винтами, поднимавшегося на высоту до 15 м, и модель махолёта «Ортоптер», в котором одним из его изобретений было применение в качестве двигателя закрученной резиновой полосы (до этого применялись двигатели на основе растянутой резины).

## Махолёт «Ортоптер», 1872

С использованием такого двигателя Пено изготовил модель самолёта «Планофор», публичный запуск которой был впервые осуществлён в 1871 году в присутствии представителей французского

Воздухоплавательного общества в Саду Тюильри. При помощи «Планофора» Пено исследовал меры по обеспечению собственной статической устойчивости самолёта. По мнению некоторых французских литературоведов, Альфонс Пено является прототипом Робура – героя романов Жюль Верна «Робур Завоеватель» и «Властелин Мира».

### **1890, Германия**

Немецкий инженер, первый летчик-исследователь и один из самых известных пионеров авиации Карл-Вильгельм Отто Лилиенталь (1848-1896) много экспериментировал с махолетами. Совершил свыше 2000 полётов на планёрах собственной конструкции. Он убедился, что одной только мускульной силы человека недостаточно. Незадолго до гибели Отто построил летательный аппарат с машущими законцовками крыла. 10 августа 1896 года во время полёта в Берлине его планер перевернуло внезапным порывом ветра и он погиб. Перед смертью успел сказать «Жертвы неизбежны». В 1985 году в Берлинском аэропорту Тегель имени Отто Лилиенталья ему поставили памятник - «Дедал и Икар». По-немецки скульптура называется «Der Fall Daidalos und Ikaros», скульптор Rolf Scholz.

### **1891, Россия**

3 ноября 1891 года Никола́й Егорович Жуко́вский, всесторонне исследовав динамику полёта птиц, сделал доклад «О парении птиц». В 1892 году сделал доклад «По поводу летательного снаряда Чернушенко», составив основные уравнения динамики для центра тяжести планирующего тела. Осенью 1898 года на X съезде русских естествоиспытателей и врачей Жуковский прочитал обзорный доклад «О воздухоплавании». В 1904 г. Жуковский открыл закон, определяющий подъёмную силу крыла самолёта; определил основные профили крыльев и лопастей винта самолёта; разработал вихревую теорию воздушного винта. 15 ноября 1905 г. Жуковским был прочитан доклад «О присоединённых вихрях», заложивший теоретическую основу развития методов определения подъёмной силы крыла аэроплана; в 1906 г. он опубликован в виде отдельной научной работы. В техническом училище в 1908 г. он создал Воздухо-плавательный кружок. В 1909 году Жуковский возглавил создание аэродинамической лаборатории в Московском высшем техническом училище. При его активном участии были созданы Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), Московский авиатехникум (Военно-воздушная академия).

### **1902, Англия**

Эдвард Фрост (Edward Purkis Frost) сконструировал орнитоптер из ивы, шёлка и перьев в Кембриджшире (Англия) [34]. Сначала он построил орнитоптер с паровой машиной мощностью 5 л.с., у которой размах крыльев составил 10 м, а вес около 300 кг. Разумеется, аппарат не полетел и он, казалось бы, забыл об идее. Но когда появились двигатели внутреннего сгорания, то он решил что уж теперь-то, он точно полетит. И в 1902 году он строит облегченную и упрощенную версию своего орнитоптера, с меньшим количеством крыльев, с размахом 7 м и весившим около 100 кг при двигателе в 3 л.с. Но, конечно, с его представлениями о машущем полете и с такой энергетикой полететь у него не получилось, да и не могло получиться. Слишком мала мощность, да и масштабированию машущее крыло практически толком не поддается.



**Орнитоптер Эдварда Фроста  
из ивы, шёлка и перьев,  
1902**

**1908, Россия**

В 1908 году в городе Тифлис на Махатской горе состоялась серия из тридцати успешных полётов мускульного орнитоптера-планера с ножным педальным приводом А.В. Циукова [35].

**1921, РСФСР**

В 1921, в 1934 и 1935 Б.И. Черановский проводил опыты по полётам на орнитоптерах-планерах, третий из которых получил именование БИЧ-18.

**1928, США**



Американец Джордж Уайт, из городка Сент-Августин во Флориде, хотел летать как птица, легко и свободно, пользуясь только своими силами. Конструкция, начатая им в 1927 году собрала в себя всё лучшее, что могла дать лучшая в мире американская промышленность. Каркас орнитоптера был сварен из хромомолибденовых цельнотянутых бесшовных труб. Меньшего веса каркаса быть уже не могло, но оставалась обшивка. Традиционное полотно либо весило слишком много. Уже появились первые полимерные пленки, причем, к 1927 году их научились делать достаточно широкими и прочными. Появились и первые негорючие пленки, что позволило использовать их для обтягивания орнитоптера. Орнитоптер длиной

2,5 м имел крылья с размахом в 9 м и весил 53,5 кг.

**Орнитоптер Джорджа Уайта, 1928**

В погоне за минимальной массой конструкции мистер Уайт забыл проблемы устойчивости. Ну какая продольная устойчивость может быть с подобным хвостиком? Тем более, при машущих крыльях? Ровным счетом никакая. Что и подтвердил первый же испытательный полет. Несмотря на два рычага управления, первый полет закончился аварией. Но орнитоптер Уайта взлетел, причём на мускульной силе человека. А что недалеко, - ну так что уж тут.

## 1929, Германия

Немецкий аэродинамик Александр Липпиш построил планер с машущими крыльями, приводимыми силой пилота. Спустя десятилетие немецкий инженер Адальберт Шмид установил на планер дополнительные машущие крылья, приводимые ДВС.

## 1929, СССР

Художник Владимира Татлина (1885-1953) вместе с бригадой помощников в 1929-1932 гг. сделал орнитооптер «Летатлин» как концептуальное произведение искусства. «Летатлин» был сделан в 3 экземплярах. Единственный сохранившийся вариант аппарата «Летатлин № 3» (с некоторыми утраченными деталями) находился в Музее Осовиахима и затем, после нескольких перемен в организации авиационных музеев, поступил в Центральный государственный музей авиации и космонавтики имени Н.Е. Жуковского в городе Монино - в настоящее время это Центральный музей Военно-воздушных сил РФ.

Непосредственно к воплощению замысла орнитооптера Татлин приступил в 1929 году в специальной мастерской, которая была устроена в угловой башне Новодевичьего монастыря. Испытания одного из аппаратов не состоялись из-за повреждений при транспортировке. После ликвидации мастерской орнитооптер так и не был опробован.



### Орнитооптер «Летатлин», 1929-1932

Материал: дерево, пробка, стальной трос, дюраль, китовый ус, сыромятный ремень, шариковые подшипники, ткань и др.

## 1936, РСФСР

В 1936 году Осавиахим провёл успешные стендовые испытания мускульного орнитооптера с ручным приводом конструкции П.И. Смирнова. Во время стендовых испытаний лётчик М.И. Чекалин скользил по тросу с горы, расположенной на планерной станции в селе Трикотажное [35].

## 1979, США (Англия)

12 июня 1979 года профессиональный велосипедист Брайан Алиен (Bryan Alien) впервые в истории пересёк на мускулолёте пролив Ла-Манш. Его маршрут пролегал между Фолкстоном (Folkestone, Англия) и мысом Грис-Нез (Cap Gris-Nez, Франция). Риск вроде был и не так уж велик: Алиен летел на высоте в несколько метров, и на всём пути его сопровождала моторная лодка. Такое достижение поразило мир. Алиен крутил педали 2 часа и 49 минут и за это время пролетел 35,82 км. Мускулолёт Gossamer Albatross («Лёгкий как паутинка альбатрос») спроектировал американский инженер Поль Маккриди. Аппарат имел огромный размах крыльев – почти 30 м и весил 32 кг. Материалы: карбон; полистирен; майлар;

тоненькая плёнка на крыльях, изящные рейки, прозрачный обтекаемый кокпит пилота.

### **1981, СССР**

Профессор МАИ Валентин Киселев смог поднять в воздух в Москве тяжелую машущекрылую кордовую 7-и кг модель махолета, которая, несмотря на большой вес, сама взлетала и кружила в воздухе. Позже он сконструировал радиоуправляемые модели махолетов.

### **1986, США**

Американский конструктор Пол Маккриди построил летающую модель птерозавра (П1) с машущим крылом. Он потратил на проект 2 млн долларов, но научить птерозавра летать так и не удалось. Модель запускалась с помощью катапульты, затем она планировала, включалось машущее крыло, но так, чтобы медленные движения крыла с малой амплитудой просто не мешали модели планировать. Это была лишь внешняя имитация машущего полета. В итоге модель была продана в Смитсоновский музей (П1) за 3 млн долларов.

### **1988, Греция-США**

23 апреля 1988 года греческий велосипедист-спортсмен Канеллос Канеллопулос (Kanellos Kanellououlos) совершил перелёт на мускулолёте Daedalus 88 (Массачусетский технологический институт) с острова Крит на Санторин и установил мировой рекорд, пролетев расстояние в 115,11 км над волнами за 3 часа 54 минуты 59 секунд. Аппарат имел размах крыльев 34,75 м, а их площадь составила 35 м<sup>2</sup>. Действующий рекорд дальности полёта зафиксирован FAI (Federation Aeronautique Internationale).

### **2004, Канада**

Один из наиболее распространенных типов нептицеподобных машущих аппаратов – **ортоптер**, прямокрылый летательный аппарат, использующий для получения подъёмной силы прямой «удар» плоскостью крыла при взмахе вниз.



### **Ортоптер Джеймса Делориера, 2004**

До установки на него реактивного двигателя.

### **2006, Канада**

Пилотируемый моторный махолет канадского профессора университета Торонто Джеймса Делориера оторвался от земли на 14 секунд и пролетел 300 м. Увы, такой полет стал возможным только благодаря помощи небольшого реактивного двигателя. После успешных испытаний моделей учёные Делориер и Киселев перешли к проектированию пилотируемых махолетов.

Джеймс Делориер считает, что в ближайшем будущем пилотируемые махолеты (если они появятся) будут особенно популярны в качестве развлекательных аппаратов на различных авиационных шоу и выставках. В то время как миниатюрные махолеты, размером с жука, найдут широкое применение в разведке.

Российский профессор Валентин Киселев не исключает, что махолеты будут не менее популярны в бизнес-авиации.

### **2011, ФРГ**

Показательным примером в этой области является БПЛА SmartBird компании Festo, известной своими разработками в области бионики. Созданный аппарат внешне очень похож на птицу.



### **БПЛА SmartBird, 2011**

Длина 1 м, размах крыльев 2 м, масса 450 г. Питание осуществляется от литий-полимерной аккумуляторной батареи (7,4 В). Потребляемая мощность в режиме выполнения маховых движений 23 Вт, в режиме парения ещё меньше – 18 Вт.

Аппарат выполнен по образу и подобию реальной птицы – серебристой чайки, но несколько крупнее её по габаритам. Он способен не только собственно летать, но и совершать самостоятельные взлет и приземление. Его крылья движутся не только вверх и вниз, но также и поворачиваются вокруг собственной оси, что обеспечивает движениям максимальную точность.

### **2013, Канада**

В июле 2013 года мускулолёт Atlas получил приз Сикорского в 250000 долларов, провисев в воздухе 64 секунды и достигнув высоты 3,33 м, при этом оставаясь в рамках квадрата со стороной 9,8 м.

Чтобы получить приз, нужно было создать вертолёт, приводимый в движение исключительно человеком, который продержится в воздухе на высоте 3 метра на протяжении 60 секунд. Машина также должна была находиться в пределах области 10×10 метров. Попытки построить такой аппарат предпринимались с 1980 года. Команда AeroVelo из Торонтского университета (Канада) смогла это сделать на воздушном велосипеде Atlas. Он состоит из расположенных на большой раме четырёх роторов, которые приводятся в движение за счёт кручения педалей на модифицированной велосипедной раме.

Машина оставалась в воздухе 64 секунды и достигла высоты 3,33 м, находясь при этом в рамках квадрата со сторонами в 9,8 м.

### *Энтомоптеры*

БПЛА, имитирующие движения летающих насекомых, условно можно подразделить на имитаторы четырехкрылых и имитаторы двукрылых насекомых. Четырехкрылые (стрекозы, бабочки) совершают более сложные движения, чем двукрылые, и возможностей управления полетом у них гораздо больше. Внизу показан четырехкрылый энтомоптер компании Festo (ФРГ, 2013).



### **Четырехкрылый энтомоптер Bionicopter компании Festo**

Длина 44 см, размах крыльев 63 см. Крылья выполнены из углеродного волокна и полиэфирной плёнки. Частота взмахов крыла – 15...20 Гц. Масса 175 г.

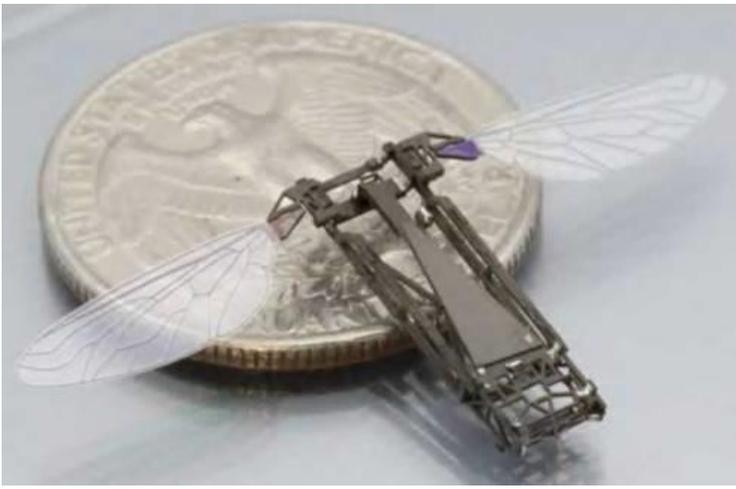
Управление полётом робота осуществляется со смартфона. BionicOpter имеет встроенный ARM-микроконтроллер, обеспечивающий стабилизацию полёта. Аппарат оснащен одним основным электродвигателем и восемью сервоприводами. На борту имеется набор сенсоров для предотвращения столкновений с препятствиями. Схема питается от двухсекционного литийполимерного аккумулятора 7,4 В.

Конструкция BionicOpter обеспечивает этому аппарату множество возможностей маневрирования. Каждое крыло, кроме маховых движений, может совершать вращательные движения вокруг своей оси и угловые перемещения в горизонтальной плоскости. Кроме того, хвостовая часть может изгибаться, меняя положение центра тяжести. Благодаря таким возможностям управления, аппарат может, например, мгновенно зависать на месте и перемещаться в горизонтальной плоскости в любую сторону, не изменяя при этом угла тангажа.

Разработки БПЛА, имитирующие двукрылых насекомых, развиваются, в основном, в направлении микроминиатюризации аппаратов. Здесь все достижения, видимо, еще впереди. Развитие технологий новых сверхлегких материалов, источников питания, нанoeлектроники и интеллектуального управления в ближайшие годы позволят создать микроминиатюрные насекомоподобные БПЛА, приближающиеся к живым существам и по выполняемым функциям, и по размеру. Уже появляются новые концепции управления коллективами микророботов, перед которыми можно будет ставить цели, ранее не достижимые, т.к. эти формации воздушных микророботов будут обладать большими возможностями в силу таких их качеств, как коллективная живучесть, способность многовариантного решения задач, незаметность перемещений, способность к массированным и непрерывным миссиям и т.д.

Пример разработки миниатюрного двукрылого энтомоптера показан внизу. Это микро-БПЛА Mobeo (Monolithic Bee), разработанный Лабораторией микроробототехники Гарвардского университета (США, 2011). Его особенность в том, что он изготовлен по интегральной многослойной технологии.

В основе – тонкая углепластиковая пластина, в которой лазером сделаны все необходимые вырезы, затем нанесено ещё множество металлических и неметаллических слоев, формирующих необходимые электронные и микроэлектромеханические устройства, включая сенсоры, радиотехнические устройства и актуаторы крыльев [36].



## Энтомоптер Мобее (микро-БПЛА)

В его основе тонкая углепластиковая пластина, в которой лазером сделаны все необходимые вырезы, затем нанесено ещё множество металлических и неметаллических слоев.

Российский мультикоптер на водороде установил мировой рекорд по длительности полета [37]. В подмосковной Черноголовке состоялись испытания нового российского мультикоптера фирмы НЕЛК на водородно-воздушных топливных элементах, разработанных в Институте проблем химической физики РАН (ИПХФ). В ходе испытаний беспилотник продержался в воздухе 3 часа 10 минут – это новый мировой рекорд по продолжительности полёта на открытых пространствах среди мультироторных беспилотников.

Абсолютный мировой рекорд по длительности непрерывного полёта для мультироторного беспилотника принадлежит канадской компании EnergyOr. В июне 2015 года её коптер на водородном топливе продержался в воздухе 3 часа 43 минуты и 48 секунд. Однако рекорд был установлен в ангаре и коптер не летал, а только оторвался от поверхности на полтора метра и завис.

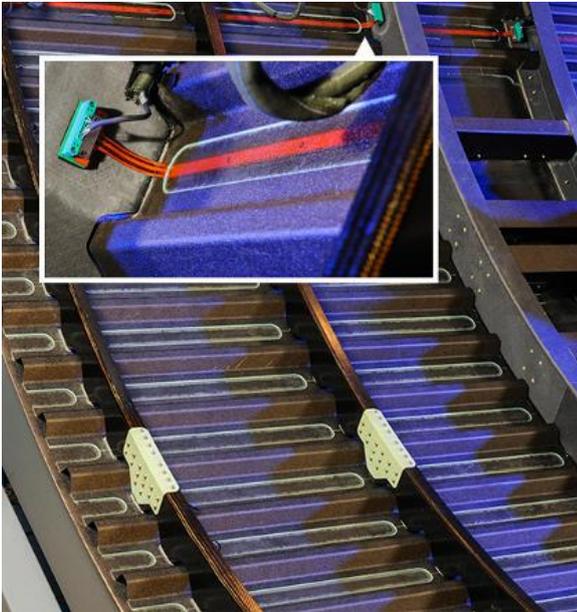
В отличие от него, испытания октакоптера НЕЛК проводились под открытым небом. «Коптер летал в условиях порывистого ветра и временами под дождём, - рассказал руководитель лаборатории ионики твёрдого тела ИПХФ РАН. - При этом менялись режимы полёта - автопилот и управляемый, коптер менял высоту и передавал на землю изображения и видео. А в тепличных условиях он должен был летать порядка 4 часов 20 минут».

### *Авиационные композиты со встроенными датчиками*

Германский авиакосмический центр провел испытания «нервной системы», которую предполагается интегрировать в авиационные элементы конструкции из композиционных материалов. Такие «нервы» позволят выявлять повреждения композитов и с высокой точностью локализовать их [38].

В испытаниях использовалась секция фюзеляжа с дверным проемом, выполненная из композиционных материалов с размером 5x7 метров. В структуру секции были интегрированы в общей сложности 584 сенсора, контролировавших состояние детали.

Во время испытаний система сенсоров точно сумела определить тип и расположение повреждения.



Разработанная немцами система использует ультразвуковые волны для оценки состояния конструкции. При нажатии кнопки самодиагностики или запуске процедуры при помощи программы, в композитной конструкции срабатывают ультразвуковые излучатели. Их сигнал принимают датчики. В случае, если в структуре композиционного материала есть повреждение, оно будет отклонять ультразвук или задерживать его прохождение.

Именно благодаря изменениям в прохождении ультразвуковых волн в композите и будет оцениваться и локализоваться повреждение. Разработчики

утверждают, что система сможет с высокой точностью определять тип повреждения.

Секцию с дверным проемом выбрали для испытаний, поскольку, по данным разработчиков, именно этот элемент на самолетах повреждается чаще всего. В ближайшее время Германский авиакосмический центр намерен провести ещё серию испытаний «нервной системы», которые позволят сертифицировать ее для использования на самолетах. В проекте разработки системы участвуют европейские компании Airbus, Invent и FACC. Когда именно система будет выпускаться серийно, пока неизвестно.

Ранее похожую систему планировала использовать японская компания Mitsubishi в своем истребителе – демонстраторе технологий ATD-X Shinshin. Она должна была стать частью технологии самовосстановления управления полетом. Ее суть заключается в том, что бортовой компьютер сможет определять полученные повреждения различных аэродинамических элементов конструкции самолета. Затем на основе полученных данных о повреждениях бортовой компьютер корректировал бы работу оставшихся аэродинамических элементов таким образом, чтобы, насколько это возможно, восстановить управляемость боевого самолета.

#### *Полимерный композиционный материал со встроенным датчиком*

Ученые из Национального института стандартов и технологий (США) разработали полимерный композиционный материал со встроенным датчиком, который позволяет отслеживать малейшие механические повреждения внутри композита. Такие материалы могут использоваться при изготовлении самолетов и других транспортных средств [39].

Американские ученые создали полимерный композит на основе эпоксидной смолы и шелка и встроили в него флуоресцентный датчик, который позволяет отслеживать в материале повреждения наноразмера.



На рис. слева: обычный шелк. В середине: флуоресцен-ция молекул датчика, присутс-твующих в структуре шелкового волокна. Справа: молекулы датчика в шелковом волокне флуоресцируют в ответ на деформацию.

Датчик состоит из спиrolактама с родамином (органическим красителем). В ответ на механическое напряже-ние датчик флуоресцирует. Ученые

присоединили молекулы датчика к шелковым волокнам, встроенным в эпоксидную смолу – основу КМ. То есть, сила, приложенная к материалу, вызывает его деформацию, которая активирует молекулы датчика, заставляя их флуоресцировать. С помощью красного лазерного диода и микроскопа ученые смогли обнаружить внутри материала даже самые мельчайшие разрывы и трещины.

По словам ученых, методы измерения минимальных повреждений в таких материалах уже существуют, однако, данное исследование впервые демонстрирует новый способ, который показывает, что происходит внутри КМ на границе раздела компонентов. Для своего исследования ученые выбрали материал на основе эпоксидной смолы и волокон шелка, так как он сочетает в себе наиболее выгодные свойства: прочность шелка и ударную вязкость смолы.

#### *Керамические матричные композиты в вертолётных двигателях*

Инженеры американской компании Honeywell намерены начать использовать керамические матричные композиты при производстве деталей для вертолетных двигателей, выпускаемых для военных. Как сообщает Flightglobal, в настоящее время специалисты определяют список элементов силовых установок, которые можно будет изготавливать из нового материала [40].

Детали из керамических матричных композитов получают турбовальные двигатели Т55, устанавливаемые на тяжелые транспортные вертолеты СН-47 Chinook, и силовые установки СТС800, при помощи которых летают многоцелевые вертолеты АW159 Wildcat. В частности, из нового материала предполагается изготавливать конусы сопел выпускной системы двигателей.

За счет использования керамических матричных композитов компания рассчитывает снизить массу силовых установок и улучшить некоторые параметры их работы. Из нового материала будут выполняться только неподвижные элементы конструкции силовых установок, не испытывающие значительных нагрузок. Они позволяют расширить некоторые эксплуатацион-ные параметры деталей двигателей, особенно в части температурного режима. Они же позволяют снизить общую массу силовой установки. Сегодня такие материалы используются американской компанией GE Aviation в двигателях GE9X и LEAP-1A.

В середине октября 2016 года GE Aviation совместно с Армией США провела испытания основных агрегатов перспективного газотурбинного двигателя, разработка которого ведется в рамках программы FATE. Испытания прошли компрессор, камера сгорания и турбина, сделанные из керамических матричных композитов. Благодаря новым материалам удалось уменьшить габариты камеры сгорания за счет отказа от части охлаждающих контуров. В рамках проекта FATE военные рассчитывают получить дешевую экономичную силовую установку, которую можно было устанавливать на разные типы техники. Новые двигатели заменят устаревшие T700, устанавливаемые на вертолеты AH-64 Apache и UH-60 Black Hawk.

По сравнению с современными газотурбинными двигателями новые силовые установки будут потреблять на 35 % меньше топлива, а их тяговооруженность будет на 80 % больше. Кроме того, стоимость производства таких двигателей будет на 45 % меньше.

#### *Боропластики в самолётостроении*

Боропластики, содержат в качестве упрочняющего (армирующего) наполнителя борные волокнистые материалы. Наполнитель применяют в виде мононити (диаметр 90...200 мкм), жгутов из нескольких таких нитей, оплетенных вспомогательной стеклянной или органичной нитью, а также тканей и лент, в которых борные нити или жгуты переплетены другими нитями. Связующими в боропластиках служат эпоксидные смолы, полиамиды или другие полимеры, главным образом термореактивные [41].

Боропластики – конструкционные материалы, применяемые в авиационной и космической технике для снижения массы (на 20...40%) высоко-нагруженных деталей, например панелей стабилизаторов, поверхностей управления. Мировое производство боропластиков ограничивается высокой стоимостью наполнителя. На данный момент масштабы применения во всём мире боропластиков в самолётостроении очень масштабны. Например, на один истребитель F-15 расходуется около 750 кг боропластиков (не менее 5...7 % от общей массы самолёта). Эти материалы используются для усиления элементов силового набора накладками из боропластика, что обеспечивает снижение веса элементов конструкции и повышение их несущей способности, а также для изготовления обшивок.



Благодаря применению боропластиков значительно упрощается технология производства и возможно сокращение общего количества узлов и деталей в некоторых элементах конструкции самолета. Например, по заявлению специалистов фирмы «McDonnellDouglas», при изготовлении из боропластиков руля направления самолета F-4 «Fantom» число деталей сократилось с 240 до 84.

Сейчас, в авиастроении использование композиционных материалов с использованием сплавов из бора составляет 15-20 % за счёт дорогостоящих методов производства, и авиаконструкторы предпочитают использовать углепластики, что не

является идеальным решением, но за счёт своих механических и физических свойств не возможно заменить композиты с бором и возможно в недалёком будущем, двигатели и основные силовые элементы будут состоят только из композитов с матрицей из соединений с бором.

#### *Сэндвич из углепластика для крыла истребителя Т-50*

Т-50 - российский многофункциональный истребитель пятого поколения, разрабатываемый «ОКБ Сухого» в рамках проекта «ПАК ФА» (Перспективный авиационный комплекс фронтовой авиации). Самолёт разрабатывается для замены в российских ВВС истребителя Су-27. Минобороны РФ окончательно определилось со сроками начала поставок новейшего перспективного истребителя Т-50 в Воздушно-космические силы. Новая машина будет включена в госпрограмму вооружений на 2018-2025 годы.

Т-50 – это набор всего самого современного, что есть в российском авиастроении. Прежде всего это композитные материалы, доля которых в общей массе самолета составляет 25 %, а по поверхности 70 %.

Уникальное «черное крыло» для Т-50 изготавливается путём раскраивания и выкладки сотен полотен из углепластика. Несмотря на кажущуюся простоту технологии, для того чтобы начать процесс выкладки, нужна специальная оснастка. Эта оснастка также изготавливается из КМ и к ней предъявляется целый ряд требований.



Крыло Т-50 – типичная композиционная конструкция. Внутри – алюминиевые соты, сверху и снизу около сотни слоев углепластика. После выкладки этот «сэндвич» помещается на 8 часов в автоклав, где превращается в высокопрочную и легкую авиационную деталь.

Для истребителя Т-50 на Обнинском научно-производственном предприятии «Технология»

разработали особый углепластиковый материал. Главное технологическое ноу-хау в так называемых препрегах – материалах-полуфабрикатах, характеристики которых напрямую зависят от того, насколько однородно сплавлено углеродное волокно и смоляная часть.

«Эти технологии в мире очень закрыты. Например, технологией получения хорошего углеродного волокна владеют 2-3 страны мира. И купить её невозможно. Либо ты должен её сам развить, либо будешь покупать готовый продукт, там самолет и т.д., но сам уже это делать не сможешь», - сообщили в ОАО «Московский машиностроительный экспериментальный завод – Композиционные технологии».

### *Первый в России цех по выпуску БПЛА нового поколения*

В городе Рыбинске Ярославской области открыт первый в России промышленный цех по выпуску малых и средних БПЛА нового поколения.

Производственный корпус площадью 2200 м<sup>2</sup> возведен в рамках инвестиционного проекта, который реализуется на базе конструкторского бюро «Луч». Полное формирование площадки завершится к 2018 году, а после в рамках проекта будет возведен ещё один цех для изготовления отдельных комплектующих из КМ и сборки беспилотников. Создание производственной площадки в Ярославской области - заслуга «Объединенной приборостроитель-ной корпорации», которая входит в госкорпорацию «Ростех». В создание нового производства инвестировано более 120 млн рублей.



На его мощностях планируется выпуск перспективного беспилотника среднего класса «Корсар» и ряда других моделей БПЛА. Сейчас в России ведутся работы по созданию БПЛА, который будет использоваться для обнаружения самолетов «стелс». Такой беспилотник сможет засечь американские истребители F-22 и F-35, а также малозаметный стратегический бомбардировщик B-2 Spirit.

Работы над инновационным военным БПЛА ведет Объединенная авиастроительная корпорация, а концерн «Радиоэлектронные технологии» займется разработкой основных систем коммуникаций, РЭБ, самозащиты и наземной станции управления.

### *В СибНИА создали самолета Ан-2 из новейших КМ*

Конструкторы Сибирского научно-исследовательского института авиации им. А.С. Чаплыгина (СибНИА) создали новейшую модификацию самолета Ан-2. Новая модель самолета получила название «Легенда»: она полностью собрана из новейших КМ и оснащена двигателем новой модели.



Биплан будущего лучше тяжелого на подъем металлического Ан-2 по всем характеристикам и выглядит гораздо привлекательнее. Например, расстояние от Новосибирска до Москвы «Легенда» способна преодолеть без единой посадки и нести в два раза больше груза, чем Ан-2. Но что ещё важнее, Ан-2 мог подняться в воздух только в светлое время суток, а

сибирские ученые разработали уникальную навигационную систему, которая позволит эксплуатировать самолет круглосуточно.

«Легенда» превосходит предшественника по скорости почти в 2 раза. То же можно сказать и о дальности полета без дозаправки: если у Ан-2 топливо находилось только в верхней паре крыльев, то у «Легенды» баки расположены в нижних крыльях тоже. При этом технология изготовления позволяет собирать

такую модель в 5...6 раз быстрее. Новый самолет, в отличие от Ан-2, работает на керосине, что делает его более экономным, потому что керосин стоит в 3...5 раз дешевле авиационного бензина. Чтобы взлететь, грузовой «Легенде» хватит 50-м взлетной полосы, которые есть даже на вертолетных аэродромах.

Новый самолет будет, скорее всего, очень востребован на рынке, и в частности, для сообщения между центральными населенными пунктами и удаленными районами. Сейчас проект самолета нового поколения близок к стадии завершения. В скором времени будет произведена установочная партия опытных образцов, которые пройдут всевозможные испытания. По оценкам специалистов, уже к 2018 году самолет уйдет в серийное производство.

#### *Самолет из композитов установил 5 мировых рекордов скорости*

Самолет-спидстер СЕА-311 Anequim с усовершенствованным мотором Lycoming и фюзеляжем из полимеров установил сразу 5 мировых рекордов скорости. Anequim можно рассматривать как самый быстрый самолет с четырехцилиндровым поршневым двигателем в мире.



Самолет был создан специально для рекордных скоростей и полностью оправдал свое предназначение. Тестовые полеты выполнялись на базе бразильских ВВС в Санта-Круз, где спидстер превысил ранее установленные самолетом Nemesis DR-90 рекордные скорости на трехкилометровом

круге (521 км/ч) и на пятнадцатикилометровой дистанции (511 км/ч). Также он побил рекорды на дистанциях 100 км (490 км/ч) и 500 км (493 км/ч), а также рекорд скороподъемности до высоты 3000 м (время набора – 2 мин 26 сек). Такие результаты были достигнуты благодаря не только двигателю (модифицированный специалистами Sky Dynamics мотор Lycoming), но и прекрасной аэродинамике.

Фюзеляж и крылья изготовлены из эпоксидных клеев AR300 и PBX Divinycell в эффективной системе формования, позволившей добиться идеального аэродинамического массового распределения. При проектировании и в строительстве использовались инструменты SolidWorks.

Anequim, пустой вес которого составляет 300 кг, был спроектирован и построен профессором Паулу Искольдом и командой студентов Федерального университета штата Минас-Жерайс в Белу-Оризонти. В конструкции использованы композитные материалы компании Barracuda Composites.

### *Учебный самолет Albatros с крылом из композитов*

Первые испытания перспективного чешского модернизированного учебного самолета L-39NG Albatros с композитным крылом прошли успешно. Теперь, в конце сентября 2015 года, разработка будет представлена руководству НАТО.



Самолет был разработан чешской компанией Aero Vodochody и представляет собой глубокую модернизацию L-39, совершившего первый полет в 1972 году. Обновлённый Albatros получил двигатель FJ44-4M, способный развивать тягу в 16,9 кН и бортовое радиоэлектронное оборудование Genesys Aerosystems.

В кабине пилотов L-39NG размещены коллиматорные индикаторы на ветровом стекле Speel Praha, а крыло самолета выполнено из композиционных материалов. На предыдущей версии самолета на законцовках крыла располагались дополнительные топливные баки, но на обновленной версии разработчики их убрали.

Длина L-39NG составляет 12 м, а размах крыла 9,6 м. Максимальная взлетная масса учебного самолета 5,8 т. Albatros может развивать скорость до 775 км/час и выполнять полеты на расстояние до 2600 км. Самолет оснащен 5 точками подвески для различных типов оружия общей массой до 1,2 т.

*Казанский вертолетный завод будет производить композитные детали*

Казанский вертолетный завод (КВЗ), входящий в холдинг «Вертолеты России», будет изготавливать композитные детали для своих вертолетов на мощностях компании «АэроКомпозит». Компания «ВР-Технологии» и центр компетенций ОАК (компания «АэроКомпозит») подписали соглашение о сотрудничестве. Документ предусматривает стратегическое партнерство в сфере научно-исследовательских работ, разработки и производства авиационных конструкций из полимерных и термопластичных КМ. Лопастей для вертолетов КВЗ будет изготавливать на собственном производстве. На «АэроКомпозите» планируется изготавливать некоторые узлы и компоненты фюзеляжа.



У «АэроКомпозита» есть очень хорошее композитное производство, расположенное в Ульяновске и в Казани («КАПО-Композит»), с которым КВЗ активно сотрудничает.

## Оборудование для поиска дефектов в композитных панелях самолетов

Разработка теплового дефектоскопа для поиска повреждений в самолетных конструкциях на стадии производства и эксплуатации будет окончена в 2016 году. На протяжении нескольких лет ученые Томского политехнического университета разрабатывали инфракрасный термографический метод неразрушающего контроля дефектов в КМ, используемых в авиакосмической промышленности. Такими дефектами могут быть ударные повреждения, появляющиеся от ударов предметов (птиц, багажа, инструментов) в самолетные панели.



Суть метода, называемого также тепловым контролем, заключается в импульсном нагреве поверхности объектов контроля и регистрации её динамического температурного поля. Скрытые дефекты обладают отличными от основного материала теплофизическими свойствами и проявляются в виде локальных тепловых аномалий поверхностной температуры, которые фиксируются

в виде цветных термоизображений.

По сравнению с ультразвуковым, радиационным и другими методами контроля, которые активно применяются в настоящее время, тепловой контроль позволяет исследовать специфические дефекты композитов бесконтактным способом и с высокой производительностью. Например, в самолетных конструкциях инфракрасный метод используют для обнаружения скрытой воды в сотах и ударных повреждений в панелях.

Кроме этого, недавно в вузе начались работы по созданию пилотной аппаратуры теплового контроля. Финансовую поддержку проекту оказывает непосредственно ТПУ и ряд промышленных предприятий. Тем не менее, пока что интерес зарубежных авиастроительных фирм к внедрению теплового контроля выше, чем отечественных.

### *Разработки ОНПП «Технология» отмечены на Aviation Expo China-2015*

Ученые Обнинского ОНПП «Технология» представили свои разработки в области ПКМ для авиационной отрасли на выставке Aviation Expo China-2015 в Пекине. Достижения ОНПП «Технология» им. А.Г.Ромашина были представлены на объединенном стенде ведущих российских отраслевых государственных научных центров, разрабатывающих наукоемкую продукцию для авиационной отрасли. Продукция предприятия стала основой экспозиции холдинга «РТ-Химкомпозит», в рамках которой были представлены уникальные агрегаты из ПКМ для перспективного отечественного авиалайнера МС-21, остекление для гражданской авиации, звукопоглощающие конструкции резонансного типа для авиационного двигателя SaM-146 и другие экспонаты.

### **3.1.2. Применение КМ в ракетно-космической отрасли**

Сложно оценить тот вклад, который внесли КМ в ракетно-космическую отрасль. А может и наоборот, эта отрасль внесла серьезный вклад в развитие КМ. Конструкторы летательных аппаратов постоянно стремятся снизить его вес, повысить прочность конструкции. Это порождает необходимость применения всё более легких и прочных материалов. Применяя различные сплавы металлов, конструкторы ставили перед научно-исследовательскими институтами задачи по созданию новых материалов, которые позволили бы создавать абсолютно новые и совершенные элементы конструкции летательных аппаратов. Такими материалами стали композиты. Для ракетостроения это стало своего рода новым витком в эволюции. Что касается сегодняшних дней, то активное развитие полимерных материалов в нынешнее время также напрямую связано с активным развитием ракетно-космической отрасли.

Процесс создания ракетно-космической техники всегда был инновационным со времен своего появления, так как достижение принципиально новых характеристик такой продукции связано с непрерывными поисками новшеств как в области материаловедения, конструкции, технологии изготовления, так и в методах управления процессами создания новой наукоемкой продукции.

Особое состояние окружающей среды в космосе требует и особых узлов, которые могут использоваться в условиях космического пространства, кроме того, они должны отвечать требованиям по отсутствию выделения токсичных газов и быть изготовленными из немагнитных материалов.

Композиты на основе углерода – основной материал в современных ракетносителях и тепловых экранах многоразовых космических кораблей. Они также широко используются в отражателях антенн, траверсах космического корабля, в переходниках к отсеку полезного груза, межблочных конструкциях и тепловых экранах многоразовых космических кораблей.

Традиционными потребителями композитов в нашей стране являются оборонно-промышленный комплекс (ОПК), космонавтика и авиация. Ведущий российский холдинг «РТ-Химкомпозит» занимает треть отечественного рынка по объему производства углепластиковых конструкций.

В ракетно-космической отрасли растет спрос на композиты. Холдинг «РТ-Химкомпозит» поделился уникальным опытом применения КМ. Применение ПКМ поднимает эксплуатационные характеристики новых изделий ракетно-космического назначения на качественно новый уровень.

Комплексный подход, применяемый обнинским предприятием «ОНПП Технология» при создании изделий из ПКМ, включает материаловедческие, конструкторско-технологические исследования и разработки, испытания и серийное производство уникальной продукции, востребованной на российском и зарубежном рынках. «Технология» более 30 лет работает с углепластиковыми конструкциями для ракетно-космической техники. Объем поставок продукции из ПКМ ежегодно увеличивается не менее чем на 30 %, в том числе за счёт разработки и выпуска новой номенклатуры наукоемкой продукции. В год поставляется более 25 т углепластиковых конструкций.

«ОНПП Технология» - предприятие, входящее в состав холдинга «РТ-Химкомпозит», занимающееся проведением научных прикладных исследований и инновационных разработок в области создания новых материалов, уникальных конструкций, технологий и серийного производства продукции из полимерных композитов, керамических и стеклообразных материалов для космоса, авиации, наземного и водного транспорта и других отраслей промышленности.

«РТ-Химкомпозит» специализируется на проведении научных исследований и инновационных разработок в области создания ПКМ и готовой продукции из них. Государственной корпорации «Ростехнологии» принадлежит 100 % акций холдинга ОАО «РТ-Химкомпозит». «РТ-Химкомпозит» разработал уникальные полимерные материалы для космических аппаратов. В каждой второй ракете-носителе, запущенной в России, есть продукция, созданная на предприятиях холдинга.

В рамках космической национальной программы в «РТ-Химкомпозит» были изготовлены оболочки головных обтекателей и локальные обтекатели для десяти ракет-носителей «Протон-М», ракеты-носителя «Ангара 5» и двух ракет-носителей «Ангара 1.2». Кроме того, было изготовлено более 70 панелей терморегулирования и каркасов солнечных батарей для 11 космических аппаратов.

В 2013 году был совершён запуск новой ракеты-носителя «Союз 2.1В» с блоком выведения «Волга». В составе этой принципиально новой ракеты была использована система терморегулирования нового поколения. Этот корабль вывел на орбиту исследовательский спутник «Аист» с углепластиковыми легкими панелями солнечных батарей и панелями корпуса спутника, изготовленными на предприятии холдинга. Уникальная конструкция панелей и каркасов для солнечных батарей позволяет увеличить срок службы космических аппаратов в 3 раза до 12...15 лет.

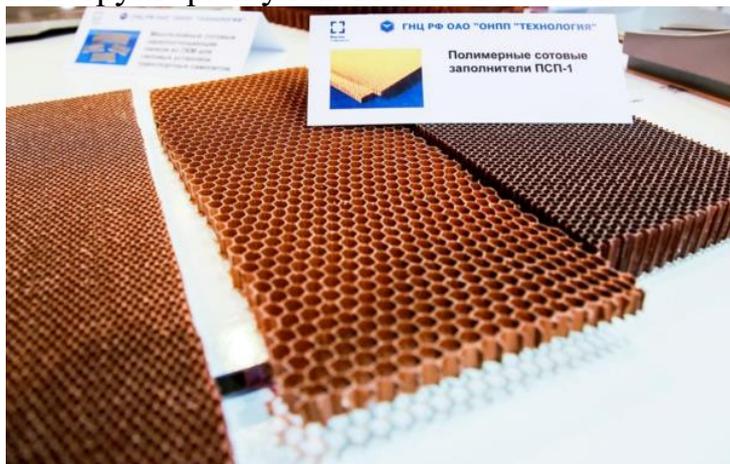
В настоящее время на околоземной орбите успешно работает 27 спутников, в составе которых использована продукция холдинга.

Работа холдинга с КМ началась еще со времен создания «Бурана». Сегодня «РТ-Химкомпозит» обеспечивает высокоэффективными углепластиковыми агрегатами ракеты-носители «Протон-М», «Рокот» и «Ангара». В ряде серийно производимых и вновь разрабатываемых конструкциях для ракет-носителей, таких как головные обтекатели, отсеки ступеней, приборные рамы и воздухопроводы, доля композитов на основе углеродных наполнителей составляет от 50 до 90%, что обеспечивает снижение массы от 16 до 33 %.

В 2013 г. были отгружены заказчику 7 комплектов головных обтекателей для «Протон-М» и комплектующие для «Ангара-5». ГКНПЦ им. Хруничева получил за год 8 комплектов переходного отсека и 12 обтекателей. Изготовлено 2 комплекта головных обтекателей для РН «Ангара-1.2».

В 2014 году при производстве деталей ракеты-носителя «Ангара» введена в эксплуатацию первая и пока единственную в России установку Quick Step, которая позволит добиться существенных экономических преимуществ.

В сентябре 2014 года холдинг «РТ-Химкомпозит» участвовал во Второй международной конференции «Тепловые трубы для космического применения (2HPSA)», посвященной столетию со дня рождения выдающегося советского конструктора и ученого Г.Н. Бабакина.



На конференции представители от холдинга доложили о перспективах и эффективности применения новых материалов в панелях систем терморегулирования космических аппаратов. В выступлении они обобщили опыт специалистов «Технологии» и НИИ «Таис», полученный в ходе совместной работы над созданием углепластиковых обшивок тепловых сотовых панелей для космических аппаратов (КА). Впервые в России изготовлена сотовая панель из теплопроводного ультравысокомодульного углеродного волокна – аналог уже существующей металлической.

В феврале 2017 года в столице ОАЭ Абу-Даби прошла 13-я Международная выставка International Defense Conference & Exhibition (IDEX-2017). На сегодня это крупнейшее мероприятие такого рода на Ближнем Востоке, которое привлекает более 1000 компаний из 57 стран мира. Россия неизменный участник IDEX с 1993 года. В 2017 году на выставке 38 российских компаний представили более 240 образцов вооружения.

Глава Ростеха Сергей Чемезов на выставке IDEX-2017 сообщил, что Госкорпорация планирует сотрудничество с Минобороны ОАЭ в создании легкого истребителя пятого поколения. Россия и ОАЭ договорились о совместной работе по созданию истребителя пятого поколения.

«Скорее всего, этот проект будет создаваться на базе нашего «МиГ», за основу пойдет истребитель МиГ-29 - мы будем его дорабатывать до уровня истребителя пятого поколения», - пояснил гендиректор Ростеха. По его словам разработка займет достаточно длительный период времени. Работу над проектом планируется начать уже в 2018 году, а производство должно стартовать 7...8 лет спустя. Как сообщил Сергей Чемезов в интервью изданию Defense News, ожидается, что производство будет налажено в ОАЭ.

Сотрудничество России и ОАЭ в этой сфере воспринято участниками отрасли с неожиданностью, считает Теодор Карасик, старший советник Gulf State Analytics (GSA) в Вашингтоне. В течение последних лет ряд западных компаний уже столкнулись с провалом соглашений по истребителям 4 поколения с эмиратской стороной, но работа в этом направлении всё ещё продолжается. Россия предложила Эмиратам хорошие условия сотрудничества, в соответствии с которыми Россия предоставит ОАЭ технологии истребителя 5 поколения, который будет производиться в партнерстве с эмиратскими оборонными предприятиями.

### *Детали корабля «Буран» из КМ*

Еще в 70-х годах ОНПП «Технология» поставляла КМ, например, для станции «Венера». В начале 80-х годов предприятие приступило к созданию элементов последнего космического аппарата СССР – корабля многоразового использования «Буран». Из 100 т общей массы корабля, 10 т – это изделия, произведенные на «Технологии». В числе этих 10 % - сверхлегкие тепло-защитные плитки, высокопрочное остекление кабины пилотов, крупно-габаритные конструкции из КМ и многое другое. Создание новых КМ с заданными свойствами поставило перед сотрудниками ряд задач, решения которых на тот момент просто не имелось. Ведь даже стекла кабины экипажа должны были выполнять несколько функций одновременно: герметизировать, осуществлять противометеоритную защиту и при этом выдерживать температуру до 750 °С. И это только стекло.

Для корабля «Буран» впервые в стране были изготовлены крупно-габаритные створки отсека полезного груза из ПКМ общей длиной до 18 м. До сих пор «Буран» считается квинтэссенцией передовых достижений российской космической промышленности. Об уровне производства говорит сам факт того, что послепосадочный осмотр керамической теплозащитной брони подтвердил её целостность. Именно высокие требования, предъявляемые космической отраслью и сформировали облик предприятия, позволившего ему стать центром компетенций международного уровня в сфере космических технологий.

Научный и производственный заделы, полученные во имя создания «Бурана», дали импульс новым идеям. Работая над этим проектом, было необходимо максимально уменьшить вес конструкций. И когда уже в середине 90-х вместе с ГК НПЦ им. М.В. Хруничева была начата разработка обтекателей для ракет-носителей «Протон-М», удалось уменьшить вес конструкции на 1,5 т именно благодаря использованию углепластика. Ранее обтекатели были из стеклопластика, но он был намного тяжелее. Снижение веса самого аппарата позволяет вывести в космос гораздо большее количество полезного груза. Сейчас предприятие вовлечено в 4-й этап модернизации «Протон-М» и продолжает снижать вес конструкций. Правда, счет идёт уже на кг. Благодаря последним техническим решениям удалось «снять» ещё 150 кг.

В настоящий момент ОНПП «Технология» ведет серийное производство и непрерывную модификацию углепластиковых оболочек головных обтекателей увеличенных габаритов с диаметром более 4 м и площадью более 30 м<sup>2</sup>, интегральных цилиндрических отсеков, обтекателей ступеней и разгонных блоков РН. Ежегодно обеспечиваются высокоэффективными углепластиковыми агрегатами РН «Протон-М», «Рокот» и «Ангара».

Доля углепластиков составляет от 20 до 90 %, что обеспечивает снижение массы от 16 до 33 %. Кроме того, достигается повышение жесткости на 15 %, улучшение акустических характеристик в 2 раза, уменьшение количества технологических стыков, сокращение технологического цикла изготовления более чем в 1,5 раза по сравнению с металлическими аналогами [42].

Ещё один уникальный продукт «Технологии» - тепловые сотовые панели КА, увеличивающие их срок службы и которые представляют собой трехслойные конструкции с алюминиевым сотовым наполнителем и алюминиевыми или углепластиковыми обшивками.



Тепловые сотовые панели представляют собой элементы корпуса КА и обеспечивают поддержание температур на элементах конструкции КА, приборах и агрегатах в допустимых пределах на всех этапах штатного функционирования.

#### **Тепловая сотовая панель**

Используются в КА: Спектр-Р, Спектр-РГ, Электро, Луна Глоб,

Луна Ресурс, КазСат, Каноус В, ЕКС, Резонанс, МКА ФКИ и др. Их характеристики: точность установки приборов 0,05 мм, межсоединительное расстояние между элементами до 0,1 мм на всей поверхности панели; увеличение срока службы КА до 12-15 лет; с момента выдачи технического задания до изготовления конечной продукции не более 3 месяцев.

#### *Обечайки ракет-носителей из углепластика*

Научный потенциал ОНПП «Технология» позволил создать и внедрить для космических аппаратов крупногабаритные конструкции: углепластиковые обечайки головных обтекателей, отсеков ступеней, гаргротов, деталей приборных отсеков ракет-носителей (РН) «Протон-М», «Рокот» и «Ангара».

Материалы для ракет-носителей и космических кораблей нового поколения должны соответствовать высоким требованиям по прочности, износостойкости, устойчивости к перепадам температур. Благодаря использованию углепластика специалисты холдинга смогли существенно снизить общий вес космических аппаратов.

Конические, цилиндрические и биконические обечайки головных обтекателей и приборных отсеков РН представляют собой трехслойные конструкции с алюминиевым сотовым наполнителем и обшивками из углепластика (рис. 3.4) и предназначены для защиты полезного груза на атмосферном участке полета и в условиях наземной эксплуатации. Используются в конструкциях РН Протон-М, Рокот, Ангара 1.2. Их характеристики: наружный диаметр до 5,1 м, длина до 4 м.

В 2016 году ракета-носитель «Протон-М» с крупногабаритными обечайками из КМ производства ОНПП «Технология» вывела на орбиту межпланетную станцию «ЭкзоМарс». Сейчас совместно с НПО им. Лавочкина идёт работа над созданием композитного десантного модуля, предназначенного для спуска исследовательского аппарата на поверхность красной планеты в рамках второй части проекта «ЭкзоМарс» [43].



**Рис. 3.4. Конические, цилиндрические и биконические обечайки головных обтекателей и приборных отсеков ракет-носителей**

Обечайки в форме замкнутого контура цилиндр-конус переднего отсека ракет-носителей представляют собой трехслойные конструкции с алюминиевым сотовым наполнителем и обшивками из углепластика (рис. 3.5 и 3.6) и предназначены для размещения приборов. Используются в конструкции ракеты-носителя «KSLV». Их наружный диаметр до 2,9 м, длина до 2,3 м.



**Рис. 3.5. Обечайки в форме замкнутого контура цилиндр-конус переднего отсека ракет-носителей из углепластика**



**Рис. 3.6. Интегральная оболочка ракеты-носителя «Ангара»**

ОНПП «Технология» освоено собственное производство оснастки для изготовления деталей из ПКМ двойной кривизны, конических и цилиндрических деталей. Использование данной технологической оснастки позволяет с высокой

точностью воспроизводить геометрически сложные поверхности крупногабаритных деталей (максимальные габариты для деталей двойной кривизны – 3,3x8x1,5 м. На рис. 3.7 представлена платформа космического оптического модуля, изготовленная ОНПП «Технология» для НПО им. С.А. Лавочкина.

Для основных типов композитных отсеков ракет – трехслойных, сетчатых и интегральных панельных – разработаны расчетные методики и программы оптимального проектирования, учитывающие различные механизмы истощения несущей способности композитных оболочек.



**Рис. 3.7. Композитные обтекатели (обечайки) ракет-носителей**

Изготовление формообразующей оболочки производится на мастер-модели. Оснастка изготавливается из углепластика методом вакуумной инфузии смолы, а в конструкции каркаса используются металлические и стекло-пласти-ковые элементы. Конструкция выбирается таким образом, чтобы максимально исключить деформации и обеспечить равномерный прогрев изделия. Оснастка обладает высоким ресурсом эксплуатации: 500 циклов при рабочей температуре до +190°С. Кроме того, вес оснастки в 3...5 раз меньше металлического аналога, что позволяет сократить энергоемкость и эксплуатационные затраты.

#### *Сетчатые конструкции из органоуглепластиков в КА*

Центральный Научно-исследовательский институт специального машиностроения (АО «ЦНИИСМ») является ведущим предприятием России в области проектирования и производства конструкций из современных полимерных композитных материалов для ракетно-космической техники.

Сетчатая конструкция представляет собой цилиндрическую или коническую оболочку, состоящую из системы спиральных и кольцевых ребер. Высокая весовая и экономическая эффективность таких сетчатых конструкций позволяет использовать их в аэрокосмической технике: в конструкциях адаптеров (рис. 3.8), переходных отсеков (рис. 3.9) и корпусах обтекателей головных частей ракет космических носителей (рис. 3.10).

Адаптер из углепластика (рис. 3.8) используется в ракетносителе «Протон-М» для вывода тяжелых спутников на геостационарную орбиту.



**Рис. 3.8. Адаптер из углепластика в РН «Протон»**

При необходимости сетчатая конструкция (см. рис. 3.8) может иметь наружную обшивку, получаемую методом автоматизированной намотки однонаправленным материалом или тканью, пропитанной полимерным связующим. На рис. 3.9 приведена такая сетчатая конструкция с наружной обшивкой из КМ с люками, сетчатым шпангоутом и узлами стыковки.



**Рис. 3.9. Углеорганопластиковые межступенчатые переходные отсеки ракетносителя «Протон-М»**

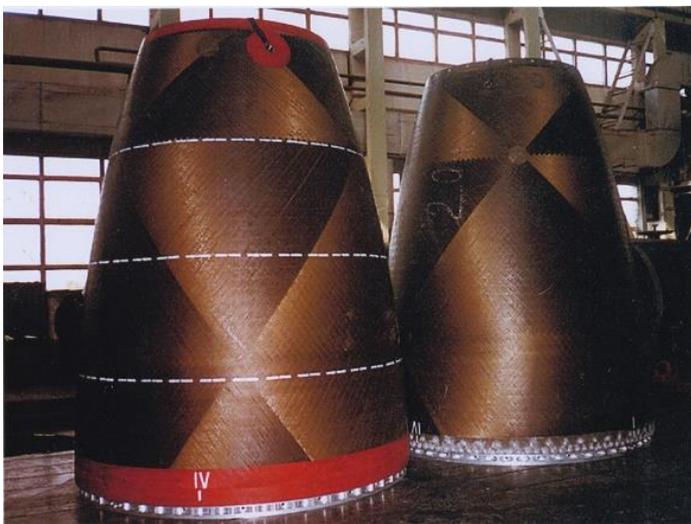
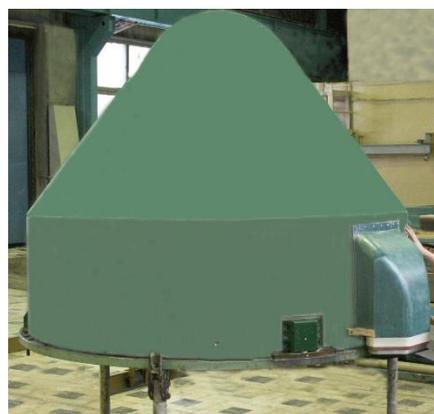


Рис. 3.10.  
**Органопластиковые корпуса  
 обтекателей головных  
 частей ракет [44]**

*Корпуса контейнеров из стеклопластика*

В ЦНИИСМ изготавливают корпуса и крышки транспортно-пусковых 182 контейнеров для ракетных комплексов различных способов базирования. Они предназначены для хранения, транспортирования, подготовки к пуску и пуска ракет.



Раструбы из углерод-углеродного композиционного материала для сопловых блоков ракет



Низкоплотный углеродный КМ, применяется для теплоизоляции металлургического оборудования, в частности, высокотемпературных электропечей, работающих в вакууме или инертной газовой среде.



Они предназначены как несущая подложка для фотоэлектрических преобразователей в составе солнечных батарей КА и обеспечивают повышение их энерго-массовых характеристик. Удельный вес каркаса – 480 г/м<sup>2</sup>; общий вес конструкции – 1,5 кг. В итоге 30 % энергии солнца превращаются в электроэнергию при минимально возможной массе батареи, а срок активного существования КА увеличен до 15 лет.

Используются в космических аппаратах: «Луна Глоб», «Луна Ресурс», «Резонанс», «Аист», «Интергелиозонд» и др.

### *Остекление нового поколения – монолитный поликарбонат*

ОНПП «Технология» начало работу над авиационным остеклением нового поколения для современных летательных аппаратов, основой которого является монолитный поликарбонат. По целому ряду параметров оно будет превосходить действующие материалы. Его ударная вязкость более чем в 200 раз превышает ударную вязкость обычного силикатного стекла и почти в 10 раз – ударную вязкость органического стекла. Оно в 2 раза легче обычного и в 200 раз прочнее.

Это значит, что при столкновении с крупным предметом на высокой скорости, например, с птицей, стекло фонаря кабины просто вминается на несколько сантиметров вглубь. Раньше поверхность стекла покрывалась множеством мелких трещин. После аварии у летчика сохраняется обзор из кабины и остается хороший шанс посадить машину. Это повышает безопасность летчика при катапультировании, поскольку после отстрела фонаря, его быстрее сносит в сторону [45].



В Обнинске уже проходят испытания нового остекления для вертолетов. Для отечественной винтокрылой машины Ка-62 сделано уникальное электрообогреваемое органическое стекло кабины. Ряд испытаний показали, что сделанное по новой технологии стекло держит удар снаряда из пневматической пушки даже лучше, чем обшивка.

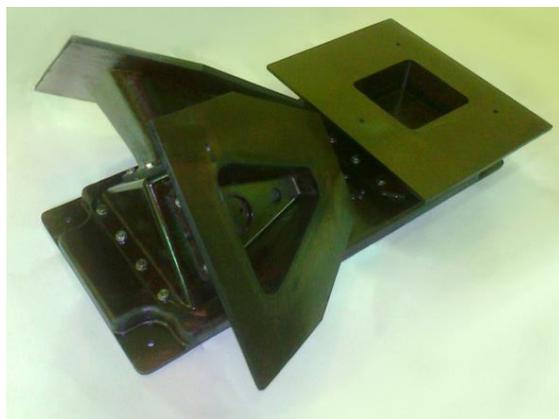
## Прецизионные размеростабильные конструкции для КА

Предприятием СКТБ «Пластика» разрабатывается и изготавливается большая номенклатура размеростабильных несущих конструкций, предназначенных для размещения, фиксированной установки и сохранения с заданной точностью взаимного расположения и ориентации во время наземной отработки и штатной эксплуатации: оптических элементов и датчиков; звездных датчиков; базовых посадочных и фиксирующих элементов; средств приема и передачи информации и др. Изделия изготавливаются из углепластика различными методами (автоклавным, термокомпрессионным, прессованием или комбинацией термокомпрессионного и автоклавного формования).

Примерами изготовления прецизионных размеростабильных несущих конструкций могут служить: основание для установки зеркальной системы на КА (рис. А); платформа крепления элементов системы управления движением КА (рис. Б); корпус объектива оптического блока КА (рис. С); платформа крепления зеркала оптико-электронного комплекса; рама крепления объективов оптико-электронного комплекса; кронштейн фокального узла оптико-электронного комплекса КА [46].



А. Основание для установки зеркальной системы на КА



Б. Платформа крепления элементов системы управления движением КА



Размеростабильная конструкция корпусной части оптико-электронного комплекса высокого разрешения состоит из размеростабильных несущих конструкций (РСНК): корпуса объектива, корпуса переходника, платформ главного зеркала и фокального узла, изготовленных из углепластика. РСНК корпуса объектива и переходника представляют собой оболочку с фланцами, подкрепленную с наружной стороны реб

Диаметр корпуса объектива 1,4 м, высота 3 м; масса 90 кг. Размеры корпуса переходника  $\varnothing 1,4 \times 0,9$  м. Масса 36 кг.

С. РСНК корпуса объектива оптического блока КА

Современный подход к обеспечению заданных точностных показателей несущих космических платформ, характеризующихся жесткими требованиями по размерной стабильности в условиях нестационарных тепловых воздействий, обусловленных изменением положения КА относительно внешних источников

тепла и уровней тепловыделения размещаемой на платформах целевой аппаратуры в разных режимах функционирования, базируется на использовании конструкционных углепластиков, позволяющих получать эффективные термостабильные конструкции.

Практическая эффективность этой методологии подтверждена целым рядом разработок ФГУП «ОНПП «Технология» в области размеростабильных углепластиковых конструкций, таких как опорные рамы внутреннего детектора ATLAS Большого адронного коллайдера CERN, рама оптических приборов КА «Рамос», платформа главного зеркала оптического модуля КА «Обзор-МВ», профили корпуса ультрафиолетового телескопа Т-170М КА «Спектр-УФ». Основные подходы концепции проектирования в совокупности с технологическими методами обеспечения качества размеростабильных композитных конструкций легли в основу проекта по созданию крупногабаритных (длиной более 3,5 м) прецизионных антенных платформ перспективного космического аппарата, выполняемого ФГУП «ОНПП «Технология» по заказу и в сотрудничестве с ФГУП «КБ «Арсенал» (г. Санкт-Петербург).

#### *Композитный криогенный бак в ракетостроении*

Специалисты НАСА разработали и успешно испытали технологию, которая может существенно снизить вес ракет-носителей и, соответственно, увеличить их полезную нагрузку.



Речь идет о композитном криогенном баке – сосуде для хранения сжиженных компонентов ракетной топливной смеси. До сих пор криогенные баки изготавливали из металлов, поскольку ни один пластик или пластиковый композит не мог выдержать сочетание высокого давления, низкой температуры, сильной вибрации и перегрузок, характерных для эксплуатации баков ракет-носителей.

Инженерам и ученым из НАСА и компании Boeing удалось создать криобак, пригодный для использования в ракетах. Более того, криобак, полностью изготовленный из композиционных материалов, вероятно начнут устанавливать на американские ракеты уже к концу 2020 года.

Небольшой опытный образец композитного топливного бака изготовлен Boeing по заказу и при финансировании НАСА. Прототип может вместить почти 8000 л жидкого водорода при закачке в 3 этапа с температурным диапазоном: от комнатной температуры до температуры  $-217^{\circ}\text{C}$ .

Проект создания криобака развивается успешно, и в НАСА уже видят огромные перспективы данной разработки. В частности композитные криобаки на 25% дешевле обычных алюминий-литиевых, но главное: масса композитного бака как минимум на 30% меньше. Не нужно лишний раз говорить, что это существенная экономия массы, которая дает несколько тонн дополнительной полезной нагрузки для тяжелой ракеты вроде SLS.

Интересно, что криобак Boeing изготовлен из тонких слоев композитов, которые не требуют процесса отверждения при высокой температуре, и это резко снижает их стоимость. При этом, благодаря использованию тонких слоев композита,

снижается риск развития микротрещин, которые приводят к утечкам топлива или окислителя. Более того, множество тонких слоев не просто снижают проницаемость стенок бака для водорода (который известен своей летучестью), а полностью её устраняют. Подобная технология пригодилась бы не только в космической технике, но и в авиа и автомобилестроении – для создания самолетов и автомобилей на водородном топливе. Сегодня хранение водорода представляет проблему: металлические баки дороги и тяжелы, к тому же водород настолько летуч, что проникает через большинство материалов, создавая крохотную, но в некоторых случаях все же опасную утечку [47].

#### *Российский космический фургон из углепластика*

Новейший российский космический аппарат из углепластика рассчитан на то, чтобы летать не только на низкую, но и на лунную орбиту.



За счет широкого применения углепластиковых конструкций инженерам удалось на 1 т уменьшить общий вес пилотируемого транспортного корабля нового поколения. Работа идет трудно, и техническое задание менялось не один раз. Кроме этого, у нас достаточно сложная конкурентная обстановка», - говорит, президент РКК «Энергия».

Космический аппарат будет иметь радикально новые системы жизнеобеспечения, не похожие на те, что используются сейчас на аппаратах Space Exploration и Boeing [48].

#### *Применение ПКМ в космических аппаратах*

В ракетно-космической технике (РКТ) успешно применяются баллоны, легкие сосуды и емкости, изготовленные из ПКМ материалов и работающие под давлением. Созданы и эксплуатируются топливные баки, шары-баллоны, корпуса ракетных двигателей, аккумуляторы давления, дыхательные баллоны для летчиков и космонавтов. Применение органе- и стекловолокон позволяет создавать долговечные баллоны давления с высоким коэффициентом весового совершенства.

Широкое применение в РКТ (элементы двигательных установок, теплозащиты, осколочно- и радиационно-защитных экранов, радиопрозрачных конструкций и т.д.) получили новые материалы на основе углерода. Дальнейшее развитие получило создание углерод-углеродных, углерод-карбидных композиционных материалов, которые при более высоких эксплуатационных характеристиках позволяют получить снижение массы изделий на 30...50 %.

*ПКМ в телескопах.* Разработаны технологии, которые позволяют создавать ПКМ из углепластика, обеспечивающие высокую размеростабильность элементов прецизионной аппаратуры для заданного температурного поля. Создание элементов прецизионной аппаратуры связано с обеспечением неизменяемости их геометрических размеров (размеростабильности) при изменении в широком диапазоне ( $\pm 150$  °C) температурного поля.

#### *Интерметаллиды в космических аппаратах*

Интерметаллиды – материал будущего. Это последний класс металлических материалов, будущее нашей техники. Россия, Европа и Америка работают над интерметаллидами на основе титана и никеля.

Интерметаллиды (химические соединения металлов) по своей структуре занимают промежуточное положение между металлами и керамикой. Они имеют сложную кристаллическую структуру с наличием в межатомных связях до 30 % ковалентной составляющей, что и определяет их уникальные физико-механические свойства – высокие жаропрочность и жаростойкость, высокую коррозионную стойкость в сравнении с нержавеющей стали (особенно в кислороде) и высокую износостойкость. Кроме того, интерметаллиды имеют низкую плотность.

Если титановые сплавы работают сейчас до температуры 550 °С, а 600 и 650 °С - это рекордные цифры, то интерметаллидные сплавы типа Ti-Al могут работать до 800...900 °С без защитных покрытий, сплавы на основе никеля - до температуры +1500 °С. При этом, их удельный вес 4...6 г/см<sup>3</sup>. Интерметаллиды обеспечивают повышение коррозионной стойкости, имеют в 20 раз более высокую стабильность размеров и радиационную стойкость (что особо важно для КА), в 5 раз более высокую удельную прочность.

Весь комплекс свойств интерметаллидов может оказать революционное влияние в первую очередь на создание перспективных образцов космической техники, в том числе летательных аппаратов с гиперзвуковыми скоростями (до М = 25). Использование интерметаллидов в двигательных установках (ротор, статор, крыльчатка, клапанная группа, неохлаждаемые сопла и т.п.) позволяет повысить удельную тягу двигателей на 25...30 %, обеспечивает снижение массы конструкций до 40 %.

#### *Металло-композитные материалы*

Еще одна перспективная технология - металло-композитные материалы, которые можно применить в составе микро-ЖРД: это многослойные композиции, полученные методом послойного вакуумного напыления. Например, микрокамера из молибдена и ниобия. Молибден - прочный, термостойкий, но очень хрупкий материал, ниобий - также термостойкий, не очень прочный, но весьма пластичный материал. Набирая от 16 до 18 слоев толщиной 15...20 мкм каждый, можно получить композицию, которая работает при высоких температурах, порядка 2100...2200 °С, и обеспечивает высокие массовые характеристики. Этот металлический КМ может рассматриваться как альтернатива материалам типа SiC-SiC, поскольку он дешевле и в ряде случаев перспективнее.

Трудно себе представить «ракету», состоящую практически полностью из неметаллических материалов. Тем не менее будущее за ними. На смену крылатым металлам приходят крылатые композиты.

#### *Сверхвысокотемпературные композиционные материалы на основе систем ZrB<sub>2</sub>-SiC и HfB<sub>2</sub>-SiC*

В настоящее время наблюдается интенсивное развитие технологий создания ультравысокотемпературных материалов на основе боридов циркония и гафния с добавкой карбида кремния или силицидов тугоплавких металлов, которые считаются перспективными для изготовления термонагруженных узлов летательных аппаратов, в том числе и гиперзвуковых

*Композиционные материалы для производства разворачиваемых космических конструкций большого объема*

В рамках международных проектов INTAS 94-700/701 и INTAS 00-0652 в 1994-2005 гг. проведены совместные исследования со специалистами Беларуси, Германии, Испании и Франции в области теплофизики высокотемпературных теплозащитных материалов для перспективных многоразовых космических аппаратов, результаты которых имеют мировой уровень.

В результате проведенных ранее исследований совместно с РКК «Энергия» им. С.П. Королева были получены уникальные результаты моделирования температурного и напряженно деформированного состояния крупно-габаритных космических конструкций типа фермы «СОФОРА» орбитального комплекса «МИР», крупногабаритного рефлектора (диаметр 14 м) антенны перспективного спутника связи для работы на геостационарной орбите. Для моделирования использовались собственные оригинальные программы конечно-элементного анализа пакета «САР». Были получены теоретические данные о температурных полях, напряжениях и деформациях в тонкостенных элементах композитных конструкций сложной формы, свидетельствующие о сложной динамике термомеханического поведения конструкций. Существенно, что полученные результаты хорошо совпали с результатами независимых расчетов, проведенных в рамках международной кооперации с итальянскими специалистами из фирмы Alenia Spazio по вычислительным программам Европейского космического агентства ESATAN EASARAD и с экспериментальными данными, полученными при тепловых испытаниях в Европейском центре космических исследований и технологий в г. Нордвейк, Нидерланды.

#### *Лифт в космос из композитов*

Канадская компания Thoth Technology Inc. построит уникальный космический лифт из композитов для запуска ракетопланов и кораблей на околоземную орбиту.

Компания уже получила соответствующие патенты в Великобритании и США. Высота космического лифта, получившего название ThothX Tower, должна составить 20 км. На вершине этой башни, согласно замыслу конструкторов, будут осуществляться старт, приземление и дозаправка многоразовых космических летательных аппаратов.



Композитный «лифт» будет более чем в 20 раз выше дубайской башни «Бурдж-Халифа» (828 метров), а в будущем высота башни может достичь 200 км. «Поднятие грузов на такую высоту и их последующая отправка в космос существенно бы снизила расходы на топливо. Полностью проект может быть реализован в течение 10 лет. Его стоимость составит около 5 млрд долларов», - говорит Брендан Куин, один из изобретателей «лифта» и технический директор Thoth Technology [49].

«Шахта» лифта будет состоять из композитных трубок с закачанным внутрь под большим давлением водородом или гелием. На вершине конструкции будет располагаться специальная платформа для отправки и дозаправки космических кораблей и вывода в космос многоступенчатых ракетопланов. Некоторые части

башни будут надувными и пневматическими, а для уменьшения воздействия силы ветра строение будет оборудовано маховиками. Это же позволит ThothX Tower самостоятельно вырабатывать электричество.

Доставлять корабли на вершину лифта инженеры предлагают при помощи электричества, часть которого можно будет получать из энергии ветра вследствие разности давлений у основания и вершины ThothX Tower. Специалисты отмечают, что конструкция позволит сэкономить до 30 % топлива для ракет на вертикальном участке их траектории - с вершины космического лифта ракетопланы и корабли будут стартовать сразу в горизонтальном режиме.

Также компания Thoth Technology Inc. предлагает в случае успешной реализации своей концепции организовать туристические экскурсии на вершину ThothX Tower.

Несмотря на достаточно высокий уровень развития современных технологий, технологии, которые позволят соорудить первое реальное космическое лифта, еще только разрабатываются и станут доступными через несколько десятков лет. Японская строительная компания Obayashi Corp., специализирующаяся на строительстве чрезвычайно высоких зданий и строений, на счету которой сооружение Токийского «Небесного дерева», телевизионной башни высотой около 635 м, разрабатывает планы по сооружению космического лифта к 2050 году. Несмотря на то, что 2050 год является достаточно далекой перспективой, это является началом, первой ласточкой.

#### *Керамическая теплозащита космического корабля «Буран»*

В 1988 году были проведены успешные испытания космического корабля многоразового использования «Буран» с керамической теплозащитой, остеклением кабины и композитными деталями, разработанными в ОНПП «Технология».

Сам каркас «Бурана» был создан из традиционных авиационных материалов. Но проблемой номер один было создание новых, допускающих многоразовое использование теплозащитных материалов с диапазоном работы от -130 до +1650 °С. С их помощью надо было «закрыть» наиболее важные элементы конструкции «Бурана», чтобы при спуске на гиперзвуковой скорости их не прожгла плазма и не произошел взрыв, и чтобы экипаж корабля имел требуемые условия для работы. Самое главное – теплозащита не должна разрушаться и терять свою геометрическую форму на различных этапах полета.

В ВИАМе уже велись разработки теплоизолирующих плит из нитевидных кристаллов тугоплавких соединений: карбида и нитрида кремния, оксида алюминия и других, - когда в НПО «Энергия» приступили к созданию космического корабля многоразового использования «Буран». О разработанной в институте высокотемпературной керамике в «Энергии» знали, поскольку там занимались не только носителем, но и самим космическим челноком.

Теплозащита «Бурана» состояла из отдельных элементов – плиток из теплозащитного материала из особоочистых кварцевых волокон с наружным стекловидным покрытием, которые приклеивались к корпусу «Бурана» через демпфирующую фетровую подложку, которая, в свою очередь, приклеивалась к плитке с помощью эластичного клея. Вот такой пирог собирался. Он должен был выдерживать большой перепад температур, большие напряжения, не «глотать» влагу. И вся «начинка» этого пирога была создана ВИАМ.

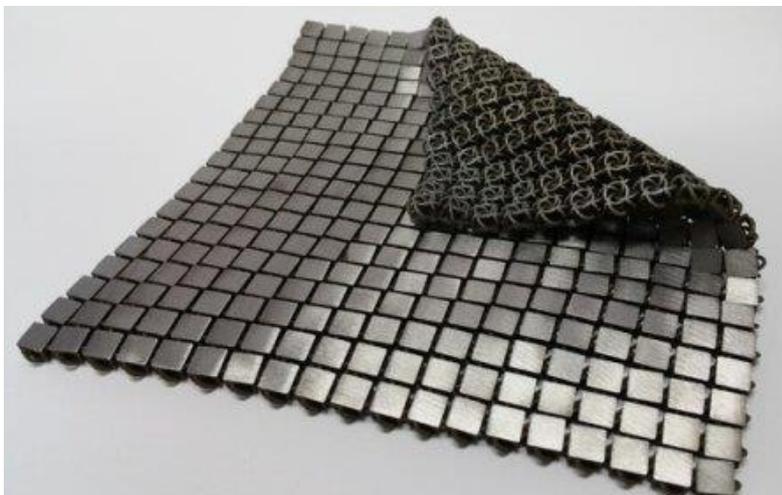
В лаборатории решили взять за основу не нитевидные кристаллы, а аморфные кварцевые волокна. Выбор пал на кварцевое волокно, так как он имел очень низкий коэффициент термического расширения:  $5 \cdot 10^{-7}$  1/град. Это на порядок меньше, чем у нитевидных кристаллов. Своего производства волокна тогда страна не имела, и первую партию закупили во Франции. Через девять месяцев была сделана первая сотня изделий. Позже на Урале было открыто Кыштымское месторождение жильного кварца, и из него в НПО «Стеклопластик» наладили выпуск аморфного кварцевого волокна.

Плитки состояли на 90 % из воздуха, чтобы достичь минимальных показателей теплопроводности. Разогретую в печи до 1100...1200 °С плитку можно было держать на руке. А для защиты стыков многослойных теплозащитных элементов ВИАМ разработал специальные «жгуты-герметики». Но чтобы создать основу теплозащитной плитки, нужно было получить особочистые пустотелые кварцевые волокна.

Фактически, ВИАМ в рамках программы «Энергия-Буран» создал 39 принципиально новых материалов и 230 технологий, но главное – это создание теплозащитных материалов, которые по своим характеристикам превосходили американские.

#### *Композитная ткань для использования в космосе*

Группа инженеров из Лаборатории НАСА по изучению реактивного движения (NASA Jet Propulsion Laboratory), создала опытные образцы сложной металло-композитной «космической ткани», созданной при помощи технологий трехмерной печати. Параметры и функции, закладываемые в структуру этой ткани на этапе изготовления, делают ее идеальным вариантом для использования в космосе в различных целях [50].



По внешнему виду космическая ткань похожа на помесь кольчуги, резинового коврика и больших металлических блесток, которыми люди любили украшать предметы одежды в далеких 1960-х годах. Однако это все нечто большее, нежели дань высокой моде, одна сторона этой ткани может эффективно отражать свет и тепло, в то время, как обратная ее

сторона поглощает все это. За счет гибкости и особой структуры основания слой такой ткани может быть наложен на поверхность любой формы сложности, обеспечивая достаточную прочность и избирательность коэффициента поглощения, что можно использовать для реализации технологий пассивного управления потоками тепла.

Ткань изготавливается при помощи специальной технологии аддитивного производства, при которой объект создается слой за слоем путем нанесения слоев полимерного материала или спекания металлического порошка при помощи луча лазерного света. Традиционно такие технологии именуется термином 3D-печать, но

в данном случае предпочитают использовать термин 4D-печать поскольку уже на этапе производства в структуру ткани вносится набор выполняемых ею функций.

Космическое агентство рассматривает массу вариантов использования такой композитной ткани. Она может стать основой антенн, которые могут быть быстро развернуты или форма которых может быть изменена без особых затруднений. Так же такая ткань может выступать в роли термоизоляции, защищающей скафандры, космические корабли и помещения космических баз, возведенных на ледяной поверхности холодных планет или крупных астероидов. К функциям такой космической ткани можно отнести и защиту космических кораблей от микрометеоритов, которые, благодаря упругим свойствам, будут отражаться обратно в космос.

Ученые считают, что подобная ткань не только будет использоваться в космосе, её изготовление может стать одной из технологий переработки и утилизации различных ресурсов на борту космических кораблей.

### 3.1.3. Применение КМ в судостроении

Использование композитов в судостроении началось значительно раньше других отраслей – с конца 40-х годов XX века, т.е. практически с начала промышленного выпуска компонентов стеклопластика. Побудительным моментом в данном случае явились эксплуатационные свойства КМ: коррозионная стойкость и простота ремонта. Дальше научились использовать и конструкционные преимущества: высокие удельные механические характеристики, возможность их регулирования, замена нескольких деталей одной, т.е. уменьшение узлов соединения, что в условиях герметичности особенно актуально, и технологических: возможность изготовления сложных форм, исключение операции покраски при введении пигмента в связующее. Кроме того современные конструкции морского судостроения, как правило, в 2 раза легче стальных, что позволяет соответственно сократить на 50 % расход топлива или увеличить грузоподъемность (водоизмещение) судна.

Главным (определяющим) свойством композитов в судостроении является его взаимоотношение с водой, т.е. изменение свойств композита под действием воды, особенно морской. Дело в том, что в течение 1...2 месяцев полимер поглощает (абсорбирует) воду, которая действует как пластификатор и снижает механические характеристики на 10...15 %. Поэтому здесь принципиально важно получить композит максимальной плотности, обеспечить минимальное количество пор и микротрещин. Однако, не смотря на перечисленные выше преимущества, примеров использования композитов для корпусов крупных кораблей нет. Одним из самых больших кораблей из стеклопластика является английский минный тральщик «Гильтон», длина которого составляет 46,7 м. Здесь используется еще одно уникальное свойство композита – радиопрозрачность и не способность намагничиваться. В основном же стекло и углепластики используются для строительства прогулочных и гоночных яхт, рыболовецких траулеров длиной 15...30 м, катеров, яликов, шлюпок, водных велосипедов и гидроциклов. Кроме этого стеклопластики все чаще используются для вспомогательного оборудования и надстроек: рубки, резервуары для питьевой воды и особенно топлива, трубопроводы вентиляции, наружные крышки люков (снижение массы), перегородки, обтекатели антенн, рангоут парусных судов, в виде заполненных поплавков используются: буйки, бакены, понтоны, спасательные плоты.

Получило широкое распространение стеклоуглепластиков, в рангоуте гоночных яхт, т.к. помимо снижения веса высокие ф.м.х. позволяют вместо классической (закрепленной вантами) мачты использовать свободностоящую. Такая мачта, прогибаясь при порыве ветра, сбрасывает воздушный поток, снижая центр давления ветра, тем самым уменьшает крен яхты. Мачты из композита значительно тоньше деревянных, что значительно уменьшает затенение паруса.

Весьма перспективным является использование углепластиков в подводных аппаратах. Детали внешней обвязки, не работающие на внешнее давление, могут быть использованы без особых проблем с учетом потерь физических, механических и химических свойств в морской воде.

Первая лодка с композитным корпусом появилась в 1946 году. Примерно в то же время сделали доску для серфинга из стекловолокна. И появился метод «протяжки» (пултрузия), используемый в производстве ПКМ.

Уже в 60-е годы XX века на Средне-Невском судостроительном заводе (СНСЗ) в Санкт-Петербурге стали строить корабли из стеклопластика. Первый в мире композитный корабль сошел на воду в 1967 году. СНСЗ – полноценная и единственная в стране верфь, которая занимается строительством военных и гражданских судов с использованием современных технологий изготовления монолитных корпусов из композитных материалов методом вакуумной инфузии.

На СНСЗ было построено несколько десятков судов и кораблей из композитных материалов как для внутреннего рынка, так и на экспорт. На данный момент завод является лидером среди предприятий судостроительной отрасли по количеству кораблей, построенных по этой технологии.



В 2015 году на СНСЗ для ВМФ России построен корабль противоминной обороны нового поколения «Александр Обухов», чей корпус полностью выполнен из композитных материалов. Корабль имеет уникальный, самый большой в мире корпус из монолитного немагнитного материала, сформированный методом вакуумной инфузии. Эта технология в российском военном

кораблестроении была внедрена впервые.

Преимуществом конструкции монолитного композитного корпуса является его высокая продолжительность службы, которая в несколько раз больше чем у корпусов из маломагнитной стали и высокая прочность, что позволяет достичь большей живучести корабля при действиях в противоминных операциях. Водоизмещение корабля составляет 890 т, длина 61 м, ширина 10 м, скорость хода при полном водоизмещении 16,5 узлов, экипаж 44 человека. Для борьбы с минами корабль может применять различные виды тралов.

Программа импортозамещения СНСЗ в части КМ выполнена уже на 50 %. Половина объема всех материалов, используемых для композитных технологий, замещена российскими аналогами. Оставшуюся половину материалов СНСЗ планирует заместить в ближайшие 2 года и уже к концу 2017 года можно будет говорить о полном замещении импортных КМ отечественными [51].

Выполнение программы импортозамещения в части композитных технологий разделено на несколько основных блоков: первый – поиск, отработка и внедрение основных конструкционных материалов (армирующие материалы – стеклоткани, углеткани; связующие – смолы; наполнители) и второй – поиск, отработка и внедрение вспомогательных материалов (вакуумная пленка, сетка для распределения смолы, герметизирующий жгут и пр.).

Отработка конструкционных материалов началась в рамках ОКР «Разработка типовых конструкций и узлов из новых полимерных материалов (ПКМ) на основе отечественных армирующих наполнителей различной химической природы и связующих, проведение их сертификационных испытаний на базе единой системы приемки и постановке на производство ПКМ в обеспечение их аттестации и внедрения в судостроение». В результате совместной работы с производителями,

научными центрами и заводом были получены аналоги зарубежных материалов, ни в чём не уступающих в качестве, а иногда даже и превосходящих их по своим характеристикам. Таким образом, на данный момент времени на СНСЗ уже используются армирующие материалы отечественного производства.

КМ, применяемые в судостроении, делятся на основные (конструкцион-ные) и вспомогательные. Для производства основных материалов СНСЗ привлекает соисполнителей, а изготовление практически всех вспомогательных материалов рассчитывает освоить самостоятельно. Основные материалы, в свою очередь, подразделяются на армирующие и связующие, а также на наполнители. Армирующие материалы - стеклоткани - уже внедрены в производство и применяются в строительстве кораблей. Их поставляют уфимский «Стеклонит» и московская компания «Препрег-СКМ». Помимо этого внедрены металлические пенопласты («композит с металлической матрицей») производства Дзержинского НИИ Полимеров. Поиск и проработка остальных производителей пенопластов завершатся в третьем квартале 2017 года.

Завершение работ по замене импортных связующих материалов на отечественные запланировано на первый квартал 2017 года. Производителями связующих винилэфирных смол для нужд СНСЗ станут «Волгоградпром-проект», ярославская компания «Дугалак» и подмосковное предприятие «Электроизолит». Вспомогательные материалы для вакуумной инфузии (метода изготовления корпуса из стеклоткани) выпускают московские «Композит-изделия» и петербургский «Юнифлекс». Прочие вспомогательные материалы СНСЗ заместит самостоятельно и это произойдет до конца 2017 года.



СНСЗ выпускает продукцию гражданского и военного назначения. Верфь заключила контракты на строительство для ВМФ 7 противоминных кораблей (тральщиков) проекта 12700 (шифр «Александрит»), один из которых, «Александр Обухов», уже передали Балтийскому флоту в декабре 2016 года. Особенность минных тральщиков – выполненный из композитных материалов корпус, который легче стальных конструкций. Командование флота рассчитывает получать по два таких корабля ежегодно.

У кораблей проекта 12700 (шифр «Александрит») самые большие в мире корпуса из монолитного стеклопластика, сформированные методом вакуумной инфузии. В России только СНСЗ владеет данной технологией, а монолитные корпуса такого размера не делает никто в мире. По сравнению со сталью, применение стеклопластика позволило снизить массу конструкции, сохранив прочность, и увеличить срок службы.

Спуск на воду 2 тральщика «Георгий Курбатов» состоится осенью 2017.

25 января 2017 года на СНСЗ состоялась торжественная церемония закладки третьего корабля противоминной обороны проекта 12700, получившего название «Иван Антонов». Создание композитной оболочки корабля подразделяется на три

основных этапа. Первый – подготовка матрицы. Второй – укладка композитной ткани в сухом виде (рис. 3.8). Третий этап предполагает пропитку или ламинирование и занимает около 2 дней. Поэтому, уже в конце января - начале февраля 2017 года специалисты завода проведут пропитку уложенных слоев композитной ткани связующим веществом [52].



**Рис. 3.8. Укладка ткани в матрицу при создании композитной оболочки 3 серийного тральщика проекта 12700 (шифр «Александрит»)**

«Я рад, что мы идем в ногу со времен и строим современные корабли, которые будут решать государственные задачи, - сказал на церемонии закладки генеральный директор СНСЗ Владимир Середохо. - Желая, чтобы через год мы здесь присутствовали на подъеме флага на борту этого тральщика».

20 апреля 2017 года на СНСЗ состоялась торжественная церемония закладки корабля противоминной обороны нового поколения для ВМФ РФ. По приказу главнокомандующего Военно-морским флотом РФ адмирала Владимира Королёва, строящемуся на СНСЗ кораблю присвоено имя выдающегося отечественного судостроителя, бывшего директора Средне-Невского судостроительного завода Владимира Емельянова [53].

Морской тральщик «Владимир Емельянов» - третий корабль серии (4 по счету), контракт на строительство которого был подписан с МО РФ. Помимо этого СНСЗ подписал контракт с МО РФ на строительство ещё 3 минных тральщиков проекта «Александрит».

Как отметил на церемонии начальник управления кораблестроения ВМФ РФ контр-адмирал Владимир Тряпичников: «Сегодня, заложив четвертый корабль, мы разворачиваем полноценное серийное строительство таких кораблей. Уже выполняет задачи головной корабль «Александр Обухов». Ожидаем сдачи корабля «Владимир Емельянов» в срок и без замечаний».

При строительстве данных кораблей реализуются новейшие российские технологии и технические решения, не имеющие аналогов в мире. Корабль оснащен новейшими средствами поиска и обнаружения мин, имеет высокие маневренные качества и мореходность. Корабли противоминной обороны (ПМО) данного проекта

относятся к новому поколению кораблей минно-тральных сил и предназначены для борьбы с морскими минами, в том числе и с новыми, так называемыми умными морскими минами, которые новые корабли ПМО могут обнаруживать как в воде морских акваторий, так и в морском грунте.

Согласно планам Главного командования ВМФ России корабли ПМО нового поколения в ближнесрочной перспективе будут составлять основу минно-тральных сил флотов ВМФ России, существенно повысив эффективность выполнения задач.

По словам генерального директора СНСЗ Владимира Середохо, спуск корабля «Владимир Емельянов» запланирован на весну 2018 года. В цехах завода продолжается строительство кораблей «Георгий Курбатов» и «Иван Антонов». Так же, до конца года планируется заложить еще один корабль серии.

В этот же день (20.04.2017 г.) в рамках продолжения реконструкции действующего стеклопластикового производства СНСЗ, устройства новых производственных площадей и обновления парка технологического оборудования состоялась торжественная церемония открытия второй очереди Цеха стеклопластикового судостроения на СНСЗ.

В 2015 году СНСЗ спустил на воду рейдовый тральщик, построенный для ВМС Республики Казахстан из КМ. В церемонии приняла участие делегация АО «Препрег-СКМ». Особенность корабля – уникальный корпус из КМ, причем сделан он по уникальной технологии, позволяющей получить максимальную прочность при минимальной массе. За счет применения композитов тральщик получился немагнитным, что было одним из основных требований заказчика.

В последнее время КМ находят все большее применение в судостроении, а объем потребления углеродных и стеклянных тканей растет из года в год. Это видно, в частности, на примере сотрудничества Препрег-СКМ и СНСЗ.

«Сегодня мы завершили очередной этап сертификации стеклянных и углеродных тканей для применения в судостроении. Это значит, что возможности проектировщиков кораблей из ПКМ станут ещё шире, а это, в свою очередь, позволит решить задачу импортозамещения», - сообщил руководитель направления продаж АО «Препрег-СКМ» [54].

Ранее АО «Препрег-СКМ» получило Свидетельство о типовом одобрении производителя от Российского морского регистра судоходства, сертификат соответствия DNV-GL. Ассортимент продукции предприятия постоянно пополняется новыми образцами. На очереди новые ткани гибридной структуры, препреги и нетканые материалы из отечественного углеродного волокна.

Продукция компании АО «Препрег-СКМ» ничем не уступает западным аналогам. К такому выводу пришли специалисты СНСЗ, которые провели тестирование материалов в рамках импортозамещения.

На государственном уровне вопросу импортозамещения уделяется особое внимание. Министерство промышленности и торговли Российской Федерации разработало планы по импортозамещению, включающие поддержку производства стратегически важных материалов, соответствующих по качеству зарубежным аналогам.

Предприятие «Препрег-СКМ» по производству технических тканей и препрегов на основе углеродного и стеклянного волокна, уже сегодня в состоянии заместить импорт полимерных композитов в России на общую сумму в 400 млн. рублей в год.

Так, материалы производства «Препрег-СКМ» для судостроения были испытаны на СНСЗ. Как рассказал генеральный директор Владимир Середохо в интервью изданию «Диалог», конструкции судов, которые создаются на заводе, «в значительной мере изготавливаются с применением импортных материалов: армирующих, связующих, заполняющих». По его словам, в последнее время были проведены исследования и весь комплекс сертификационных испытаний по внедрению отечественных армирующих и связующих материалов. Эксперты сравнили ткани, производства финской фирмы «Ahlstrom» и отечественные аналоги производства «Препрег-СКМ».

«Оказалось, что наши ничуть не хуже, а кое-где и лучше, чем импортные. Поэтому сегодня эти материалы уже сданы МВК и прошла первая стадия одобрения Морским регистром», – подтвердил Владимир Середохо.

Также на предприятии были опробованы КМ, производства «Препрег-СКМ», на основе тканей из углеродного волокна. Эта продукция, по словам Владимира Середохо, «тоже показывает очень хорошие результаты».

#### *Пассажирский катамаран из углепластика*

Пассажирский катамаран на 150 мест, полностью сделанный из углепластика, исключительно инновационный продукт, не имеющий аналогов в России и одно из перспективных изделий СНСЗ. Спроектирован он специально для развозки туристов с больших круизных лайнеров, прибывающих в Морской порт Санкт-Петербурга, причём имеет низкую надстройку, которая позволяет ему проходить под мостами. Он более вместительный и комфортный, чем «Метеор», и к тому же более удобен в навигации и причаливании. СНСЗ планирует передать в опытную эксплуатацию композитный скоростной пассажирский катамаран нового поколения уже в июле 2017 года.

Концепт многокорпусного пассажирского катамаран не уникальный. Суда подобного класса строят в Норвегии, Дании, Франции, Италии.



Между тем у российского аналога будет ряд отличий, которые повысят его эффективность. Первое, углепластиковый корпус катамарана изготовлен с применением углеродных материалов производства компании «Препрег-СКМ» посредством метода вакуумной инфузии.

Применение композита позволило улучшить ударную прочность конструкции на 20...30 %, усталостную прочность – на 50...200 %, достигнуто снижение веса на 10...30 %. Композитный материал по прочности не уступает многим современным металлам, плюс к этому высокая стабильность, сопротивляемость усталости, стойкость к действию морской среды, относительная простота ремонта и эксплуатации. Срок службы корпуса не менее 30 лет.

Многокорпусная конструкция технически делает судно устойчивее, что имеет существенный плюс для пассажиров, которые страдают морской болезнью. Кроме того, катамараны практически непотопляемы, а два двигателя, разнесенные по двум

корпусам, обеспечивают высокую маневренность, позволяющую катамарану развернуться практически на месте.

С начала 1990-х годов кевлар получил распространение в судостроении. Из-за технологических сложностей и цены на кевлар его применяют выборочно. Например, только в килевой части или для отделки корпуса по швам. Применяется также для строительства яхт. Из этого материала они получаются очень лёгкими, расходуют меньше топлива и способны развивать более высокую скорость. Многие производители (такие, как верфи BAIA Yachts, Blue water, Dolphin, Danish yacht, Zeelander Yachts), делая в год не очень большое количество яхт, планомерно переходят на использование кевлара. Одним из лидеров в производстве яхт из кевлара считается итальянская верфь Cranchi, которая производит яхты из кевлара размером от 11 до 21 м.

#### *Российские субмарины 5-го поколения из композитов*

В марте 2014 года ЦКБ «Рубин» приступило к разработке подводных лодок 5-го поколения как атомных, так и неатомных. Главной особенностью субмарин будет применение КМ. Многослойные композитные покрытия корпуса, носовые и кормовые рули, стабилизаторы, ограждение рубки, даже гребные винты и линии валов – все эти элементы нового поколения российских подводных лодок решено делать из КМ. Их структура и состав обеспечивает снижение отраженных гидролокационных сигналов от подводной лодки и препятствует распространению вибрации от работающих механизмов. Противник просто не сможет получить отраженного от субмарины сигнала нужного уровня, то есть КМ кардинально снизят шумовую заметность лодки [55].

Как рассказал «Известиям» советник гендиректора ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (КГНЦ) Валерий Половинкин, возможности традиционных монометаллических материалов практически исчерпаны и, если не перейти на композитные технологии, добиться существенного повышения боевых характеристик невозможно.

«Речь идет о новых многослойных композиционных материалах, — подчеркнул Валерий Половинкин. - Их структура и состав обеспечивают снижение отраженных гидролокационных сигналов от подводной лодки, препятствуют распространению вибрации от работающих механизмов и т.д. Противник просто не получит отраженного от субмарины сигнала требуемого уровня, поскольку КМ обладает высоким коэффициентом внутренних потерь, или звукопоглощением, может менять свойства при возникновении вибрации, полностью препятствуя распространению колебательной энергии. Такой эффект обеспечивает разработанная нами очень сложная внутренняя конструкция КМ, эффект от применения которого измеряется даже уже не процентами, а разами».

Как отмечает эксперт, использование композитов в конструкции новых кораблей позволяет не только снизить массу и повысить надежность, но и снизить эксплуатационные затраты, потому что композиты не требуют окраски и не подвергаются коррозии. Кроме того, конструкции такого типа могут быть изготовлены в течение одного технологического процесса, что снижает трудоемкость изготовления деталей корпуса и узлов механизмов на 30...40 %.

В настоящее время решения на основе КМ проходят стендовые испытания. По словам Валерия Половинкина, первый адаптивный композиционный гребной винт может быть представлен к натурным испытаниям уже в 2018 году.

«Это одна из самых перспективных работ нашего института, - поясняет он. - Это направление, обеспечивающее снижение уровня вибрации лопастей и повышение эффективности работы винтов. За счет различных эффектов будет улучшено акустическое поле корабля. За счет создания новой структуры материала лопасть будет подстраиваться под обтекающий гидродинамический поток в зависимости от скорости».

По мнению эксперта в области вооружений и военной техники Андрея Фролова, производство субмарин из композитов начнется после 2020 года.

«Применение композитов укладывается в концепцию создания атомных подводных лодок следующего 5-го поколения, - утверждает он. - Работу в этом направлении анонсировал теперь уже бывший главком ВМФ Виктор Чирков. Появления этих лодок стоит ожидать после завершения текущей кораблестроительной программы по АПЛ 4-го поколения: стратегических ракетносцев проекта 955 типа «Борей» и многоцелевых ударных субмарин проекта 885 типа «Ясень». По словам Андрея Фролова, к 2020 году флот получит по восемь кораблей этих типов. «Концепция подводной лодки 5-го поколения обсуждается с конца 80-х годов прошлого века, - напоминает эксперт. - Можно предположить, что это будет корабль, созданный на базе самой современной АПЛ проекта 885 «Северодвинск», но более дешевый в производстве».

Субмарины проекта 885 стали самым дорогостоящим приобретением МО РФ в рамках Госпрограммы вооружения до 2020 года. По данным «Известий», каждая такая лодка обходится бюджету примерно в 200 млрд рублей.

«Корабль 5-го поколения будет меньше и дешевле «Ясеня», - утверждает Андрей Фролов, - эта тенденция видна у американцев. У них есть аналог нашей субмарины - АПЛ типа SeaWolf. На её базе идет работа над следующим поколением кораблей: меньших по размерам и менее технологичных по установ-ленному на них оборудованию. То есть существует понимание, что корабли будущего должны быть узкоспециализированными для выполнения конкретных боевых задач. Например, для нанесения ракетных ударов стратегическими комплексами, либо должны быть заточены на то, чтобы не дать это сделать противнику». По оценкам Андрея Фролова, лодки 5-го поколения будут иметь не более 5...6 тыс. т надводного водоизмещения (у «Ясеня» - 8,9 тыс. т), выполнены по модульному принципу с унифицированными носовыми и кормовыми частями, чтобы их можно было использовать как для создания стратегических, так и ударных подводных крейсеров.

Аналогичные работы ведутся военными конструкторами и в других странах, однако все они пока находятся на стадии проектирования. В России же первая лодка 5-го поколения появится уже в 2018 году.

#### *Стеклопластик в судостроении*

Благодаря своей относительно высокой стойкости к воздействию соленой воды, стеклопластик нашел широкое применение в судостроении, особенно для производства корпусов и палуб лодок и яхт. Многие производители дают на корпуса яхт, изготовленные из стеклопластика, гарантию 10 лет и более. Из всех методов производства стеклопластиков в судостроении наибольшую популярность приобрели методы ручной формовки вакуумной пропитки RFI.

Наибольшее распространение при производстве стекло- и углепластиков получили следующие методы: ручная «влажная» формовка, намотка, инъекция (RTM), прессование, а также метод вакуумной пропитки RFI. Наибольшую

прочность такие композиты имеют при оптимальном соотношении армирующих волокон и связующего материала.

Компания верфь «7 футов» основана в августе 2003 года в Вологодской области, г. Череповец, который находится на территории крупного водоема - Рыбинского водохранилища (порт пять морей). Конструктора верфи разработали лодки и катера повышенной комфортности с хорошими мореходными качествами и безопасными на воде, которые отвечают потребностям любого покупателя: спорт, отдых, туризм, рыбалка. На данный момент верфь имеет модельный ряд из 15-ти лодок от 2,7 до 8,0 м – это SF 620, SF 570, SF 270 «КРАБ», SF 320 (Краб 2), SF 520, SF 390 Кефаль, SF 460 и др. Корпуса всех лодок изготовлены из стеклопластика [56].

«SF 700» - лодка-дейкрэйсер, которая предназначена для прогулок, охоты, рыбной ловли на реках и в прибрежной зоне озер, водохранилищ и морей при высоте волны до 1,4 м. В качестве двигателя можно использовать подвесной мотор мощности от 100 до 200 л.с. На испытаниях модели, даже при 100 сильном моторе, катер показал уверенно 52 км/ч. Допускается эксплуатация лодки, как в пресной, так и в морской воде при температуре от -5 до +45 °С.



Корпус лодки «SF 700» представляет из себя моногедрон с небольшими углами килеватости. Высота подволоки позволяет чело-веку находиться в каюте в полный рост. Корпус и каюта изготовлены таким образом, чтобы ответить практически всем пожела-ниям: возможна установка шкафа, туалета, душа, камбуза – моделирование с

индивидуальным подходом к каждому заказчику

*Углепластиковая «Матрешка» - участник международной регаты*

В мае 2016 года команда Санкт-Петербургского Государственного морского технического университета приняла участие в 37 международной регате водных велосипедов (International Waterbike Regatta 2016). Соревнования проходили в Вене. Ребята самостоятельно сконструировали лодку «Матрешка» на мускульной тяге из углепластика. Корпус лодки сформован из углеродной мультиаксиальной ткани производства Препрег-СКМ.

### Новая пластиковая лодка Спринт-1

Лодка изготавливается по оригинальной технологии, с применением новейших технологических разработок и материалов.



Корпус выполнен из композитных полимеризующихся материалов с применением конструкционных тканей, что позволяет достичь высокой прочности изделия. Окраска изделия выполнена в процессе изготовления, что позволяет исключить периодическую окраску в процессе эксплуатации в течение 25 лет.

Сиденья выполнены в процессе изготовления как блоки плавучести на носу, корме, в середине, это делает лодку полностью непотопляемой. При весе 45 кг лодка может брать до 250 кг полезного груза (3 человека). Спринт-1 может ходить как на вёслах, так и подвесным мотором до 10 л.с. Рекомендуемое применение стеклопластиковой лодки на речных водоёмах с высотой волны до 0.8 м, при максимальном удалении от берега до 300 м. Рекомендуется использовать лодку при температуре воды от 0 до +50. Транспортировать лодку к месту её хранения и эксплуатации допускается любым видом транспорта. Хранить изделие допускается как на стапелях, так и без них, при температуре окружающего воздуха не ниже, чем -50 [57].

#### *Персональные подводные лодки из композитов*

Зарубежные компании начали выпускать персональные подводные лодки для изучения морских глубин, корпуса которых сделаны из композитов. Существуют как шикарные, так и более или менее бюджетные разновидности.

*Американская компания Triton* основана во Флориде в 2007 году и с тех пор прочно заняла свое место на рынке компактных персональных подлодок.



В модельном ряду компании 12 различных субмарин – от скоростной одноместной Triton 1000/1 HS, способной разогнаться до 27 км/ч, до глубинного монстра Triton 36,000/3, батискафа для сверхглубоких погружений [58].

#### **Двухместная субмарина Triton**

*Американская компания DeepFlight*, основанная в 1996 году знаменитым инженером, специалистом по судам и подлодкам Грэмом Хоуксом, выпускает компактные подводные лодки с активным применением КМ на полимерной основе трёх моделей: Dragon, Super Falcon и Super Falcon 3S [58].

Правда, в сравнении с Triton, субмарины Deepflight проигрывают из-за конфигурации. В Triton все пассажиры находятся в одном отсеке и могут общаться. В Deepflight каждый находится в собственном кокпите.

Все перечисленные подлодки в целом похожи друг на друга. Субмарина Dragon выпускается в корпусе, напоминающем гоночный болид (рис. 3.9а). Субмарины Super Falcon выполнены в виде самолета: подводные аппараты имеют крыло и хвостовое оперение (рис. 3.9б). Эти подлодки экстремально дорогие, но высокотехнологичные и красивые. Все они рассчитаны на двух пассажиров. Продаются по цене от \$1,2 до 3,5 млн.

Они способны погружаться на глубину до 120 м и находиться в движении без подзарядки на протяжении 6 часов. Конструкция подводной лодки позволяет двигаться практически бесшумно, что в свою очередь, позволит её счастливому обладателю получить максимальное удовольствие от созерцания подводного мира, близко приближаясь к местным обитателям или изучать обломки затонувших кораблей или затопленных поселений.

Подлодка DeepFlight Super Falcon была построена по индивидуальному заказу специально для миллиардера Дитриха Матешича. Гости его курорта на острове Локэла в Фиджи также могут оценить разнообразие подводной жизни возле архипелага в ходе 2 часовой поездки, которая обойдется в \$1700. Кроме него, подводную лодку DeepFlight Super Falcon приобрели миллиардеры Ричард Бренсон, Том Перкинс и др. Подвижные крылья субмарины позволяют ей двигаться на трех скоростях как подводный самолет, а стеклянный купол создает впечатление «полета» в открытом море. Следует отметить, что создание данного плавательного средства было бы невозможным, если бы не активное использование КМ, позволивших не только снизить вес, но и создать оптимальную (с точки зрения противодействия сопротивлению воды) поверхность.



**а. Dragon**



**б. Super Falcon**

**Рис. 3.9. Подводные лодки из композитов компании DeepFlight**

Сверхпрочный композитный корпус из стеклопластика и карбона и прозрачные акриловые полусферы могли выдержать спуск на 1500 м. Super Falcon имеет два прозрачных купола на верхней части корпуса-фюзеляжа. Они предназначены для головы и не отличаются хорошей обзорностью. По сути пассажиры могут смотреть только по сторонам и вверх. Зато одномоторная субмарина оснащена двигателем мощностью в 4 л.с. силы и может развивать скорость до шести узлов. Управляется она, кстати, почти как самолет - при помощи цифрового стика.

Ниже перечислены компании, выпускающие различные по размерам и классу субмарины с использованием композитов.

*Американская компания U.S. Submarines* производит не только компактные, но и по-настоящему большие субмарины для частных лиц. По сути, это подводные яхты с огромными панорамными окнами и комфортом класса люкс внутри. Самая

мощная модель компании - 65-метровая Phoenix 1000 с двух-палубной пассажирской зоной (каждая палуба длиной 31 и шириной 6 м). Стоит этот подводный дворец \$78 млн. Есть модификации чуть попроще - 36-метровый Seattle 1000 и 20-метровый Nomad 1000 [58].

#### *Финская компания Kemp Marine*

Она производит субмарины для запуска с яхт и туристического наблюдения подводного мира. В модельном ряду - трехместная крошка SM300/3 и подводный «автобус» SM 100/26. Также компания может сделать любую подлодку по специальному заказу.

*Калифорнийская компания Seatagine* делает компактные туристические субмарины – как самоходные, так и прицепляющиеся к яхтам.

*Финская компания Mobimar* разрабатывает лодки, яхты, катамараны и, конечно, субмарины. Флагманом компании является подводная лодка Mark V в 3 модификациях – на 35, 50 или 60 пассажиров. Конечно, это не совсем частная, а, скорее, туристическая модель, но, в принципе, можно приобрести её и для того, чтобы катать друзей между островами личного архипелага.

*Канадская компания SportSub* производит частные субмарины с 1986 года и, пожалуй, это один из наиболее бюджетных вариантов. В гамме продукции семь подводных лодок – от одноместной SoloSub до шестиместной, все не отличаются эффектным дизайном, но зато надежны и функциональны.

*Голландская компания U-Boat Worx*, делающая очень красивые субмарины различных форматов – прямой европейский конкурент американцев из Triton. Компания предлагает 7 моделей. Самая маленькая - C-Quester-2, предназначенная для 2 человек и рассчитанная на погружения до 100 м, самая большая – C-Explorer 5 (5 человек, глубина до 300 м).

#### *Подводный композитный дрон (БПЛА)*

Создан подводный дрон iBubble для дайверов, ценителей глубин морей, озер и океанов. Этот дрон видит своего хозяина под водой, используя эхолот и систему распознавания объектов. Серийная версия дрона будет работать с камерами GoPro Hero 3 или 4. Из дополнительных опций имеет систему стабилизации, а также пару мощных фонариков на 1000 люмен [59].



#### **Дрон-подводник iBubble**

Пока он существует в единственном экземпляре. После краудфандинговой компании на Indiegogo его производство начнется в 2018 году, а розничная цена составит \$2200...3000 в зависимости от комплектации.

Используя сонар, дрон будет обходить препятствия вроде кораллов, а за счет системы распознавания объектов он сможет следить за плывущим человеком и не отставать от него. Кроме того, работает и ручной режим управления, который поможет наводиться на цель, делая фото или видео.

Функция Follow Me («следуй за мной») сегодня встречается у множества воздушных дронов. С её помощью устройство может самостоятельно передвигаться вслед за вами и снимать фильмы: о том, как вы катаетесь на лыжах, на велосипеде,

сноуборде, бежите или плывете на яхте. Однако добавить подобные возможности дивайсам для подводных съемок еще не пробовал никто, и iBubble в этом смысле можно назвать первопроходцем. Это умный подводный дрон, оснащенный эхолотом и устройствами слежения и распознавания объектов, который будет сопровождать вас в подводном плавании и снимать о вас кино.

Камерой у iBubble служит GoPro Hero 3 или 4, установленная в оптическом куполе без искажений. Плавность съемок обеспечивает система стабилизации, за освещение отвечают два мощных фонаря на 1000 люменов. Как и в случае с воздушными дронами, пользователь сможет приказывать iBubble перемещаться следом, вверх, вниз или зависнуть на одном месте. Максимальная дистанция между устройством и пользователем – 25 м, предельная глубина погружения – 60 м.

Используя пульт на руке, можно заставить дрон подниматься выше или ниже, а также перемещаться по горизонтали. Пульт работает на дистанции 25 метров от подводной камеры, а максимальная глубина погружения составляет 60 метров. Весит iBubble около 5 кг.

#### *Углепластик при строительстве парусных судов*

Самое большое парусное судно в мире – это «Парусная яхта А», 142-метровый корпус которого выполнен из стали со вставками из углеродного волокна с целью облегчения веса. Три 100-метровые мачты полностью выполнены из углеволокна и претендуют на звание самых высоких отдельно стоящих объектов в мире, сделанных из композитных материалов.



Суперяхта построена на верфи немецкой судостроительной компании Nobiskrug. Её крейсерская скорость 29 км/ч, а максимальная - 39 км/ч.

Стоимость восьмипалубного судна с 54 членами экипажа составляет около \$400 млн. Оно оснащено 2 дизельными и 2 электрическими двигателями.

#### *Перспективы в сегменте коммерческого судостроения*

У России есть хорошие шансы в секторе строительства высокотехнологичных судов ледового класса. По мере развития Северного морского пути, а он, вероятно, станет весьма оживленной мировой трассой - такие суда превратятся из экзотики в продукцию массовой постройки. Но, конечно, нужна и масштабная модернизация отрасли. Надо строить чисто гражданские верфи. Сегодня в России вообще верфей мало. Много, даже, может быть, избыточно много, судостроительных заводов, а верфей мало. Заводы в основном смешанного назначения, но все же с заметным военным креном. Чисто гражданские верфи у нас можно по пальцам пересчитать: это верфь в Выборге, астраханские заводы и мелкие заводы бывшего Минрыбхоза, Минморфлота и Минречфлота. При этом в России вообще не осталось верфей и заводов для крупнотоннажного судостроения. Все бывшие советские предприятия

такого профиля остались на Украине. Сейчас принято решение о строительстве трех чисто гражданских верфей – двух на Дальнем Востоке и одной на Котлине,

Экономика гражданского производства резко отличается от экономики военного кораблестроения. Военный завод – это именно завод, а не верфь, там другая логистика, другие кадры, другие компетенции, там масса машиностроения. Но главное, менеджмент военного завода имеет совершенно иное целеполагание. Руководитель военного завода должен доказать заказывающему ведомству обоснованную трудоемкость продукции. И цена зависит от трудоемкости. Больше трудоемкость - больше цена, больше прибыль.

В гражданском коммерческом судостроении все наоборот. Цена константа, и увеличить прибыль можно, лишь снижая себестоимость, т. е. трудоемкость.

#### *Новый катер для вейкбординга с корпусом из композитов*

Катер MasterCraft X36 – это многофункциональный и самый крупный в семействе катер для вейкбординга (П1), корпус которого сделан из композитных материалов. Инженерам MasterCraft удалось найти оптимальный баланс между мощностью и комфортом, а также наделять судно максимумом возможностей для отдыха владельца.



Корпус судна выполнен из композитных материалов, а отделка - из кожи, пластика и металла. Все материалы интерьера рассчитаны на возможный частый контакт с соленой водой. Несмотря на внешнюю схожесть с другими моделями линейки, MasterCraft X26 имеет полностью новый корпус - оригинальный и вместительный. При длине в 7,92 м катер X26 может принять на борт до 18 человек, и это один из лучших показателей в классе.

Катер рассчитан на создание волны и подходит как для обычного катания, так и для профессиональных тренировок. Контролировать форму и размер создаваемой волны максимально удобно при помощи сенсорного экрана, входящего в комплекс Murphy.

Стандартным для MasterCraft X26 является 6,2-литровый бортовой двигатель Plog, хотя есть возможность установки более мощной 7,2-литровой версии. Катер оснащен носовым подвесным электродвигателем, креплениями к нему и системой управления для маневрирования в ограниченном пространстве или при швартовке. Система набора балласта может принять до 1270 кг.

Разработчики говорят о широких возможностях по оснащению лодки всевозможным оборудованием для отдыха: предусмотрены мойка, холодильник, несколько крупных боксов с крышками на газовых стойках, аудиосистема, крепления для спортивных видеокамер GoPro. Что касается гаммы цветов, то ее производитель называет «бесконечной», намекая на возможность создания собственной цветовой схемы.

### *Путешествие на парусном тримаране из углеволокна*

Международная команда яхтсменов во главе с россиянином Сергеем Низовцевым планирует доплыть из Мурманска в Китай на парусном тримаране из углеволокна. Путь исследователей будет лежать через Арктику.

Экипаж возглавит китайский шкипер Го Чуань, совершивший кругосветное плавание на яхте в одиночку, а руководителем экспедиции будет российский яхтсмен и почетный полярник Сергей Низовцев, который поставил рекорд по скорости кругосветного плавания вокруг Арктики. Так же в экипаж входят 5 опытных моряков из Франции, Германии и России.

Яхта «Циндао-Китай» оборудована по последнему слову техники. Корпус и мачта выполнены из легкого и прочного углеволокна, а паруса сделаны из сверхпрочного ламината. На бортах судна установлены солнечные батареи. По словам экипажа, судно может разогнаться до 40 км/ч, и это далеко не предел.



Яхта пойдёт вдоль границы России севернее Новой Земли, Северной Земли и Новосибирских островов. Через 10 дней моряки должны достигнуть Берингова пролива. В случае успеха, команда установит мировой рекорд безостановочного командного плавания вдоль Северного Ледовитого океана. Общая протяжённость участка от Мурманска до Берингова пролива 3300 морских миль. Еще почти столько же

до Жёлтого моря - китайского Циндао.

### *Новый препрег ThinPreg 80EP для судостроения*

North Thin Ply Technology продолжает разрабатывать материалы для морской промышленности и представляет новый ассортимент продукции на основе препрега ThinPreg 80EP. Внедрением нового расширенного ассортимента продукции НТРТ показывает, что компания готова предложить широкий выбор материалов для судостроения.

Препрег ThinPreg 80EP - один из ключевых продуктов НТРТ, и представляет собой однонаправленные углеродные волокна, пропитанные эпоксидной термореактивной смолой 736, температура отверждения которой 80°C. Расширенный ассортимент материалов включает в себя модифицированную смолу 736 с повышенной степенью липкости и улучшенным реологическим поведением. С помощью этой смолы можно производить материалы плотностью 150 г/см<sup>2</sup> к 300 г/см<sup>2</sup>.

Для изготовления препрега могут быть использованы практически любые армирующие волокна, причем как стандартные, так и высокомодульные. Сегодня НТРТ может предложить для использования в морской промышленности тканые и мультиаксиальные препреги на основе тех же армирующих волокон.

«Расширение нашего ассортимента, безусловно, является преимуществом компании и важным фактором ее развития: сейчас НТРТ в состоянии предложить качественные и технологичные материалы, спрос на которые очень велик. И это еще

не все: наши цены соответствуют ожиданиям клиентов, а сроки поставки - максимально короткие», - говорит Джеймс Остин, генеральный директор NTPT.

Компания планирует и далее расширять ассортимент продукции и, скорее всего, вскоре сможет предложить полный спектр препрегов и других композитных материалов для строительства судов.

### **3.1.4. Применение КМ в железнодорожном машиностроении**

В России принимается ряд мер, направленных на широкое применение композитов в подвижном составе железнодорожного транспорта. В условиях старения парка подвижного состава и необходимости продления его эксплуатационного ресурса основным резервом обеспечения высоких требований стратегии развития РЖД является внедрение инновационных решений, в частности, применение современных КМ.

В России в последние 5...10 лет обозначился резкий рост интереса к применению ПКМ в железнодорожном транспорте. В настоящее время среди отечественных производителей КМ для нужд железнодорожной отрасли можно выделить компании «ВГМ Композит», ООО НПП «ПОЛЕТ», ЗАО «Мыс», ООО «НПП «АпАТэК», ООО «Композит Групп», Группа «Композит» и др. Среди потребителей продукции из ПКМ предприятия: ОАО «Демиховский машиностроительный завод» (ОАО «ДМЗ»), ОАО «ХК «Коломенский завод», АО «УК «Брянский машиностроительный завод», ОАО «Метровагонмаш», АО «ТВСЗ» и другие. При этом необходимо отметить, что основное применение КМ приходится на изделия внутренней отделки салонов вагонов, кабины машиниста, туалетного помещения, элементов экстерьера и прочие детали и узлы (тормоз-ные колодки, накладки, элементы вентиляторов и т.п.) подвижного состава.

Применение ПКМ при производстве пассажирского и грузового подвижного состава обеспечивает его облегчение, удешевление, долговечность и меньшие затраты на эксплуатацию. Одновременно с этим особенно важны весовые показатели для высокоскоростного движения на существующих линиях. Снижение массы является определяющим критерием для обеспечения оптимального расположения центра тяжести кузовов вагонов, что очень важно для наклона кузова при движении на крутых поворотах с высокой скоростью.

Так, в электропоезде серии ЭД4М Демиховского машиностроительного завода основное применение ПКМ (стеклопластиков) приходится на изделия внутренней отделки салонов вагонов, кабины машиниста и туалетного помещения: интерьер салона – боковые стены, салонные перегородки; интерьер кабины машиниста – столешница пульта управления, боковые стены, лобовая стена, шкаф с оборудованием, шкаф для одежды; туалетное помещение – стены, тумба умывальника, поддон.

В ОАО «ХК «Коломенский завод» в настоящее время также осуществляется широкое внедрение и применение композитов на эпоксидной основе. В частности, в электровозе ЭП2К и тепловозе ТЭП70БС, предназначенных для вождения пассажирских поездов из ПКМ изготавливают элементы пульта управления, боковые стены, лобовую стену, шкаф с оборудованием, шкаф для одежды (интерьер); лобовой обтекатель; воздухопроводы, вентиляторы, их корпуса и лопасти (иные детали).

Широкое применение находят композиты и в новых вагонах метро. Из композитов производят внутреннюю отделку вагонов, каркасы сидений – интерьер, головную часть кабины (маска) – экстерьер.

Для изготовления конструкций из КМ, элементов интерьера и экстерьера подвижного состава железнодорожного транспорта в основном применяется

технология контактного формования, которая осуществляется двумя методами: ручной укладкой и напылением. Данная технология хорошо зарекомендовала себя при производстве крупногабаритных малонагруженных деталей и элементов конструкций подвижного состава (внешний обтекатель, столешница пульта управления и т.д.), не имеющих высоких эксплуатационных нагрузок.

Необходимо отметить, что к КМ, применяемым в транспортном машиностроении, предъявляют высокие требования к характеристикам пожаробезопасности: горючести, дымообразующей способности, тепловыделению при горении, токсичности. Поэтому, в качестве основы для связующего используются пожаростойкие полиэфирные смолы, такие как HETRON F804TF и F805TF, прошедшие сертификацию по требованиям пожаробезопасности в метро и на железнодорожном транспорте в России и предназначенные для ручного формования, напыления и холодного прессования стеклопластиков. Смола содержит галоидные составляющие в молекулах, а также органические наполнители и не содержит хлор или азот. Для получения более прочных и виброустойчивых изделий используются стеклопластики на эпоксидной основе. Это связано с тем, что эпоксидные смолы имеют высокую адгезию к различным субстратам (металлам, керамике, бетону, дереву), обладают необходимой твердостью, прочностью и могут подвергаться механической обработке.

Объемы применения ПКМ в железнодорожном транспорте России уверенно растут. Необходимо отметить и перспективные проекты, разрабатываемые отечественными компаниями. К таким проектам относится вагон-хоппер, изготовленный из ПКМ и предназначенный для перевозки минеральных удобрений; контейнер-цистерна для перевозки и хранения химических продуктов; контейнеры-рефрижераторы и т.д.

Однако существуют и сдерживающие факторы широкого распространения ПКМ на железнодорожном транспорте, к которым относятся: недостаток квалифицированных кадров; недостаточный объем нормативной базы; отсутствие производственного, исследовательского и испытательного оборудования отечественного производства, современных технологий утилизации ПКМ и т.п. Необходимо также отметить отсутствие на территории России исходных химических компонентов для производства ПКМ, таких как парафенилен-диамин, динитроанилин, 4,4-диаминодифенилсульфон, различные типы антипиренов и отвердителей, которые поставляются иностранными компаниями, что негативно сказывается на широком применении изделий из ПКМ.

Главными причинами того, что традиционные материалы следует активно заменять КМ, являются: высокая коррозионная стойкость, повышенная прочность, малая плотность и изолирующие свойства, хорошее шумопоглощение. Кроме того, изделия из композитов более надежны и долговечны при работе, чем их аналоги из различных видов металлов, главным образом ввиду отсутствия у изделий из композитов сварных швов (врезок, переходов), концентраторов напряжений и зон пониженной химической стойкости.

Практика применения ПКМ в подвижных составах показывает, что в основном для изготовления изделий из ПКМ применяют стеклокомпозиты на основе полиэфирного связующего и стеклотканей, таких марок как Т-10, Т-11, Т-13 и др. (ГОСТ 19170–2001), а также стекломатов с плотностью 300–600 г/м<sup>2</sup>.

Сегодня композиты начинают внедряться в железнодорожную технику, так как они гораздо легче металлов и позволяют увеличить грузоподъемность вагонов. Российские железнодорожные вагоны новых типов станут композитными. В 2015 году на Уралвагонзавод была передана готовая конструкторская документация для производства новых типов вагонов. Созданы новые полувагоны, вагоны-цистерны, вагоны-хопперы, в том числе с инновационной композитной крышей.

Впервые в России принят национальный стандарт ГОСТ 33683-2015 [60] (введен в действие с 01.01.2017), который распространяется на полимерные композитные конструкции (кузов бункерного типа или съемная крыша) крытых вагонов-хопперов новой постройки колеи 1520 мм для бестарной перевозки нетоксичных и неядовитых, не слеживающихся сыпучих грузов, требующих защиты от атмосферных осадков.

Использованный в конструкции новых вагонов стеклопластик – это очень перспективный легкий материал с заданными свойствами, который имеет большую область применения. Стеклопластики обладают низкой теплопроводностью, прочностью стали, высокой коррозионной и биологической стойкостью.

Срок службы конструкций из стеклопластика и углепластика при соблюдении условий эксплуатации составляет до 100 лет.

Широкомасштабному внедрению КМ на железнодорожном транспорте посвящены специальные целевые программы. Исторически сложилось так, что большую часть исследований и разработок по этому вопросу ведут железные дороги Европы и Японии, причем в основном применительно к пассажирскому подвижному составу.

В Европе работы по выбору и оценке КМ ведутся в рамках программы HYCOTRANS, в которой участвуют шесть стран – членов Европейского союза: Великобритания, Германия, Испания, Португалия, Греция и Италия.

Целью программы является отработка технологий создания надежных и обеспечивающих безопасность гибридных композитных конструкций для транспортных средств.

По мнению специалистов, занятых в программе, она отражает потребность железнодорожной отрасли в легких и в то же время эффективно поглощающих энергию соударения перспективных материалах, которые могли бы заменить металл и найти применение на грузовом и пассажирском подвижном составе, имея лучшие характеристики, чем современные композиты, и удовлетворяя следующим требованиям: разрушение конструкции должно происходить предсказуемым образом в режиме пластической деформации с поглощением большого количества энергии при заранее определенном значении приложенного усилия; величина этого усилия должна зависеть от места нахождения конструкции; желательно использовать в конструкциях относительно недорогие КМ.

В соответствии с программой HYCOTRANS предполагается: создать поглощающие энергию конструкции с использованием широкого спектра КМ; разработать типовую методику определения свойств конструкций без применения дорогостоящих полномасштабных испытаний; разработать обеспечивающую возможность прогнозирования методику проектирования энергопоглощающих конструкций из новых КМ. Ожидают, что в ходе выполнения программы удастся получить в качестве конечного результата, с одной стороны, прототип композитной конструкции, защищающей от разрушения, и, с другой стороны, процедуру

испытаний на уменьшенной модели, позволяющую определить свойства полномасштабной конструкции.

В качестве конечного результата планируют изготовить полномасштабный вагон с установленным на обычные тележки композитным кузовом, который будет подвергнут ударным испытаниям на опытном пути. Координатором работ назначен Центр перспективных железнодорожных исследований (ARRC) в Шеффилде, Великобритания. Специалистам ARRC известны существовавшие предубеждения, согласно которым легкие материалы дают слабую защиту. Из-за этого большинство специалистов железных дорог Европы традиционно не рассматривали возможность применения других материалов, кроме металлов, и отстали от быстро развивающихся технологий, связанных с КМ.

В качестве противоположного примера приводят решимость железных дорог Республики Корея, где была проявлена соответствующая инициатива и, как ожидают, в близком будущем должен появиться высокоскоростной поезд из вагонов с кузовами из КМ.

Железнодорожная промышленность Японии в качестве способа уменьшения массы конструкций подвижного состава рассматривает применение композитов на основе пластика, армированного стекловолокном.

По мнению специалистов ARRC, основные преимущества КМ по сравнению со сталью и алюминием, например при изготовлении кузовов вагонов из многослойных панелей, лежат в сфере экономики и безопасности. На железных дорогах всё большую значимость придают уменьшению массы, сокращению расходов в расчете на весь срок службы, повышению сопротивляемости разрушению при столкновении.

Для изготовления конструкций из металла требуются дорогостоящее сырье и трудоемкие операции, такие как сварка и зачистка. КМ позволяют устранить эти неудобства. Кроме того, отсутствие коррозии увеличивает срок службы композитных конструкций. Пластичность КМ позволяет получать изделия сложной формы, соответствующей аэродинамическим расчетам, со значительно более низкими затратами. Еще важнее то, что за счет применения КМ можно облегчить подвижной состав почти на 50 %. Это приводит к снижению потребления энергии в эксплуатации - фактор, в свете проводимой политики защиты окружающей среды имеющий особое значение. С точки зрения безопасности в последнее время большое внимание уделяют созданию систем контролируемого поглощения энергии соударения при столкновениях. Одной из целей программы NUCOTRANS является демонстрация возможности применения в таких конструкциях обычного стекловолокна, а не дорогостоящего и потому неприемлемого в обычных условиях параамида.

В том что касается технологии изготовления многослойных панельных конструкций из КМ, предпочтение отдают жидкому прессованию, например литьевому или реактивно-литьевому.

Грузовые железные дороги пока не рассматривали КМ в качестве основных конструкционных для вагонов, за исключением Burlington Northern, которая имела опыт совместной работы с компаниями Trinity Industries (отделение Railcar) и DuPont-Hardcore по созданию двух типов облегченных изотермических вагонов большой вместимости. По мнению разработчиков, такие вагоны могли бы способствовать возвращению железных дорог на рынок перевозок скоропортящихся

грузов, который был практически потерян из-за недостаточно интенсивной замены и модернизации стареющего парка вагонов – рефрижераторов с механическим охлаждением и изотермических вагонов.

Здесь есть перспективы для развития, так как Trinity получила первый заказ на вагоны-рефрижераторы с кузовами из КМ. За этими вагонами могут вскоре последовать вагоны других типов, такие как крытые вагоны-хопперы. В отличие от вагонов-рефрижераторов, для которых нужны главным образом плоские композитные панели, для изготовления крытых хопперов потребуются конструкции на базе стекловолокна, полученные методом намотки, т.е. по гораздо более передовой технологии. Планировалось выпустить крытые вагоны с композитными крышами, которые считаются почти идеальными для перевозки бумаги.

Но при предложении вагонов для обновления парка следует обеспечить соответствие цены экономической выгоде (эксплуатационной, маркетинговой, а также чисто финансовой), которую можно получить от использования вагонов с композитными кузовами. Важно продемонстрировать достоинства новых вагонов уже на опытных образцах, иначе отношение к ним будет изначально критическим.

Интересным проектом являются двери из КМ, которые поставляются разными фирмами и проходили испытания в разных условиях эксплуатации на нескольких железных дорогах. Стоимость композитной двери, раздвижной или распашной, может превышать стоимость обычной в 2 раза, но материал, из которого она изготовлена, обладает свойством восстанавливать форму после деформации, и, значит, в случае повреждения двери нет необходимости отставлять вагон от эксплуатации, как это приходится делать для замены металлических дверей, которые не восстанавливают форму после повреждения, например, вилочным подъемником. Прогноз расходов в расчете на весь срок службы показывает, что стоимость двух замен обычных металлических дверей компенсирует более высокую стоимость композитной двери. Тот факт, что обычную дверь из-за повреждений приходится менять 1...2 раза в год, стал для одной из железных дорог серьезным аргументом для размещения заказа на 1000 композитных раздвижных дверей в ходе модернизации грузовых вагонов [61].

#### *Применение КМ для изготовления шпал*

Большой интерес представляет применение КМ для изготовления шпал. Ограниченное число композитных шпал было уложено на главных и станционных путях железной дороги Conrail. Кроме того, стороны, участвующие в этой работе (железные дороги Conrail, Norfolk Southern, университет Rutgers и Инженерный корпус вооруженных сил), уложили 25 шпал в кривой радиусом 350 м на одном из путей Центра транспортных технологий. Эти шпалы уже выдержали нагрузку в 18 млн. т, но, чтобы можно было сделать какие-либо выводы, по ним надо пропустить 100 млн. т груза [61].

Композиционные шпалы, по всей вероятности, никогда не будут экономичнее деревянных, но существует возможность их применения там, где проявляются недостатки деревянных шпал, например на грузонапряженных линиях с большим числом кривых малого радиуса или на усовершенствованных стрелочных переводах.

#### *Применение КМ в подшипниках вагонов*

Компания Brenco, отмечая эксплуатационные достоинства полиамидных сепараторов, используемых в подшипниках типа Generation 2000, указывала на значительную экономию, достигнутую благодаря применению композитных

фрикционных колец, которые в течение года проходили испытания в вагонах маршрутного угольного поезда. Назначением фрикционного кольца является устранение кольцевого износа шейки оси с заранее выполненной канавкой при плохой фиксации подшипника и предотвращение по следующим ее повреждениям. Использование композитных фрикционных колец позволит избавиться от этих расходов [61].

Тормозная колодка железнодорожного подвижного состава содержит однослойный композиционный фрикционный элемент и, по крайней мере, одну фрикционную абразивную вставку, заглубленную в композиционный фрикционный элемент со стороны рабочей поверхности колодки.

#### *Премия JEC Awards в области композитов*

Премия JEC Awards, аналог «Оскара» в области композитов, проводится в рамках крупнейшего мирового шоу композиционной индустрии «JEC-SHOW» (JEC Composites Show) в Париже и является самой престижной международной премией за достижения в области композиционных технологий, материалов и конструкций [62].

Впервые за всю историю существования JEC Awards российское ООО Научно-производственное предприятие (НПП) «Прикладные перспективные технологии – АпАТЭК» стало единственной компанией, чья продукция трижды удостоилась этой высшей награды.

Впервые НПП «АпАТЭК» было удостоено высшей награды JEC Awards в 2002 году. Тогда российская компания одержала победу в номинации «Транспорт» за внедрение композитных накладок на сети железных дорог России и стран Балтии.

НПП «АпАТЭК» представляет РФ на выставке «JEC-SHOW» с 2002 года. Выставка JEC проводится ежегодно, и за последнее время приобрела репутацию события мирового масштаба, главного международного форума КМ и технологий. JEC представляет всю отрасль целиком: от высоких технологий до конечных продуктов потребления. Стратегическая цель выставки состоит в осуществлении максимально эффективного обмена знаниями и опытом, а также установлении необходимых связей между всеми участниками рынка композитов. Тематический ряд JEC включает в себя новейшие технологии, композитные материалы, сырье (в том числе смолы, армирующие материалы и добавки), а также оборудование для производства композитов. Общая экспозиционная площадь – 54400 м<sup>2</sup>, что в 8,5 раз превышает размер футбольного поля.

В 2007 году НПП «АпАТЭК» заняло первое место в номинации «Наземный транспорт», присужденное ей за успешное внедрение композитных водоотводных лотков вдоль железных дорог.

В 2014 году НПП «Прикладные перспективные технологии – АпАТЭК», лидер отечественной промышленности по разработке и производству высоко ответственных изделий с применением КМ, получила первую премию JEC Awards в номинации «Железнодорожный транспорт» за достижения в области изготовления крупногабаритных конструкций из КМ. Конкурсный проект «Кузов из композиционных материалов вагона-хоппера, изготовленный методом вакуумной инфузии», был реализован совместными усилиями НПП «Прикладные перспективные технологии – АпАТЭК», ОАО «Научно-производственная

корпорация «Уралвагонзавод» имени Ф.Э. Дзержинского» и голландской фирмы «Lightweight Structures B.V.»

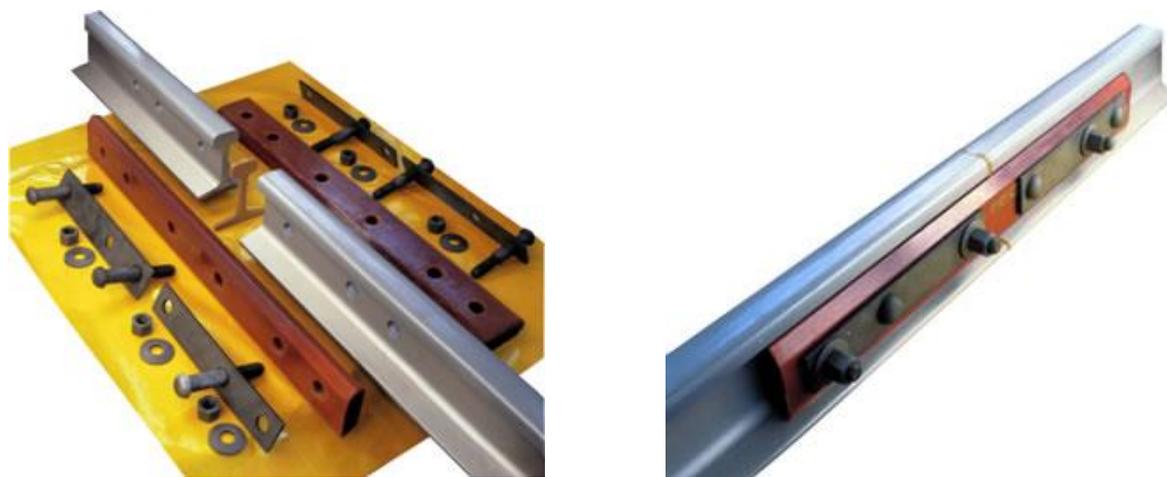
В 2014 году более 1200 фирм-участников со всех регионов мира продемонстрировали в Париже современные и перспективные КМ и технологии для всех отраслей промышленности, а также представили новейшие области применения композитов. Оценивается, что выставку посетили около 28000 человек, в том числе представители дистрибьюторов и конечных потребителей продукции и услуг композитной отрасли.

Ниже приведены основные разработки НПП «Прикладные перспективные технологии – АпАТЭК для РЖД с использованием КМ [62].

#### *Изолирующий стык для железнодорожных рельсов из КМ*

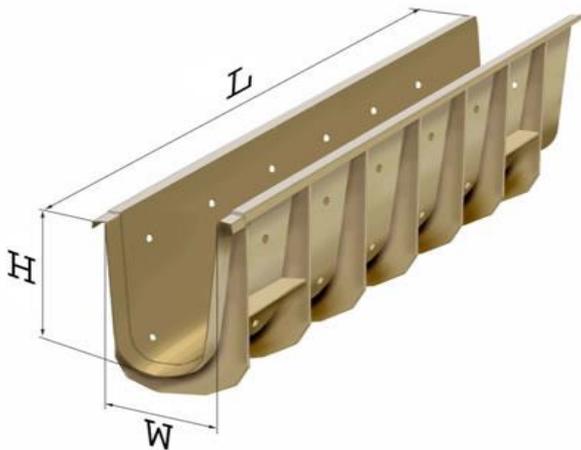
Конкретная сфера использования: электрическая изоляция одного блок-участка от другого на участках звеньевого пути магистральных железных дорог. Прежде всего, это касается участков пути с так называемыми уравнительными пролетами. Изолирующий стык предназначен для электрической изоляции стыков железнодорожных звеньевых и бесстыковых путей с рельсами Р-50, Р-65 и Р-75. Применение накладок АпАТЭК в изолирующих стыках рельсов обеспечивает безусловное выполнение требований по безопасности движения, надежности и эксплуатационной технологичности железнодорожных магистралей, а также значительно снижает эксплуатационные расходы при содержании железнодорожного пути.

Существуют комплекты накладок «АпАТЭК Р65», «АпАТЭК Р65ВП», «АпАТЭК Р50». Основным несущим и электроизоляционным составным элементом стыка является накладка композитная, изготовленная из стеклопластика марки СТЭП-Г.



Особенности изолирующего стыка АпАТЭК: прочность и высокие усталостные характеристики, коррозионная стойкость и низкое влагонасыщение, высокие характеристики грибостойкости, стойкость к кислотам, щелочам, нефтепродуктам и маслам, отсутствие хрупкого излома накладок и медленный рост трещин, простой монтаж в любых климатических условиях, небольшая масса – 3...8 кг, высокопрочный крепеж.

### *Лоток водоотводной из композита*

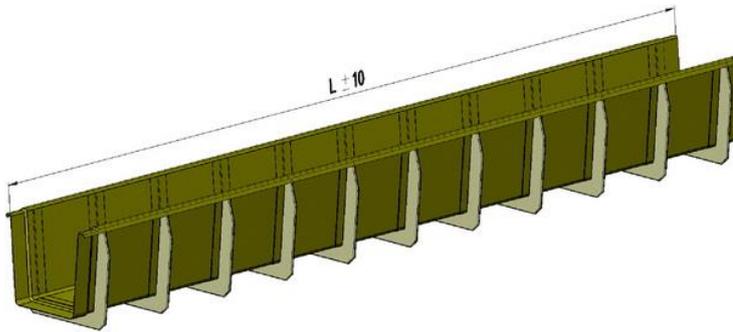


Композитные водоотводные лотки предназначены для постоянного сбора и отвода паводковой и дождевой воды от железнодорожных путей, магистралей и путепроводов поверхностных и частично подземных вод, расположенных в верхних слоях грунта, эксплуатируются при температурных условиях от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+45^{\circ}\text{C}$  на открытом воздухе при прямом воздействии солнечных лучей и в контакте с грунтовыми водами с рН от 6 до 8.

Преимущества: 1. Снижение затрат на установку. Установка производится вручную без привлечения специальной техники. 2. Снижение затрат на эксплуатацию: срок службы композитного лотка в десятки раз выше железобетонного. 3. Возможность установки в труднодоступных местах (болотах, территориях со сложным рельефом), где невозможно использовать механизированные средства.

Технические данные: прогнозируемый ресурс – 50 лет, масса 1 погонного метра – 6...23 кг. Размеры отводов: высота  $H$  – 1,0; 0,75; 0,5 и 0,4 м; ширина  $W$  – 0,62; 0,48; 0,45 и 0,43 м; длина – 2,08, 2,48 и 4,08 м.

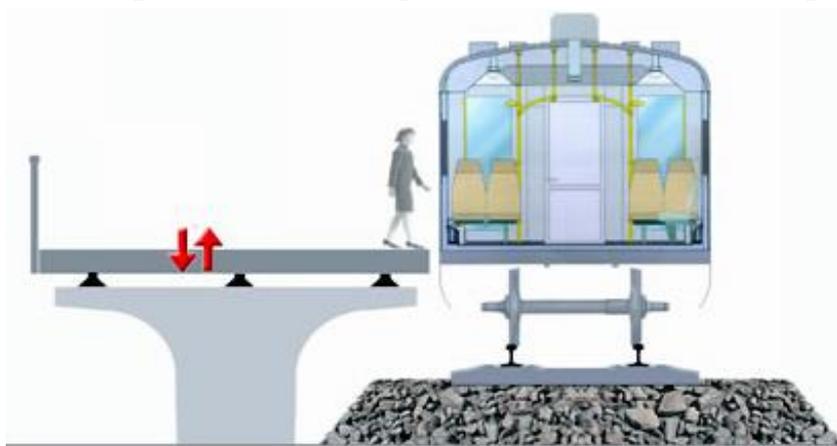
### *Лотки коммуникационные из КМ*



Лотки эксплуатируются в районах с умеренным и холодным климатом на открытом воздухе при прямом воздействии солнечных лучей и в контакте с грунтовыми водами. Они нетоксичны, невзрывоопасны, не выделяют вредные вещества при эксплуатации, а также устойчивы к воздействию вредных сред. Преимуществами таких лотков перед железобетонными, при относительно сопоставимой стоимости, являются: низкий вес, что позволяет их ручную укладку без использования подъемной техники, высокие нормы загрузки, технологичность монтажа, монтаж в труднодоступных местах, где невозможно применить технику, срок эксплуатации не менее 50 лет.

## Пешеходные платформы из композита

Разработана конструкция лёгкого стандартного платформенного модуля,



которая позволяет проводить регулировку высоты платформы в зависимости от высоты рельсового полотна, изменяющейся при проведении работ по обслуживанию пути и очистке/подсыпке призмы.

Материал конструкции из композита обеспечивает коррозионную стойкость, снижение затрат на

обслуживание и продолжительный срок службы.

Модульная конструкция разработана для всех типов платформ: «береговых» и «островных», высоких и низких. На пешеходную часть платформы нанесено противоскользящее износостойкое полимербетонное покрытие с применением натуральной каменной крошки.

В конструкции платформенного модуля и материале износостойкого покрытия реализована возможность организации разметки для людей с ограниченным зрением.

### *Композитные настилы для пешеходных и автомобильных мостов*

Настилы из композитного материала по конфигурации аналогичны металлическим, однако, в отличие от последних, могут быть использованы в агрессивных средах.

Снижение стоимости монтажа в 5 раз, снижение времени монтажа в 10 раз, повышение срока службы конструкции моста в целом за счёт снижения постоянной нагрузки в 6...16 раз.

Композитные настилы имеют конфигурацию аналогичную металлическим настилам, благодаря чему могут их успешно заменять. Они могут использоваться в агрессивных средах, не боятся коррозии, перепадов температур и ультрафиолетовых лучей. Панели можно пилить и сверлить. Композитные настилы и решетки востребованы во многих отраслях: портовые и прибрежные сооружения, железная дорога, химическая и горная промышленность, электроэнергетика и связь, очистные сооружения, пищевая промышленность, сельское хозяйство. Виды настилов:



**профилированный** – стеклопластиковый профилированный настил состоит из отдельных деталей, имеющих очертания двутавров, которые скреплены между собой поперечными элементами;



**сплошной** – активно используется при создании лестниц, переходов, площадок и других сооружений. Для противоскольжения и повышения износостойкости возможен вариант исполнения с корундовой крошкой;



**решетчатый** – это стеклопластиковые настилы (ячеистые решетки) производятся методом литья. Область применения настила очень широка, начиная от тяжелой промышленности и заканчивая сельским хозяйством.

### *Шумозащитные экраны из КМ*



Преимущества этих экранов: устойчивость конструкции к деформациям, возможность адаптация дизайна экрана к архитектуре местности, низкая стоимость обслуживания, стойкость к ударам камней, стабильность размеров, стойкость к старению и коррозии, огнестойкость, лицевая поверхность экрана подготовлена для нанесения покрытий антиграффити.

Высота шумозащитного экрана – 3...6 м; шаг секции – до 7,5 м; материал и конструкция – пултрузионные полые двухкамерные замкнутые профили.

Первая партия композитных шумозащитных экранов производства «АпАТЭК» установлена на участке «Масловка-Колодезная» Юго-Восточной железной дороги. Конструкция экрана целиком выполнена из стеклопластика.

### **Мостовые пешеходные переходы**

#### *Пешеходный мост в районе платформы «Чертаново»*

Это первый в России мост с цельнокомпозитными строениями, включающими пролетное строение, настил, перильные ограждения.

Характеристики моста: длина: 41,4 м, ширина: 3 м, масса: 11,8 т.

Дата пуска в эксплуатацию – 28 ноября 2004 года. Местоположение – Москва, ул. Промышленная, остановочный пункт (о.п.) «Чертаново».



При строительстве применён строительный стеклопластик «СППС» - «Стеклопластик Профильный Пултрузионный Строительный», представляющий собой материал, состоящий из стекловолокна, пропитанного терморезистивным связующим и предназначенный для использования в строительстве взамен традиционных материалов (стали, железобетона, дерева).

Заключение НИИ Мостов по результатам обследования моста на остановочном пункте Чертаново Московской ж.д. в марте 2008 года.

1. Конструкции пролетных строений и лестничных сходов соответствуют требованиям безопасности и обеспечивают пропуск расчетных нагрузок.

2. Лакокрасочное покрытие стеклопластиковых конструкций моста находится в удовлетворительном состоянии.

3. С момента сдачи объекта в эксплуатацию до настоящего времени дополнительных эксплуатационных затрат не потребовалось.

### *Пешеходный мост через платформу «Косино»*



Пешеходный переход над платформой Косино, разработанный и установленный в рамках реконструкции казанского направления Московской железной дороги, является первым в России мостом со сходами, все элементы которого изготовлены из композиционного материала. Затруднённые условия монтажа, связанные с реконструкцией инфраструктуры дороги и прилегающей территории, существенно ограничили в данном случае объём использования специальной техники. Решением этой проблемы стало применение мостовой конструкции из композиционного материала, в результате чего мост был установлен за несколько часов в стеснённых условиях без привлечения дополнительных технических и монтажных ресурсов.

Характеристики моста: длина 47 м, ширина 5 м, ширина сходов – два по 4 м, один 5 м, масса 55.3 т. Дата сдачи в эксплуатацию - июль 2005 года. Местоположение - Москва, ул. Каскадная, о.п.« Косино».

### *Новый композитный мост на платформе Тестовская*



Обрушение железобетонного моста на платформе Тестовская 2 марта 2007 года потребовало создание нового моста. Начало работ по созданию нового композитного моста – 10 апреля 2007 года. Время создания моста от начала проектирования до установки на место составило 2 месяца. Новый мост был установлен 14 июня 2007 года. Характеристики моста: длина 48 м и ширина 2,6 м. Местоположение - Москва, оп. Тестовская 1-й и 2-й главные пути, пересечение Шмитовского проезда и 3-го транспортного кольца.

### *Кабина головного вагона из композита*

В 2002 году НПП "АПАТЭК" разработал конструкцию и изготовил опытную партию композитных масок (передних частей головного вагона) для электропоездов типа ЭД-4М.



### *Кресла из огнестойкого стеклопластика*

Кресла для применения в вагонах подвижного состава изготавливаются из



огнестойкого стеклопластика и устанавливаются в вагонах с шириной шага сидений не менее  $1600 \pm 2$  мм внутригородского, пригородного и межобластного состава. Кресла выпускаются в четырехместном и шести-местном вариантах. При этом возможны различные цветовые решения обивки и пластика. Преимущества этих кресел: малый вес и простота

монтажа, антивандальное исполнение, огнестойкость, эргономичный дизайн, высокие теплоизоляционные свойства. Кроме этого, они сертифицированы Департаментом здравоохранения МПС.

### *Волноотбойные стенки из КМ*

Эти стенки предназначены: для защиты железнодорожного пути на морском побережье при волновом воздействии до 8 баллов, для создания второго пути железной дороги без остановки движения.



Снижение сроков возведения в 8...10 раз. Срок службы 70...100 лет.

Тестовая эксплуатация композитной стенки в условиях морского климата и песчано-галечной эрозии.

Мониторинг поведения конструкции с помощью датчиков, встроенных в материал.

Встроенная система контроля состояния конструкции позволяет производить контроль состояния и поведения конструкции на протяжении всего срока службы, определять уровни нагрузок в анкерах и исследовать поведение стены при воздействии морских волн.

В 2008 году закончен монтаж волноотбойных стенок из КМ производства «АпАТЭК», проводившийся в рамках реконструкции участка железной дороги «Туапсе-Адлер» на перегоне «Туапсе-Шепси».

### *Композитное безбалластное мостовое полотно*

Безбалластное мостовое полотно (БМП) и брусья из композитных материалов по сравнению с плитой БМП из железобетона и деревянных поперечин обладает большей долговечностью и повышенной технологичностью. Последняя обуславливается сравнительной легкостью устройства строительного подъема на мосту. Если для полотна на деревянных поперечинах строительную высоту обеспечивают врубкой каждого бруса, требующей высокой квалификации от плотника, то для БМП эта задача решается регулированием высоты опорных элементов.



Недостатки плит БМП из железобетона: продольные и диагональные трещины в плитах, ослабление натяжения или обрыв шпилек и, как следствие, расстройство узлов. Разработчики «АпАТЭК» подтвердили, что новая конструкция плиты БМП и мостового бруса из КМ будет отличаться неограниченной долговечностью, в то время как мостовой брус из дерева подлежит замене в среднем через каждые 5 лет.

По заказу «ОАО РЖД» в рамках научно-технического развития на экспериментальном кольце ОАО «ВНИИЖТ» проводится испытание безбалластных плит мостового полотна из композитных материалов. В настоящее время завершается наработка первых 200 млн. т брутто, по результатам чего будет сделаны первые выводы. При положительных результатах работы композитные плиты имеют конкурентное преимущество по сравнению с существующими конструкциями. В

сравнении с мостовым брусом увеличивается срок эксплуатации и повышается ровность подрельсового основания. По отношению к железобетонным плитам снижается вес конструкций, что кроме упрощения строительного-монтажных работ дает возможность производить замену мостового бруса на мостах с низкой грузоподъемностью.

#### *Перильные ограждения из композита*

Перильные ограждения для РЖД используются на мостовых сооружениях, лестничных сходах, путепроводах и т.д. Элементы композитных перильных ограждений производятся посредством процесса пултрузии.

Преимущества перильных ограждений из КМ: коррозионная стойкость, высокая



механическая проч-ность, малый удельный вес. диэлектрические свойства, ощущение «теплого» материала, экономичность в эксплуатации, простота и высокая скорость монтажа и сборки, цветовая гамма в RAL, стойкость к воздействию ультрафиолета, солнечной радиации, эстетичный вид.

Для изготовления элементов перильных ограждений используются

КМ на основе непрерывных волокнистых армирующих материалов (типа стекловолокна) и полимерных связующих (типа полиэфирных, винилэфирных и эпоксидных).

#### *Вагон-хоппер с кузовом из КМ*

В условиях конкурентной борьбы требуются новые подходы и нетрадиционные технические решения в конструкциях вагонов. Ярким примером такого подхода является создание инновационного вагона-хоппера модели 19-5167 с кузовом из КМ. Вагон предназначен для бестарной перевозки минеральных удобрений и других сыпучих грузов. Вагон не имеет аналогов по грузоподъемности и объему кузова на пространстве СНГ. Представив данный проект на международном конкурсе, корпорация ОАО «НПК «Уралвагонзавод» удостоилась престижной международной премии JES Awards за достижения в области композиционных технологий, материалов и конструкций [63].

Вагон-хоппер с кузовом из КМ предназначен для эксплуатации по всей сети железных дорог колеи 1520 мм стран СНГ, Латвии, Литвы, Эстонии для бестарной перевозки неопасных минеральных удобрений и других сыпучих неопасных грузов, требующих защиты от атмосферных осадков, с выгрузкой на пунктах, имеющих прямо-разгрузочные устройства.



Новая разработка вагона-хоппера, оборудованного съемной крышей из КМ, позволила достигнуть увеличения грузоподъемности вагона до 76 т и объема кузова до 86 м<sup>3</sup>. Конструкция композитного кузова вагона-хоппера представляет собой самонесущую монококовую обшивку из стеклопластика, подкреплённую внутренним силовым набором, состоящим из 7 поперечных шпангоутов и центральной хребтовой рамы, заходящей на торцевые стены.

Вагон-хоппер модели 19-5167 с кузовом из композитного материала не имеет аналогов в мире. По итогам прошедшей в 2015 году в Париже выставки композиционной индустрии JEC Show он был удостоен премии JEC Awards за достижения в области композиционных технологий, материалов и конструкций.

После представления на выставке в Щербинке вагон-хоппер был отправлен на испытания, которые доказали его жизнеспособность. По данным исполнительного директора некоммерческого партнерства «Объединение вагоностроителей» конструкторы ищут резервы дальнейшего снижения массы тары за счет кузова, где композит используется в несущей конструкции.

На другую модель уже получен сертификат соответствия РС ФЖТ. Это хоппер со съемной композиционной крышей. И его уже выводят на стадию серийного производства.

#### *Контейнер-цистерна с котлом из композита*

В апреле 2015 года в Москве открылась Международная выставка по транспорту и логистике «ТрансРоссия», на которой были представлены современные достижения в сфере транспортировки и хранения грузов. Одним из ключевых направлений выставки станут контейнерные грузоперевозки.

Научно-производственная корпорация «Уралвагонзавод» (г. Нижний Тагил) представила на выставке уникальную разработку – танк-контейнер модели КЦХ-ПКМ25/0,4 для химических продуктов, имеющий цистерну из КМ.

Композит обладает большей стойкостью к коррозии, чем сталь, которая используется сейчас при производстве цистерн для танк-контейнеров. Поэтому отпадает необходимость в нанесении дополнительного коррозионно-стойкого покрытия на внутреннюю поверхность котла.

Инновационный танк-контейнер предназначен для транспортировки агрессивных и опасных жидких грузов: кислот, щелочей (в частности, технического едкого натра), спиртов, нефтепродуктов, технических масел, масляных присадок, жиров, концентратов и прочих продуктов химической отрасли. Контейнер весит 4,35 тонны и обладает грузоподъемностью в 36 тонн.



Изделие, выпущенное на «Уралвагонзаводе», является первым в мире контейнером-цистерной, изготовленным с применением КМ. В настоящее время химические жидкие грузы перевозят в «танках» из нержавеющей стали, которую изнутри покрывают антикоррозионным слоем. Новейшая разработка уральских специалистов позволит снизить затраты перевозчиков на эксплуатацию танк-контейнеров и повысить срок службы

изделий [64].

Данные работы реализуются в рамках инновационного проекта по созданию высокотехнологичной продукции по теме «Разработка технологий получения и производства ёмкостей из полимерных композиционных материалов для осуществления контейнерных перевозок агрессивных веществ, продуктов химии и нефтехимии» и финансируются Министерством промышленности и торговли России и Уралвагонзавода.

Среди преимуществ новых контейнеров-цистерн – снижение массы сосуда не менее чем на 20 % по сравнению с аналогичными стальными сосудами, а также сохранение эксплуатационных характеристик при перевозках агрессивных веществ, продуктов химии не менее 15 лет, в зависимости от типа перевозимого груза. Кроме того, значительно упрощается обслуживание: вместо пропарки рабочие поверхности котла достаточно промыть.

### 3.1.5. Применение КМ в автомобилестроении

Пластик не так давно считался в автомобилестроении наиболее перспективным кузовным материалом. Он легче алюминия, ему можно придать любую, даже вычурную и замысловатую форму, да и покраска его обходится намного дешевле, ведь провести её можно уже на стадии производства, используя различные химические добавки. И наконец, этот материал не знает, что такое коррозия. Но недостатков у пластика гораздо больше и они довольно значимые. Так, свойства пластика меняются под влиянием различных температур – мороз делает пластик более хрупким, а жара размягчает этот материал. По этим причинам и ряду других из пластика нельзя изготавливать те детали, на которые оказываются довольно высокие силовые нагрузки, ремонту некоторые пластико-вые детали и вовсе не поддаются, и требуют полной замены. Именно это привело к тому, что на сегодняшний день из пластика изготавливают лишь навесы, бампера да крылья.

Новым материалом для изготовления кузовов стали КМ. Композитный кузов оптимален по качествам, так как в нем соединяется всё лучшее от каждого компонента. Кроме того, КМ более долговечны, из них можно изготавливать самые крупные и сплошные детали, что упрощает само производство.

К КМ относится, например, углеволокно, которое используется в производстве чаще всего. Из углеволокна изготавливают остовы к кузовам для суперкаров.

Автомобили – одно из важных направлений для КМ, которые заметно потеснили на рынке привычный металл. Причём не только сталь, но и алюминиевые сплавы, которые до недавнего времени считались во всех отношениях лучшими. В настоящее время КМ используются при создании практически любого узла автомобиля. Выпускают даже концепт-кары, корпус которых целиком состоит из композитов.

В 1954 году в США в продаже появился первый спорткар Kaiser-Darrin, корпус которого сделан из стеклопластика (рис. 3.10). Эта машина весом около 997 кг разогналась до 100 км/ч за 15 с, а её максимальная скорость с 6-цилиндровым двигателем «Willys» мощностью 90 л.с. (66,24 кВт) с рабочим объёмом 2,6 л составляла 160 км/ч. Уникальной особенностью автомобиля были двери, которые сдвигались в передние крылья.



Рис. 3.10. Спорткар Kaiser-Darrin с корпусом из стеклопластика

Развитие автомобильной промышленности, повышение требований к качеству и безопасности используемых материалов требует создания и применения новых форм. Материалы из углеволокна наиболее полно отвечают современным требованиям, так как обладают рядом уникальных характеристик и демонстрируют наилучшее соотношение цены и качества.

Использование композитов в автомобилестроении позволяет снизить массу транспортного средства на 20...25 %. За счёт этого заметно повышается эффективность работы двигателя и снижается расход горючего.

КМ и изделия на основе непрерывных волокон и армирующих тканей широко используются для производства внешних деталей автомобиля. Чаще всего из них делают: силовые конструкции – силовые структуры дверей и сидений, защитные элементы днища; элементы крепления бамперов и радиаторов; декоративные панели салона, внешние декоративные панели; крышки багажников, кузовные панели, тормозные диски, элементы кузова, термо- и звукоизоляцию.

Всё чаще кузова многих типов машин (в том числе тяжёлых грузовиков) полностью создаются из лёгких, прочных и недорогих *углепластиков*.

В автомобильной отрасли *углепластики* используются при изготовлении корпусов, шасси, быстродвижущихся деталей и отдельных частей кузова, что также значительно снижает вес конструкции и расход горючего.

Композитные материалы для автомобилестроения – это в первую очередь продукция из углеродного волокна. Она используется в автомобилестроении уже много лет, и с каждым годом объём его применения растёт. Наиболее важное преимущество углеволокна - небольшой вес и высокая прочность. Углепластик в 5 раз легче стали и в 1,8 раза легче алюминия.

Углеродные волокна производят из синтетических и природных волокон на основе полимеров. В зависимости от режима обработки и исходного сырья получают материалы разной структуры и с разными свойствами. В этом заключается главное преимущество композитных материалов. Их можно создавать с изначально заданными свойствами под определённую задачу.

В 1970-х КМ стали еще лучше и сложнее. Компания DuPont, а именно одна группа под управлением Стефани Кволек, разработала арамидные волокна, известные нам как кевлар.

Создавали кевлар для армирования автомобильных шин, он и сейчас применяется в этих целях. Также им армируют медные и волоконно-оптические кабели. Сейчас это известный материал, который в 5 раз прочнее стали и используется в бронежилетах, шинах и т.д.



**Автомобильная шина Wrangler с использованием кевлара**

В августе 2006 года на знаменитом соляном озере Бонневилль (высохшее озеро площадью 260 км<sup>2</sup> на северо-западе штата Юта, США) британцы побили мировой сухопутный рекорд скорости для дизельных машин на уникальном 1,5-тысячесильном автомобиле JCB Dieselmax с корпусом из углепластика (рис. 3.11), который вывела на испытания компания JCB (её штаб-квартира находится в Великобритании).



Рис. 3.11. Углепластиковый корпус автомобиля JCB Dieselmax

Аббревиатура JCB расшифровывается как инициалы основателя компании Джозефа Сирила Бамфорда, который изготовил свою первую машину - самосвальную тележку в 1945 году

Цель проекта – взять планку в 300 миль в час (482,8 км/час). До этого официальный рекорд для дизельного автомобиля составлял 379,4 км/час и держался с 1973 года, хотя вот дизельный грузовик Phoenix разогнался на том же Бонневилле в 2002 году до 423 км/час. В результате испытания JCB Dieselmax был поставлен мировой рекорд для мотора на дизеле – 563,418 км/ч.

JCB Dieselmax повёл в бой британский пилот Энди Грин, который когда-то летал на истребителях Phantom и Tornado, а в 1997 году вошёл в историю на уникальном турбореактивном автомобиле Thrust SSC, созданном англичанином Ричардом Ноблом. Тогда Грин стал самым быстрым водителем в мире, установив в пустыне Чёрная скала в Неваде (США) абсолютный рекорд скорости на суше – 1228 км/час, что выше скорости звука в 1,02 раза.

На сегодняшний день самым быстрым автомобилем на планете является Thrust SSC – его максимальная скорость достигла 1229,78 км/ч. За рулем этого наземного самолета сидел англичанин Энди Грин, а сам рекорд был поставлен 15 октября 1997 года. Интересно, что средняя скорость по 2 заездам составила 1226,522 км/ч, а путь длиной 21 км был проложен по дну высохшего озера Блэк-Рок в штате Невада. Турболет Грина приводился в движение 2 турбореактив-ными двигателями «Роллс-Ройс - Спей» общей мощностью 110000 л.с.

JCB Dieselmax имеет длину 9,09 м, ширину 1,145 м и высоту 0,979 (по фонарь кабины) или 1,337 м (по кончик стабилизатора). Кузов, выполненный из карбонового композита, обладает отменной аэродинамикой. Полный вес автомобиля равен 2,7 т и используется для прижима колёс к дороге, так как это полноприводный автомобиль. Разгонять машину будут два 4-цилиндровых 5-л дизеля JCB444-LSR, переделанных из серийных моторов, известных во всём мире по экскаваторам и другой спецтехнике JCB.

### *Карбон в автомобилестроении*

По прочности карбон превосходит сталь в 12,5 раз. Когда мы говорим «карбон», то вспоминаем, конечно, капоты тюнинг-каров. Сейчас нет ни одной кузовной детали, которая не была бы сделана из карбона. Из него изготавливают не только капоты, но и крылья, бампера, двери и крыши. Факт экономии веса очевиден. Средний выигрыш в весе при замене капота на карбоновый составляет 8 кг. Впрочем, для многих главным будет тот факт, что карбоновые детали практически на любой машине выглядят очень стильно.

Углеродное волокно для автомобилей широко применяется в гоночной одежде. Это карбоновые шлемы, ботинки с карбоновыми вставками, перчатки, костюмы, защита спины и т. д. Такая экипировка не только хорошо смотрится, но и повышает безопасность и снижает вес костюма (очень важно для шлема). Особой популярностью карбон пользуется у мотоциклистов. Самые продвинутые байкеры одевают себя в карбон с ног до головы.

Развитие технологии в автомобилестроении в первую очередь связано с развитием автоспорта. Наблюдая прогресс в области развития и применения КМ, можно уверенно сказать, что в скором будущем появятся серийные автомобили с полностью композитным кузовом и многими узлами и агрегатами.

В Москве производством КМ и конечных изделий для автомобилестроения занимаются компании, входящие в холдинг АО «Холдинговая компания «Композит». Это ООО «НИЦ «Композит», ООО «Препрег-Дубна», ООО «НЦК» (Нанотехнологический центр композитов, создан в 2011), ООО «Композит-Волокно» (производит полиакрилонитрильное (ПАН) волокно и жгут), АО «Препрег-СКМ», ООО «Композит-Изделия». Есть и другие компании, например, АО «ХК «Композит» холдинг (создан в 2009), «РТ-Химкомпозит» [65].

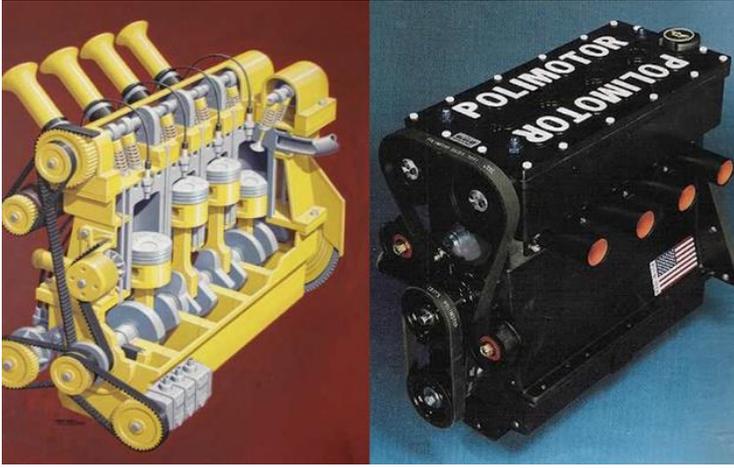
Холдинг «РТ-Химкомпозит» – один из лидеров российской промышленности в сфере полимерных композиционных материалов. Создавая новые материалы, уникальные конструкции и технологии, холдинг серийно производит наукоемкую продукцию для космоса, авиации, военной техники и вооружения, наземного и водного транспорта, энергетики и для многих других отраслей промышленности.

Компания «РТ-Химкомпозит» встретилась с представителями КАМАЗа по поводу создания компонентов из КМ для автокомпании.

КАМАЗ – крупнейшее российское предприятие по производству грузовых автомобилей. Включает в себя более 150 организаций, расположенных в России, СНГ и дальнем зарубежье, в том числе 12 крупных заводов автомобильного производства. Располагает сборочными предприятиями во Вьетнаме, Иране, Индии, Казахстане, Пакистане. Число сотрудников превышает 59000 человек.

#### *Создание полностью пластикового двигателя*

Бельгийская компания Solvay, специализирующаяся на полимерных материалах для автомобильной промышленности, объявила о начале проекта по созданию полностью пластикового двигателя Polimotor 2. Двигатель должен быть готов уже к 2016 году, когда его планируется испытать на концепт-каре Norma M-20 во время гонок на Lime Rock Park в США [66].



В четырёхцилиндровом одновальном Polimotor-2 мини-мум 10 узлов из металла заменят на пластиковые, включая водяной насос, масляный насос, детали системы охлаждения, детали механизма ГРМ, блок дроссельной заслонки, топливную рампу, кулачковый механизм и ряд других. Главная задача инженеров – доведение веса двигателя до 41 кг, что на 40 % меньше нынешних

самых маленьких моторов, вес которых от 63 до 67 кг.

В конструкции двигателя есть множество хитростей, и одна из них - КМ блока цилиндров, прочность которого в два раза выше, чем алюминиевого сплава. Согласно расчетам, на 8000 об/мин двигатель будет выдавать мощность в 450 л.с. «Этот результат будет достигнут за счёт турбонаддува двигателя, который поднимет давление на входе на две атмосферы. Все задаются вопросом, как пластик сможет выдержать высокую температуру, высокое давление и экстремальные нагрузки в ДВС? Скажу вам по секрету, выхлопной коллектор и камера сгорания будут единственными частями этого двигателя, изготовленными из алюминиевого сплава. Все остальное – это композитные материалы», - сообщил лидер проекта и президент Composite Castings.

Сейчас тема облегчения веса одна из главных в мировом автопроме. Solvay утверждает, что работы её инженеров заложат основу для инновационных прорывов в области создания серийных автомобилей.

*Автомобили с кузовом из углепластика (карбона)*

Арабская компания W Motors представила на суд общественности и автолюбителей свой второй суперкар, который получил название Fenyr SuperSport [67].



Кузов автомобиля с пространственной рамой полностью выполнен из углеволокна и аэродинамически продуман. Внешне он похож на первый суперкар компании, Лукан Hypersport, который стал всемирно известным, попав в фильм «Форсаж 7». Заднемоторный Fenyr SuperSport оснащен 4-литровым 6-цилиндровым двигателем с двумя турбинами, который был разработан немецкой компанией Ruf.

Точная мощность силового агрегата – от 900 л.с. и 1200 Нм. До 100 км/ч суперкар разгоняется за 2,7 секунды, а его максимальная скорость превышает 400 км/ч. Fenyr Supersport выпустят ограниченным тиражом в 25 экземпляров, а точная стоимость автомобиля пока не известна.

### *Гоночный внедорожник из углепластика (карбона)*

Компания Zaroq из ОАЭ анонсировала выпуск своего первого гоночного внедорожника Sand Racer с кузовом из углепластика. Официальный дебют внедорожника запланирован в рамках Гран-При Формулы-1 в Абу-Даби в ноябре 2015 [67].



Под капотом гоночного внедорожника установлен 3,5-л мотор V6 мощностью от 300 до 500 л.с. в зависимости от модификации, привод – задний, а ход подвески составляет 350...450 мм.

Над внешностью Zaroq Sand Racer работал Энтон Янарели, известный также созданием гиперкара Lykan Hypersport. Новинку нельзя назвать очень габаритной

внешне, а благодаря использованию облегченного углепластика, она весит всего 950 кг. Этот гоночный внедорожник предназначен для передвижения в том числе по дорогам общего пользования. Стоимость Zaroq Sand Racer в ОАЭ составит от 80000 до \$160000, а старт продаж запланирован на 2016 год.

### *Эксклюзивный родстер McLaren с карбоновым кузовом*

Эксклюзивный экземпляр McLaren 650S Spider Can-Am с карбоновым кузовом посвящен 50-летию дебюта британской марки в чемпионате Canadian-American Challenge Cup. Он имеет красно-черную окраску кузова в честь гоночного McLaren M6A, выступавшего в Can-Am. Автомобиль получил съёмную крышу и аэродинамические элементы из карбона, карбонокерамические тормозные механизмы с суппортами черного цвета, четыре патрубка выпускной системы из нержавеющей стали, а также эксклюзивные диски, выполненные в стилистике колес гоночных машин 60-х годов [67].



McLaren 650S приводится в движение фирменной 3,8-л 650-сильной «восьмеркой» с 2 турбинами, выдающей 678 Нм крутящего момента. В паре с ней работает семиступенчатый «робот» с 2 сцеплениями. С таким арсеналом он способен набирать «сотню» за 3 с, а максимальная скорость достигает 329 км/ч. Версия Can-Am будет изготовлена тиражом всего 50 экземпляров, каждый из которых оценили в 345000 евро.

### *Новый Nissan IDS в карбоновом кузове*

Компания Nissan показала свой новый автомобиль - Nissan IDS в карбоновом кузове. Самые яркие особенности новинки - он работает от электричества и имеет функцию автопилота [67].



Nissan с 2013 года следует стратегии развития беспилотных технологий, цель которой - обучить многочисленные модели «самостоятельности» к 2020 году. К реализации планов японская марка идет семимильными шагами: в рамках Токийского мотор-шоу дебютировал весьма интересный концептуальный проект IDS с функцией автопилота.

Автомобиль приводится электрической силовой установкой с аккумуляторной батареей емкостью 60 кВт·ч. Он довольно низкий (1380 мм), колесная база длинная для обеспечения максимально возможного пространства в салоне, а шины – шириной всего 175 мм для снижения сопротивления качению.

Кузов Nissan IDS сделан из карбона. Внешний вид хэтчбека впечатляет: V-образная радиаторная решетка, зигзаги оптики и крыша, парящая над задними стойками. Автомобиль может работать в привычном режиме Manual Drive или автономном Piloted Drive. Последний полностью отстраняет человека от управления – руль уходит к передней панели, над которой выдвигается экран, 4 кресла слегка сдвигаются, а внутрисалонная подсветка меняется на более спокойную.

*Suzuki показала концепты с кузовными элементами из углепластика*

Пожалуй, самая яркая черта всех автомобилей Токийского автосалона - необычный, дерзкий и порой даже шокирующий дизайн. Еще один пример - концепты Air Triser и Mighty Deck, разработанные Suzuki [67].



Концепт Mighty Deck обладает минималистичным дизайном: черным бампер сделан из углепластика, а основная часть кузова выполнена в контрастном желтом цвете. Отделка интерьера выполнена с использованием дерева и серебристого пластика. От Air Triser этот концепт отличается рулем с двумя спицами и электрическим приводом. Что удивительно, большинство моделей, представленных на Токийском автосалоне напоминают

минивэны. Семиместный автомобиль Air Triser в форме 4,2-метрового причудливого компактного минивэна с квадратной конструкцией - не исключение. Его стилистика построена на двухцветном кузове, светодиодных фарах и пятиспицевых легкосплавных колесных дисках с красно-черными акцентами. Модель Air Triser оснащена гибридной системой, состоящей из 1,4-л бензинового двигателя и электромотора в сочетании с 5-ступенчатой автоматической коробкой передач.

### *Toyota привезла концепт в стиле фанк с кузовом из углепластика*

Компания Toyota представила концепт Kikai с карбоновым кузовом, созданный, чтобы продемонстрировать «механическую привлекательность автомобилей будущего» [67].



Новый концепт продемонстрировал в первую очередь уникальный дизайн. Часть его компонентов, в том числе двигатель, топливный бак, подвеска и выхлопная система не спрятаны под кузовом, а находятся «на виду у всех». Кузов Kikai изготовлен из углепластика.

Дизайн салона также уникален и экстравагантен тем, что оснащен тремя сиденьями, как и модель McLaren F1. При этом место водителя располагается в центре автомобиля. Концепт получил сиденья с красной кожаной обивкой сидений и небольшое окно рядом с ногами водителя, чтобы пассажиры могли наблюдать за движением колес и подвески.

### *Новый двухместный концепт Yamaha из углеволокна*

На днях Yamaha представила новый двухместный концепт Yamaha Sports Ride, который изготовлен с широким применением углеволокна и весит около 750 килограмм. Данных о типе и мощности мотора производитель пока держит в секрете [67].



Концепт Yamaha Sports Ride имеет компактные габариты – 3,9x1,7x1,17 м и по словам представителей японской компании, дарит водителю почти те же ощущения, которые испытывает водитель мотоцикла, несмотря на пару «лишних» колёс. В основе концепта лежит лёгкая, прочная и жёсткая рама, созданная по технологии iStream.

Первой машиной, построенной по технологии iStream Carbon, был спорткар Yamaha Sports Ride. Разработкой системы занимался известный конструктор Гордон Мюррей, создавший McLaren F1 и несколько чемпионских болидов Формулы-1. Впервые технологию iStream применили на компакт-карах T.25 и T.27, разработанных Мюрреем несколько лет назад. Технология iStream Carbon представляет собой систему сборки автомобилей из заранее изготовленных деталей – кузовных панелей, деталей шасси и элементов силовой структуры кузова.

Yamaha Sports Ride – не первая попытка известного производителя мотоциклов создать автомобиль. Так, в 2013 году японцы представили ситикар Yamaha Motive, оснащённый 34-сильным электродвигателем и способным проехать без подзарядки более 160 км.

### *Концепт Mercedes-Benz Vision Tokyo*

Концепт Mercedes-Benz Vision Tokyo с водородными баллонами из углепластика - последователь F 015 Luxury in Motion в корпусе минивэна и «дань уважения к поколению Generation Z». К сожалению, так же, как F 015 Luxury in Motion, Vision Tokyo останется только концептом [67].



Vision Tokyo досталась силовая установка концепта F 015 Luxury in Motion: водородные баллоны из угле-пластика и высоковольтные батареи, которые можно заряжать без проводов. Полный диапазон - 980 км, 190 км исходящие от энергии в батарее, а другие 790 км за счёт электричества производимого в водородной установке.

Mercedes-Benz Vision Tokyo установлен на огромные 26-дюймовые колеса с подсветкой синим цветом и камерой на крыше с множеством датчиков, позволяющих работать в автономном режиме. Его размеры: длина 4,8, ширина 2,1, высота 1,6 м. Форма нового Mercedes впечатляет: она напоминает концепт закрытых моторных лодках. Необычна и боковая дверь автомобиля: она выезжает на крышу, благодаря чему на диван в салоне могут сесть до пяти человек. Интерьер упакован большим количеством ЖК экранов и 3D голограммой развлекательной системы, проецируемой посреди салона.

### *Обновленный Mercedes GLA AMG 45 с боди-китом из углеволокна*

Тюнинг-ателье Vath представило свой новый проект на основе модели Mercedes GLA AMG 45. Автомобиль получил боди-кит из углеродного волокна, который включает передний и задний спойлер и задний диффузор [67].



Комплект включает в себя 20-дюймовые легкосплавные колесные диски с глянцевым черным покрытием. По заказу клиента посадка модели может быть снижена на 30 мм. Кроме того, тюнинг-ателье Vath предлагает ассортимент аксессуаров для немецкой модели, включая кожаный спортивный руль с вставками из углеродного волокна или дерева, а также литые педали и велюровые коврики. Под

капотом модернизированного автомобиля находится 2.0-литровый 4-цилиндровый турбированный двигатель, мощность которого составляет 395 л.с., а крутящий момент 485 Нм. Это позволяет компактному кроссоверу развить максимальную скорость 280 км/ч.

Для тех, кому такой скорости не хватает, тюнер предлагает комплект V45RS, который увеличивает характеристики производительности автомобиля до внушительных 446 л.с. и 539 Нм.

### Электрические автобусы Catalyst XR из углеродпластика

Электрические автобусы еще до недавнего времени имели сравнительно ограниченное применение из-за небольшого радиуса действия. Автобус под названием Proterra Catalyst XR может с успехом возить пассажиров в крупных городах и на длинные дистанции [67].

Конструкторы автобуса позаботились о снижении его веса и использовали углеродное волокно и легкие композиты. Кроме этого, они учли аэродинамические особенности транспорта, благодаря чему удалось положительно повлиять на дальность езды автобуса.



Продукт американской компании Proterra может проехать на одном заряде расстояние до 402 км. Благодаря этому, он также имеет самую высокую производительность среди автобусов длиной до 12 м, так как стоимость его использования являются эквивалентом сгорания бензина на уровне 12,8 л/100 км. Автомобиль оснащен новым поколением системы хранения энергии в

виде 8 пакетов батарей общей мощностью 257 кВт. Среднее расстояние, которое в день преодолевает автобус общественного транспорта, составляет примерно 320 км. Во время тестов автобус проехал 415 км со средней скоростью 48 км/ч. Средний расход энергии на этом участке составил около 0,5 кВт·ч/км.

### Универсал Audi A4 Avant с баллонами из композита

Audi выпустили многотопливную модификацию универсала A4 Avant с баллонами из полиамида, КМ, углеволокна и армированного стекловолокном полимера [67]. Причем новая разновидность автомобиля оборудована не тяжёлыми стальными баллонами, а трёхслойными ёмкостями из полиамида, КМ, углеволокна и



армированного стекловолокном полимера. Audi A4 Avant g-tron будет работать на бензине, сжатом природном газе, а также на синтетическом метане e-Gas. Эта модель станет 2 газифицированной моделью Audi после A3 Sportback g-tron. Новинка получила новый 2-литровый турбодвигатель TFSI мощностью 170 л.с. и крутящим моментом 270 Нм, модернизированный под работу на нескольких видах топлива.

Паспортный расход сжатого природного газа у данного агрегата составит 4 кг на 100 км пробега в смешанном режиме, при том, что под полом багажника машины будут устанавливаться баллоны, рассчитанные на 19 кг газа при максимально допустимом давлении 200 бар. Такие баллоны на 56 % легче металлических [67].

При этом каждый из баллонов перед установкой на автомобиль проверяется при давлении 300 бар. А4 g-tron сможет проезжать на одной заправке газа до 500 км. Когда в ёмкостях останется 0,6 кг газового топлива, электроника автоматически переключится на бензиновый режим, и 25-л бензобака хватит ещё примерно на 450 км. В итоге суммарный запас хода окажется сопоставимым с турбодизельными модификациями А4.

*Хэтчбек Volkswagen Polo получил углепластиковые компоненты*

Ателье АВТ форсировало Volkswagen Polo к его юбилею: компакт АВТ Polo украшен деталями из углепластика, изменённым задним бампером со сдвоенными выхлопными патрубками по центру [67].



Сорокалетие модели Polo компания Volkswagen отпраздновала выпуском лимитированного издания хэтчбека Original. Он отличался от других экстерьером и интерьером. Но ателье АВТ Sportsline посчитало, что одна из самых успешных моделей в истории Фольксвагена достойна большего и доработала Polo GTI, форсировав автомобиль до 230 л.с. и

360 Нм.

Компакт АВТ Polo украшен деталями из углепластика, изменённым задним бампером со сдвоенными выхлопными патрубками по центру. Подвеска занижена на 25 мм спереди и на 30 мм сзади. Все изменения в исходнике, от форсировки до новых пружин подвески и проектора в двери, продаются по отдельности: колесные диски в комплекте с шинами Vredestein Ultrac Sessanta — самые дорогие: 3220 евро.

*«Солнечные» автомобили из углеволокна*

В октябре 2015 года в Австралии прошёл международный чемпионат по гонкам на автомобилях, работающих на солнечной энергии (World Solar Challenge). По правилам чемпионата аккумуляторы машин-участников не могут хранить более 5 кВт·ч энергии, и чтобы выжать максимум из болида, некоторые участники выступают на машинах из углеволокна [67].



Температура воздуха в месте гонок достигает 40 °С, поэтому не только водители, но и их автомобили должны уметь бороться с жарой. Так, электромобиль команды Даремского университета (Великобритания) во время гонок 2011 года сломался: фотоэлементы просто не выдержали жары, хотя до этого успешно прошли испытания в мягком климате Англии.

Автомобиль, который участвовал в гонках, создавали с участием эксперта по аэродинамике. Поэтому его сверхлегкий кузов сделан из углеволокна. Кузов имеет форму самолетного крыла, поэтому лобовое сопротивление сведено к минимуму. Машина команды абсолютно не похожа на привычный автомобиль. Водитель сидит

очень близко к земле, а сверху его накрывает прозрачный «пузырь», напоминающий фонарь самолета. Автомобиль имеет длинный вытянутый кузов с фотоэлементами по всей верхней плоскости, а колеса скрыты пластиковыми боками. Чтобы водитель мог попасть в тесную кабину, верх кузова вместе с остеклением поднимается, что ещё больше усиливает сходство автомобиля с самолетом. Хотя скорость езды для гонок очень важна, водителям придется уделить большое внимание экономии энергии. Так как по правилам чемпионата аккумуляторы машин-участников не могут хранить более 5 кВт·ч энергии, основную часть электричества для езды автомобили будут получать непосредственно от фотоэлементов и систем рекуперации.

Машины, участвующие в World Solar Challenge, далеко не серийные образцы (см. ниже). Это в первую очередь экспериментальные платформы для отработки и проверки ультрасовременных технологий на практике.



Трасса длиной около 3000 км пролегла по территориям австралийских пустошей – так называемого аутбэка – от Дарвина до Аделаиды. Чтобы избежать столкновений с животными, гонки будут проходить только в дневное время и приостанавливаться в 5 часов вечера.

#### *Испытания BMW M4 GTS с углепластиковым кузовом*

Концерн BMW провел в Нюрбургринге тестирование трековой версии спорткара M4. Новый BMW M4 GTS приобретет регулируемое антикрыло из карбона, а также кузовные элементы из пластика, армированного углеволокном.



Прототип имеет колесные диски разных размеров: в качестве передних применяются 19", а задние - R20. Что касается салона, то из него исчезнет задний диван: это необходимо, чтобы снизить вес спорткара.

BMW M4 GTS предназначен для использования на гоночных треках [67].

BMW M4 GTS предположительно имеет отличительное оформление задней оптики – именно эта часть кузова спорткара на тестах скрыта камуфляжем от любопытных глаз. Пока каких-либо внешних отличий между серийным вариантом и концептом замечено не было, а о технических характеристиках последнего информации в свободном доступе пока нет.

Скорее всего, BMW M4 GTS получит 6-цилиндровый мотор объемом 3 литра, оснащенный системой впрыска. Подобное усовершенствование позволяют сделать работу двигателя более надежной и мягкой. Реакция на нажатие педали газа при этом станет более четкими и резкими. Ожидается, что мощность мотора может достигнуть 500 л.с. вместо доступных сегодня 430.

Двигатель BMW с системой впрыска воды во впускной коллектор будут устанавливать на BMW M4 GTS с кузовом из углеволокна. Спецверсия автомобиля была подготовлена в честь тридцатилетия модели M3, которое в Мюнхене будут праздновать в 2016 года.

Система впрыска воды работает следующим образом: в багажнике купе установлен пятилитровый аквабак, вода из которого с помощью трех форсунок впрыскивается во впускной коллектор и смешивается с воздухом, тем самым охлаждая его примерно на 25°C. Результат - уменьшение температуры нагнетаемого воздуха со 160 до 45°C. Воздух становится плотнее, а значит, вместе с ним в цилиндры можно подать больше топлива и увеличить отдачу двигателя. Кроме необычного двигателя BMW M4 GTS примечателен расширенным применением углепластика. Из пластика, армированного углеволокном, сделаны крыша автомобиля и крышка багажника, капот, сплиттер на переднем бампере, заднее антикрыло, диффузор и передние сидения. Тем не менее, весит новый BMW M4 GTS 1510 кг, всего на 27 кг меньше базового M4.

В выпускной системе облегченный титановый глушитель, а тормоза углерод-керамические. До 100 км/ч BMW M4 GTS разгоняется за 3,8 с (на 0,3 с быстрее базовой версии), а максимальная скорость автомобиля 305 км/ч.

*В автомобилях McLaren 675LT Spider ещё больше карбона*

На днях компания McLaren подтвердила информацию о выходе модели 675LT Spider. Инженеры много работали над автомобилем с целью сделать его еще легче и добились результата благодаря использованию большого количества компонентов из углеволокна [67].



Показанный на автомобиль-ном салоне в Женеве автомобиль Мак Ларен 675LT был распродан в количестве 500 экземпляров за короткий промежуток времени. Новое купе будет выпущено ограниченной серией (500 единиц), а открытая версия, скорее всего, будет не менее эксклюзивной и значительно премиальнее модели с фиксированной крышей, которая продавалась по стартовой цене от 259000 фунтов стерлингов.

Под крышкой капота у машины будет тот же твин-турбированный 3,8-л мотор V8 мощностью в 675 л.с. и 700 Нм крутящего момента. Благодаря широкому использованию компонентов из углеволокна вес суперкара будет на 100 кг легче, чем у модификации в кузове купе.

McLaren 675LT Spider получит специальный пакет Club Sport, который содержит в себе титановые дуги безопасности, четырехточечные ремни и огнетушитель. Динамические характеристики суперкара пока не известны, но купе с этим же двигателем разгоняется до 100 км/ч за 2,9 секунды, а максимальная скорость автомобиля составляет около 330 км/ч.

#### *Новый Ferrari с кузовом из углеволокна*

Ferrari F12tdf Tour de France - второй самый быстрый автомобиль Ferrari после модели LaFerrari. До 100 км/ч суперкупе разгоняется за 2,9 с. Купе, названное в честь всемирно известной велогонки, на 110 кг легче базовой модели, благодаря широкому применению углеволокна в изготовлении новых кузовных панелей и интерьера [67].



В основу F12tdf Tour de France легла модель F12berlinetta с 6,3-литровым атмосферным двигателем V12 и стандартными 740 л.с. и 690 Нм. Максимальная мощность развивается при 8500 об/мин (на 250 об/мин выше), а пик тяги – на 6750 об/мин (на 750 об/мин позже), при этом 80 % крутящего момента доступны уже при 2500 об/мин. Мотор F12tdf Tour de France

модифицирован, в частности, оснащен впускным трактом с изменяемой геометрией, как у формульных болидов.

Создатели F12tdf Tour de France значительно переработали аэродинамику. F12tdf заметно отличается видоизмененным нижним периметром кузова, широкими задними стойками и прорезями в задних крыльях. Задний спойлер на 60 мм длиннее и на 30 мм выше изначального. В конструкцию включена система управления задними колесами Virtual Short Wheelbase. Со 100 км/ч до полной остановки автомобилю требуется 30,5 метров, а с 200 – 121 м.

#### *Гоночная версия купе Corvette из углеволокна*

Компания Callaway Competition в ходе специального мероприятия в немецком Хоккенхайме представила созданный на базе модели Corvette новый гоночный автомобиль с кузовом из углеволокна. Новинка примет участие в различных кузовных сериях, начиная со следующего года.

Кузов гоночного Corvette GT3-R изготовлен преимущественно из углеволокна, что позволило значительно снизить вес. Также в угоду снижения массы из салона купе инженеры Callaway Competition убрали всё лишнее, оставив лишь необходимые элементы. Автомобиль уже получил каркас безопасности, сертифицированный FIA [67].



В основе Corvette GT3-R - гражданский спорткар седьмого поколения. В движение гоночное авто приводится 8-цилиндровым двигателем объёмом 6,2 л, мощность которого была доведена до максимума в 600 л.с. На ведущую заднюю ось усилие мотора передаётся при помощи шестиступенчатой секвентальной трансмиссии X-Trac, управляемой подрулевыми лепестками.

Модель Corvette GT3-R разрабатывалась для участия в различных кузовных гоночных сериях. Максимальная скорость и другие ходовые характеристики новинки будут названы лишь в конце 2015 года, а на старт новинка выйдет в 2016 году.

*Audi броневик A8 L Security с кузовом из арамидного волокна и стали*

Audi представила свой самый защищённый автомобиль: новый бронированный премиум-седан A8 L Security с кузовом из арамидных волокон и стали - самая надёжная модель, которая когда-либо выезжала из цехов компании.

Броневик A8 L Security, скроен по стандартам баллистической защиты VR 9. Капсула салона сделана из арамидного волокна, особых сплавов алюминия и броневой стали, что обеспечивает хорошую защиту при небольшом весе конструкции. Новая модель соответствует стандарту безопасности VR 9, тогда как ее предшественник - только VR 7 [67].



Каждый Audi A8 L Security производится исключительно руками специалистов особого подразделения компании. Автомобили комплектуются системой связи, установленной в багажнике в бронированном боксе, а также системой выборочного разблокирования дверей. По желанию клиента седан может быть оборудован системами пожаротушения, подачи чистого воздуха и экстренной

эвакуации.

Бронированный Audi может комплектоваться битурбированным V8 TFSI объёмом 4,0 литра, который выдает 435 л.с. или атмосферным 500-сильным W12 FSI. Максимальная скорость тяжёлого автомобиля ограничена отметкой 210 км/ч. Заказы на A8 L Security уже принимаются дилерами Audi в Европе, однако поставки автомобилей начнутся только весной 2016 года.

### *Новая модель Ferrari LaFerrari с карбоновым монококом*

LaFerrari - не просто машина премиум-класса, это уникальный проект, который направлен на достижение невероятных технических возможностей автомобиля.

Новая модель Ferrari демонстрирует самые совершенные технологические инновации, которые только можно внедрить в серийный автомобиль. Автомобиль имеет карбоновую основу конструкции, которая изготовлена из высокопрочного и очень легкого углеволокна, причем четырех его типов. Панели кузова машины состоят из новейших КМ в различном сочетании. Такие технологические решения существенно повысили жесткость кузова спорткара по сравнению с его прародителем Enzo [67].



На новом Ferrari LaFerrari использована технологичная гибридная установка. В качестве основного агрегата 12-цилиндровый V-образный двигатель, имеющий объем 6262 куб. см и отдачу в 800 л.с. В паре с этим мощным двигателем работают два электромотора, общая мощность которых — 163 л.с. Один из электродвигателей установлен в корпусе роботизированной 7-ст. КПП и отдает свою мощность задним колесам, а задача другого второго – обеспечение работоспособности всего вспомогательного оборудования автомобиля. Динамические показатели нового LaFerrari поразительны: до 100 км/ч автомобиль разгоняется за 2,8 с, а через 15 секунд спидометр подходит к отметке 300 км/ч. Максимальная скорость спорткара 350 км/ч.

### *На новом Ford GT 2017 будут установлены карбоновые диски*

В компании Ford заявили, что новая модель GT 2017 получит карбоновые диски, которые сделают из углеволокна высшего качества. Благодаря установке карбоновых дисков машина сильно потеряет в весе. Эксклюзивные диски будут закупаться у австралийской компании Carbon Revolution, которая согласилась изготавливать продукцию для американского автопроизводителя [67].



Базовая версия спорткара не подразумевает оснащения карбоновыми дисками. Сейчас в линейке авто у Ford есть всего одна модель с карбоновыми дисками - Shelby Mustang GT350R. Со временем карбоновые колесные диски будут использоваться и в других моделях концерна. Возможно Ford будет предлагать колеса из углеволокна в качестве дополнительной опции.

### *Спортивный электрокар Porsche Mission E с композитным каркасом*

На автосалоне во Франкфурте Porsche Mission E представил спортивный четырехместный электрокар Mission E с каркасом из алюминия и армированных углеволокном полимеров. Этот электромобиль с полным приводом и полноуправляемым шасси. Совокупная мощность 2 электромоторов превышает 600 л.с., благодаря чему концепт развивает 100 км/ч всего за 3,5 с – на уровне лучших суперкаров. Чтобы достигнуть отметки в 200 км/ч, потребуется менее 12 с.



С полной батареей Porsche может проехать более 500 км. Фирменная система зарядки Porsche Turbo Charging обеспечи-вает 80 % запас энергии всего за 15 мин. Также предусмотрена система беспроводной зарядки, основанная на магнитно-резонансной техноло-гии [67].

В конструкции кузова электрокара использованы сталь, алюминий и армированные углеволокном полимеры, а колесные диски произведены из карбона. Оснащение включает светодиодную матричную оптику, камеры вместо зеркал заднего вида, цифровые приборную панель и центральную консоль с OLED-экранами, жестовую систему управления и систему, которая следит за взглядом водителя, определяет, на какой прибор он смотрит, и предлагает выбрать необходимый пункт в меню.

### *Облегченный Alfa Romeo Giulia из углеволокна*

Итальянская марка Alfa Romeo презентовала седан Giulia с крышей и капотом из углеволокна. Автомобиль ускоряется до 100 км/ч за 3,9 с и уже обставил на тестовых заездах на Нюрбургринге таких монстров, как Audi R8 и BMW M4 [67].



На легкие материалы создатели не скупчились. В частности, из углеволокна изготовлены крыша, капот и карданный вал. Каркасы сидений в салоне выполнены из карбона для уменьшения веса. Алюминий пустили на подвеску, компоненты тормозной системы и ряд кузовных панелей, среди которых двери и крылья.

В отличие от переднеприводной предшественницы с индексом 159, седан Giulia построен на платформе с продольным расположением силового агрегата, передними двойными рычагами и задней многорычажной подвеской. Колесная база, согласно обещаниям производителя, едва ли не самая большая в своем сегменте. Соответственно, между осями не менее 2850 мм, которыми знаменит Infiniti Q50.

### *Artega презентовала первый электрокар с кузовом из композита*

Немецкая марка Artega Scalo EV отметила свое возрождение после прекращения деятельности в 2012 году презентацией нового электрокара Scalo EV на автосалоне во Франкфурте. Производство Scalo с карбоновым кузовом будет ограничено всего 12 экземплярами [67].

Artega Scalo получил кузов из карбонового композита, активный задний спойлер и 20-дюймовые кованые алюминиевые диски. Внешность Scalo по сравнению с GT изменилась не сильно: новшества можно увидеть лишь в форме воздухозаборников, новом переднем сплиттере из карбона и активных аэродинамических закрылках.



За передвижение автомобиля отвечают два электромотора Voltabox, которые совместно развивают 408 лошадиных сил и 778 Нм крутящего момента. С ними 1585-кг Artega Scalo ускоряется с места до 96 км/ч за 3,6 с, достигая максимальной скорости в 250 км/ч.

Блок литий-ионных аккумуляторов емкостью 37 киловатт-часов обеспечивает купе запас хода без

подзарядки до 250 км. Од домашней электросети полностью разряженные аккумуляторы можно «заправить» за 10 часов, но для нетерпеливых предусмотрена возможность зарядки от трехфазной сети мощностью 22 кВт за 2 часа или от 64-киловаттного устройства с постоянным током за один час.

### *Новая Audi A8 с композитным каркасом*

Компания Volkswagen Group заканчивает работу над новым поколением Audi A8, которая будет оснащена композитным каркасом, и обещают переход от электронных помощников к беспилотному управлению. Предсерийный прототип модели A8 уже прошел первые тестовые испытания [67].



Размеры автомобиля останутся такими же, а вес уменьшится благодаря облегченной архитектуре из алюминия, композитных материалов и высокопрочной стали. Изменения затронут внешний облик Audi A8: абсолютно новая оптика, решетка радиатора, а также большие колесные арки и низкая линия крыши.

«Новая модель станет первым автомобилем, на котором произойдет переход от электронных помощников к беспилотному управлению. Также новинка за счет технологий будет экономить топливо, расходуя именно столько бензина или дизеля, сколько нужно», - сообщил глава технического отдела Audi.

### *Полимерные решетки радиаторов на Volkswagen Passat и Sharan*

На автомобилях Volkswagen Passat и Sharan будет установлена первая в мире рамка автомобильного радиатора без металлического усиления, сделанная из полиамидного пластика Ultramid производства концерна BASF (Германия).

Новый полиамидный материал BASF Ultramid 6 серии способствует значительному облегчению рамки по сравнению с предыдущими моделями, а также помогает ускорить процесс сборки и сократить затраты. Производство детали осуществляется на сертифицированных предприятиях, а его качество контролируется специальными системами. Рамка радиатора - самая большая



полиамидная деталь автомобиля Passat: она весит около 2,6 кг. Используемый для её изготовления продукт Ultramid B3WG8 содержит армирующее стекловолокно в количестве 40% и демонстрирует превосходное сочетание выносливости и усталостной прочности. Тесты подтвердили, что пластмассовая деталь обладает требуемой динамической жёсткостью в определённых точках, а также удовлетворяет спецификациям

автомобилестроителей в отношении вибрационных характеристик и поведения при столкновениях [67].

Толщина пластмассовой рамки по сравнению с предшествующей конструкцией заметно уменьшилась, что позволило оптимальным образом использовать ограниченное пространство. Применительно к автомобилю Golf VII при расчётах различных вариантов нагрузок был задействован пакет компьютерных программ Ultrasim. Результаты расчётов для полимерной рамки радиатора были без каких-либо проблем перенесены на модели Passat и Sharan, так как инструмент Ultrasim можно легко интегрировать в вычислительную систему, используемую производителем транспортных средств.

### *У Lamborghini Huracan ещё больше углеволокна*

Канадская тюнинговая компания Duke Dynamics представила новый аэродинамический обвес для Lamborghini Huracan, который придает итальянскому споркарю еще больше агрессии. В носовой части появился новый передний сплиттер из углеродного волокна, который выступает из переднего бампера и прикреплен к



последнему с помощью двух ребер, окрашенных в желто-зеленый цвет кузова. Кроме этого, тюнеры заменили боковые юбки, установив новые из углеродного волокна с большими воздухоотводами для охлаждения задних тормозных дисков. Сзади у спорткара появился обновленный бампер,

массивный диффузор и заднее антикрыло из карбона, окрашенного по бокам в цвета итальянского флага [67].

## *Летающие автомобили*

Летающие автомобили будоражат воображение человечества на протяжении многих десятилетий. Однако акцент на создание личного транспорт-ного средства, которое будет способно передвигаться и по скоростным трассам, и по воздуху, был сделан летом 2016 года, когда оказалось, что международный конгломерат Alphabet Inc. (П1) финансирует несколько стартапов, занимаю-щихся созданием летающих автомобилей – Kitty Hawk и Zee.Aero. Есть много других компаний, которые работают над своими прототипами, хотя некоторые из разработок, вероятно, нельзя квалифицировать как летающие автомобили.

Летающие автомобили ассоциируются с далеким и недостижимым будущим. С ними связано много факторов, которые делают эти транспортные средства не практичными, неосуществимыми и даже неправильными, так как воздушное пространство многих стран находится под жестким контролем. Для любой компании получение разрешения на коммерческий рейс, особенно в насыщенной транспортом городской среде, становится чрезвычайно сложной проблемой. Поэтому идея автономного самолета, вероятно, покажется большинству пассажиров неким рецептом катастрофы.

В январе 2016 года на международной выставке потребительской электроники CES 2016 в Лас-Вегасе китайская компания EHang представила вертолет-дрон с корпусом из композитных материалов под названием Ehang 184, который в ближайшем будущем может стать одноместным летающим такси. Вертолёт-дрон с автоматическим беспилотным управлением работает на электрической тяге и в воздух его поднимают 8 винтов, расположенных на 4 противоположно размещённых стойках. После перелета ему требуется от 2 до 4 часов для подзарядки аккумуляторных батарей.



### **Вертолет-дрон китайской компании EHang с композитным корпусом**

Средняя скоростью - 100 км/ч,  
высота - от 300 до 3500, дальность –  
35 км

В октябре 2016 года европейский аэрокосмический гигант Airbus представил свой секретный проект летающего автомобиля, который получил название Вахана (Vahana).



### **Летающий автомобиль Vahana компании Airbus**

Это одноместный аэромобиль, способный не только вертикально взлетать, но и вертикально садиться, корпус которого также выполнен из композитных материалов.

Концептуальное изображение Ваханы выглядит знакомым каждому, кому интересна тема развития летающих автомобилей. У этого аэромобиля восемь роторных двигателей - по 2 на каждом из 4 крыльев. Крылья могут менять наклон в зависимости от того, по вертикальной или по горизонтальной траектории осуществляется полет. В кабине, верх которой складывается и раскладывается, предусмотрено место всего для одного пассажира. Самолет предполагается использовать в качестве такси.

Airbus является одним из основных конкурентов американской компании Boeing. Самой большой популярностью в мире у Airbus пользуется большой «двухпалубный» лайнер A380. В разработке летающих автомобилей тоже существует конкуренция.

Авиастроительная компания Airbus на Женевском автосалоне 2017 представила концепт аэротакси, разработанный при участии дизайн-бюро Italdesign. Как показано на рис. ниже, летающая машина обладает модульной конструкцией, что



позволяет ей перемещаться как в воздухе, так и по дорогам, как обычный автомобиль. Пассажирская капсула, названная Pop.Up System, может вызываться по требованию - через мобильное приложение, как Uber или другое онлайн-такси. Платформа на основе искусственного интеллекта учитывает предпочтения того или иного клиента и находит оптимальный маршрут поездки.

Еще одна составляющая аэротакси Airbus – «полностью виртуальная среда», которая будет взаимодействовать с пользователем и реагировать на его действия в момент передвижения. Длина самого летательного аппарата составляет 2,6 м, а его корпус изготовлен из сверхпрочного углеродного волокна [68].

#### *Летающий автомобиль от Toyota*

Руководство японской автомобилестроительной корпорации Toyota выделит около \$350 тыс. на разработку летающего автомобиля. Об этом сообщает Nikkei Asian Review. Проект предполагает создание прототипа летающего аппарата по аналогии с современными квадрокоптерами, который также сможет передвигаться по земле как обычный автомобиль.

В июне 2016 года Toyota защитила патентом своё видение конструкции летающего автомобиля. Автопроизводитель предложил концепцию автомобиля со складными жесткими крыльями и винтом в задней части кузова-фюзеляжа модели. Напомним, работу над летающими автомобилями ведут сразу несколько компаний, но пока ни одной из них не удалось довести свои разработки до серийного производства. Предполагается, что в январе 2019 года будет осуществлен первый полет с человеком на борту, а во время Олимпиады 2020 года в Токио с помощью автомобиля будет зажжён олимпийский огонь.

Конструкторы не устают внедрять в жизнь все новые и новые идеи в области разработки летающих автомобилей, и появляющиеся благодаря этому концепт-кары, по мнению большинства, все больше приближают тот момент, когда такие автомобили будут производиться серийно. Некоторые из образцов летающих автомобилей уже в состоянии и ездить, и летать. Возможность совершать путешествие по какой-либо стране на своем летающем автомобиле и заправляться на обычных АЗС, уже не является фантастикой.

Компания Terrafugia, работающая в Америке и получающая финансирование от министерства обороны, уже выпускает летающий автомобиль Terrafugia Transition, который можно приобрести совершенно спокойно в личное пользование. Это рабочий двухместный автомобиль, способный трансформироваться в самолет простым раскладыванием крыльев. Для этого требуется менее минуты.



Эта летающая машина впервые «увидела» небо еще в 2009 году, совершая первый тестовый полет. В 2013 году число полетов составило уже 13, в т.ч. с пассажирами. Стоит сразу оговориться, что этот автомобиль стало возможно купить лишь недавно, поскольку в процессе тестирований были обнаружены некоторые дефекты,

и на их устранение потребовалось определенное время. Характеристики машины, которая сама летает, следующие: длина кузова 6 м; ширина 2 м при сложенных крыльях, и 8,08 при разложенных; высота около 2 м; масса 440 кг; скорость в полете до 185 км/ч, что вполне сопоставимо со скоростью стандартного спортивного самолета. При этом, стоимость автомобиля не может сравниться с ценой самолета, да и эксплуатировать его гораздо дешевле. Расход топлива, в роли которого выступает стандартный бензин, составляет в среднем 18,9 л/час при скорости 160 км/ч. Показатели для такой техники вполне приемлемы. Для взлета этому авто потребуется около 500 м ровной взлетной полосы, а в воздухе он может находиться до 4-х часов на высоте до 1,5 км.

Ниже нами представлены лучшие модели и концепты летающих автомобилей современности, в конструкции которых присутствуют КМ [69, 70].



### *Moller Skycar M400*

Летающая машина, своими очертаниями напоминающая спорткар. В качестве топлива для 4 винтовых двигателей здесь использован керосин или спирт, расход которого не превышает 10 л/100 км. Заявленная скорость этого транспорта составляет 550 км/ч. Несмотря на

достаточно успешные испытания, работы над данным проектом не продолжились, а авто осталось в качестве концепта.



### *Концепт-кар YEE*

Стал золотым призером Пекинского международного конкурса автомо-бильных концептов. Одним из основных критериев конкурса была возможность создания машины и запуска её в произ-водство. Все технические решения, использованные в YEE уже существуют или должны появиться в ближайшие пару лет. Уже в конце десятилетия они будут носиться между небоскребами.



*Terrafugia Transition* не слишком похожа на автомобиль - уж больно широко и мощно раскинулись крылья. В воздухе его скорость составит свыше 185 км/час, а на шоссе - 105 км/ч. Переход в режим самолета и обратно займет около полуминуты. Что особенно приятно, запуск модели в производство должен начаться в 2016 году и стоит она будет около \$200000.



### *Летающая тарелка M200X*

Её испытания прошли еще в 1989 году, принесла первую известность фирме Moller. Несмотря на то, что она ест невероятное количество топлива, ненадежна, пожароопасна и никогда не выйдет в серийное производство, она летает. И производит при этом поистине мистическое впечатление. Прототип этой машины пару лет назад можно было купить на e-Bay за \$15000.



### *Летающий багги Parajet SkyCar*

Его легкая конструкция вкупе с солидным пропеллером, позволяет ему взмывать в небо. Настоящие экстремалы могут поэкспериментировать со взлетами прямо с трассы. Однако в качестве городского летающего транс-порта багги, конечно, не годится: проблематичен не только взлет, но и приземление.



*Автомобиль-парашлан Maverick Sport*  
Компания I-TEC выпустила летающую машину Maverick Sport – смесь автомобиля и парашлана. Ещё один прекрасный образчик летающего кара с парашютом. От предыдущего участника нашего обзора он отличается дизайном, который придется по вкусу любителям автомобильной старины. Да и уровень комфорта и безопасности в нем повыше, чем в Parajet SkyCar.



#### *Pal-V – конструкция*

Объединяет в себе вертолет и мотоцикл. Достаточно легкая конструкция этого транспортного средства и наличие складывающегося винта дают создателям возможность уверять публику, что этот концепт будет иметь возможность передвигаться по воздуху со скоростью 185 км/ч. Двигатель имеет интересную

особенность – он самостоятельно переключает привод с колес на пропеллер на основе анализа имеющегося контакта с твердой поверхностью. Этот летающий автомобиль будущего не в состоянии подняться выше 1200 м, поэтому, по действующему в настоящее время закону, водителю не придется подавать план полета.

#### *Вертолет-трансформер.*

Идея летающего автомобиля с пропеллером получила продолжение в концепте от конторы ZEEP Design.



Машина, напоминающая футуристическую инвалидную колеску, легким движением руки превращается в насекомоподобный вертолет. В городских условиях у вертолета тоже масса минусов (даже если забыть о цене), но если «стрекоза» все же взлетит, ее причудливый дизайн найдет своих почитателей.



### *Летающая акула*

Летучий концепт-кар Audi Shark должен рассекать дороги будущего, опираясь на воздушную подушку (судя по всему, в виду имеется экранный эффект). Дизайнеры очень постарались передать «философию дизайна Audi», но не подумали о наших бедных потомках, которым придется рулить таким транспортным средством, которое обещает быть практически неуправляемым.

Впрочем, оно и не взлетит, пока не будет открыта искусственная гравитация.



### *Летающая капля Fuzo*

Каким бы оторванным от реальности ни казался предыдущий концепт-кар, его с легкостью побивает Fuzo, ориентированный, по задумке дизайнеров, на 60-е годы XXI века. Колеса в нем должны каким-то образом превращаться в турбины, а потом разгонять автомобиль к новым горизонтам. Сколько марсианских космодесантников поместится в такую машину зависит от модели.



### *Flying Roadster (Aeromobil 3.0)*

Словацкая Aeromobil объявила о планах наладить серийное производство аэрокаров уже в 2017 году. «Нам нужно перенести трафик из двумерного пространства в трех-мерное», - сказал на фестивале SXSW в Остине глава Aeromobil. Его компания, которая ведет разработку летающей машины с 1990-х, очень близка к воплощению своей мечты.

По словам главы Aeromobil, не последнюю роль в этом сыграло развитие и удешевление технологий, произошедшее в последние годы: «Углеродные волокнистые материалы, высокие технологии; десять лет назад все эти вещи были слишком дорогостоящими и недоступны маленьким командам».

Aeromobil 3.0 (или Flying Roadster) этих недостатков лишен. Прежде всего, ширина "летучего родстера" не превышает 2,25 метра (со сложенными крыльями), что позволяет ему уместиться на обычном парковочном месте, а длина — 6 метров. Кроме того, взлетать он может как с лужайки, засеянной травой, так и ровной

прямой дороги. "Все, что нам нужно — это 250-метровая разгонная полоса для взлета и лишь 50 метров для приземления", — подчеркнул Вацулик.



### *Krossblade SkyCruiser*

Разработку другого жизнеспособного проекта ведет Krossblade Aerospace Systems (KAS). По мнению управляющего директора американской компании Дэниела Любрича, будущее принадлежит машинам с

вертикальным взлетом и посадкой, как у квадрокоптеров. Так, пятиместный гибрид KAS SkyCruiser обладает складными крыльями (их конструкция похожа на бэтмобиль из фильма "Темный рыцарь: Возрождение легенды), четырьмя складными роторами с электроприводами и роторным двигателем Ванкеля.

В отличие от Aeromobil 3.0, SkyCruiser может вообще обходиться без взлетно-посадочной полосы. Аэрокар способен подниматься в воздух и опускаться вертикально, к примеру, чтобы «облететь» пробку. Правда, агрегат не так компактен: размах его крыльев составляет 9,5 м, общая длина 8,4 м. Припарковать такую машину может быть весьма сложно.



### *myCopter*

Проект *myCopter*, призванный разгрузить автомагистрали, финансирует Евросоюз. По задумке инженеров, персональный летательный аппарат должен самостоятельно облетать препятствия и прокладывать маршрут. Правда, испытаний прототипов транспортного средства будущего пока не проводилось.

Вместе с этим власти ЕС занимаются выдачей разрешений, лицензированием и вопросами авиарегулирования: например, правилами использования воздушного пространства частными аэрокарами.

Европейские институты, в частности, уделяют повышенное внимание кабине: важно, чтобы она максимально напоминала салон автомобиля, а пилотировать *myCopter* мог человек с минимальным уровнем подготовки

### 3.1.6. Применение КМ в энергетике

Энергетика – ведущая отрасль современной российской экономики, которая, помимо удовлетворения нужд населения в электрической и тепловой энергии, используется для экспорта электроэнергии в страны ближнего и дальнего зарубежья, обеспечивая стабильный приток денег в экономику государства. Контроль над непрерывной деятельностью и развитием данной отрасли гарантирует национальную энергетическую безопасность и направлен на постоянный рост и развитие экономики страны. Энергетика требует своевременной модернизации и преобразований в системе.

В настоящее время во многих странах мира все шире применяются изоляционные конструкции из различных видов КМ на основе разнообразных связующих и армирующих волокнистых материалов - от подвесных изоляторов до изоляционных корпусов всевозможного высоковольтного оборудования. При необходимости такие конструкции защищаются от внешнего атмосферного воздействия силиконовыми покрытиями, позволяющими одновременно увеличивать длину пути утечки по внешней поверхности изделия.

Такие конструкции, несмотря на более высокую стоимость изделий, обладают целым рядом преимуществ по сравнению с традиционными аналогами из фарфора или стекла, в том числе:

- существенно меньшим весом, а значит и затратами как на транспортировку, монтаж и эксплуатацию, так и на соответствующие узлы крепления этих конструкций;

- повышенной надежностью эксплуатации в районах с экстремальными климатическими условиями и в районах с высоким уровнем загрязнения, благодаря повышенной гидрофобности и широкому диапазону рабочих температур исходных материалов;

- в отличие от фарфоровой, в полимерной изоляции в процессе старения не возникают внутренние микротрещины, приводящие со временем к выходу фарфоровой оболочки из строя;

- высокой взрыво-безопасностью (в ГОСТе это требование определяется радиусом разлета осколков оболочки); современные стеклоэпоксидные корпуса в состоянии выдерживать очень высокие давления, но даже, если и происходят механические разрушения, возникающие при пробое внутри аппарата, то корпус просто «порвется» без разлетания осколков и повреждения окружающего оборудования;

- отсутствием повреждений при транспортировке и монтажных работах – для фарфора эти потери составляют не менее 2 %, в том числе и на готовых аппаратах;

- высокой «вандалоустойчивостью» и, в связи с этим, повышением эксплуатационной надежности изделий.

Сегодняшнее развитие технологий изготовления композитных изделий и широкий ассортимент самих материалов позволяет изготавливать изделия самой различной формы и размеров с высоким качеством и отличными электрическими характеристиками. На сегодняшний день освоены изделия из материалов, обладающих как высокими изоляционными свойствами, что необходимо для изготовления различных изоляторов, так и имеющие высокую проводимость, что позволяет применять эти изделия в качестве выравнивающих поле внутри конструкций.

Использование силовых элементов оборудования, таких как опорные и несущие фланцы, крышки, а также крепежные элементы позволяют не только уменьшить строительные габариты оборудования, но повысить надежность их работы за счет значительного снижения и выравнивания напряженности электрического поля в местах стыковки элементов корпуса и фланцев, если они металлические. Такое выравнивание поля приводит к значительному снижению уровня частичных разрядов и тем самым повышает надежность работы изоляции и всего оборудования в целом, уменьшает потери электроэнергии на паразитный нагрев деталей, и токи рассеяния.

Наибольшее применение КМ получили при изготовлении подвесных изоляторов на весь диапазон напряжений. В качестве примеров высоковольтного оборудования можно назвать проходные изоляторы на большие токи и напряжения, корпуса высоковольтных измерительных трансформаторов тока и напряжения, как масляных, так и с газовой изоляцией, высоковольтных конденсаторов 110 и 220 кВ и др. изделия.

Стеклоэпоксидные стержни всё шире применяются при изготовлении опорной изоляции различного назначения. Изоляционные корпуса-покрышки для высоковольтного электрооборудования все чаще изготавливаются на основе мотанных стеклоэпоксидных труб различного диаметра.

С развитием ПКМ началось их активное применение в электроэнергетике. В частности стеклопластик оказался весьма удачным диэлектрическим материалом. Обладая высоким удельным электрическим сопротивлением (близким к аналогичному показателю стекла), низким тангенсом угла диэлектрических потерь и при этом высокой механической прочностью (на уровне металлов) он получил широкое применение в несущих изолирующих элементах, в том числе опорных изоляторах, корпусах высоковольтных выключателей и другой электротехнической арматуре. Важной особенностью стеклопластика, по сравнению с монолитным стеклом и керамическими изоляционными материалами является его эластичность и низкая хрупкость. За счет этого полимерные изоляторы с несущим каркасом из стеклопластика оказались способными выдерживать аварийные (в том числе) ударные механические нагрузки, при которых фарфоровые и стеклянные изоляторы разрушаются. Композитные изоляторы при этом лишь деформируются, но сохраняют свою целостность и работоспособность.

Учитывая полученный опыт эксплуатации полимерных изоляторов и стеклопластиковых несущих конструкций в строительстве в разных странах мира начались эксперименты по созданию композитных, прежде всего стеклопластиковых опор. Пионерами практического применения таких опор стали электрические сети США и Канады. Это связано со сложными климатическими условиями данных стран: частые ураганные ветры, сильный гололёд. В таких условиях значительно большая эластичность стеклопластика по сравнению с железобетоном позволяет опорам выдерживать временные перегрузки без повреждений и необратимых деформаций.

#### *Композитные опоры линий электропередач*

Композитные опоры воздушных линий электропередач – это строительные конструкции, выполненные из армированных ПКМ, предназначенные для удержания проводов и грозозащитных тросов на заданном расстоянии от земли и друг от друга. Такие опоры имеют ряд уникальных свойств: превосходные

механические характеристики, малый вес, высокие диэлектрические свойства, длительный срок службы. При их использовании эксплуатационные расходы практически отсутствуют, а срок службы может достигать 120 лет.

Применение композитных опор началось в США сразу после Второй мировой войны в распределительных сетях. С тех пор в разных странах шло совершенствование технологии их изготовления, испытывались различные материалы с целью определения наиболее пригодных для массового производства композитных опор.

В последние 10 лет появилась технология, позволяющая весьма просто собирать высоковольтные опоры из композитных модулей. Подобный подход имеет массу преимуществ и высоко оценивается специалистами. Рядом стран был накоплен положительный опыт применения модульных композитных опор в различных климатических зонах, начиная от Норвегии и заканчивая Австралией. По-видимому, настала очередь их применения и в России.

Наиболее целесообразно использовать такие опоры в труднодоступной местности, где затруднительно применять тяжелую технику. В этих случаях экономический выигрыш особенно очевиден. Композитные модули также можно комбинировать с многогранными металлическими модулями, устанавливаемыми в основание опоры. В этом случае повышается несущая способность конструкции, улучшаются ее антивандальные свойства и огнестойкость.

Опоры традиционных конструкций (кроме деревянных) являются проводниками. Это определяет ряд особенностей, связанных с координацией изоляции ЛЭП и распределением её ёмкости и индуктивности. Траверса и грозозащитные тросы (при их наличии) подлежат обязательному заземлению, а к заземлителю предъявляются высокие требования. Опоры, выполненные из стеклопластика, базальтопластика или органопластика являются диэлектриками с высоким показателем электрической прочности. Таким образом сама опора становится изолятором на пути протекания тока «провод-земля». Но, в отличие от деревянных опор у композитных диэлектрические свойства не зависят от погодных условий. Это существенным образом упрощает схему изоляции ЛЭП, а в случае низких классов напряжения (до 10 кВ) представляется возможность вообще отказаться от применения изоляторов. ЛЭП на композитных опорах имеет существенно меньшую ёмкость «провод-земля» и «провод-провод», чем ЛЭП на токопроводящих опорах. Также отпадает необходимость в заземлении траверсы опоры. Поскольку для ЛЭП на композитных опорах сближение проводов с траверсой и стойкой не опасно, представляется возможность уменьшить габариты линии. Это обстоятельство может полностью скомпенсировать увеличение габаритов, вызванное гибкостью опор.

Высокие диэлектрические свойства композитных опор существенно улучшают грозоупорность ЛЭП. Это позволяет упростить заземляющие устройства, а в ряде случаев вообще отказаться от них и от грозозащитных тросов. Отсутствие заземлителя существенно уменьшает действие блуждающих токов на здания, сооружения, природные объекты. Важно и то, что в случае пробоя или разрушения изолятора или падения провода на траверсу не возникает короткого замыкания на землю и не происходит отключение линии. В целом, по результатам ряда исследований, проведенных в США, России и Китае ожидается, что ЛЭП на композитных опорах будет иметь значительно меньшее количество отключений чем

на традиционных. Кроме того, вредное и опасное воздействие ЛЭП на наземные объекты будет сведено к минимуму.

В России активно ведутся НИОКР по композитным опорам ЛЭП и опорам освещения. Этой темой занимаются как государственные учреждения, так и коммерческие организации, в частности, ООО «НЦК», «Феникс-88», НПП «Алтик». Решаются вопросы адаптации композитных стоек RStandart (Канада) для использования в составе опор на российских ЛЭП.

Линии электропередач протянулись по стране на бесконечные тысячи километров. Все давно привыкли к непритязательному дизайну опор ЛЭП и порой почти не замечают их на фоне окружающего пейзажа. Однако, их унылый внешний вид мало подходит к современным ландшафтам и стимулирует дизайнеров и инженеров на творческие поиски.

В перспективе при создании опор ЛЭП упор будет делаться не только на экономическую составляющую, но и на эстетическую. Каждому приходилось видеть, как громоздкая опора портит природный пейзаж или неудачно вписывается в городскую застройку. Первый способ решения проблемы - сделать опору как можно менее заметной. Для этой цели подходят более «аккуратные» на вид многогранные опоры, занимающие меньшую площадь.



Однако можно поступить и совершенно иначе, превратив инженерную конструкцию в произведение искусства, своего рода местную достопримечательность. Естественно, ставить дорогостоящую дизайнерскую опору в глухой тайге нет смысла. Речь идет об единичных экземплярах в курортных зонах, на въезде в крупные города и т.д., то есть там, где сохранить красоту ландшафта особенно важно. Реализованные проекты уже есть в США - к примеру, опора в виде канделябра, роль свечей в котором играют изоляторы. В Финляндии достаточно широко используются опоры нестандартной формы, по вечерам их украшает разноцветная подсветка.

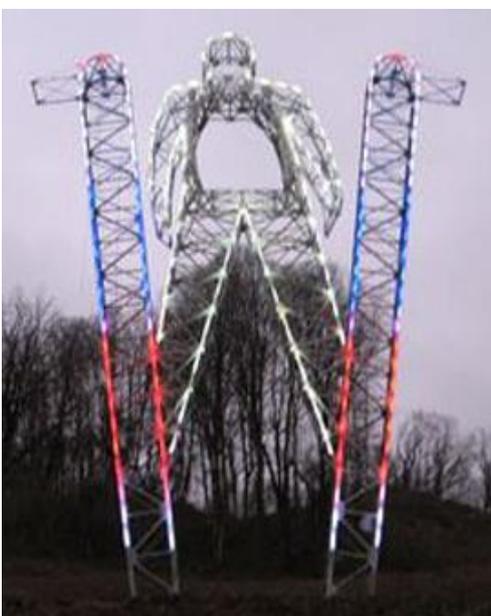
Дизайнеры со всего мира давно ломают голову над тем, как придать оригинальный вид гигантским опорам ЛЭП и при этом сохранить устойчивость и безопасность конструкций.

Московская студия DesignDepot предлагает по-новому взглянуть на гигантские металлоконструкции для линий электропередач. По мнению дизайнеров, современные вышки ЛЭП смотрятся весьма неуклюже и зачастую портят пейзажи. Задумавшись над эстетикой этих сооружений, дизайнеры решили одухотворить их и спроектировали несколько вариантов будущего в виде огромных оленей и человеческих фигур.



Компанией DesignDepot представлены несколько концепций опор ЛЭП, каждая из которых содержала уникальную идею и не использовалась ни в одной другой стране. В серии «Животный мир» тема животных нашла свое воплощение в сложной конструкции опор в виде фигур оленей и медведей. Массивные копии зверей раскрывают экологическую составляющую идеи и органично вписываются в природный ландшафт. Другая серия была посвящена супрематическим фигурам крестьян Казимира Малевича.

В Адлерском районе Сочи смонтировали опору ЛЭП в виде лыжника, который символизирует один из олимпийских видов спорта. Перед установкой конструкцию тщательно испытали на прочность. По расчетам, она способна выдержать даже землетрясение силой в девять баллов.



Опора ЛЭП «лыжник» установлена на участке совмещенной автомобильной и железной дороги Адлер-«Альпика-Сервис». Высота опоры 32 м, вес 41 т. Заказчиком проекта выступила компания «Стройэнергокомплект». Выполнила его организация «Энергомаш (Белгород)-БЗЭМ». Конструкцию удерживает надежный фундамент с буронабивными сваями. Гигантский спортсмен надежно держит на своих плечах провода напряжением 110 кВт.

Также установили опору ЛЭП в виде фигуры снежного барса высотой 35 м и весом 30 т, которую изготовили на заводе в Клязьме. Конструкция состоит из сотни деталей, собранных в фигуру снежного барса – один из трёх талисманов Олимпийских игр. В тёмное время суток декоративная опора украшена подсветкой красного, белого и синего цветов.

Вряд ли бывают случаи, когда опоры ЛЭП вносят в пейзаж что-то конструктивное, делают его лучше. Чаще всего они безнадежно его портят. Дизайнеры во всем мире уже понемногу обращают внимание на несоответствие желаемого действительному и пытаются исправить если не настоящее, то будущее, проектируя более интересные конструкции.

Однако, если отнестись к созданию ЛЭП творчески, то они могут стать настоящими произведениями искусства, как это случилось с опорой Colosso, созданной аргентинской студией дизайна DOMA.



Архитекторов из студии DOMA нетрендовость роботов не волновала и не помешала им создать самую необычную в мире опору линий электропередач, получившую даже личное имя – Colosso.

Эта гигантская работа, смесь дизайна, технологий и архитектуры, была создана в рамках выставки Тесполис 2012 (Технополис «Москва» создан в 2012 году на территории бывшего автозавода «Москвич»).

Её высота составляет 45 м. Опора Colosso имеет вид огромного человекоподобного робота, сияющего разноцветными неоновыми огнями [71].

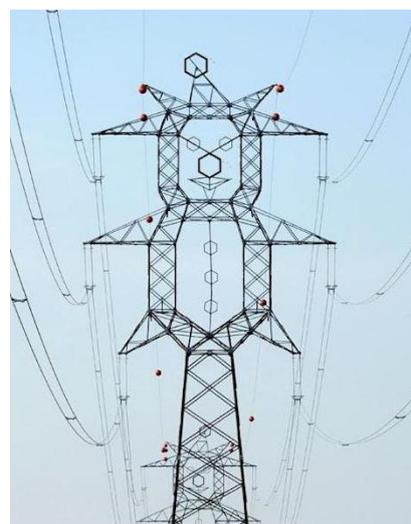
На сайте [72] представлены фигурные электроопоры, которые являются попытками архитекторов создать самые необычные в мире опоры ЛЭП, часть из которых приведена нами ниже.



«Женщина», опора из Франции, проекта «Art Environnemental», 2011



«Цветочная башня», дизайнер Густафсон Портер, 2011



Реальные опоры в форме цирковых клоунов, Венгрия, 2011

В 2010 году в Исландии проводился конкурс на разработку дизайна опор высоковольтных ЛЭП. Организатором мероприятия выступила исландская электроэнергетическая компания «Лэндсет» («Landsnet») и «Ассоциация архитекторов Исландии» (Association of Icelandic Architects) [72]. На конкурсе было выставлено множество работ. В том числе растрежированный многими проект «Земля гигантов» (Land of Giants) с опорами ЛЭП, спроектированными компанией «Choi + Shine Architects» в 2008.



Архитектор Дитман Коэринг разработал свой уникальный дизайн для опор высоковольтных ЛЭП. Высота объектов варьировалась от 17 до 32 м. Форма также не была одинаковой: зависела от ширины и длины опор. Архитекторы осуществили то, что наверняка многие не раз думали про себя, глядя на скучный, индустриальный вид опор ЛЭП – превратили страшные башни в эстетичного вида гигантов. Проект был разработан для реализации на просторах Исландии. Каждой фигуре для усиления динамики и эстетического вида придана своя определенная поза и только «руки», держащие провода, остаются неизменно поднятыми вверх у всех. В целом на отдельных участках создается ощущение, что гиганты как бы карабкаются на горы, что также призвано

подчеркивать уникальный природный ландшафт страны.

#### *Установка опор воздушных линий из композитных материалов*

Применение опор из КМ при сооружении воздушных линий является последним достижением в электромонтажном производстве. Основа применяемого материала – стекловолокно. Опоры изготавливаются различными способами, например, путем намотки стекловолоконной нити вокруг конической формы под различными углами к её оси для получения необходимых физико-механических характеристик. Непосредственно перед намоткой стекловолоконная нить пропитывается связующим веществом – смолой. После намотки нити образуются трубы-конусы разных длин и диаметров, которые затем «наращиваются» одна на другую, образуя стойку опоры [73].



Достоинством композитных опор является: малый вес и простота хранения и транспортировки; легкость; не требуется техническое обслуживание в процессе

эксплуатации; они не подвержены коррозии и гниению; обладают высокой прочностью и долговечностью; срок службы опор находится в диапазоне 65...80 лет; огнестойкость и хорошие диэлектрические свойства; безопасность для автотранспорта.

К недостаткам данного типа опор можно отнести следующее: производство опор данного типа не развито; стоимость их достаточно высока; малый опыт монтажа и эксплуатации данного типа опор.

#### *Композитные опоры уверенно противостоят стихии*

После того, как в сентябре 2008 года в результате урагана «Айк» было потеряно свыше 200 деревянных опор, электросетевая компания Western Kentucky Rural Electric Cooperative Corp. (WKRECC) установила на экспериментальной основе 7 опор ЛЭП, состоящих из композитного материала. Вскоре эти опоры подверглись испытаниям, так как в январе 2009 года через зону эксплуатации WKRECC прокатилась снежная буря, которая возникает один раз в 100 лет. Этот ураган повалил более 1600 деревянных опор. Однако, ни одна из опор из КМ, хотя они и были сцеплены с деревянными, не была повреждена.

В Северной Америке бури – норма, а не исключение. И «классическим» опорам там живётся очень туго. Поэтому энергетики США и Канады уже много лет ищут решение проблемы устойчивости опор в штормовых условиях. И такое решение найдено – это опоры из ПКМ.

ПКМ характеризуются высокой прочностью при малой массе. Ещё одной важной их особенностью является то, что одни обладают высокой эластичностью. Это позволяет композитной конструкции безопасно деформироваться в направлении действия сил, равномерно распределяя напряжения. В результате композитная конструкция гнётся, но не ломается. Наглядным примером могут служить стеклопластиковые удочки и спиннинги. Сгибаясь в дугу при вытаскивании крупной рыбы, они тем не менее остаются целыми и невредимыми. Жёсткая конструкция на такое не способна. Аналогичным образом будут вести себя и композитные опоры. Конечно же, в дугу сгибаться они не должны. Но тем и хороши композиты, что, меняя тип и схему укладки армирующих волокон, можно получить изделие с заданной упругостью. Причём упругость композитных материалов может быть переменной в рамках одного изделия.

Композитной опоре не страшны удары стихии. В самый свирепый ураган опора будет ходить ходуном, изгибаться, закручиваться винтом, но останется целой и невредимой. Гололёд тоже ей не опасен. В силу физико-химических свойств поверхности отверждённого эпоксидного связующего на ней практически не может образовываться лёд. Даже ледяной дождь будет с неё скатываться. Да и вес обледеневших проводов вызовет лишь деформацию опоры, но не приведёт к её разрушению. А раз опоры остались целыми, устранение других последствий аварии, таких как обрыв опор проводов, если они, конечно же, возникнут, связано уже с меньшими трудностями.

В декабре 2016 года московский регион сковал «ледяной дождь». Деревья, дороги, крыши домов, автомобили покрылись толстым слоем льда. Не выдержавшие нагрузки деревья начали падать, разрывая провода линий электропередачи. Более чем на две недели без электроэнергии остались около 400000 жителей Подмосковья. Катастрофических последствий можно было избежать, если бы провода проходили выше уровня леса, а опоры ЛЭП – сделаны из композитов.

«Мы такой проект разрабатываем и делаем таким образом, чтобы, например, на одной фуре или грузовике с прицепом можно было эту 50-м опору привезти и смонтировать, причем без каких-либо либо подъемных средств», - рассказывает Валерий Литвинов.

Именно для таких актуальных проектов около года назад на базе «Московского машиностроительного экспериментального завода – Композиционные технологии» создан Инженерный научно-производственный центр. Предприятия концерна «Химкомпозит» готовы перейти от проектов к серийному производству. Жизнь показывает, будущее – за этими материалами.

«Нанотехнологический Центр Композитов» (НЦК) совместно с филиалом АО «Дальневосточная распределительная сетевая компания» (АО «ДРСК») «Амурские электрические сети» реализовали пилотный проект по внедрению промежуточных опор воздушных линий электропередачи из КМ [74]. «НЦК» выиграло конкурс на выполнение НИОКР по разработке промежуточных опор из КМ для ВЛЭП на классы напряжений 0,4 кВ и 6...10 кВ. В ходе проведения работ образцы промежуточных опор из КМ изготовленные «НЦК» успешно прошли механические и электрические испытания и были признаны годными для прохождения эксплуатации.

В июле 2016 года совместно со специалистами «Амурские электрические сети» в с. Волково Благовещенского района установлены 10 композитных опор для ВЛ 0,4 кВ и 10 для ВЛ 10 кВ (две из них переходные). Район установки композитных опор определен своеобразным опытным участком. Специалисты в течение года будут наблюдать, как идет эксплуатация опор из КМ.

Разработка и использование инновационных технологий в промышленности проводятся предприятиями с государственным участием в рамках реализации Национального проекта по внедрению инновационных технологий и современных материалов в отраслях ТЭК «Воздушные линии электропередачи до 220 кВ с применением композитных опор». Композитные опоры хорошо переносят потоки ветра. Они почти в 9 раз легче типовых железобетонных. Срок эксплуатации композитных опор составит 50...60 лет, в то время как традиционные железобетонные стойки эксплуатируются не более 25 лет», – рассказал директор по проектам НЦК.

Высокие диэлектрические свойства композитных опор существенно улучшают грозоупорность ЛЭП. Это позволяет упростить заземляющие устройства, а в ряде случаев вообще отказаться от них и от грозо-защитных тросов.



Отсутствие заземлителя существенным образом уменьшает действие блуждающих токов на здания, сооружения, природные объекты. Важно и то, что в случае пробоя или разрушения изолятора или падения провода на траверсу не возникает короткого замыкания на землю и не происходит отключение линии. В целом, по результатам ряда исследований, проведенных в США, России и Китае ожидается, что ЛЭП на композитных опорах будет иметь значительно меньшее количество отключений чем на традиционных. Кроме того, вредное и опасное воздействие ЛЭП на наземные объекты будет сведено к минимуму.

ПКМ обладают высокой коррозионной стойкостью в кислых и щелочных средах и не подвержены электрокоррозии. В этом их основное преимущество перед металлом и

железобетоном. ПКМ обладают меньшей гигроскопичностью чем бетон и не повреждаются замерзающей в порах водой. В то же время ПКМ быстро стареют под действием излучения Солнца. Одна из важнейших задач, связанная с массовым внедрением композитных опор – решение вопроса стабилизации полимерного связующего к действию солнечного излучения.

#### *Защитное композиционное покрытие для электрических контактов*

Разработано новое защитное покрытие для электрических контактов, которое позволит использовать его в электрооборудовании с очень высокими значениями номинального тока (десятки кА), соответственно, с большой площадью контактов, кроме этого оно не должно было ухудшать свойства при воздействии повышенной влажности. Покрытие предотвращает электрохимическую коррозию, рост сопротивления контакта при эксплуатации и рассчитано на применение в силовых контактных соединениях [75].

Разработанное защитное покрытие представляет собой КМ. Объединяя в композите разные материалы, можно добиться получения материала с новыми, соединяющими достоинства каждого из компонентов, свойствами. Оптимальное сочетание разных компонентов в защитном покрытии и позволило добиться удовлетворения всех предъявляемых к нему требований. Разработанное покрытие наносится на контактные поверхности методом холодного газодинамического напыления из смеси металлических порошков меди и оловянно-свинцового припоя, взятых в определенном соотношении.

Изготовленные образцы контактных соединений с покрытиями подвергались электрическим испытаниям в соответствии с ГОСТ 17441–84 и ГОСТ 10434–82. В процессе испытаний соединения нагревали током до 120 °С, затем охлаждали до комнатной температуры. Количество циклов нагрев-охлаждение составляло 500. После прохождения испытаний переходное сопротивление контакта не должно было возрасти более чем на 50 % от исходного значения. Предложенное композиционное защитное покрытие выдержало как эти испытания, так и дополнительно проведенные климатические испытания при повышенной влажности по ГОСТ Р

51369–99. По результатам исследований получен патент на изобретение № 2572953 «Алюминиевый элемент токопровода и способ его получения».

### *КМ в ветроэнергетике*

Основной отраслью энергетики, в которой широко используются КМ и технологии, является ветроэнергетика, которая основывается на использовании энергии ветра, под которой подразумевается преобразование в электричество кинетической энергии воздушных масс в атмосфере.

Благодаря отличной устойчивости композитных материалов к сильному воздействию окружающей среды их широко применяют в ветроэнергетике. Из композитных материалов изготавливают лопасти и аэродинамические трубы ветряных генераторов. Композиты используют для строительства несущих элементов (башень) ветроэлектростанций.

Неисчерпаемая энергия ветра может стать одним из решений глобальной энергетической проблемы. За последние годы, как количество, так и доля электроэнергии, вырабатываемой с использованием энергии ветра возросли в десятки раз. Ветроэнергетика переживает сейчас второе рождение. Конечно, только за счет энергии ветра покрыть все потребности в электричестве не удастся, но перспективы развития крайне велики. В России 70% территории не имеют центрального энергоснабжения по причине большого расстояния между населенными пунктами, поэтому применение автономных электростанций оправданно.

Ветрогенераторы ранжируются по своей мощности и могут производить от нескольких десятков киловатт до нескольких мегаватт электроэнергии с размером с лопастей диаметром от 0,5 до 160 м. Для производства лопастей турбин мегаватного класса используются композитные материалы.

Лопастей на основе композита существенно уменьшают стартовую скорость за счет своей невысокой массы, а ещё исключается возможность появления помех во время работы теле- и радиоприемников. Для постройки лопастей несущего винта ветрогенератора применяют смолу ненасыщенную полиэфирную или эпоксидную в сочетании со стекловолокном (например, мультиаксиальными тканями) или углеродным волокном, что обеспечивает достаточную прочность и износостойкость лопастям во все время эксплуатации ветрогенераторной установки.

В связи с постоянным ростом единичной мощности турбин и увеличением длины лопастей, требуется использование материалов способных при небольшом весе обеспечить высокие прочностные характеристики и противостоять долгосрочным циклическим нагрузкам. Именно по этой причине в лопастях на замену стекловолкну пришли материалы на основе углеволокна.

На большей территории России средняя скорость ветра не превышает 5 м/с, использование на таких скоростях привычных ветрогенераторов не эффективно. Было найдено решение – придание лопастям аэроэластичности. Моделирование процесса изготовления крупногабаритных деталей возможно, используя программный комплекс ESI. Применение КМ дает более легкий вес конструкции, повышение прочности и долговечности эксплуатации и др. Кроме того, существует возможность проектирования технологий для крупногабаритных и сложных деталей, в том числе с твердыми металлическими вставками. Наибольший эффект получается при длине лопастей свыше 40 м – такие лопасти изготавливаются только из углепластиков. Уже сейчас разрабатываются турбины единичной установленной

мощностью до 10 МВт с длиной лопастей до 100 м и производство таких лопастей без углеволокна невозможно.

Перед компанией EUROS стояла задача разработать технологию процесса производства 80-метровой лопасти для ротора ветряной турбины с использованием технологии вакуумной инфузии. Как правило, для этого необходимо проводить серию очень дорогостоящих экспериментов. Кроме того, стоимость испытаний и время разработки процесса быстро растут с увеличением длины лопасти и сложности конструкции.

В то время как для производства тела ветряной лопасти (около 60 м) уже применяются передовые технологии, то задача производства основания лопасти, с наружным диаметром 4,4 м и толщиной до 160 слоев стеклоткани, является чрезвычайно трудной – особенно с учетом сложности определения ламината. Основание лопасти играет ключевую структурную роль для лопатки, так как эта часть будет выдерживать все приложенные нагрузки. Любые дефекты в основании лопасти могут сильно повлиять на производительность всей конструкции, поэтому в EUROS уделили особое внимание изготовлению этой части изделия. Задача инженеров состояла в том, чтобы производство детали занимало менее 90 минут.



EUROS изготовили тестовый образец оснастки (наружный диаметр – 4,3 м) и сравнивали с результатами моделирования в PAM-RTM, для проверки технологии пропитки. Первый расчет был проведен для детали, состоящей из 130 слоев. Спрогнозированное в PAM-RTM распределение фронта связующего и скорость потока оказались очень близкими к результатам, наблюдаемым в эксперименте.

### **81,6 м лопасть ротора турбины**

Лопастей на основе композита существенно уменьшают стартовую скорость за счет своей невысокой массы, а ещё исключается возможность появления помех во время работы теле- и радиоприемников. Чтобы изготовить лопасть несущего винта ветрогенератора применяют смолу ненасыщенную полиэфирную или эпоксидную совместно со стекловолокном, что обеспечивает достаточную прочность и износостойкость лопастям, во все время эксплуатации ветрогенераторной установки.

*Создан гибридный дизайн композитных турбин для ветряных мельниц*

DNV GL (ранее Garrad Hassan) и STRUCTeam исследовали, как внедрение композитных лопастей ветряных турбин влияет на работу и экономичность всей установки и предложили решение, которое позволит производителям оборудования (ОЕМ) повысить производительность турбины и снизить эксплуатационные расходы [76].

«Это было захватывающе для всей команды STRUCTeam. Мы разработали и сертифицировали лопасти для береговых турбин, которые в настоящее время запущены в серийное производство. Эти лопасти из гибридного материала на основе углеродных и стеклянных волокон предназначены для использования в больших турбинах класса ПА. Опираясь на обширный опыт нашей команды, мы расширили наши компетенции в офшорной индустрии», – говорит технический руководитель STRUCTeam.



В рамках разработки новых лопастей STL-785-C инженеры STRUCTeam разработали несколько других продуктов и технологий, которые обеспечивают выбор наилучших материалов для создания турбин определенной производительности. Аэродинамику и предельные нагрузки лопастей STRUCTeam из углеродных и стеклянных волокон оценивали специалисты DNV GL. Объединив усилия, эти компании смогут предоставить клиентам полный комплекс услуг, начиная от управления проектами и разработки дизайна композитных турбин и заканчивая расчетом нагрузки для каждой отдельной конструкции.

STRUCTeam – компания, которая предоставляет независимые консультации по вопросам дизайна и конструирования ветряных турбин из композитов и имеет большой опыт реализации успешных проектов в сфере ветроэнергетики. Компания оказывает широкий спектр услуг, которые помогают ее клиентам добиться заметного снижения расходов на производство электроэнергии. Благодаря последним разработкам STRUCTeam может предложить клиентам турбины мощностью от 2 МВт до 6 МВт, дизайн которых разработан под нужды конкретного бизнеса с целью достижения оптимального соотношения между производительностью конструкции и расходами на ее содержание.

### *Легкие композитные материалы в ветроэнергетике*



Компания Frost & Sullivan представила результаты исследований легких КМ, использование которых полезно и рентабельно в ветроэнергетике. Ветроэнергетика нуждается в легких КМ для создания более производительных турбин. Высокопрочные материалы, такие как стекло-пластик и углепластик, скорее всего в обозримом будущем заменят все остальные КМ, которые используются сейчас. Более того, некоторые производители уже используют армированные волокнами пластики для создания высокопроизводительных, надежных и легких турбин, которые пользуются огромным спросом [76].

По данным Frost & Sullivan, около 9500 тонн композитов ежегодно используется для изготовления лопастей ветряных турбин. В период до 2020 года рынок этих материалов будет расти со скоростью 17% в год. Учитывая тенденцию к использованию возобновляемых источников энергии и ее развития на развивающихся рынках, таких как Китай и Индия, потребность в легких и прочных композитах, однозначно, будет высокой.

«Традиционные лопасти короче, чем композитные, и производят энергию в диапазоне от 2 до 3 мегаватт (МВт), в то время как необходимый минимум для промышленности 5 МВт и более. Только в этом случае можно говорить об увеличении эффективности и рентабельности системы», - говорит старший аналитик Frost & Sullivan.

Ветроэнергетика нуждается в материалах, которые имеют высокую усталостную прочность и способность выдерживать суровые климатические условия. Углепластик уже применяется в качестве материала для производства крупных лопастей ветряных турбин. Модернизация существующих турбинных лопаток будет способствовать дальнейшему расширению использования CFRP в отрасли. Тем не менее, стоимость продукции и сырья может оказаться слишком высокой, из-за чего большую популярность обретут более экономичные гибридные материалы. В конечном счете акцент будет сделан на материале и технологии его производства, благодаря чему производители смогут кастомизировать продукцию для массового производства и разработать новые конструкции для ветроэнергетики, а также адаптировать производство, чтобы получить максимальную отдачу от инвестиций.

#### *Уникальная ветряная электростанция из стеко- и углеволокна без лопастей и пропеллера*



Испанская компания Vortex Bladeless разработала уникальную ветряную электростанцию из стеклянных и углеродных волокон. По сравнению с обычными, такая конструкция более безопасна для окружающей среды и является более дешевой альтернативой ветряным турбинам, которые вырабатывают электроэнергию при помощи ветра [76].

Ветряная турбина выполняет свои задачи благодаря лопастям пропеллера. Уникальная ветряная электростанция Vortex Bladeless имеет вид сигареты-самокрутки. Она приводится в действие и генерирует электричество благодаря

эффекту завихренности.

Архитекторы и инженеры, как правило, предпочитают нивелировать эффект завихренности в своих конструкциях, так как она может стать причиной их разрушения, но разработчикам Vortex Bladeless удалось найти решение и использовать раскачивание турбины в нужных целях. Верная форма турбин была подобрана при помощи компьютерных расчётов. Лёгкая конструкция, созданная из композитного материала, в состав которого входит стекло- и углеволокно, позволяет сделать завихрения в турбине синхронными, а вибрации — максимальными.

Амплитуда движения турбины может увеличиваться не только под влиянием ветра, но и благодаря двум магнитам, расположенным внизу мачты и выполняющим роль неэлектрического мотора. Генератор переменного тока трансформирует механическую энергию в электрическую.

Коэффициент полезного действия безлопастной турбины Vortex в среднем в три раза меньше, чем ветряной. Компенсировать разницу, по мнению разработчиков, можно будет за счёт большего количества компактных конструкций на идентичной по размеру площади. К тому же, изготовление безлопастных турбин обойдётся производителю намного дешевле.

Ветряные электростанции Vortex Bladeless из композита бесшумны и безопасны для окружающей среды – в лопасти не попадут случайно птицы. Vortex Bladeless смогли привлечь для раскрутки проекта 1 млн долларов инвестиций и уже через год планируют представить первую модель безлопастной турбины Vortex.

*Использование ПО VABS для моделирования композитных лопастей ветряных турбин*



AnalySwift, ведущий поставщик эффективного и точного программного обеспечения для моделирования компози-тов в аэрокосмической и энергетической промышленности, объявила, что Корейский институт энергетических исследований KIER выбрал их программу VABS для моделирования композитных лопастей ветряных турбин. KIER стремится улучшить качество жизни за счет разработки технологий для использования в интересах национальной энергетической политики, в том числе для освоения новых источников энергии, таких как ветер [76].

«Мы очень рады, что KIER выбрал наше ПО для составления анализа и проектирования композитных лопастей для ветряных турбин.

VABS идеально подходит для решения задач при моделировании сложных композитных лопастей», - говорит президент и главный исполнительный директор AnalySwift

Благодаря VABS предварительное проектирование, которое раньше занимало месяцы, теперь может быть сделано в течение нескольких недель. Результат - снижение затрат и времени выхода продукта на рынок. Например, 3D исследование композитной лопасти методом конечных элементов (FEA) в режиме реального времени ранее занимало 3 часа, а с помощью VABS может быть сделано менее чем за 40 секунд. Даже если композит состоит из сотни слоев, его можно исследовать на ноутбуке, без использования тяжелых вычислительных ресурсов.

«Программа VABS быстро становится фаворитом исследователей и инженеров, которые моделируют сложные тонкие структуры из КМ, такие как лопасти ветряных турбин, вертолетов, крыльев и других тонких структурных компонентов. VABS - единственное в своем роде ПО, которое может представить сложную

микроструктуру композитной конструкции в виде простой 3D модели», - сообщил технический директор AnalySwift.

Рост производства крупных ветровых турбин привел к тенденции использования больших лопастей и более широкого применения КМ. С помощью мощного ПО VABS разработчики смогут моделировать турбины и композитные конструкции, создавать прототипы и тестировать их. Программа VABS особенно полезна в начале процесса проектирования, благодаря своей способности быстро анализировать все мультифизические свойства 3D объекта.

#### *Китайская компания будет производить ветряные турбины в Чувашии*

В Чувашию с рабочим визитом прибыла делегация китайской компании Lianyungang Zhongfu Lianzhong Composites Group Co.,Ltd - лидера по производству лопастей для ветровых турбин на азиатском рынке. Цель визита руководства компании - обсуждение возможности реализации на территории республики совместного инвестиционного российско-китайского проекта по производству армированных ветроэнергетических установок [76].

Представители КНР сообщили, что рассматривают Чувашию в качестве площадки для реализации инновационного проекта «Производство ветроэнергетических установок мультимегаваттного класса» и планируют запустить на территории республики производство лопастей для ветровых турбин из инновационных материалов.

#### *Chomarat расширяет производство стекловолокна в Тунисе*

Французская компания Chomarat (Ле-Шелар) планирует производить больше стекловолокна на заводе в городе Громбаля в Тунисе, чтобы удовлетворить растущий спрос на ветряные турбины. Для этого компания увеличивает производственные мощности завода за счет закупки дополнительного оборудования [76]. Таким образом компания пытается удовлетворить растущий спрос на ветряные турбины, армированные стекловолокном.

Расширение завода в Тунисе необходимо, чтобы Chomarat смогла выполнить условия нового контракта на поставку более 10000 т ветряных турбин, армированных стекловолокном. В 2014 году Chomarat аналогичным образом усовершенствовала свой завод Тайканг неподалеку от Шанхая, Китай.

В настоящее время Chomarat поставляет армирующее стекловолокно для разных отраслей промышленности и производителей на разных континентах.

#### *Бесшумная турбина ветрогенератора с лопастями из углепластика*

Итальянский конструктор Ренцо Пиано спроектировал бесшумную и экологичную турбину ветрогенератора с лопастями из углепластика. Ее агрессивное воздействие на окружающую среду минимально. В отличие от простых турбин, которые обладают тремя и более лопастями, новая турбина обладает всего двумя, и сделаны они из углепластика. Когда турбина находится в неактивном состоянии, лопасти переходят в вертикальное положение, сливаясь с контуром мачты [76].

Мачта турбины высотой 20 м необычайно тонкая: её диаметр составляет всего 30 см. Это стало возможно благодаря небольшому весу лопастей турбины. Они полые внутри и сделаны из армированного углеродным волокном поликарбонитного легковесного полимерного материала. Спроектированная турбина обладает довольно компактными габаритами и ее можно монтировать даже на заднем дворе своего дома. При самой большой мощности в 55 кВт она работает почти бесшумно.

Пока еще не ясно, сколь близок проект к реализации: опытный образец еще проходит испытания неподалеку от Пизы.

#### *Производство лопастей ветровых турбин*

Компания Ahlstrom разработала экономически эффективное решение для производства лопастей ветровых турбин – углеволокно Ahlström AceBlade Carbon, новый продукт на рынке ветроэнергетики [76].

AceBlade Carbon – это армирование однонаправленными углеродными волокнами повышенной прочности. Они обладают улучшенными механическими свойствами и меньше склонны к усталости. Кроме этого, материал очень легкий, что особенно важно в ветроэнергетике. Использовать AceBlade Carbon для производства лопастей ветряных турбин очень выгодно: на сегодняшний день это, пожалуй, самое экономически эффективное решение для процессов вакуумной инфузии. Благодаря высокой прочности углеволокна из него можно делать более тонкие и длинные лопасти, чем из других материалов.

Запуск производства Ahlstrom AceBlade Carbon в полной мере соответствует стратегии компании. Она стремительно развивается, предлагая клиентам высокопроизводительные продукты, которые не наносят вреда окружающей среде. AceBlade Carbon – ещё одно доказательство того, что компания производит экологически чистые материалы.

#### *Ветрогенераторы обеспечили 95% энергопотребления Шотландии*

В мае 2017 года ветряные турбины Шотландии произвели 863495 МВт·ч электроэнергии – это примерно на 20 % больше, чем в том же месяце прошлого года. Шотландское отделение WWF проанализировало данные об объеме выработки возобновляемой энергии, собранные организацией WeatherEnergy. Согласно результатам исследования, в мае ветряная энергия обеспечила в среднем 95 % потребностей всех шотландских домохозяйств в электричестве и около 46 % всех потребностей страны, включая бизнес, производство и государственный сектор, сообщает ВВС.

При этом на протяжении 11 дней месяца энергия, полученная при помощи ветрогенераторов, покрывала 100 % и более потребностей домохозяйств в электроэнергии, а 15 мая энергия ветра смогла обеспечить около 190 % потребностей домов и не менее 99 % всего спроса на электроэнергию в стране.

В феврале и марте ветряные турбины Шотландии произвели еще больше энергии - 1331420 и 1240095 МВт·ч, соответственно. Этот объем обеспечил потребности шотландских домохозяйств в электроэнергии в марте на 136%, а в феврале на 162%. За счет таких успехов в ветряной энергетике Шотландия уже перевыполнила план по снижению уровня выбросов углекислого газа. Регион должен был сократить выбросы на 42% к 2032 году, но уже достиг этой цели. Теперь местное правительство поставило перед собой новую задачу к этому сроку - снизить выбросы парниковых газов не менее чем на 66%.

#### *Экологичная энергетика*

Администрация президента Южной Кореи обнародовала план по снижению зависимости энергетики страны от угля и атомных электростанций. Как сообщает Reuters, документ предусматривает увеличение доли электроэнергии, вырабатываемой электростанциями на природном газе, с 18 до 27 % к 2030 году, гидроэнергетики - с 5 до 20 %.

Угольные электростанции являются подвидом тепловых. В них сжигается уголь, а получаемое в результате тепло нагревает котел с водой. При нагревании получается перегретый пар, который по специальной системе трубопроводов подается на паровую турбину и вращает ее. Турбина, в свою очередь, приводит электрогенератор. Считается, что сжигание топлива является одной из причин глобального потепления.

В свою очередь в атомных электростанциях тепло, производимое реактором, используется для подогрева воды во внешнем контуре с образованием пара. Этот пар используется для приведения паровой турбины, которая раскручивает электрогенератор. Атомные электростанции считаются одними из самых экологичных, но последствия аварии на них носят характер масштабной катастрофы с длительными последствиями.

Новый план администрации президента Южной Кореи, нацеленный на улучшение экологической обстановки в стране, подразумевает уменьшение доли угольных электростанций в общем объеме производства электроэнергии с 40 до 21,8 % к 2030 году. Доля атомной энергетики к этому же сроку должна сократиться с 30 % до 21,6 %. Добиться увеличения доли экологичной энергетики планируется за счет увеличения числа гидроэлектростанций, солнечных и ветряных электростанций, а также импорта электричества, выработанного такими станциями.

В апреле 2017 года стало известно, что Великобритания на протяжении целых суток (20-21 апреля) не использовала электроэнергию, вырабатываемую угольными электростанциями. Это первый такой рекорд с 1882 года, когда в Великобритании заработала первая угольная электростанция.

#### *Применение углеволокна в атомной энергетике*

Атомная энергетика – одна из важных отраслей российской промышленности, в которой сейчас занято порядка миллиона человек. Атомная промышленность потребляет порядка 30 % всего производимого в России углеволокна. Одна из областей применения углеволокна – производство газовых центрифуг, которые раньше производили из сплавов алюминия.

При строительстве атомных станций создается несколько уровней защиты – контеймент (герметичная оболочка). Защитная оболочка предназначена для предотвращения утечек радиоактивных веществ наружу и позволяет выдержать все возможные внешние экстремальные воздействия.

После сильнейшего землетрясения в Японии выстояли и получили меньше всего разрушений те здания, которые были укреплены с помощью углепласти-ковой арматуры. Следовательно, применение углеволокна для укрепления контеймента в атомной энергетике крайне перспективно.

В условиях высокого радиационного фона, а также для биологической защиты рабочего персонала, могут быть успешно использованы полимер-матричные КМ. Очевидно, что решение этих проблем возможно только на основе радиационно-защитных материалов, которые должны обладать следующими свойствами: высокой радиационной и химической стойкостью; минимальной сорбцией радиоактивных веществ и хорошими десорбционными свойствами; сохранением целостности, отсутствием трещин, пористости, клейкости при воздействии излучений и агрессивных сред; возможностью быстрого удаления или вторичной переработки после истечения срока службы.

ОАО «Научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии – Атомстрой» разработал и исследовал КМ, модифицированные BN или  $V_4C$  и наполненные нановольфрамом, следующих составов:

а) алюминий-матричные композиты –  $AMG_6 + BN + W$ ;  $B95 + BN + W$ ;  $AMG_6 + V_4C + W$ ;  $B95 + V_4C + W$ ;

б) полимерматричные композиты –  $V_4C + W + СВМПЭ$  [77].

Работы по разработке радиационно-защитных материалов с металлической и полимерной матрицами ведутся, в основном, в двух направлениях: 1) защита оборудования и техники, работающих в условиях радиационного поражения; 2) биологическая защита персонала, обслуживающего это оборудование и технику на объектах использования атомной энергии, а также персонала медицинских и аварийно-спасательных служб с повышенными требованиями к биологически инертным и рентгено-защитным свойствам этих материалов.

Применение наноразмерных материалов в радиационно-защитных композитах с металлической и полимерной матрицами обусловлено низкой адгезией матричных материалов и керамических радиационно-поглощающих частиц, а также наночастиц тяжелых металлов, которые использовались в качестве гамма- и рентгено-поглощающих наполнителей. Учёные доказали, что использование материалов на основе ультрадисперсных порошков может обеспечить лучшие защитные характеристики от рентгеновского излучения и от тепловых нейтронов. Кроме того, в МИФИ в результате исследований установлено, что использование наноразмерных порошковых частиц радиационно-поглощающих материалов (BN,  $V_4C$ , Pb и W) приводит к увеличению коэффициента поглощения нейтронов в 1,5 раза и коэффициента рассеяния гамма-излучения на 30...40 %. Этот эффект был использован для получения эффективных радиационно-защитных наноструктурированных композитов.

В результате разработаны и исследованы алюминийматричные радиационно-защитные КМ четырех составов:  $B95 + V_4C_{n+m} + W_n$ ;  $B95 + BN_{n+m} + W_n$ ;  $AMG_6 + V_4C_{n+m} + W_n$  и  $AMG_6 + BN_{n+m} + W_n$ , которые обладают нижеследующими свойствами: а) предел прочности на разрыв 350...500 МПа, предел текучести 300...430 МПа; б) коэффициент ослабления нейтронного излучения 2,15...3,0; в) коэффициент рассеяния гамма-излучения 1,10...1,15; г) имеют высокие износостойчивые и теплопроводные свойства.

Разработаны и исследованы полимерматричные радиационно-защитные композиционные материалы нескольких составов: а) 8% $V_4C$  + 6% $W_n$  + СВМПЭ; б) 8% $V_4C$  + 8% $W_n$  + СВМПЭ; в) 8% $V_4C$  + 10% $W_n$  + СВМПЭ; г) 12% $V_4C$  + 18% $W_n$  + СВМПЭ. ДМА-анализом установлено, что при увеличении количества модификаторов в полимерматричном композите, наблюдаются увеличение модуля Юнга, предела прочности и предела текучести, однако, относительное удлинение довольно сильно падает (до 4 раз), при этом оставаясь достаточно высоким. Калориметрия опытных образцов БИРМ показала, что упрочнение полимерных композитов возникает из-за переориентации и вытягивания цепочек полимера под воздействием знакопеременных нагрузок при отжиге. Измерения коэффициентов ослабления потока моноэнергетического гамма-излучения изотопа кобальт-57 с энергией  $E_\gamma = 122$  кэВ показали увеличение коэффициента ослабления  $\gamma$ -излучения до величины 1,21...1,33.

### ***3.1.7. Применение КМ в оборонной промышленности***

Ведущей организацией в области ракетно-космической техники (РКТ) является ОАО «Композит». Часть материалов, рекомендуемых к применению на изделиях, составляют материалы их собственной разработки. В некоторых случаях роль «Композита» как головной организации заключается в определении применимости того или иного материала для РКТ и согласовании назначения уже широко известных материалов.

Сегодня в работах ОАО «Композит» акцент делается на направлениях, где могут быть найдены новые материаловедческие решения, необходимые при создании РКТ качественно нового уровня. Это: исследования в области специальных сплавов на основе алюминия, титана и никеля, сталей и интерметаллидных материалов; технологии горячего изостатического прессования; металлургия гранул жаропрочных хромо-никелевых и титановых сплавов, интерметаллидов; технологии электронно-лучевого переплава; технологии изготовления конструкций из бериллия и бериллиевых сплавов; исследования в области повышения эксплуатационных характеристик углерод-углеродных и керамо-матричных материалов; разработка технологий получения современных много-функциональных теплозащитных материалов, обеспечивающих живучесть ракетных комплексов в системе противоракетной обороны и др.

Научно-технический потенциал ОАО «Композит» постоянно ориенти-рован на новые разработки Московского института теплотехники и позволяет искать решения в части новых материалов и технологий на следующих направлениях: углерод-керамические материалы, работоспособные при температурах выше 4500 К для изготовления деталей соплового тракта; материалы и технологии изготовления высокотемпературных радиопрозрачных деталей, работоспособных до температур 1850 К; технологии изготовления модульных теплозащитных покрытий на основе угле- и органопластиков, а также и гибридных структур с программированными свойствами по толщине покрытия; материалы и технологии изготовления наномодифицированных теплозащитных материалов, обеспечивающих защиту конструкций в экстре-мальных условиях совместного воздействия аэродинамических потоков и высокоэнергетических излучений; жаропрочные металлические материалы на основе никеля и хрома, работоспособные в интервале температур 1100-1500 К; корпусные детали и шар-баллоны из титановых и никелевых сплавов, полученные методами металлургии гранул; прочноплотные и биметаллические соединения: титановый сплав – сталь, алюминиевый сплав – титан, алюминий – сталь и другие разнородные металлические материалы.

#### *Индивидуальная защита из композита*

По статистическим данным военных действий и конфликтов на 30% пулевых ранений личного состава приходится 70 % осколочных ранений. Наиболее эффективно и комплексно от осколков оберегают человека средства индивидуальной защиты и амуниция, для изготовления которых используются ткани из аромидных волокон, собранные в пакет в составе шлема, бронежилета и комбинезона. Гашение энергии осколка или пули обеспечивается за счет вытягивания и разрыва волокон. Лучшими защитными свойствами обладают бронематериалы из микрофиламентных нитей («Русар», «Армос»), которые имеют в своей структуре от 200 до 500 волокон диаметром 12...17 мкм. Разница этих цифр дает 25 % повышения осколочной стойкости. Главным недостатком всех тканевых

материалов является искривление нитей в узлах переплетения и скрутка нитей. Уменьшение числа скруток на 1 м.п. со 100 до 50 дает повышение противоосколочной стойкости на 10...15 %. Лучшим результатом обладают ткани саржевого переплетения, так как являются изотропными по основе и утку и имеют наименьшее искривление нитей или маты с длиной волокон 10-12 мм. При этом рекомендуется располагать куски ткани с нахлестом по подобию рыбьей чешуи, что обеспечивает разворот пули на 90°. Такие бронежилеты на 25...40 % легче, чем аналогичные с металлическими вставками. Отверженные композиты имеют худшие показатели противоосколочной стойкости, так как деформация волокон ограничена связующим.

Однако они имеют и преимущества перед чисто тканевыми элементами защиты: возможность сохранения формы изделия после воздействия осколка или пули, это принципиально важно для шлемов; изготовление жестких подложек для различных типов брони для снижения давления на тело человека без образования вторичного разрушения, то есть не происходит образования зазубрин и осколков от средств защиты.

Хорошие результаты получены на трехслойных конструкциях, состоящих из внешних слоев из отвержденного композита и внутреннего пакета из дискретнотканевого материала. При этом наружный отвержденный слой предохраняет от режущих повреждений, внутренний отвержденный слой распределяет энергию удара и разворачивает и останавливает пулю или осколок. В качестве матрицы в этих случаях используют «хрупкие» - эпоксидные связующие.

Полимерная композитная броня из органопластиков, в которых волокна имеют одинаковую химическую природу с матрицей, имеют самые высокие показатели защиты. Дальнейшее совершенствование защитных средств связано с так называемой «жидкой броней» - средний слой представляет собой аэрогель с наночастицами кварца в полиэтилен гликоле.

Примеры применения композитной брони. Разработанный в 2004-2005 г. защитный шлем, представляющий собой трехслойную оболочку с внутренним слоем из дискретно-тканевых материалов, имеет защитное свойство на 20% выше разработанных ранее.

На вертолете ИН-60А (США) из органопластика на основе волокон «Кевлар-49» изготовлена кабина экипажа, приборная панель, пульт управления и т.д., благодаря чему пилот защищен от осколков снарядов, а вторичные осколки отсутствуют. Кроме того применение органопластика вместо стальных листов позволило снизить массу защиты вертолета на 953 кг.

Защитные комплекты обмундирования, состоящие из шлема, бронежилета, противоосколочной накладки и комбинезона, позволяют снизить уровень боевых потерь в 2...2,5 раза.

Технологические разработки в производстве стальной и композиционной брони в последние годы позволили компаниям предложить более легкие, более дешевые и более эффективные системы защиты транспортных средств и личного состава. Иракский и афганский театры боевых действий, где были востребованы более продвинутое решения, способствовали значительному прогрессу в этой сфере. В настоящее время промышленность активно инвестирует в эту отрасль, чтобы предложить свои изделия на зарубежные рынки [78].

Ведущий инженер по системам бронирования в компании Morgan Advanced Materials Энтони Моран сказал в одном из интервью, что основными материалами для КМ являются стекловолокно, арамидные волокна и полиэтилен низкой молекулярной массы в комбинации с различными связующими веществами. КМ в основном используются там, где масса является основной проблемой. Моран по этому поводу заметил, что при замене стали композитом, можно надеяться на снижение массы примерно в 2 раза. На стандартном автомобиле 4x4 можно сэкономить 1...2 т, перейдя при изготовлении стандартного корпуса машины со стали на КМ.

#### *Бронекapsулы из композита для выживания*

С сентября 2013 года Morgan Advanced Materials сотрудничает с компанией Tata Motors в рамках индийской программы по легкому универсальному броневому автомобилю Light Armoured Multipurpose Vehicle (LAMV), для которого разрабатывает бронекapsулу экипажа из композитной брони [78].



Первый прототип был показан на выставке Defexpo India 2014 (см. фото). Компания Tata продолжает дорабатывать эту машину для того, чтобы начать её серийное производство. Первый комплект защиты бронирования уже изготовлен и проходит испытания в Индии.

«Другим преимуществом корпуса или других композитных деталей машины является то, что они разрушаются постепенно, поэтому при обстреле бронебойными боеприпасами, снаряд, проходя через композит, не образует дополнительные осколки внутри машины. Они используются в качестве противоосколочных подбоев внутри металлических конструкций. Если у вас машина из композиционных материалов, то вам не нужен этот подбой, поскольку не будет образования осколков в машине».

В израильской компании Rafael считают, что комбинация броневых материалов представляет собой лучшее решение и поэтому используют смешение различных процессов при разработке своих решений. В компании сказали: «КМ и сталь – это самые простые несложные технологии дополнительного бронирования, но самые эффективные. Впрочем, комбинация этих материалов с взрывными или керамическими материалами в соответствующих конфигурациях предлагает эффективную защиту для боевых машин.

«Самая лучшая сбалансированная защита» – это не обязательно комбинация композитов и стали. Продвинутая броня компании Rafael состоит из металлов, керамики, композитов, эластомеров и энергетических материалов. Нет единственно правильного сочетания материалов для получения наилучшей защиты. Оптимальная конфигурация брони зависит от необходимого уровня защиты, имеющейся базовой брони, ее материала, толщины и угла наклона. Для получения самых лучших и самых уникальных решений бронирования используется сочетание экспериментальных и программных инструментов».

Как и ее конкуренты, компания Rafael постоянно проводит научно-исследовательские работы и разрабатывает современные материалы. К последним

разработкам можно отнести малочувствительный энергетический материал с улучшенной низкой скоростью горения для применения в динамической защите, который соответствует международным стандартам безопасности и требованиям системы классификации опасностей, а также продвинутую броню из композиционной керамики. Компания использует технологию литья под давлением для производства реактивной брони; компьютеризированные автоклавы для связывания брони из композиционной керамики; вулканизацию многослойных броневых плит; термообработку листов стальной брони; рентгенографию и ультразвук для обнаружения микротрещин в керамических плитках в рамках процесса контроля качества.

За последние полтора года контракты компании Rafael по бронированию были связаны с модернизационными комплектами для израильской армии. За последние 3...4 года также заключены большие контракты по продвинутым блокам динамической защиты для американских машин Bradley и Stryker.

#### *Индивидуальные средства защиты из кевлара*

В 1975 году новый материал Kevlar был выпущен на рынок, на который сразу обратили внимание военные и силовые структуры, целью которых была разработка индивидуальных средств защиты, и в первую очередь пуленепробиваемые жилеты. Идея бронезилета появилась еще во время Первой мировой войны (её автором был писатель Конан Дойл), но традиционные металлические пластины были тяжелыми и сковывали движения.

Кевлар – это пара-арамидное волокно желтоватого цвета, обладающее очень высокой прочностью. Прочность на разрыв до 360 килограмм на миллиметр квадратный. Искусственный аналог приближенный к паутине, или хотя бы созданный при попытках воспроизвести подобный материал. Прочность на разрыв в 3 раза выше прочной стали при той же толщине. Но удельный вес стали в пять раз выше, следовательно при одном и том же весе материалов, кевлар будет в 15 раз прочнее.

Делается кевлар в виде технических нитей, имеющих различную линейную плотность и структуру. Количество волокон в нитях может быть различным: от 130 до 1000 при производстве кевларовой ткани и от 500 до 10000 при изготовлении корда и канатов. Этот материал выпускается в виде ровинга, ткани и пряжи. Волокна непрозрачны, их средний поперечник 11 мкм.

Американский Национальный институт правосудия несколько лет проводил исследования, в ходе которых было доказано, что устойчивость к пулевому выстрелу для наиболее распространенного 38 калибра обеспечивает кевларовая ткань в 7 слоев. Этап полевых испытаний показал, что прочность такого бронезилета уменьшается при его намокании и при воздействии УФ-лучей. Также было установлено, что изделия из кевларовой ткани ухудшают свои защитные свойства после нескольких стирок, и что они не переносят отбеливания и химчистки. Результатом проведенных разработок стал кевларовый бронезилет с покрытием из водостойкой ткани, обеспечивающей защиту армированного слоя от воды и солнца. Кроме того, в качестве средств индивидуальной защиты стали применять тканевые бронезилеты, бронешлемы, кевларовые каски, тактические перчатки, вставки для бронирования автомобилей, стельки обуви и др.

Наиболее пользующимся популярностью изделием из кевлара можно считать бронежилет. Из этой ткани и изготавливают средства пассивной защиты, принятые на вооружение в НАТО.

Самые последние инновации волокна Кевлар для бронежилетов – это волокна Кевлар XR, AS 400 (Anti Stab – против удара ножом) и материал контроля удара IC 600D (контроль удара) - новая технология Кевлар XR сократит внутреннюю деформацию на 15 % и более. А также можно ожидать снижения общего веса на 10 %. С Кевлар AS 400 Дюпон отвечает на требования рынка более сложного защитного и современного снаряжения, способного защитить обладателя от множества опасных ситуаций: ножей, шипов, пуль, осколочных ранений и тупых ударов. Кевлар IC 600D – это компонент мягкой брони, который дает обладателю шанс выжить при огнестрельном ранении или поражении осколком, но при этом он удобен и достаточно гибок для повседневной носки.



*Бронежилет* из кевлара по праву считается одним из более хороших средств персональной пассивной защиты. Благодаря собственной уникальной легкости, прочности и относительной долговечности такая «броня» способна защитить обладателя от скользящих ударов прохладного орудия и смягчить последствия попадания пуль, препятствуя проникновению и распространению осколков. Выбирая бронежилет, в базе которого употребляется данный полимер, следует учитывать некие аспекты, которыми он наделен. Кевлар - что это? Мягенькая броня, которая не выручит от

выстрела в упор либо проникающего удара ножиком либо шилом, потому разработаны модели со особыми жесткими панелями, призванными дополнительно амортизировать удар.

Стоимость кевлара довольно высока и поэтому оснащать армию изделиями из кевлара могут позволить себе только развитые в экономическом плане страны.

Современные бронешлемы по назначению подразделяются на военные, бронешлемы для охраны и бронешлемы полицейские [79].

Разновидности военных бронешлемов: защитный шлем ШБМ-А-П, защитный шлем ШБМ-А-П с планками и кронштейном, защитный шлем ШБМ-А-О, защитный шлем ШБМ-А-М, защитный шлем ШБМ-А-С.



*Шлем «ШБМ-А-П»* применяется силовыми службами и охранными предприятиями как средство индивидуальной защиты от пуль согласно I классу (ГОСТ Р 50744-95): Макарова (ПМ), 9 мм 57-Н-181С с пулей Пст 5,9 г, сердечник – сталь, скорость: 275...295 м/с; «Наган», патрон 9,62 мм 57-Н-122, с пулей Р 6,8 г, сердечник – свинец, скорость: 275...295 м/с. Материал корпуса – кевлар.



На защитном шлеме «ШБМ-А-П» жёстко закреплены боковые планки «Пикатинни» (для крепления фонарей, систем распознавания «свой-чужой») и лобового кронштейна для размещения навесного оборудования (например, прибора ночного видения).

При разработке и в производстве бронешлемов использованы новейшие наработки в данной области. Он отличается высокой степенью защищенности и обладает небольшим весом по сравнению с аналогами.

Полевые испытания доказали непревзойденную надежность и стойкость к осколкам.



*Тактические перчатки* с кевларом в виде защитных вставок на ладонях и костяшках позволяют не только лишь защитить руку от повреждений при столкновении, к примеру, с зубами противника, да и существенно усилить удар, сделав его сокрушающим. Таковой типичный современный аналог кастета. Если учесть крепкость, теплоту и устойчивость к влаге и повреждениям, такие девайсы в ближайшее время популярны не только лишь у служащих специализированных подразделений, да и у экстремалов, уличных бойцов, любителей активного стиля жизни. Также они пользуются спросом у тех, у кого улицы родного населенного пункта вызывают

полностью обоснованные опасности.

### *Военная экипировка будущего*

Наши солдаты в Сирии защищены экипировкой «Ратник». А на повестке дня экипировка будущего. Как стало известно «Российской газете», специалисты Фонда перспективных исследований (ФПИ) приступили к работам над концепцией боевой экипировки нового поколения.

В войска уже поступила экипировка проекта «Ратник», и она пришлась солдатам по вкусу. Ее оценили за хорошую защиту и грамотную конструкцию. Тяжелый в общем-то комплект, включающий бронезилет, не давит на тело, и носить его даже длительное время и в условиях жаркого климата вполне комфортно. Это подтвердило использование «Ратника» в Сирии. На подходе «Ратник-2». А в ФПИ уже начались работы над следующим этапом. И он будет очень серьезно концептуально отличаться от двух предыдущих. Об этом «Российской газете» рассказал генеральный директор ФПИ.

### *Пуленепробиваемый щит-оригами из кевлара*

Ученые из Университета Бригама Янга создали легкий пуленепробиваемый щит, который может складываться и лучше защитить полицейских от пуль. Щит очень компактный. В сложенном виде его можно легко поместить в багажник автомобиля или даже просто взять с собой. Если потребуется обезопасить себя от пуль, то щит можно быстро разложить.

Чтобы развернуть щит, потребуется всего 5 секунд. Его вес составляет лишь 24 кг, в то время как обычные щиты из твердой стали почти всегда весят больше 50 кг.

Сам щит изготовлен из 12 слоев кевлара. Создавая гибкую структуру из складок, которые можно с легкостью разложить, инженеры ориентировали на схемы мастера рифленого оригами Йоши Йошимура.



Отмечается, что во время проведения испытаний щит доказал свою эффективность и остановил пули нескольких видов ручного огнестрельного оружия. По словам исследователей, щит не смогли пробить 9-мм пистолетные патроны, а также мощные патроны 44 Magnum и 357 Magnum.

Исследователи считают, что их пуленепробиваемый щит могут использовать не только сотрудники правоохранительных органов.

### *Броня из паутины*

Командование Армии США заключило с американской компанией Kraig Biocraft соглашение о проведении испытаний элементов индивидуальной защиты, сделанных из генномодифицированной паутины. Как сообщает Defense One, сумма сделки составила \$100000. Контракт может быть расширен до миллиона долларов, если по результатам первых испытаний паутина в бронежилетах покажет хорошие характеристики [80].

В испытаниях будет использоваться паутина Dragon Silk, выделяемая шелкопрядами, в ДНК которых добавили гены пауков. Kraig Biocraft должна будет сделать из паутины несколько бронепластин для бронежилетов. Они будут делаться из нитей паутины разной длины и толщины. Когда именно планируется провести испытания, не уточняется.

По оценке Kraig Biocraft, паутина может частично заменить кевлар в индивидуальных средствах защиты. Прочность кевлара составляет от трех до 3,7 ГПа, а прочность Dragon Silk - чуть более 2 ГПа. При этом эластичность кевлара составляет 3 %, а паутины – 40 %. Благодаря относительно большой прочности и высокой гибкости спектр применения паутины будет шире, чем у кевлара.

В феврале 2016 года исследователи из Восточно-Китайского университета науки и технологий представили новый способ получения прочных пленок из углеродных нанотрубок. По своей прочности такие пленки несколько превосходят углеволоконные и значительно превосходят кевларовые. Новые пленки можно будет использовать при производстве брони для военных или защиты для спортсменов. По итогам измерений выяснилось, что прочность новой пленки составляет 9,6 ГПа. Для сравнения, прочность пленки из углеволокна составляет 7 ГПа. Кроме того, углеродная пленка получилась в 4 раза более гибкой, чем кевларовая. Она также может растягиваться на 8 % от своей изначальной длины по сравнению с 2 % у кевлара.

### *Новый материал для боевых машин-«невидимок»*

Ученые Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (Москва) изобрели уникальный метаматериал, который позволит создавать боевые машины-«невидимки» по СТЕЛС-технологиям. О своих

разработках ученые рассказали в статье, опубликованной в престижном международном журнале *Physical Review B* в 2017 году.

Метаматериалы – это объекты, которых не существует в природе. Они создаются искусственно и имеют неоднородную структуру, которая позволяет менять направление и свойства электромагнитных волн и управлять свойствами света. С помощью метаматериалов можно, например, в определенном диапазоне электромагнитного излучения делать невидимыми предметы. Благодаря их уникальным свойствам, такие материалы могут использоваться в разработках оборонно-промышленного комплекса, а также для создания сверхмощных компьютеров, в которых электрические сигналы уступают место фотонным.

«Помимо этого, при добавлении нелинейного полупроводника метаматериал станет перенастраиваемым экраном для СТЕЛС-технологий - комплекса способов снижения радиолокационной заметности боевых машин в радио, инфракрасном и других областях спектра», - сообщает МИСиС.

#### *МБР «Тополь-М» из композитов*

Межконтинентальная баллистическая ракета «Тополь-М» на 90 % состоит из композитов, включая конструкции двигателей и головную часть.

РТ-2ПМ2 «Тополь-М» - это ракетный комплекс стратегического назначения, работы над созданием которого начались еще в советский период, но серийное производство было осуществлено уже российскими предприятиями.

«Тополь-М» - это первый образец подобного оружия, созданный уже после распада СССР. Сегодня на вооружении российской армии стоят ракетные комплексы шахтного (15П165) и мобильного (15П155) базирования.



«Тополь-М» - это результат модернизации советского стратегического ракетного комплекса «Тополь», который превосходит его практически по всем основным характеристикам. В настоящее время «Тополь-М» составляет основу российских РВСН. Его разработкой занимались конструкторы Московского института теплотехники (МИТ).

Ракета имеет три ступени и ступень разведения боевых блоков, все они оснащены твердотопливными двигателями. Каждая ступень имеет цельный корпус из композитных материалов (типа «кокон»). Сопла ракетных двигателей также изготовлены из композитных материалов на основе углерода, с их помощью происходит управление полетом ракеты. В отличие от своих предшественников, МБР «Тополь-М2» не имеет решетчатых рулей и стабилизаторов.

«Тополь-М» мобильного базирования установлен на шасси повышенной проходимости с 8 осями. Ракета размещена в высокопрочном транспортно-пусковом контейнере (ТПК) из стекловолокна. Конструктивно ракеты мобильного и шахтного комплексов не имеют различий. Вес одной пусковой установки составляет 120 т, а ее длина – 22 м. Шесть пар колес могут поворачиваться, что обеспечивает мобильному комплексу радиус поворота 18°.

С 2011 года российское Министерство обороны прекратило закупку новых комплексов «Тополь-М», ресурсы были направлены на создание и развертывание межконтинентальных баллистических ракет (МБР) «Ярс» РС-24.

#### *Композиты в истребителях пятого поколения*

«РТ-Химкомпозит» является производителем углепластиковых панелей крыла, фюзеляжа и хвостового оперения истребителя пятого поколения Т-50.

Первый полёт самолёт совершил 29 января 2010 года. Уже в 2013 году началась подготовка производства к выпуску деталей из ПКМ и комплектации опытных изделий истребителя Т-50. В 2013 году началось мелкосерийное производство самолётов этого типа для испытания вооружений. Серийное производство самолёта должно начаться в 2017 году, собираться они будут на КнААЗе, где на данный момент происходит сборка опытных образцов. Серийные поставки ПАК ФА в войска, как ожидается, начнутся в 2017 году, всего военные должны до 2020 года получить 55 истребителей пятого поколения. Первый полет Т-50 с двигателем второго этапа (изделие 30) состоится в 2018 году.

#### *Танк полностью из композиционных материалов*

Проект «невидимого» танка Composite Armored Vehicle (CAV), полностью изготовленного из композиционных материалов.

Нынешние прототипы «невидимого танка» для британской и американской армий четко демонстрируют, что будущее лежит скорее в невидимости, чем в «непобедимости», поскольку современные ракеты могут преодолеть любую защиту танка. Технология «стелс» подобная той, что используется в самолетах, делает его почти невидимым для радара противника, когда радиолокационные лучи скорее поглощаются, чем отражаются. Британский прототип невидимого танка также имеет низкий центр тяжести, он почти ползет по земле для того, чтобы избежать обнаружения.



Опытный образец машины из композитной брони (Composite Armored Vehicle (CAV) ATD) должен был продемонстрировать осуществимость производства легких наземных боевых машин, изготовленных из современных КМ. Проект CAV ATD должен был продемонстрировать широкое применение современных композитов и современной легкой брони на машине

массой 22 т. В этом демонстрационном образце акцент сделан на технологичности, ремонтно-пригодности и прочности конструкции. Конструкция машины и бронирование могут весить, по крайней мере, на 33 % меньше по сравнению с машиной из стальных или алюминиевых сплавов. Оперативные преимущества CAV могут повысить живучесть за счет присущих КМ сниженным признакам заметности касательно внешней формы машины, а также могут повысить подвижность и развертываемость за счет снижения массы самой конструкции и ее системы бронирования [81].

### *Композитные лопасти вертолётов*

В настоящее время американские военные заняты оснащением парка своих вертолетов углеродно-волоконными композитными (карбоновыми) лопастями, так как эти новые материалы обладают повышенным сроком службы, хорошо переносят повреждения, у них отсутствуют проблемы с коррозией, и они обладают высокой надежностью.

Крайним военным вертолетом, оборудованным композитными лопастями, стал Boeing AH-64D Апачи Блок III. В Форт-Ирвине, штат Калифорния, Апачи Блок III прошел первоначальные эксплуатационные испытания и оценки, продемонстрировав тем самым новые технологии и их возможности.

Одним из ключевых аспектов этих возможностей является повышение летно-технических характеристик и надежности главного ротора с лопастями из углеродного волокна, однако, по мнению руководителя программы Апачи Блок III подполковника Даниэля Бэйли (Daniel Bailey), использование таких материалов вряд ли остановится только на лопастях.

Хотя такой важный летный компонент как лопасти может показаться странной отправной точкой для внедрения новых технологий, но именно здесь в последние годы американские военные оттачивали свои навыки в композитных материалах. Бэйли указывает на то, что эти материалы будут широко представлены на американских военных «вертолетах завтрашнего дня»: «Следующим шагом станут композиты в фюзеляже, и мы уже идем по этому пути».

Апачи также получит новый хвостовой ротор примерно в следующем году. Вне зависимости от процесса Блок III, «наша программа композитных хвостовых роторов продолжается. Это параллельная программа Блок III, - объяснил Бэйли. - Мы находимся на заключительной стадии квалификации, но нам ещё предстоит провести множество летных испытаний. Вероятно, уже через год Апачи будет оснащен такой системой». Новые хвостовые лопасти также будут установлены на модернизированные модели Блока II. Эта замена традиционных лопастей несущего и рулевого винтов происходит благодаря устареванию некоторых технологий. Эти лопасти, первое использование которых датируется 1970-ми годами, уже не были полностью металлическими. На вертолетах AH-64A и D Блок I и II для лопастей несущего и рулевого винтов используется композит из металла и стекловолокна.

В машиностроении композитным принято считать материал или структуру, состоящую более чем из одного элемента. Лопасти Апачи сделаны из экзотических сплавов в виде нержавеющей стали марки AM 355. Инженеры Boeing использовали различные многотрубчатые конфигурации AM 355, ламинированные и связанные вместе с трубками из стекловолокна в качестве препятствия распространению трещин, что придавало конструкции достаточно прочности для удовлетворения армейским требованиям по живучести. Эта сложная конструкция также является дорогой.

Нынешние композитные лопасти основного и хвостового винтов, представленные на Блоке III и его параллельной программе, состоят из углеродного волокна в полимерной матрице, именно это обычно имеют в виду, когда говорят о композитах. Углеродные волокна демонстрируют улучшения в том, как они изготовлены и как они функционируют. «По средствам изменения ориентации волокон и количества слоев и наполнителей вы можете довести композитные

лопасти до уровней, которые были недостижимы с металлами. По сути, вы можете изготовить лопасть с точки зрения её крутки, её аэродинамического профиля или функции хорды, оптимизируя её летные характеристики», - объяснил главный инженер вертолетных программ Боинга.

В композиционных материалах из углепластика слои из волокон часто расположены поочередно друг к другу под прямым углом. Правильно выбирая направление волокон в этих слоях, можно добиться необходимых характеристик в конкретных направлениях и областях.

«Преимущества заключаются в прочности материала и в том факте, что при равной прочности можно обеспечить до 30% снижения веса (по сравнению с металлокомпозитами). При одинаковом весе он обеспечивает гораздо более высокую жесткость. Но обычно мы говорим об уменьшении веса», - сказал Даниэль Кагнател (Daniele Cagnatel), вице президент современных композитных материалов GKN Aerospace North America. Компания поставляет фирме Сикорский современные углеродные волокна для лопастей основного ротора вертолета Black Hawk.

Кроме улучшения жесткости и прочности, Шиблер указывает и на экономическую выгоду: «Мы производим лопасти по сравнительно низкой закупочной стоимости, а также с низкими эксплуатационными расходами и более выгодной ремонтпригодностью». Фирма Сикорский производит лопасти несущего и рулевого винтов с использованием лонжеронов из графитной смолы, оплетенных стекловолокном или углеродным волокном. Алан Валинг (Alan Walling), генеральный директор композитных лопастей Сикорского, сказал: «Сикорский способен производить полностью композитные лопасти несущего винта всего за треть времени, необходимого для производства металлических лопастей. При производстве композитных лопастей остается значительно меньше химических отходов. Это происходит потому, что металлические лопасти требуют травления в кислотной ванне для обеспечения необходимых летно-технических характеристик лопастей в течение долгого времени».

Выбор лопастей несущего винта Апачи Блок III, изготовленных из углеродного волокна, начался с программы Affordable Apache Rotor Program (AARP). В 2004-ом году Boeing завершила испытания лопастей в рамках программы AARP, доказав, что новые лопасти будут дешевле, прочнее и, с точки зрения усталостной долговечности, смогут служить в два раза дольше по сравнению с существующими металлическими лопастями. Бейли пояснил, что в 2006-ом году лопасти AARP были удлинены на 15 см для повышения летно-технических характеристик, а в 2008-ом году они были испытаны на Apache, в то время как квалификация лопастей Блок III была завершена в 2011-ом году.

«Композитные лопасти несущего винта для программы Апачи Блок III в настоящее время находятся в производстве. Мы изготавливаем около 20 лопастей в месяц и в ближайшее время нарастим их производство до 40 и до 60», - сказал Шиблер.

Армия приступила к разработке композитной хвостовой балки вертолета Black Hawk с целью снижения её веса, однако в настоящее время особый акцент делается на создании полностью композитного цельноповоротного стабилизатора, включающего внутренние компоненты. "Мы намерены сделать полностью

композитный цельноповоротный стабилизатор для значительного уменьшения веса в области вертолета, имеющей основное воздействие на центр тяжести вертолета".

Скорее всего, к 2019-му году лопасти из углеродного волокна потребуют более сложного подхода для достижения дальнейшего улучшения летно-технических характеристик. Промышленность сходится во мнении, что лопасти не будут состоять только из углеродного волокна. Кагнателъ считает, что в них будут встроены датчики, способные следить за состоянием лопастей и позволяющие более точно прогнозировать срок их службы [82].

### **3.1.8. Применение КМ в станкоинструментальном машиностроении**

В настоящее время значительно возросли требования к точности и скорости обработки на металлорежущих станках, а также к качеству обрабатываемой поверхности. Это обусловлено повышением уровня технических требований к продукции машиностроения, возможностями новых инструментальных материалов, а также автоматизацией станков, позволяющей повысить интенсивность их работы.

Проблема обеспечения соответствующего технического уровня и экономичности производства станков является составной частью общей проблемы технологии машиностроения и должна рассматриваться в органичной взаимосвязи со всеми ее элементами от заготовительного производства до сборки и испытаний готовых машин. В частности, для эффективного решения проблемы необходимы конструкционные материалы принципиально нового технического уровня с сочетанием различных эксплуатационных свойств (механических, физических, триботехнических и др.) Особое значение приобрели также технологические свойства материалов как объектов автоматизированной обработки.

Для прогресса в области материалов и технологий формирования их эксплуатационных свойств характерны два общих направления:

- совершенствование традиционных материалов и технологических процессов с целью повысить их эксплуатационные свойства, технологичность и экономичность, а также максимально приспособить к конкретным условиям применения ( при этом на основе последних достижений науки удается разрешить давние противоречия между эксплуатационными и технологическими свойствами материалов );

- создание принципиально новых материалов, таких как конструкционная керамика ( оксидная, нитридная и др. ), композиционные материалы (компози́ты) на основе высокомодульных волокон ( в частности, углеродных ), композиты на основе дискретных наполнителей (например, гранитной крошки ) и другие.

Одним из таких материалов является минерал-полимерный композит, который широко осваивается в станкостроении промышленно развитых стран. Минерал-полимерный композит (МПК) или полимерный бетон принципиально отличается от традиционного цементного бетона связующим материалом, а именно полимером вместо цемента. Фирменные названия МПК в станкостроении - гранитан, синтегран и другие.

В состав МПК в качестве наполнителя входит крошка твердокаменных пород (гранита или габродиабаза) нескольких фракций по закону плотной упаковки и полимерное, в данном случае эпоксидное, связующее холодного отверждения.

Из приведенных данных следует, что МПК и гранит имеют свойства одного порядка. Однако МПК значительно превосходит гранит по технологическим возможностям формообразования деталей. Свойства МПК и чугуна различаются радикально и оценивать их нужно, как любого конструкционного материала, применительно к конкретной области применения, в данном случае - к станкостроению. Прочностные свойства МПК на порядок меньше, чем чугуна. Однако, как известно, базовые детали станков рассчитываются на жесткость, а не на прочность. Поэтому эксплуатационные нагрузки в них не превышают 5...10 % прочности чугуна. Зато демпфирующая способность МПК в 5 раз выше, чем чугуна. Модуль упругости и плотность МПК в 3 раза меньше, чем чугуна. В результате, при прочих равных условиях, детали из МПК и чугуна могут иметь, примерно, одинаковую массу. Теплопроводность МПК на 1,5 порядка меньше, чем чугуна, что

обеспечивает его высокую термостабильность в условиях кратковременных колебаний температуры.

Преимуществом МПК является также высокая коррозионная стойкость.

Применение МПК для базовых деталей станков обеспечивает существенное повышение их технического уровня:

- повышение точности и чистоты обрабатываемых поверхностей;
- повышение стойкости режущего инструмента, особенно керамического;
- повышение производительности обработки.

Технология производства деталей из МПК относительно проста и включает следующие основные операции:

- подготовка щебня, его рассев по фракциям и подача в смеситель через дозаторы;
- смешивание щебня с полимерным связующим;
- заливка смеси в форму, в которой закреплены металлические закладные элементы детали;
- виброуплотнение смеси в форме;
- выдержка в форме 10...15 часов и извлечение детали из формы.

Значительная экономическая эффективность непосредственно производства деталей из МПК по сравнению с чугунными отливками достигается за счет таких основных факторов, как снижение трудоемкости, экономия энергетических ресурсов, сокращение производственных площадей, снижение загазованности и запыленности.

Однако есть и дополнительные затраты, связанные с изготовлением закладных металлических элементов, с использованием более дорогих полимерных материалов и другими факторами.

В итоге общий баланс таков, что себестоимость деталей из МПК и чугунных отливок одного порядка. Поэтому главным преимуществом МПК по сравнению с чугуном безусловно является возможность повышения технического уровня станков.

Швейцарская фирма «Штудер», первой освоившая производство станин шлифовальных станков из полимерного бетона, обеспечила высокую конкурентоспособность своих станков и кроме того получает значительную прибыль (порядка 30 % всей прибыли фирмы) от производства деталей из полимербетона для сторонних заказчиков.

Таким образом, на основе всего изложенного можно заключить, что МПК является весьма перспективным конструкционным материалом для станкостроительной отрасли промышленности [83].

Во всем мире растет спрос на высокоточное оборудование. Высокая точность достигается высококачественным изготовлением основных узлов, самыми передовыми системами измерения и позиционирования. Поэтому очень важна жесткость станка и снижение температурных деформаций, которые влияют на точность изделия и качество его обработки. Для повышения жесткости применяют специальные материалы для станин – например, чугун марки Meehanite или полимерный бетон Mineralit, обладающие высокими демпфирующими свойствами. Также, для снижения вибраций, заполняют пустоты в станине песком или специальными полимерными составами. Другое направление повышения жесткости

обработки – использование специальных, высокоскоростных оправок с трехплоскостной системой контакта (например, 3LockSystem фирмы Nikken).

### *Режущие свойства инструментов из композитов*

Многочисленные примеры свидетельствуют о преимуществах композитов перед всеми известными и применяемыми в настоящее время инструментальными лезвийными материалами. Можно определить основные области применения композитов: финишная обработка закаленных деталей, в том числе при прерывистом резании; чистовое точение как подготовительная операция под последующую финишную обработку; чистовая обработка поверхностно закалённых материалов с мягкой сердцевиной.

Совокупность физико-механических и химических свойств, результаты экспериментальных исследований и практика промышленного использования убедительно свидетельствуют о высокой работоспособности композиционных инструментальных материалов.

Несмотря на широкое разнообразие, эти материалы практически не создают между собой конкуренции, успешно дополняют друг друга, имеют собственную область применения, определяемую условиями резания.

Композиты становятся незаменимыми на операциях чистовой и отделочной обработки точением, растачиванием, торцовым фрезерованием точных поверхностей любой конструктивной сложности. Особые режущие свойства композиционных инструментальных материалов дают возможность их применения в условиях автоматизированного производства.

По данным отечественных и зарубежных исследований, в частности фирмы «De Beers Industrial Diamond», существует четыре основные группы материалов, эффективно обрабатываемые модификациями кубического нитрида бора: отбеленный чугун (легированный никелем или хромом), белый чугун, HRC..65; закалённые стали и детали с поверхностной закалкой, HRC..65; некоторые упрочняемые сплавы, HRC38; некоторые марки серого чугуна, HB..220.

Композиты 01 и 02 применяют для тонкого и чистового точения (преимущественно без удара) деталей из чёрных металлов любой твёрдости; композит 03 - для предварительного и окончательного точения чугунов любой твердости; композиты 05 и 06 - для чистового и получистового точения без ударных нагрузок закалённых сталей и чугунов любой твёрдости, для торцового фрезерования чугунов; композит 10 - для предварительного и окончательного точения (растачивания) с ударом и без удара сталей и чугунов любой твёрдости, для торцового фрезерования закаленных сталей и чугунов, твёрдых сплавов группы ВК.

Рост производства и применения лезвийных режущих инструментов из синтетических сверхтвёрдых материалов объясняется расширением области использования таких инструментов за счёт следующих факторов: а) автоматизация процессов резания и внедрения высокоскоростного и сверхскоростного резания до 10000 м/с; б) увеличения объёмов использования труднообрабатываемых материалов; в) внедрения экологически чистых процессов обработки и применения смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ).

Промышленный выпуск больших монокристаллов (диаметр пластин до 20 мм, толщина 5 мм и более) нормальной точности U и особо высокой точности F обеспечивает возможность изготовления резцов, фрез и других инструментов для скоростного резания закалённых сталей до HRC 50...55, серых и высокопрочных

чугунов, что позволяет изменить традиционное содержание технологических процессов, открывает перспективы замены операций шлифования на лезвийную обработку композитами.

Эффективное использование инструментов из композитов достигается на высокоточных скоростных станках с частотой вращения шпинделя 4000 об/мин и небольших продольных подачах 0,10...0,01 мм/об.

Такое оборудование должно обладать достаточной жёсткостью, поскольку резание инструментами из композитов сопровождается относительно большими силами резания. Вибрации оборудования не допускаются, так как это не только ухудшает шероховатость обрабатываемой поверхности, но в ряде случаев является причиной выкрашивания режущих кромок.

Высокая стойкость и относительно малый износ инструментов из композитов имеют особо важное значение при обработке на автоматизированных токарных станках, так как число замен инструментов сокращается, а размеры обрабатываемой детали выдерживаются без частого вмешательства оператора. Если загрузка и выгрузка деталей осуществляется роботом, то инструменты, оснащённые модификациями КНБ, вполне пригодны для обработки в условиях безлюдной технологии.

Однако за относительно большой период исследования и промышленного использования композитов возникла противоречивость некоторых данных отечественных и зарубежных авторов, рекомендаций по выбору геометрических параметров режущей части инструментов, режимов обработки, назначению рациональной марки композита, что создаёт определенные трудности в практической деятельности и стимулирует дальнейшие научные исследования в этой области знаний.

#### *Синтетические сверхтвердые и керамические материалы*

Эффективность обработки заготовок на автоматических линиях, станках с ЧПУ, многоцелевых станках, в гибких производственных модулях и системах в значительной степени зависит от материалов режущей части инструментов. Высокая эффективность работы этих систем обеспечивается применением новых сверхтвердых материалов и керамики.

В настоящее время инструментальная промышленность выпускает материалы на основе нитрида бора (композиты) и на основе оксида алюминия (керамика). Существует большое разнообразие сверхтвердых материалов (СТМ) на основе плотных модификаций нитрида бора. Группы СТМ различаются технологией производства, структурами и физико-механическими свойствами.

СТМ на основе фазового превращения графитоподобного нитрида бора в кубический. Производят композит 01 (эльбор) в композит 02 (белбор). Применяют для тонкого и чистового точения резцами в условиях безударной нагрузки и торцового фрезерования закаленных сталей и чугунов любой твердости, твердых сплавов с содержанием кобальта более 15 %.

СТМ на основе частичного или полного превращения вюрцитного нитрида бора в кубический. Производят композит 01 (гексанит-Р) и модификации композита 09-ПТНБ (поликристалл твердого нитрида бора), ПТНБ-ИК и др. Гексанит-Р и пластины из композита 10Д (композит 10 на подложке из твердого сплава) применяют для предварительного и окончательного точения и торцового фрезерования сталей и чугунов любой твердости, твердых сплавов в условиях

безударной или ударной динамической нагрузки (наличие на обрабатываемой поверхности отверстий, пазов, ребер).

СТМ на основе спекания частиц кубического нитрида бора (КНБ). Производят композит 05, киборит и ниборит. Используют следующие технологии изготовления: вдавливание частиц КНБ в металлическую матрицу; спекание зерен КНБ с зернами связки; спекание в условиях химического взаимодействия зерен КНБ со связкой. Композит 05 применяют для предвари-тельного и чистового точения и торцового фрезерования закаленных деталей из чугунов любой твердости с наличием поверхностной литейной корки.

Инструментальные керамические материалы можно разделить на группы, различающиеся химическим составом, методом производства и областями рационального использования.

Оксидная «белая» керамика, состоящая из  $Al_2O_3$  с легирующими добавками  $MgO$ ,  $ZrO_2$  и др. Марки керамики: ЦМ332, ВО-13. Применяют для чистовой и получистовой обработки незакаленных сталей и серых чугунов со скоростями резания до 15 м/с.

Оксидно-карбидная «черная» керамика, состоящая из  $Al_2O_3$  (до 60 %),  $TiC$  (20...40 %),  $ZrO_2$  (20...40 %) и других карбидов тугоплавких металлов. Марка керамики ВОК-60. Применяют для чистовой и получистовой обработки ковких, высокопрочных и отбеленных модифицированных чугунов и закаленных сталей.

Керамика на основе нитрида кремния с легированием оксидами иттрия, циркония, алюминия. Марка силинит-Р, получаемая способом горячего прессования. Применяют для получистовой обработки чугунов.

Основным направлением конструирования инструментов из СТМ и керамики является создание резцов и фрез с механическим креплением цельных и двухслойных круглых и многогранных режущих пластин [84].

### **3.2. Применение КМ в качестве защитных покрытий**

Антикоррозийная защита – важнейший фактор поддержания промышленных конструкций и сооружений в рабочем состоянии на долгие годы. Особенно остро проблема коррозии стоит в горнодобывающем и перерабатывающем секторах промышленности, где химически агрессивные рудное сырье и его растворы при транспортировке в думпкарах, по трубопроводам быстро разрушают металлические поверхности.

Зачастую традиционные технологии уже не обеспечивают желаемой эффективности защиты. В этом случае, как показывает успешный опыт ГК «Возрождение», занимающейся разработкой и производством полимерных покрытий и композиционных материалов, наиболее верный путь – внедрение новых перспективных разработок и инноваций. В машиностроении КМ широко применяются для создания защитных покрытий на поверхностях трения.

Стратегия деятельности компании основана на принципе тесного взаимодействия с потребителем продукции – предприятиями нефтяной, горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, поскольку, сталкиваясь с проблемой «лицом к лицу», больше шансов найти действительно результативное техническое решение. На сегодняшний день такими партнерами являются ОАО «Сильвинит», ОАО «Уралкалий», ОАО «Соликамский магниевый завод», сталкивающиеся в своем повседневном производственном процессе с проблемой коррозии.

В ходе сотрудничества с ОАО «Уралкалий» выяснилось, что перевозка сыпучих материалов (руд) в открытых транспортных средствах часто сопровождалась эффектом их слёживания и залипания к днищу, что значительно увеличивало время и трудозатраты разгрузки.



Так, после перевозки калийной руды от шахты до обогатительной фабрики при разг-рузке в вагоне-думпкаре оставалось до 7 т слеживавшегося продукта, что увеличивало срок разгрузки с нормативных 11 мин. до нескольких часов. На фото видно залипание руды на днище вагона-думпкара.

Специалистами предприятия разработана специальная система защиты днищ вагонов-думпкаров, которая позволяет исключить эффект залипания руды и обеспечить ритмичную разгрузку вагонов в нормативное время. При выгрузке руда из думпкаров с днищами, покрытыми ПМ, высыпается как горох. Испытания опытной партии вагонов показали отличные результаты и поэтому в ближайшее время будет переоборудован весь парк вагонов-думпкаров на ОАО «Уралкалий».

Еще одна серьёзная технологическая проблема горнодобывающей отрасли - подверженность оборудования для обогащения (флотации) калийной руды воздействию химически агрессивной среды, гидромеханической смеси кристаллов  $KCl$  и  $NaCl$ , поскольку оно работает в контакте с пульпой, что вызывает эрозионный износ материала. Срок службы такого оборудования из стали составляет, в зависимости от его места в технологической цепи, от 6 мес. до 2 лет, что приводит к плановым остановкам обогатительных фабрик сроком до 1 месяца 2 раза в год.



Изделия из КМ устойчивы к солям, большой гамме кислот и щелочей (что продляет срок их службы), конструкции в 3...5 раз легче металлических, а это дает возможность достигать солидной экономии при монтаже. На фото представлены дефлекторы: из композита (слева) и старый стальной (справа).

Тот факт, что полимерные покрытия и КМ ГК «Возрождение» действительно способствуют продлению срока службы оборудования, задействованного в жестких агрессивных средах, подтверждается не только реальным опытом и отзывами заказчиков, но и дипломами и наградами инновационных форумов. Предприятие награждено золотой медалью VIII Московского международного салона за разработку комплексной системы внедрения оборудования из КМ в процессе обогащения калийной руды, медалью IX международного форума «Высокие технологии XXI века» за создание производства по изготовлению и ремонту вагонов-хопперов с использованием композиционных материалов, дипломов Российского союза промышленников и предпринимателей за производство и

организацию системы защиты кузовов транспортных средств от заливаний сыпучих материалов.

Сегодня ГК «Возрождение» образовано из 12 предприятий разных направлений деятельности, которые специализируются на производстве изделий из полимерных и композиционных материалов, металла, древесины и других материалов; выполнении проектирования и предоставлении полного комплекса инженеринговых услуг; производит ремонтно-строительные, монтажные, гидроизоляционные и др. работы.

*Защитные покрытия технологического оборудования при производстве калийных удобрений*

Технологическое оборудование для переработки калийных солей флотационным способом работает в контакте с пульпой и при длительном воздействии подвержено интенсивному износу. Так некоторые узлы и элементы этого оборудования изготовленные из стали уже через 9...12 месяцев эксплуатации изнашиваются настолько, что их приходится заменять новыми.

Современные разработки по новым материалам и технологиям позволяют решать подобные проблемы, заменяя традиционно используемые стали на композиционные материалы или защищая их стойкими покрытиями. Высокие физико-механические свойства, коррозионная и химическая стойкость конструкционных композитов и защитных покрытий обеспечивают значительное увеличение срока службы технологического оборудования.

Данные исследования касаются защитного покрытия и ставят своей целью определение степени воздействия пульпы на его физико-механические характеристики. В качестве покрытия взят композиционный материал на основе эластичного полимера. Он является одним из эффективных защитных материалов, стойких как к воздействию агрессивных сред, так и гидроабразивному износу. Была изготовлена пластина с размерами 300x400 мм, толщиной  $h = 3,0...3,5$  мм. Из нее вырезали различные по форме и размерам образцы, соответствующие определенным видам испытаний. Пульпа представляла собой двух фазную среду: насыщенный водный раствор солей KCl, NaCl и твердые частицы этих солей.

Из результатов следует, что покрытие поглощает воду более интенсивно, чем насыщенный водный раствор солей. Наиболее интенсивное набухание происходит в первые десятки часов, далее этот процесс постепенно затухает и примерно к 10 суткам экспонирования образцы подходят близко к насыщенному состоянию. Максимальные значения 2,2% и 1,2% соответствуют полному насыщению материала водой и раствором солей. Разницу в максимальных показателях можно объяснить разницей плотностей и вязкостей данных жидкостей. Поглощение покрытием жидкостей, особенно таких агрессивных как раствор солей, будет отражаться на его физико-механических характеристиках.

При определении модуля упругости и прочности покрытия пользовались методикой изложенной в «ГОСТ 270-75. Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении». ГОСТ регламентирует форму образцов, методику испытаний, расчетные формулы. Были подготовлены 2 группы образцов в форме 2-х сторонних лопаток: 1-я группа - исходные образцы, 2-я группа - образцы экспонированные в течение 1,5 месяцев в насыщенном растворе солей. Испытания проводили на машине Р-5, при силовой шкале 0...250 кгс. Чтобы исключить выскальзывание образца из захватов, перед закреплением на его концы

накладывали с обеих поверхностей крупнозернистую наждачную бумагу в виде полосок размером 45x30 мм.

Из результатов испытаний и расчетов видно, что от воздействия раствора солей у композита снижаются прочность и модуль упругости. Это безусловно будет сказываться на износостойкости защитного покрытия.

Таким образом, результаты исследований позволяют оценить степень влияния технологического контакта пульпы на физико-механические свойства покрытия. Полученные данные необходимы для прогнозирования износостойкости технологического оборудования работающего в контакте с соляной пульпой. Используемые при этом расчётные формулы включают в качестве параметров в том числе и физико-механические характеристики материала покрытия [85].

В нефтяной и газовой промышленности наибольшее применение в качестве защитных покрытий получили силикатные (стекло, стеклоэмаль) и полимерные (эпоксидные смолы, полиэтилен) материалы.

Силикатные покрытия наносят либо путем непосредственного контакта поверхности трубы с расплавом стекломассы, либо напыляют в виде порошка-шликера. Полимерные покрытия получают нанесением на трубы лакокрасочных материалов, порошковых материалов, находящихся в состоянии расплава и методом футерования.

Лакокрасочными называют материалы для получения покрытий, представляющие собой растворы, дисперсии и порошки. Основным их компонентом является пленкообразователь (эпоксидный, полиуретановый, каучуковый, фторопластовый и др.). Кроме того, в состав материала покрытия входит ряд других компонентов, от которых зависит прочность, пластичность, сплошность, прилипаемость и другие свойства покрытия (пигменты, наполнители, пластификаторы, отвердители, добавки для улучшения смачивания и растекания по поверхности, прочие).

Порошкообразные материалы, применяемые для получения защитных покрытий, также представляют собой смесь пленкообразователей с необходимыми компонентами (пигменты, пластификаторы, стабилизаторы, отвердители и др.). Пленкообразование из порошкообразных материалов происходит в результате оплавления порошка на поверхности изделия.

Использование порошков позволяет получить однослойные сравнительно тонкие беспористые противокоррозионные покрытия, устойчивые к механическим повреждениям. При их применении сокращается цикл окраски, снижается процент брака по сравнению с материалами на основе органических растворителей, уменьшается расход материала и энергии, а также загрязнение окружающей среды, снижается стоимость покрытия.

Находят также применение гранулированные полимерные материалы, которые наносят на поверхность труб в виде расплава.

Технология футерования труб основана на предварительном протаскивании полиэтиленовых оболочек через обжимающую фильеру, что приводит к временному уменьшению их диаметра. После свободного введения деформированной оболочки внутрь трубы за счет эффекта «памяти» оболочка восстанавливает свою форму, чем обеспечивается ее плотное прилегание к металлу в последующем.

Дополнительное закрепление оболочки по концам трубы осуществляется специальными наконечниками, одновременно обеспечивающими возможность сварки стальных труб без нарушения целостности полиэтиленового покрытия.

Трубы, футерованные полиэтиленом, сочетают в себе химическую стойкость полиэтилена и механическую прочность стали, что позволяет резко увеличить срок службы промышленных трубопроводов. Технология футерования высокопроизводительна, не требует специальной подготовки поверхности труб.

### 3.3. Применение КМ в товарах широкого потребления

Товары повседневного спроса (ширпотреб, сокр. от широкое потребление, также FMCG - англ. Fast Moving Consumer Goods) - общее название для товаров повседневного потребления (особенно продуктов лёгкой и пищевой промышленности) широким кругом покупателей, которые стоят относительно дёшево и быстро продаются. С точки зрения экономики, ширпотреб - это товары массового потребления, функционального назначения, не отличающиеся по своему оформлению, не придающие уникальность покупателю, одинаковые по фасону.

К товарам широкого потребления обычно относят: железобетон - один из старейших и простейших композиционных материалов, удилица для рыбной ловли из стеклопластика и углепластика, лодки из стеклопластика, автомобильные покрышки, металлокомпозиты.

Железобетон – строительный композиционный материал, состоящий из бетона и стали. Запатентован в 1867 году Жозефом Монье как материал для изготовления кадок для растений.

*Макрогетерогенный металлокомпозит* или ММС (англ. metal matrix composit) – материал, разработанный в лаборатории компании 3 Victoria Engineering в 1990 году.

В настоящее время в результате оригинального решения задач триботехники и металловедения – создан, не имеющий аналогов, макрогетеро-генный металлокомпозит (авторское название – ММС ) с комплексом неординарных физико-механических свойств.

ММС представляет собой материал, полученный путем жидкофазного совмещения матрицы – основы (медный сплав) и армирующего компонента – наполнителя (металлические гранулы). Присутствие армирующего компонента, распределенного в матрице по определенной схеме, предотвращает преждевременную пластическую деформацию материала при его избыточном нагружении. Заданный состав и целенаправленно сформированная структура материала обеспечивают самоорганизацию поверхности нагруженного контакта и энергетического синергизма посредством согласованного взаимодействия матрицы и наполнителя.

Безизносный режим работы изделий является следствием свойств поверхности с чередующимися «твердыми» и «мягкими» участками для упруго-эластичной передачи функциональной нагрузки и демпфирования ударно-вибрационных воздействий. Самосмазывание контактирующей поверхности изделий обусловлено присутствием специфического субстрата – «третьего тела» (результат динамического взаимодействия), состоящего из продуктов износа матрицы и частиц внешней среды. При этом обеспечивается:

- жидкостно-подобный режим трения при низких скоростях перемещения;
- постоянное наличие смазывающего субстратного слоя;
- увеличение фактической площади контакта.

#### *Применение стеклопластика*

Стеклопластики – это КМ, в состав которых входит синтетическая полимерная матрица и наполнитель в виде стеклянных волокон. Характерными чертами данного материала является высокая степень прочности при низкой теплопроводности и плотности. Также он достаточно стоек к коррозии, химическому разрушению и атмосферным явлениям.

По своим свойствам стеклопластик (стеклокомпозит) в сравнении с металлами обладает рядом важных характеристик: коррозионная стойкость; высокая удельная прочность; легче стали в 3...4 раза; низкая теплопроводность; является диэлектриком.

Самыми прочными и жесткими стеклопластиками являются те, что состоят из непрерывных волокон. Подобные стеклопластики подразделяются на два вида: однонаправленные и перекрестные. Первый вид содержит в себе расположенные параллельно друг другу волокна. Что касается второго, то у него под определенным углом эти волокна пересекаются.

Данный материал можно получить методом горячего прессования стеклянных волокон и синтетических смол. Последние имеют множество видов, используемых в создании стеклопласта. Но больше всего распространены такие смолы, как эпоксидные, полиимиды и полиэфирные.

Стеклопластик широко применяется в судостроении, автомобилестроении, авиастроении и космонавтике как теплозащитный материал. Также он весьма распространен в радио- и электротехнике. Стеклопластик обладает дополнительным рядом достоинств, что предполагает большую перспективу для него. Так, малый удельный вес этого материала удобен в производство автомобильного и городского транспорта. Также стеклопластик может прекрасно использоваться для электроизоляции. Кроме того, стеклопластики можно покрасить в какой угодно цвет, что придаст конструкции красивый внешний вид.

Стеклокомпозитные конструкции по сравнению с деревянными имеют намного более продолжительный срок службы и невероятно низкий уровень водопоглощения. Кроме этого, стойкость к воздействию постоянных атмосферных явлений (ультрафиолет, осадки, влажность, перепад температур) позволяет десятилетиями сохранять эстетический внешний вид стеклопластиковых конструкций. Это достигается за счет добавления в микс связующего не только пигмента в соответствии с цветовой схемой, но блокирующих УФ фильтров.

Пигментирование связующего с защитой от УФ излучения полностью исключает затраты на нанесение защитных покрытий и расходы на эксплуатацию. Компания «Флотенк» предлагает использовать различные виды сечений композитных профилей аналогичных металлическим, такие как: трубы (квадратные, прямоугольные, круглые), уголки, швеллеры, балки двутавровые, пластины, стержни. Также в производственной линейке компания может предложить специализированные сечения: поручень, рифленая труба, акустический профиль, сплошной настил, профилированный настил.

Ниже нами приводятся примеры применения стеклокомпозитного материала в товарах широкого потребления

#### *Стеклопластик в городской инфраструктуре*

Способность выдерживать большие нагрузки, эстетический внешний вид, низкая теплопроводность, и любые цветовые решения дают возможность применять стеклопластик в обустройстве парковых зон, улиц, проезжих частей, в оборудовании причалов, пешеходных мостиков и пр. [86].

*Профилированный композитный настил* используется для перекрытия или покрытия путем укладки на опоры для сооружения пола, кровли, переходов, мостиков, площадок и т.д. Конструктивно профилированный настил собирается из

профилей трех видов. Основным несущим элементом является профиль I-образного сечения, скрепленный параллельно при помощи композитных стержней и втулок.

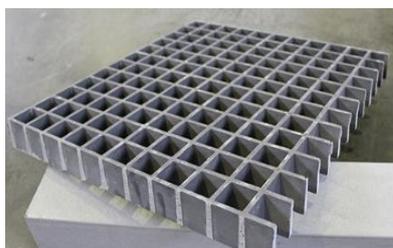
*Композитный решетчатый настил* изготавливается методом литья. Легкие и недорогие, жаро- и химстойкие, не уступающие по прочности и долговечности металлу стеклопластиковые настилы набирают всё большую популярность.

*Сплошной настил* из композитного материала изготавливается при помощи технологии пултрузии и представляет собой монолитную пластину, усиленную с нижней стороны ребрами жесткости. Торцевая кромка настила имеет специальную форму, позволяющую стыковать профиль жестко в «замок». Применяется для перекрытия или покрытия путем укладывания на опоры для сооружения пола, кровли, переходов, мостиков, площадок и т.д.

Для повышения безопасности и износостойкости возможно нанесение на рабочую поверхность настила противоскользящее (корундовое) покрытие.



Профилированный  
композитный настил



Композитный  
решетчатый настил



Сплошной композитный  
настил



*Пешеходные переходы из стеклопластика*

Осуществляется изготовление лестничных пролетов, переходных, промежуточных и опорных площадок, пешеходных переходов.



*Навесы из стеклопластика*

Стеклопластиковые панели подойдут для создания навесов и стропильных конструкций. Крепить такие конструкции очень легко при помощи болтового, заклепочного или клеевого соединения.



### *Уличные и пожарные лестницы из стеклопластика*

Важную роль играет отсутствие скользящей поверхности, что существенно снижает риск травматизма при спуске и подъеме по лестнице.

### *Игровые детские площадки из стеклопластика*

За счет введения в связующее пигмента любого цвета, изделия из стеклопластика имеют привлекательный вид и не требуют повторного окрашивания.

### *Стеклопластик в транспортной инфраструктуре*

Применение стеклокомпозитных материалов в условиях активного развития транспортных сетей закладывается в новых проектах и набирает широкую практику применения. Коммуникационные и пешеходные переходы, перроны, мосты, перильные ограждения, пандусы, лестницы, каркасы сооружений, опоры и фермы, шумозащитные экраны. Всё это далеко не полный перечень применения стеклокомпозитных материалов.

### *Перроны из стеклопластика*

Модульная перронная система является элементом инфраструктуры и может быть использована при строительстве новых и модернизации существующих железнодорожных перронов. Система предполагает использование конструкции и технологии, обеспечивающих сокращение сроков и стоимости строительства перронных сооружений без применения тяжелой строительной техники.

### *Дорожные перильные ограждения из стеклопластика*

Композитные перильные ограждения используются для обеспечения безопасности движения на автомобильных дорогах, на путепроводах, мостах, опасных зонах, лестничных пролетах и т.д. Предлагаются рамные или рейлинговые дорожные ограждения, а также изготавливаются различные барьеры.



### *Дорожные ограждения*

Уровень удерживающей способности ограждений устанавливается с учетом степени сложности дорожных условий. Несущая способность перильных ограждений ТМ Флотенк – 450 кгс. По ГОСТ 52289-2004 - 127 кгс, по ГОСТ 25772-83 - 150 кгс, по ГОСТ Р ИСО 14122-3-2009 - 150 кгс.

### *Шумозащитные экраны из стеклопластика*



Шумозащитные экраны снижают уровень шума, который исходит от автомагистралей, примерно на 5...10 децибел, т.е. уровень звука уменьшается в 2 раза. Производятся шумозащитные ограждения, выполненные из непрозрачного профиля с наполнением. Чтобы собрать шумозащитный экран, используется звукоизолирующий про-филь, имеющий особую форму, которая позволяет устойчиво укладывать профили один на другой.

### *Остановки и навесы из стеклопластика*

Люди проводят определенное время в ожидании транспорта. Учитывая переменчивость погодных условий, остановочные станции должны быть изготовлены из материалов, не поддающихся воздействию внешних факторов. Таким материалом является стеклокомпозит.



Каркас, навесы и даже скамейки остановочных комплексов выполнены из композитного профиля. Невосприимчивость к низким и высоким температурам позволит применить этот материал во всех регионах нашей страны, а также при любых климатических условиях.

### *Стеклопластик в аграрно-промышленном комплексе*

Улучшение показателей по критериям горючести и токсичности открывает возможности по использованию в аграрно-промышленном комплексе стеклопластиковых материалов. Они применяются в качестве элементов конструкций для зданий сельскохозяйственного назначения, молочных и мясных комбинатов, консервных заводов, рыбоперерабатывающих предприятий, зон содержания животных (например, свиноводческих комплексов). Стоит отметить такие преимущества стеклопластика, как: высокая грузовая выдержка и гигиенические характеристики, звукоизоляционные свойства, простота и надежность монтажа, водонепроницаемость, ударостойкость.

### *Применении стеклопластика на приусадебных участках*

Производятся электрические столбы, заборы, ограждения, лестницы приставные, скамейки фигурные, козырьки, стропильные конструкции, крыльцо, настилы, дорожки, покрытия, люки, декоративные ограждения, мостики, теплицы и парники.

### *Стеклопластик в мостостроении*

Рынок стеклопластиковых композитов для мостостроения предлагает значительное преимущество для развития транспортной инфраструктуры по всему миру. И хотя в самом начале специалисты предсказывали большие объемы потребления стеклопластика, его реальное количество осталось небольшим, что обусловлено рядом факторов. Однако следует отметить, что за последнее

десятилетие появились специальные мостовые конструкции, оптимальным выбором для которых является стеклопластик.

Композитная технология была впервые применена в мостостроении в 1996 году в США как ответ на требования по коррозионной стойкости и долговечности. Передовые свойства композитов обусловили быструю сборку конструкции, увеличили несущую способность и позволили буквально обойтись без текущих ремонтов. Начиная с этого момента более 100 мостов в США получили новую жизнь благодаря композитам (а во всем мире – более 200) [87].

Эти проекты помогли доказать возможности новой технологии и открыли проектировщикам и владельцам мостов новый ценный конструкционный материал. Ранние проекты послужили демонстрационной площадкой, где исследователи и разработчики постепенно вводили стеклопластик в отрасль мостостроения. Сейчас, когда демонстрационный этап завершен, стеклопластиковые настилы мостов выбирают на конкурсной основе, сравнивая их с традиционными материалами. Следующие оценки, примеры и сравнения помогут нам сосредоточиться на тех областях, где стеклопластик предоставляет максимум преимуществ владельцам мостовых конструкций.

Сегодня использование стеклопластика в мостостроении развивается, в основном, в четырех основных направлениях (вне зависимости от цены). Для каждого из этих направлений характерны строгие требования по малому весу конструкции, что позволяет достичь дизайнерских и эксплуатационных целей. В этих случаях владельцы мостов получают все преимущества коррозионной стойкости и долговечности в сочетании с низким весом стеклопластикового настила. 4 направления, где используются стеклопластиковые настилы:

передвижные разборные мосты, мосты на стальных фермах, мосты со стальными решетками, пешеходные зоны на автомобильных мостах.

Передвижные разборные мосты чаще всего используются в прибрежных и портовых зонах. Мосты, расположенные в крупных портовых городах на побережьях, реках и озерах, должны обеспечивать как доступ высоко-нагруженных фур в порты, так и проход/проезд на коммерческие суда. Прибрежные города, в которых есть реки и каналы, имеют мосты, работающие не только в с коммерческими, но и прогулочными судами. Чаще всего это подъемные и разводные мосты. Обычно настил таких мостов представляет собой стальную решетку или железобетон. Вес настила напрямую влияет на стоимость механического оборудования и текущие расходы. Стеклопластиковый настил – это самое легкое по весу решение, обеспечивающее защиту надстройки моста и стальных решеток. Подобные настилы используются для передвижных мостов. В некоторых случаях мосты располагались в портовых областях, и поэтому подвергались значительным нагрузкам от проходящего транспорта. Поскольку движущим фактором является вес, чаще используется покрытие из полимербетона, нежели более толстое и тяжелое асфальтовое.

Легковесные мостовые настилы имеют особую ценность для исторических металлических мостов со сквозными стальными фермами. Большая часть подобных конструкций была создана в первой половине 1900-х гг. и имеет особую историческую ценность для общества. Эти мосты несут особо высокие нагрузки, ведь их разработка велась без учета существующего сейчас огромного количества машин. Стеклопластик же является отличным способом снижения критической

нагрузки. Вместо того, чтобы сносить исторические мосты, специалисты используют стеклопластиковые настилы, сохраняя тем самым историческое наследие без ущерба несущей способности конструкции.

Использование стеклопластика открывает перспективный путь строительства мостов из новых материалов. Рассматриваемое строительство - мост длиной 40 м, протянутый поперек одной из наиболее загруженных железных дорог в Дании. Изготовлен первый композитный мост, специально разработанный, для создания



железнодорожных переходов. Ключевым условием создания моста, для одной из наиболее загруженных железных дорог Дании, было то, что он должен был быть установлен в самые сжатые сроки. В то же время сооружение должно было соответствовать определенным практическим и эстетическим критериям. Мост был смонтирован за 16 часов. Работа была выполнена ночью. Мост состоял из трех компонентов, которые были установлены на опоры с болтами – кстати, единственные элементы моста, требующие соединений [88].

Налицо преимущество мостов из КМ, которые требуют только косметического обслуживания в течение более чем 50 последующих лет. Подобный мост, построенный из стали весил бы 28 т и нуждался в замене некоторых частей каждые 25 лет. То же самое применимо и к железобетонному мосту, который весил бы 90 т. Одно из главных преимуществ конструкций из композитов, имеющих небольшую массу, состоит в том, что они требуют меньших, менее дорогих опор. Кроме того, они не подвержены коррозии. Мост разработан из стандартных профилей и может производиться по более низкой стоимости, чем аналогичный стальной или бетонный мост.

### *Первый в России мост полностью из стеклопластика*

Летом в 2014 году в селе Сосновка Новосибирской области открылся первый в стране автомобильный мост из полимерного композита. Мост длиной 18,5 м является частью автодороги Красный Яр-Сосновка. Строение собиралось на строительном полигоне и частями доставлялось к месту установки. На его возведение область выделила из бюджета 43,2 млн рублей.



Инновационность проекта заключается в использовании слоистого стеклопластика для сооружения основного несущего элемента моста — главных балок пролетного строения. Созданные в XX веке для нужд аэрокосмической техники новые полимерные композиционные (композитные) материалы оказались весьма конкурентоспособными и в строительстве за счет их высокой удельной прочности, жесткости и коррозионной стойкости. Данные

материалы по некоторым характеристикам превосходят сталь, но легче ее в 5-7 раз.

Резкие перепады температур сокращают срок службы мостов с применением железобетона и металла до 40...50 лет, а мост с цельнокомпозитными пролетными строениями прослужит 100 лет при практически «нулевой» стоимости обслуживания в процессе эксплуатации.

На 2014 год в мире насчитывается не менее 360 мостов, основные несущие элементы которых выполнены из ПКМ. Среди них около 53 мостов полностью изготовлены из композитных материалов, остальные же, так называемые гибридные конструкции, особенностью которых является то, что для несущих элементов применяются различные материалы [89].

Новый сложный мост был построен в Швейцарских Альпах. Этот мост состоит из двух элементов, весящих по 900 кг, которые были установлены при помощи вертолета. Элементы были склеены и соединены болтами вместе. Мост, собранный из стали, едва ли смог бы транспортироваться вертолетом. Еще одно преимущество проекта состоит в том, что мост может быть легко демонтирован в случае весенних наводнений.

## 4. Применение нанокompозитных материалов

Класс нанокompозиционных материалов появился относительно недавно. Структура композитных наноматериалов характеризуется наличием второй фазы, размеры частиц которой составляют несколько нм. Свойства конечного нанокompозиционного материала зависят от природы взаимодействия между фазами и строения межфазных областей, объемная доля которых чрезвычайно велика. В настоящее время наиболее широко используются следующие виды наноразмерных наполнителей композитных наноматериалов [94].

**1. Углеродные нанотрубки и нановолокна**, включая простые, двойные и многостеночные нанотрубки; простые и графитизированные нановолокна и вискерсы, а также нанотрубки с привитыми слоями и функциональными группами. На рынке представлены различные виды относительно длинных (5-30 мкм), обычно – взаимопереплетенных, нанотрубок и нановолокон (диаметром 1-20 нм), а также короткие легко диспергируемые в различных средах нанотрубки и нановолокна длиной 0,5-2 мкм и диаметром 20-50 нм.

### 2. Металлические, оксидные и гидроксидные нанотрубки.

Наиболее распространенными видами подобных нанонаполнителей являются следующие:  $B_4C$ , BN,  $LaF_3$ , SiC,  $TiS_2$ ,  $MoS_2$ ,  $ZrS_2$ . Длина нанотрубок этого типа составляет от 3 до 30 мкм, внешний диаметр 25-100 нм, внутренний диаметр 10-80 нм. Кроме того, на рынке представлены нанотрубки следующих оксидов и гидроксидов металлов:  $Y_2O_3$ , MgO,  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $BaTiO_3$ ,  $SrTiO_3$ ,  $K_2Ti_6O_{13}$ ,  $CaSnO_3$ ,  $BaSnO_3$ , CuO,  $La_2O_3$ ,  $Ni(OH)_2$  и др, имеющие длину 0,2 -20 мкм, внешний диаметр 40-200 нм, внутренний диаметр 15-150 нм.

### 3. Короткие нановолокна и наностержни

В том числе металлические (Ag, Bi, In, Si), полупроводниковые (GaP, InP), нитридные ( $Si_3N_4$ ) и оксидные ( $TiO_2$ ).

### 4. Наночастицы сферической или нерегулярной формы

Включая частицы металлов и сплавов (Ag, Au, Pt, Pd, Al, Cr, Cu, W, Mo, Ni, Fe, Cu-Zn, Fe-Ni, W-Cu, W-Mn-Al, W-Ni-Cu, W-Ni-Fe), неметаллов (B, Si), частицы наноалмаза и графита (C), нитридов (AlN, BN, CrN,  $Si_3N_4$ , TiN, ZrN), карбидов ( $B_4C$ ,  $Mo_2C$ , SiC, TiC), боридов ( $TiB_2$ ,  $NbB_2$ ), различных простых и сложных оксидов, а также сложных компаундов типа  $Si_3(C_{0.5}N_{0.5})_4$ ,  $Ti_{1-x}N_x$ . Размер частиц варьируется в пределах от 15-30 до 400-600 нм.

### *Полимерные нанокompозиты*

**1. Металлополимеры (органо-неорганические, со сфероидными включениями)** - КМ, содержащие частицы металла в полимерной матрице. С уменьшением размеров частиц металла и полимера меняются свойства как исходных компонентов, так и КМ. Изменение доли границ раздела позволяет менять свойства материала. Металлические наночастицы наполнителя приводят к реорганизации надмолекулярной структуры полимерной матрицы. На основе металлополимерных композитов уже производятся коммерческие продукты, например электропроводящие КМ для нагревательных панелей. Введение в полимерную матрицу металлических частиц с размерами большими, чем расстояние между цепями, сшивками и кристаллическими блоками, приводит к нарушению структуры полимера и ухудшению свойств композита.

**2. Полимерные композиты с керамическим наполнителем**

**Слоистые силикаты (органо-неорганические, слоистые)**

Наноконпозиты со слоистой структурой также создают на основе керамики и полимеров, но с использованием природных слоистых неорганических структур, таких как монтмориллонит или вермикулит, которые встречаются, например, в глинах. Слой монтмориллонита толщиной ~1 нм в ходе реакции ионного обмена насыщают мономерным предшественником с активной концевой группой (капролактамом, бутадиеном, акрилонитрилом или эпоксидной смолой), а затем проводят полимеризацию. Новые полимерные наноконпозиты на основе слоистых силикатов и полиэлектролитов, обладающие сорбционными и биоцидными свойствами были разработаны для очистки и обеззараживания воды.

В настоящее время в мире проводятся интенсивные исследования по созданию полимерных наноконпозитов с применением слоистых силикатов, способных к эксфолиации (расслоению) на единичные слои нанометровой толщины в полимерной матрице. Наноматериалы с высокой степенью эксфолиации слоистых частиц обладают повышенными жесткостью, деформационной теплостойкостью и термостойкостью, улучшенными барьерными свойствами и повышенной огнестойкостью при низком содержании наполнителя, т.е. без существенного увеличения плотности и ухудшения перерабатываемости материала, а также без существенного влияния на прозрачность полимерного материала.

***Керамические нанопорошки (органонеорганические, со сфероидными включениями)***

Результаты исследования механических и трибологических свойств КМ на основе ПТФЭ (политетрафторэтилена) и простых ( $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ) и сложных (шпинели  $CoAl_2O_4$ ,  $MgAl_2O_4$ , кордиерит  $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ ) оксидных нанопорошков приведены в следующей таблице.

***Углеродные нанотрубки в качестве наполнителя***

Ученые из Ренселеровского политехнического института (Нью Йорк, США) создали уникальный наноконпозит на основе полимера и углеродных нанотрубок, который назвали «наноконпозитом» (*органонеорганический, нановолокнистый*). Хотя новый материал может найти применение во многих областях промышленности, от электронной бумаги до различного вида сенсоров, данная разработка в первую очередь направлена на создание гибких тонких дисплеев.

***Наноконпозиты на основе углерода*** получают по одностадийной технологии в результате одновременного формирования наночастиц углерода и связывающей их углеродной матрицы с образованием наноконпозита системы углерод-углерод в одном и том же реакторе (*неорганический, со сфероидными включениями*).

Уникальные свойства углеродного наноконпозита, подкрепленные возможностью получения крупногабаритных изделий в промышленных масштабах, создали предпосылки для разработки и изготовления изделий медицинской техники и современного машиностроения, не имеющих аналогов в мировой практике. Свойства углеродного наноконпозита, многократно превосходящие свойства углеродных материалов традиционной технологии, обеспечивают работоспособность как передовых конструкций новой техники – термоядерный реактор, искусственный клапан сердца – так и традиционных элементов современного машиностроения – торцевые уплотнения высокотемпературных агрессивных сред, антифрикционные вкладыши газодинамических подшипников.

По прочностным показателям углеродный наноконпозит в 3 и более раз превосходит лучшие марки углеродных материалов традиционной технологии. Он

хорошо обрабатывается механически. Высокая механическая прочность в сочетании с наноразмерными дискретными элементами структуры позволяет изготавливать из него детали сложной геометрической формы с острыми кромками, полированными до высокого класса чистоты поверхности.

Композиты армированные углеродными нановолокнами (*нано-волокнистые*) и фуллеренами (*со сфероидными включениями*) рассматриваются как перспективные материалы для работы в условиях ударных динамических воздействий, в частности для брони и бронезилетов. Композиты на основе графена – на него осаждают наночастицы – изменение свойств.

#### ***Биокомпозиты (органические, волокнистые)***

Вместо синтетических наполнителей в новом биокомпозите используются местные натуральные материалы, которые сегодня зачастую идут в отходы: опилки, целлюлоза, торф, волокна льна, конопли, древесины и т.д. Матрица – полимерная.

#### ***Металлические (неорганические, со сфероидными включениями)***

Добавление нанопорошков (подшихтовка) к обычным порошкам при производстве сталей и сплавов методами порошковой металлургии позволяет снижать пористость изделий, улучшать комплекс механических свойств (неорганические, со сфероидными включениями).

Нанокompозиты обладают превосходными физическими и химическими свойствами благодаря своей структуре и могут применяться в самых разных областях, включая производство электроники и новых материалов, в медицине и в экологии, в аэрокосмической и автомобильной отраслях.

В научном издании «Nanocomposite science and technology» нанокompозит определяется как многокомпонентный твердый материал, в котором один из компонентов в одном, двух или трех измерениях имеет размеры, не превышающие 100 нм; также под нанокompозитами понимаются структуры, состоящие из множества повторяющихся компонентов-слоев (фаз), расстояние между которыми измеряется в десятках нанометров.

Хотя подобный термин иногда употребляют для обозначения коллоидов, гелей или ко-полимеров, в первую очередь его следует соотносить с классом твердых образований, состоящих из основной матрицы и наноразмерного компонента, различающихся между собой по структурным параметрам и химическим свойствам. При этом механические, электрические, термические, оптические и иные характеристики нанокompозитов заметно разнятся со свойствами обыкновенных композитных материалов, изготовленных из тех же базовых веществ или элементов.

Хотя нанокompозиты можно встретить в природных объектах, к примеру, в костях живых организмов, нас больше интересует, как производятся и применяются искусственные нанокompозитные материалы. Использовать нанокompозиты начали еще в середине прошлого века, когда еще полностью не представляли себе их физическую и химическую сущность. Первыми нанокompозитными материалами были реологические органоглины, полученные для нужд промышленности, и косметические средства.

Нанокompозиты – это материалы, в которых содержатся частицы наноразмера. Причем не обязательно все изменения частицы имеют размер  $10^{-8} \dots 10^{-9}$  м: это может быть волоконца маленького диаметра, или достаточно тонкая пластинка. Частички, у которых очень высокое отношение одного характеристического размера к другим (нановолокна, нанотрубки, графитовые нанопластинки), проявляют

уникальные физико-механические свойства. Если наноразмерные частицы помещаются в полимерную матрицу, таким образом, что и расстояние между этими частицами оказывается очень маленьким, получается структура с очень большой удельной поверхностью. И, если эти частицы являются ингибиторами деструкции или катализаторами каких-то процессов, они будут работать гораздо более эффективно, нежели крупные частицы.

Основным материалом для «легирования» композита на сегодня является углерод. Еще совсем недавно были известны два состояния углерода – графит и алмаз. Но в 1985 году была получена его необычная форма – фуллерен. Вообще графит – сложный материал, в котором атомы углерода, находящиеся в одной плоскости, образуют прочные связи. Связи же между плоскостями слабые. Японский исследователь Сумно Инжима в 1991 году обнаружил, что такие однослойные углеродные листы могут скручиваться в виде трубок в один или несколько слоев диаметром 0,9 нм, длиной от нескольких микрометров до миллиметра. Эта новая структура углерода получила название нанотрубки. Нанотрубка состоит из одного или нескольких слоев, каждый из которых представляет гексагональную сетку графита, основу которой составляют шестиугольники с расположенными в вершинах углов атомами углерода. Верхние концы трубок закрыты полусферическими крышками, напоминающими структуры половинки молекулы фуллерена. Нанотрубки могут быть большие и маленькие, однослойные и многослойные, прямые и спиральные. При этом свойства нанотрубок целиком зависят от их геометрии. Например, от угла скручивания нанотрубки зависит, будет ли она проводником или полупроводником. Кроме того, они имеют высокую химическую стабильность и чрезвычайно высокую механическую прочность и жесткость, сохраняя при этом высокие теплофизические характеристики углерода (теплопроводность).

Скачкообразное изменение свойств материалов с наночастицами (особенно при размерах менее 10 нм) определяется высоким соотношением величины поверхности наночастицы к ее объему. Одним из критериев, отличающих наночастицы, являются соотношение количества атомов, находящихся на поверхности, к общему количеству атомов в частице. В наночастице диаметром 0,7...0,8 нм, содержащий не более 12 атомов, все они находятся на поверхности, которая может составлять порядка 600 м<sup>2</sup>/г, а значения поверхностной энергии превышает 370х10<sup>-7</sup>дж/см<sup>2</sup>.

Еще одним наноматериалом является графен – двухмерный углеродный слой, состоящий из атомов углерода и обладающий уникальными электромагнитными свойствами и высокой прочностью.

Перечисленные уникальные свойства наночастиц позволяют ожидать новых устройств на их основе: в приборостроении (наномасштабных моторов, микроскопических весов, аккумуляторов и электрических бактерий, фоторезисторов, светодиодов); в компьютерной индустрии (микропроцессоров, содержащих до миллиарда транзисторов, платы памяти емкостью до 10 Гб, сверхтонких дисплеев); медицине (очистка воды от тяжелых металлов, доставка лекарств в строго оговоренную зону организма, создание искусственных «мускулов»).

Кроме того все наночастицы могут использоваться как добавки к различным материалам, придавая им новые свойства. Например, включая нанотрубки в различные сплавы (алюминиевые, магниевые, литевые) можно существенно

повысить износостойкость, прочность и трещиностойкость. Введение наночастиц в новые смазочные и охлаждающие жидкости позволит снизить износ трущихся деталей в 1,5...2 раза, сократить расход топлива, повысить мощность двигателя.

Клеевые составы с содержанием нанотрубок порядком 1% имеют предел прочности на 25 % выше исходного состава. Добавки наноматериала «таунит», разработки «Нанотехцентра», в количестве всего 0,0005% в строительные материалы дает увеличение прочности бетона на сжатие до 100%, на изгиб до 70%, в 1,5 – 2 раза повышается прочность пенобетона и пеностекла.

Все углеродные наночастицы, а так же нанодисперсные минеральные и металлические наполнители (наноглины и нанопоршки вольфрама, молибдена, алюминия) используются в качестве наполнителей термо и реактопластов для получения полимерных нанокомпозитов (ПНК) конструкционного и специального назначения – материалов, состоящих из двух или более фаз с четкой межфазной границей и со средним размером одной из фаз менее 100 нм.

В традиционных ПКМ фаза наполнителя имеет микронные размеры (диаметр минеральных и углеродных волокнистых филаментов 10...15 мкм) в полимерных НКМ – наноразмеры. При одинаковой объемной доле количество наночастиц в наполненной ими композиции в 109 раз больше, чем микрочастиц, что дает возможность наночастицам образовывать скелетную структуру.

Применение углеродных наночастиц в качестве наполнителей сдерживается их высокой стоимостью. Более экономически оправдано их использование в качестве модификаторов традиционных композиционных материалов, где наночастицы способны залечивать дефектные зоны полимерной матрицы, благодаря высокой удельной поверхностной энергии.

Наполнение полимеров углеродными наночастицами (даже при их содержании в композиции в количестве 1...5 %):

- повышает упругопрочностные свойства на 20...25%, деформационную теплостойкость, трещиностойкость, стабильность размеров изделий;
- углеродные наночастицы повышают тсд эпоксидных углепластиков на 60% и до 190% предел прочности, т.к. они выполняют роль стопперов микротрещин;
- позволяет создавать материалы с требуемыми электрическими, магнитными, оптическими свойствами, с регулируемой диффузией газов и жидкостей;
- используется при разработке тиксотропных лаков, эмалей, клеев, полимерных пленок и покрытий с высокой твердостью, износостойкостью, токопроводимостью и т.д.

Другим способом снижения стоимости нанокомпозитов является использование природных минеральных наполнителей в нанофазе различного состава ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , кремниевой кислоты, сульфата бария и др.) Полимерные композиты, наполненные такими частицами, имеют при степени наполнения до 10% (обычно 2...5% объема) благодаря высокой величине и активности поверхности наночастиц высокие упругопрочностные свойства, деформационную тепло, термостойкость, низкие усадки, низкое водо-поглощение и газопроницаемость, высокую огнестойкость.

Высокая огнестойкость нанокомпозитов, наполненных силикатными пластинами толщиной 1...2 мм, обеспечена замедлением диффузии кислорода в зону горения, снижением теплопроводности (в 2...3 раза), образованием пластин из термоустойчивых силикатов с высокими теплоизоляционными свойствами, т.е.

образованием обугленного слоя, препятствующего распространению пламени. При этом снижается и концентрация токсичных продуктов горения и тления. Таким образом природные наполнители в нанофазе, в отличие от традиционных галогеносодержащих антипиренов, не снижают, а повышают ф.м.х. композита, значительно улучшая при этом экологию.

Нашли применение и нанокompозиты с синтетическими минеральными наноразмерными наполнителями – оксидами кремния, алюминия, цинка, титана и др. Неограниченные запасы кремнийсодержащих горных пород, достижения в области коллоидной химии кремнезема дают преимущества нанотрубкам из кремния перед углеродными нанотрубками по цене примерно в 5...6 раз. Нанотрубки из кремния получают используя коллоидную суспензию наночастиц кремния в спирте, которые при воздействии электрического поля осаждаются на поверхности положительно заряженной подложки. Нанопленки кремния после испарения спирта сворачиваются, образуя нанотрубки диаметром 2...5 нм и длиной до 100 мкм.

Нанотрубки из кремния, кроме традиционного применения, могут служить нанодиодами и нанолазерами, управляемыми с помощью электрического поля.

Технология получения НКМ зависит от типа частиц, которые входят в полимер. Высокая поверхностная энергия наночастиц создает определенные сложности для совмещения их с полимерной матрицей, т.к. приводит к слипанию частиц, т.е. к образованию фуллеритов, эти частицы очень активны, быстро вступают в реакцию с другими веществами и утрачивают свои уникальные свойства. Поэтому получить НКМ традиционным для композита способами сложно. Для диспергирования фуллеритов используются различные растворы и ПАВ (поверхностно - активные вещества), в том числе с применением ультразвукового воздействия.

Объемы применения нанокompозитов растут ежегодно на 18...25%. Для обслуживания столь быстрого роста потребуется в мире около 2 миллионов, а для России около 20000 специалистов.

#### *Композиты на основе нанокarбона*

Исследователи из Университета Кардиффа (Великобритания) совместно с Haydale представили результаты углубленного исследования под названием «Разработка технологии послойного создания композитов с использованием нанокarбона».

Свойства углеродных нанотрyбок и графена давно вызывают интерес ученых: именно благодаря особым характеристикам эти материалы имеют большой потенциал для использования в составе композитов. Теоретические расчеты демонстрируют увеличение прочности, жесткости и проявление многофункциональности конечного материала, однако пока технологии не используются в серийном производстве, а сами композиты с добавлением нанокarбона существуют только в виде лабораторных образцов.

В своей работе ученые из Университета Кардиффа и компании Haydale исследовали методы послойного создания композитов путем инфузии с добавлением углеродных нанотрyбок и графена. Уникальная плазменная технология, разработанная Haydale, была адаптирована для контролируемой функционализации больших партий нанокarбона (сотни грамм) для последующего смешивания с эпоксидной смолой.

Реологические исследования показали, что тип наполнителя, степень его функционализации и количество вещества оказывает влияние на вязкость эпоксидной смолы. Используя эту нанокompозитную смолу ученые разработали новую технологию создания композитов — инфузия с гибкой оснасткой (RIFT).

Благодаря ее использованию смола равномерно пропитывает слоистые пластики из углеволокна, причем даже большие куски материала. Композиты, полученные в итоге, демонстрируют значительные улучшения механических свойств, что имеет большое значение для материалов, используемых в аэрокосмической и автомобильной промышленности [90].

#### *Нанокompозиты*

К консолидированным наноматериалам относятся компактные твердофазные материалы, которые состоят из наночастиц, имеющих фиксированное пространственное положение в объеме материала и жестко связанных непосредственно друг с другом. Наиболее распространенная разновидность таких материалов – нанокристаллические материалы, которые обычно характеризуются высокой степенью компактности образующих их нанокристаллов. Особыми по своей структуре разновидностями консолидированных наноматериалов являются фуллериты и фотонные кристаллы. Еще одним довольно распространенным видом консолидированных наноматериалов являются нанокompозиты. Они подразделяются на слоистые нанокompозиты (сверхрешетки), состоящие из слоев различных материалов в наноразмерной толщине, и матричные нанокompозиты, состоящие из твердофазной матрицы, в объеме которой распределены наночастицы. Большую группу консолидированных наноматериалов образуют нанопористые материалы, характеризующиеся наличием нанопор. В противоположность нанопористым материалам наноаэрогели содержат макропоры, которые, однако, разделены прослойками нанометровой толщины.

Нанокристаллические материалы представляют собой такие поликристаллические материалы, структурные элементы которых характеризуются наноразмерным масштабом. Основными элементами структуры любого поликри-

сталлического материала являются кристаллические зерна (кристаллиты) и межзеренные (межкристаллитные) границы, так что в целом структура материала определяется структурой зерен и межзеренных границ, а также объемным соотношением тех и других. Переход от макрокристаллических, т.е. крупнозернистых материалов к нанокристаллическим характеризуется понижением доли зерен и, соответственно, повышением доли межзеренных границ в объеме материала. Вместе с тем происходит изменение структурных характеристик как зерен, так и межзеренных границ [91].

*Сверхтвердые универсальные композиты с использованием природных алмазных нанополукристаллов и кубического нитрида бора*

Сверхтвердые композиты на основе алмаза и алмазоподобного нитрида бора широко используются в процессах механической обработки твердых сталей, спечсплавов, различных композитов, дерево и камнеобработке, буровой технике и электронике.

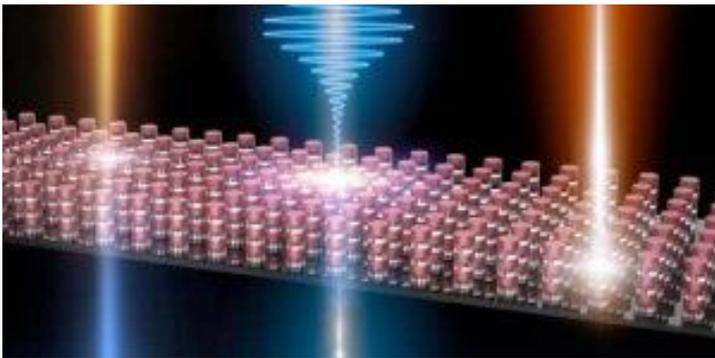
Основными тенденциями развития этого направления в настоящее время является снижение размерности частиц в композитах до субмикро- или наноуровня, универсализация, увеличение размеров композита при синтезе или спекании с целью его последующего раскрытия на элементы требуемой геометрии. При синтезе

поликристаллических сверхтвердых композитов наиболее широкое распространение получают способы консолидации высокодисперсных порошков при высоких давлениях и температурах. В частности, все чаще используются шестипуансонные прессовые установки с кубической ячейкой.

*Композитный полимерный наноматериал, идеально подходящий для голографических устройств хранения информации*

Голографические технологии являются одним из самых перспективных методов увеличения плотности оптических устройств хранения информации, следующих за постоянной тенденцией увеличения емкости с одновременным уменьшением габаритных размеров. И группе исследователей из японского университета Электрических Коммуникаций (University of Electro-Communications, UEC) удалось создать новый полимерный композитный материал, в объеме которого находятся наночастицы определенного типа. Оптическая система на базе такого материала обеспечивает самый высокий на сегодняшний день уровень оптического сигнала и самое высокое значение соотношения сигнала к шуму. А использование нового наноматериала в голографических устройствах хранения информации позволит сократить в несколько раз уровень ошибок записи-чтения и это, в свою очередь, позволит начать практическое использование голографических накопителей для хранения больших объемов информации.

Практически все оптические технологии записи и хранения информации используют разницу коэффициента преломления света участками материала-носителя, прошедшими через процесс определенной обработки. В отличие от обычных технологий, использующих хранение информации на плоскости информационного слоя компакт-диска, к примеру, голографические технологии позволяют записывать информацию в объеме трехмерного пространства, во много раз увеличивая информационную емкость носителя. Но для качественной работы голографических технологий требуется большая разница в коэффициенте преломления материала-носителя, чем это необходимо для записи информации в одной плоскости.



Превосходными параметрами, соответствующими высоким критериям технологий голографической записи информации, обладают композитные соединения полимерных материалов с неорганическими наночастицами. В свое время исследователи из университета UEC уже разработали ряд таких композитных материалов на основе тиолоновых мономеров. Запись и считывание информации из такого материала производилось при помощи луча лазера, фокусируемого в точке пространства, размером в один микрон, при этом было получено весьма неплохое значения соотношения сигнал/шум.

Позже японские исследователи пошли чуть дальше, добавив в объем полимерного материала наночастицы определенной формы и размеров. Для записи и считывания информации из такого материала требуется уже два луча лазерного света, один – опорный, а второй – рабочий. При таком подходе ученым удалось

добиться достаточно высокой плотности хранения данных и обеспечить высокую скорость записи-считывания информации.

И завершающим «аккордом» разработки данной технологии стало использование прозрачных кварцевых наночастиц в количестве 25 % от общего объема, равномерно рассеянных по полимерному материалу, имеющему достаточно сложный состав, состоящий из смеси мономеров нескольких типов. В результате таких усилий уровень ошибок при записи и считывании информации снизился до значения  $10^{-4}$ , а значение соотношения сигнал/шум превысило 10 единиц [92].

#### *Патент на термостойкий нанокompозит*

Новое изобретение МИЦ «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана относится к области полимеров, а именно, к области создания нанокompозиционных материалов на основе силоксанового каучука, и может быть использовано для получения конструкционных материалов с повышенными физико-механическими и теплофизическими характеристиками, стойкими к агрессивным средам [93].

Способ получения ПКМ, включающий введение УНТ, предварительно диспергированных в растворителе, в силоксановую матрицу, затем удаление растворителя и после этого отверждение полученной композиции. Для полноты удаления растворителя применяют метод вискозиметрии, при этом проводят отбор пробы каждые 30 минут, измеряют динамическую вязкость при комнатной температуре и определяют полное удаление растворителя в том случае, когда последние три значения вязкости матрицы отличаются друг от друга не более чем на 15 %.

#### *Применения нанокompозитов*

Область применения нанокompозитов весьма широка: от медицины до ракетостроения. Теплоизоляционная плитка для многоразового корабля «Буран», созданная учеными ВИАМ, сделана из нанокompозита на основе карбида кремния.

Очень широко нанокompозиты используются при производстве американских истребителей-бомбардировщиков 5-го поколения фирмы Локхид-Мартин Ф-35 «Молния» II. Это первый самолет, в котором использованы нанокompозиты для изготовления частей корпуса. Материал на основе нанокompозитов из эпоксидной смолы и нанотрубок позволил конструкторам заменить около ста других материалов, используемых ранее в конструкции корпуса самолета.

В последнее время нанокompозиты широко применяются в стоматологии для протезирования. С использованием нанокompозитов выращивают искусственные костные имплантаты.

Модифицированные нанокompозитные полимеры для создания инновационных упаковочных материалов. Применение нанокompозитов в упаковке позволяет снизить количество используемого материала и снизить её общую стоимость, усилить барьерные свойства упаковки.

Весьма перспективно применение композитов на основе углеродных нанотрубок и нановолокон. Они могут использоваться в катализе, оптоэлектронике, изготовлении различных сенсоров.

Нанокompозиты прекрасно подходят для иммобилизации протеинов, вирусов и бактерий.

В автомобильной промышленности нашли применение наноглины. Они используются для увеличения огнеупорности, жаропрочности и износостойкости

различных деталей. Эти технологии были использованы в Audi A3, A4 и фургонах Фольксваген.

Аккумуляторы на основе кремний-углеродных нанокompозитов имеют отличные показатели: большую емкость и значительную силу тока.

#### *Многослойные нанокompозиты на силикатной основе*

В последнее время многослойные нанокompозиты на силикатной основе привлекают большое внимание, поскольку изготавливаются с помощью простого и рентабельного метода, позволяющего совершенствовать свойства полимеров за счет добавления небольшого количества подходящих специально подобранных наполнителей (органоглин). За счет этого образуются композитные материалы, в которых армирующие частицы распределяются в полимерной матрице на наноразмерном уровне. В зависимости от того, как наполнитель распределяется внутри матрицы, морфология получаемых нанокompозитов может различаться от так называемых внедренных (интеркалированных) нанокompозитов с регулярно перемежающимися слоистыми силикатами и монослоями полимеров до расслаивающихся (деламинарованных) типов нанокompозитов, в которых слои силиката беспорядочно и однородно распределяются внутри полимерной матрицы.

Наиболее простым и экономичным способом производства таких материалов является перемешивание полимера в расплавленном состоянии с многослойным силикатом, таким как монтмориллонит, обычно органофильно модифицированным за счет обмена родного межслойного катиона  $\text{Na}^+$  на алкиламмониевый катион. Для создания нанокompозитов с помощью этой технологии с успехом использовались большое количество полимерных матриц, таких как полистирол (ПС), полиацетат (ПА), этиленвинилацетат (ЭВА), сополимер этилена и винилового спирта (EVOH). Тем не менее, из таких неполярных полимеров, как полиолефины (полиэтилен ПЭ или полипропилен ПП), трудно образовывать нанокompозиты с помощью данного метода из-за основных законов термодинамики, которые требуют сильного полярного взаимодействия между полимерами и органоглинами для создания нанокompозитов.

Нанокompозиты представляют большой интерес для глобальных рынков пластмасс. Полимерные компаунды, содержащие только небольшие количества органоглин (в основном, 5% по массе), можно использовать для производства деталей в автомобильной промышленности, упаковочных пленок с барьерными свойствами и усовершенствованных огнеупорных оплеток кабелей и проводов, а также для многих других применений. Связанный с применением органоглин оптимизм постоянно возрастал, с тех пор как в отрасли началось проведение исследовательских работ 4...6 лет тому назад. Но часто отрасли трудно довести использование этого нового класса нанокompозитов до создания конкретной готовой продукции, поскольку промышленные применения должны быть рентабельны, а относительно высокие цены на органоглины, по сравнению с ценами на традиционные наполнители, могут препятствовать промышленному применению. Несколько лет тому назад была остановлена работа по нескольким программам разработки применений из-за вопроса о затратах.

К числу таких применений относились крышка ремня привода распределительного механизма автомобиля, изготавливаемая из нанокompозитов нейлона 6 для японской Unitika, а также корпус автомобильного зеркала из токопроводящего сплава ППО/нейлон от GE Plastics. Но исследовательская работа

по применениям нанокompозитов в промышленности производства пластмасс не останавливается. Нанокompозиты могут повысить жесткость полимеров, расширить применение для высокотемпературных классов пластиков и дать усовершенствованные свойства, такие как размерная стабильность, лучшие барьерные свойства для газонепроницаемости, повышение токопроводимости и огнестойкости.

При хорошем диспергировании внутри подходящего полимера органоглины за счет того, что они такие маленькие и их аспектное отношение (длина/диаметр) так высоко ( $> 500-1000$ ), позволяют добиться улучшения свойств при введении значительно меньшего количества наполнителя, чем при введении традиционных наполнителей. У нанокompозитов нет таких недостатков, как: более высокая плотность, хрупкость или утрата прозрачности, в отличие от композитов с традиционными армирующими наполнителями, такими как тальк или стекло.

До сих пор наиболее широко используемыми в нанокompозитах органоглинами были природные и дополнительно модифицированные монтмориллониты, поставляемые Elementis, Nanocor и Southern Clay (все компании из США). Но такие органоглины с различными органическими модификациями предлагают также Süd-Chemie из Германии и Laviosa из Италии. В таблице 1 приводится список различных компаний, применяющих нанокompозитные технологии на основе использования различных нанонаполнителей для производства своей продукции.

Хорошо известно, что нанокompозиты из полиамида можно легко производить с помощью экструзии, и сейчас все большее и большее внимание уделяется продуктам, изготавливаемым на основе товарных полимеров, таких как ПЭ и ПП. Данные по Nanocor в таблице 2 показывают, что имеется улучшение жесткости до 98% для ПП, а также более высокая температура допустимой деформации. Существенным также является тот факт, что нанокompозиты обладают практически той же ударопрочностью, что и ненаполненный гомополимер ПП. General Motors заявила о производстве детали автомобиля на основе олефиновых нанокompозитов. Это внешний вспомогательный механизм ступени для фургонов, которые изготовлены из компаунда органоглины/термопластичного эластомера (ТПЭ) от компании Basell. С самого начала автомобильная промышленность проявляла самый большой интерес к полиамидным нанокompозитам для их использования в отсеке двигателя, где основной задачей было получение более высокой температуры допустимой деформации и облегченной массы. Но одним из существенных недостатков нанокompозитных компаундов из полиамида оказалась потеря жесткости по сравнению со стандартными наполненными компаундами. Поэтому в наши дни многие производители автомобильных деталей проявили интерес к нанокompозитам из ПП и ТПЭ. Однако, создание нанокompозитов с такими неполярными полимерами очень трудный процесс. По данным, сообщаемым доктором Ланом из компании Nanocor, к числу возможных путей относятся новые способы синтеза предварительно диспергированных маточных смесей или использование модифицированных полимеров (полимеры с привитыми группами малеинового ангидрида). Одной из возможностей совершенствования нанокompозитов с высокой температурой обработки полимеров ( $> 260$  °C) является использование обработанных олигомером органоглин, что позволяет избежать нежелательных термически индуцированных побочных реакций отщепления

Гофманна, генерирующих олефины из четвертичных соединений аммония, которые, как правило, используются в качестве модификаторов монтмориллонитов.

Компания-производитель автомобилей Volvo исследовала 5% по массе нанокompозиты на основе ТПЭ, модифицированного малеиновым ангидридом, от компании Basell, в качестве средства, способствующего сцеплению. В Volvo получили повышение жесткости на 32-50% по сравнению с ПП, наполненным на 20% тальком. Ударопрочность была ниже, чем у не модифицированного ТПЭ, но выше чем у ТПЭ, наполненного на 20% тальком, В Volvo установили, что ТПЭ на основе нанокompозита имеет на 68% меньшую жесткость, чем листовой алюминий.

Долгосрочной задачей, которую ставит перед собой Dow Plastics, является реакторное получение компаунда ПП-нанокompозитов с использованием органоглин в качестве носителей катализатора для полимеризации прямо на месте производства гомополимеров ПП. Деятельность Dow сосредоточена на изучении высоконаполненных (до 10% глины) ПП-нанокompозитов для полуструктурных автомобильных применений. Nanosor уже разработала 40-50% маточную смесь ПП на основе органоглин. Одним из потенциальных применений, о которых сообщает компания Nanosor, является сверхпрочный электрический корпус, который отвечает многим требованиям по огнестойкости, а также высоким требованиям к низкотемпературной жесткости и способности выдерживать атмосферные воздействия. В результате перехода на ПП-нанокompозиты можно сэкономить 18% на массе и, в то же время, использовать меньше галогенизированных огнеупорных добавок для получения нужного класса пожаростойкости UL. Не так давно доктор Коген из Dow Chemical Company сообщил, что у синтезированной органоглины наблюдаются свойства, очень схожие со свойствами природных монтмориллонитов, при этом они окрашены в белый цвет, а природные материалы в бежевый.

Бельгийская компания Kabelwerk Eupen сообщает о смешивании расплавов органоглин и ЭВА с получением существенного улучшения свойств компаундов для проводов и кабелей. Испытания с помощью конического калориметра показали существенное увеличение теплоотдачи при одиночном очаге возгорания. Наличие наполнителей из органоглин 3-5% по массе позволяет получать снижение тепловыделения на 50-60%. Существенно отметить, что нанокompозиты на основе ЭВА не обладают достаточной огнестойкостью только при наполнении органоглинами. В патенте компания Kabelwerk Eupen заявляет, что сочетание наполнителя из органоглин и традиционных ингибиторов горения, таких как тригидрат алюминия или гидроксид магния, должно использоваться для выполнения самых важных международных противопожарных испытаний кабелей, таких как UL 1666 (сквозное испытание) или IEC 60332-3 кат. А-D. По сообщениям на многих международных конференциях, таких как «Нанокompозиты» в Брюсселе, в наше время существует общая тенденция использования таких сочетаний наполнителей (также и с бромированными ингибиторами горения) для получения эффективных компаундов с высокой огнестойкостью. За эти исследования доктор Бейер из компании Kabelwerk Eupen недавно получил две международные исследовательские награды.

Следует также отметить, что такие компаунды регулярно используются компанией Kabelwerk Eupen AG для производства огнеупорных кабелей. Это хороший пример того, как нанокompозиты нашли свое применение при производстве конкретной продукции, поскольку доктор Бейер сообщает о

производстве нескольких сотен тонн кабелей, изготовленных на основе нанокompозитных компаундов в год в рамках собственного производства компанией Kabelwerk's Eupen.

Для нанокompозитов также характерны улучшенные барьерные свойства за счет создания извилистых ходов, которые замедляют перемещение молекул газа через матрицу смолы (рисунок 3). В то же время, диспергированные органоглины имеют толщину всего в несколько нм, и поэтому они не мешают прохождению света, что позволяет получать прозрачные продукты. Соответственно, в настоящее время основными применениями для нанокompозитов на основе полиамидов являются упаковочные материалы с высокими барьерными свойствами для производства бутылок из ПЭТФ, где слои на основе нанокompозитов дают улучшение способности препятствовать проникновению кислорода и углекислого газа. Honeywell предлагает для производства бутылок 2% органоглинистый полиамидный нанокompозит. На конференции ANTEC компания Honeywell обобщила все преимущества и требования к нанокompозитам на основе полиамида, которые необходимы для использования в производстве упаковочных материалов:

1) Параметры упаковочных смол нейлон 6: прозрачность, жесткость/прочность, непроницаемость для запахов, устойчивость к протыканию, истиранию и образованию трещин от повторных изгибов, термостойкость при применении технологии горячего наполнения, устойчивость к воздействию масла, жира и смазки.

2) Применение нейлона 6 для производства упаковочных материалов: мясо, подвергшееся технологической обработке (бекон, охлажденная нарезка, хот доги), сыры, морепродукты, пакетированные продукты, подвергающиеся кипячению, сласти, ароматизированные каши, смеси для кексов, закуски.

3) Требования по барьерным свойствам к упаковочным материалам из ПЭТФ: кислородный барьер: < пропускание 0,0001% O<sub>2</sub> на контейнер за 4-6 месяцев, способность подвергаться литьевому формованию и формованию с раздувом и вытяжкой (соответствие по вязкости и тепловая стабильность), прозрачность, адгезия к ПЭТФ, способность сильно растягиваться: эластичность выше температуры перехода в стеклообразное состояние, соответствие требованиям FDA.

Одним из первых товарных применений нанокompозитов в качестве барьерных пленок было производство пастеризуемой бутылки для пива, запущенное в Китае. Органоглины также повышают жесткость полиамидных пленок. Компания Honeywell заявляет, что полиамидные нанокompозиты с 2% органоглины имеют кислородный барьер, в три раза превышающий кислородный барьер необработанных полиамидов, а при 4% органоглины наблюдается шестикратное улучшение барьерных свойств. Это делает полиамидные нанокompозиты Aegis NC компании Honeywell пригодными для производства бутылок и пленок со средними барьерными свойствами при двойной жесткости, более высокой температуре допустимой деформации и повышенной прозрачности. Honeywell обратила внимание на создание полиамидных нанокompозитов, которые могут стать менее затратными, чем пластмассы с высокими барьерными свойствами и даже стекло. Реализуемым ей в настоящее время продуктом является активно-пассивная барьерная система, которая называется Aegis OX, с использованием органоглин в качестве пассивного барьера, а также специальных полиамидных поглотителей кислорода в качестве дополнительной активной добавки. В результате

использования этого сочетания удастся получить стократное снижение скорости передачи кислорода по сравнению с необработанным полиамидом. Материалы Aegis испытаны основными производителями бутылок из ПЭТФ. Современные требования к барьерным свойствам материалов для пивных бутылок (в которых Aegis OX будет ядром трехслойной структуры) устанавливают максимальный предел проникновения кислорода через 120 дней, что превосходит средний срок нахождения бутылок в обращении от заполнения до использования потребителем. Другой вариант с высокими барьерными свойствами предлагается Nanosor. Предлагаемый компанией компаунд Imperm повышает существующий от природы газовый барьер аморфного MDX6 полиамида от компании Mitsubishi Gas Chemical (эти компании образовали стратегический союз для работы с данными нанокompозитными продуктами) с добавлением органоглины. Сообщается, что у нанокompозита Imperm, используемого в качестве центрального слоя трехслойного материала пивной бутылки из ПЭТФ, скорость передачи кислорода в сто раз ниже, чем у простого ПЭТФ. Также удваивается жесткость нанокompозитов, а их блеск и прозрачность схожи с теми, которые дает дорогая высокопрозрачная сополиамидная пленка. Тем не менее, нанокompозиты также ограничивают выбросы бензина, метанола и органических растворителей. Компания Ube America разработала барьерные материалы на основе нанокompозитов для использования в топливных системах автомобилей. Она использует до 5% органоглин для различных полиамидов. Компания сообщает, что при содержании 2% органоглины соответствующие нанокompозиты становятся в пять раз устойчивее к проникновению бензина, чем немодифицированные полиамиды. Ube разработала соэкструдированную линию материалов с топливным барьером под товарной маркой Escobesta, для которой используется в качестве среднего слоя нанокompозит из ПА 6/66 . Компания Ube сообщила на конференции «Нанокompозиты» в Брюсселе о следующих преимуществах этой топливной линии на основе материалов Escobesta (структура: многослойная соэкструзия ПА12 + клеящее вещество + нанокompозиты ПА6/66 + ПА6 ): высокая скорость экструзии; адгезионная способность; возможность утилизации; барьерные свойства; снижение затрат.

## Библиографический список

1. Кобелев А.Г., Шаронов М.А. Материаловедение. Технология композиционных материалов. Учебник. М.: Изд-во Кнорус, 2016. 270 с.
2. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы, 2-е издание. Санкт-Петербург, Изд-во Научные основы и технологии, 2015. 822 с.
3. Михайлин Ю.А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. Санкт-Петербург, Изд-во «Научные Основы и Технологии», 2013. 719 с.
4. Полимерные композиционные материалы. Свойства. Структура. Технологии. /под ред. А.А. Берлина.. Санкт-Петербург, Профессия, 2009. 560 с.
5. ГОСТ 32794-2014. Композиты полимерные. Термины и определения. 98 с.
6. Трибологические основы повышения ресурса машин: практикум / Стрельцов В.В., Колокатов А.М., Приходько И.Л., Шитов А.Н., Рожков С.В., Бугаев А.М. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2010. 168 с.
7. Байкалова В.Н., Приходько И.Л., Колокатов А.М. Основы технического нормирования труда в машиностроении. Учебное пособие. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2005. 102 с.
8. <http://365-tv.ru/index.php/stati/istoriya-tv/486-drevnie-dorogi-v-rossii-i-mire>
9. <http://holonist.livejournal.com/159763.html>
10. [http://www.запискишабашника.пф/2015/03/blog-post\\_25.html](http://www.запискишабашника.пф/2015/03/blog-post_25.html)
11. <http://aldanov.livejournal.com/337458.html>
12. <http://lemuriya.ru/tainstvennye-suda/>
13. [http://yavix.ru/%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%BE%D1%8F%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%B5%D1%88%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D1%8F%20\(%20%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0%20\)%20%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0](http://yavix.ru/%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%BE%D1%8F%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%B5%D1%88%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D1%8F%20(%20%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0%20)%20%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0)
14. <http://www.km.ru/science-tech/2013/08/30/issledovaniya-rossiiskikh-i-zarubezhnykh-uchenykh/719577-zachem-mumii-vosem->
15. [http://wairs.ucoz.ru/news/konstrukcija\\_luka\\_konstrukcija\\_i\\_izgotovlenie\\_drevnikh\\_lukov/2014-03-29-42](http://wairs.ucoz.ru/news/konstrukcija_luka_konstrukcija_i_izgotovlenie_drevnikh_lukov/2014-03-29-42)
16. <http://www.novate.ru/blogs/101015/33265/>
17. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%BD%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%BD%D1%8C)
18. <http://www.ba-bah.ru/istoricheskaya-spravka-kratkaya-vsemirnaya-istoriya-pirotekhniki>
19. <https://www.kite.ru/news/kitestaff/the-kite-story.php>
20. <http://www.pvsm.ru/fizika/72495>
21. <http://uacrussia.livejournal.com/tag/%D0%9C%D0%A1-21>
22. <http://argumenti.ru/society/n534/442691>
23. [http://olymp.as-club.ru/publ/arkhiv\\_rabot/desjataja\\_olimpiada\\_2012\\_13\\_uch\\_god/kak\\_i\\_gde\\_v\\_samoletostroenii\\_ispolzujutsja\\_kompozicionnye\\_materialy/31-1-0-825](http://olymp.as-club.ru/publ/arkhiv_rabot/desjataja_olimpiada_2012_13_uch_god/kak_i_gde_v_samoletostroenii_ispolzujutsja_kompozicionnye_materialy/31-1-0-825)
24. [http://www.polymery.ru/letter.php?n\\_id=696](http://www.polymery.ru/letter.php?n_id=696)
25. <http://compositeonline.ru/analytics/476/>
26. <http://www.ato.ru/content/na-ssj-100-uluchshat-zvukoizolyaciyu-dvigatelay>
27. <https://professional.ru/Soobschestva/promyshlennost/nachalis-ispytaniya-pervogo-rossijskogo/>
28. <http://coollib.com/b/322192/read>

29. <http://www.forcomposite.ru/article/application-composites/primenenie-kompozitov-v-multikopterakh/>
30. [https://flymod.net/item/composite\\_frame\\_qav180\\_quadcopter\\_fpv](https://flymod.net/item/composite_frame_qav180_quadcopter_fpv)
31. <http://www.expertcen.ru/article/ratings/luchshie-kvadrokopteri.html>
32. <http://arsenal-info.ru/b/book/3398882726/11>
33. <http://www.sevparaplan.com/biblioteka/leonardo-da-vinchi/all-pages>
34. <http://shano.diary.ru/p208114567.htm?oam>
35. <http://dictionary.sensagent.com/%D0%9C%D0%B0%D1%85%D0%BE%D0%BB%D1%91%D1%82/ru-ru/>
36. <http://arsenal-info.ru/b/book/3398882726/11>
37. <http://www.nanonewsnet.ru/news/2016/rossiiskii-oktakopter-na-vodorode-ustanovil-mirovoi-rekord-po-dlitelности-poleta-3-chasa-1>
38. <http://www.nanonewsnet.ru/news/2016/aviatsionnye-kompozity-poluchat-nervnuyu-sistemu>
39. <http://www.nanonewsnet.ru/news/2017/sozdan-material-sposobnyi-povysit-bezopasnost-samoletov-avtomobilei>
40. <http://www.nanonewsnet.ru/news/2016/v-vertoletnye-dvizhki-dobavyat-keramiku>
41. <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=32110>
42. [https://vpk.name/news/108559\\_kompozityi\\_dlya\\_sputnikov.html](https://vpk.name/news/108559_kompozityi_dlya_sputnikov.html)
43. <http://ngregion.ru/innovatsii/obninskaya-tehnologiya-stala-uchastnikom-samykh-ambitsioznykh-proektov-i-rossii-i-mira>
44. [http://www.tsniism.ru/production\\_4.htm](http://www.tsniism.ru/production_4.htm)
45. <http://uacrussia.livejournal.com/57189.html>
46. <http://www.sktb-plastik.ru/128/>
47. [https://vpk.name/news/92744\\_innovaciya\\_v\\_raketostroenii\\_kompozitnyii\\_kriobak.html](https://vpk.name/news/92744_innovaciya_v_raketostroenii_kompozitnyii_kriobak.html)
48. <http://compositeonline.ru/technology/5492/>
49. <http://compositeonline.ru/technology/4776/>
50. <http://www.dailytechinfo.org/news/9148-specialisty-nasa-sozdali-obrazcy-slozhnoy-kompozitnoy-tkani-prednaznachenny-dlya-ispolzovaniya-v-kosmose.html>
51. <http://www.nanonewsnet.ru/news/2016/snsz-zamestil-50-obema-kompozitnykh-materialov-na-otechestvennye>
52. <http://flotprom.ru/2017/%D0%A1%D0%BD%D1%81%D0%B72/>
53. <http://snsz.ru/?p=4594>
54. <http://compositeonline.ru/production/5475/>
55. [https://vpk.name/news/151584\\_rossiiskie\\_submariny\\_5go\\_pokoleniya\\_sdelayut\\_iz\\_kompozitov.html](https://vpk.name/news/151584_rossiiskie_submariny_5go_pokoleniya_sdelayut_iz_kompozitov.html)
56. <http://parohodoff.ru/taxonomy/term/188/feed>
57. [http://mysale.su/perm/vodniy\\_transport/3-x\\_mectnaya\\_novaya\\_plastikovaya\\_lodka\\_Sprint-1\\_11897.html](http://mysale.su/perm/vodniy_transport/3-x_mectnaya_novaya_plastikovaya_lodka_Sprint-1_11897.html)
58. <http://www.popmech.ru/technologies/53360-nedetskie-igrushki-personalnye-submariny/>
59. <http://www.bagnet.org/news/tech/290289>
60. [http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2\\_33683-2015](http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_33683-2015)
61. <http://center-science.ru/files/zgd.pdf>
62. <http://www.apatech.ru/news.html?id=110>
63. <http://uralvagonzavod.ru/product/98/62>

64. <http://contmaster.su/novosti/tank-kontejner-s-kompozitnyim-kotlom-ot-%C2%ABuralvagonzavoda%C2%BB.html>
65. <http://www.hccomposite.com/company/structure/>
66. <http://compositeonline.ru/technology/5489/>
67. <http://compositeonline.ru/journal/>
68. <http://hitech.vesti.ru/article/652818/>
69. <http://mashintop.ru/articles.php?id=2433>
70. <http://www.novate.ru/blogs/090111/16494/>
71. <http://www.novate.ru/blogs/140812/21315/>
72. <http://www.proenergo.net/2015/11/opory-lep.html>
73. <https://www.1stolb.ru/%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82/%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%8B-%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B5/>
74. <http://www.nanonewsnet.ru/news/2016/kompozitnye-opory-linii-elektroperedach-ispytali-v-dele>
75. <http://www.nanonewsnet.ru/news/2016/zashchitnoe-kompozitsionnoe-pokrytie-dlya-elektricheskikh-kontaktov>
76. <http://compositeonline.ru/tag/vetroenergetika/>
77. <http://www.rusnor.org/pubs/articles/7865.htm>
78. <https://topwar.ru/84964-razmyshleniya-o-stalnoy-i-kompozicionnoy-brone.html>
79. <https://bronegilet.ru/broneshlem/voennyj/#product>
80. <http://www.nanonewsnet.ru/news/2016/voennye-ispytayut-bronyu-iz-pautiny>
81. <https://topwar.ru/58217-tak-i-neosuschestvlenyy-proekt-nevidimogo-tankacomposite-armored-vehicle-cav-polnostyu-izgotovlennogo-iz-kompozicionnyh-materialov.html>
82. <https://topwar.ru/16366-kompozitnye-lopasti.html>
83. [http://rosgorprom.com/images/\\_sb2013\\_pdf/Sb2013ed\\_26.pdf](http://rosgorprom.com/images/_sb2013_pdf/Sb2013ed_26.pdf)
84. <http://poznayka.org/s64994t1.html>
85. <http://voztrogdenie-group.ru/Stati/issledovaniezashitnogopokritiya.html>
86. <http://www.flotenk-profile.ru/sfery/himija/>
87. [http://composite.ru/files/stekloplastikovy\\_e\\_mosty\\_istoriya\\_i\\_vzglyad\\_v\\_buduwee.pdf](http://composite.ru/files/stekloplastikovy_e_mosty_istoriya_i_vzglyad_v_buduwee.pdf)
88. <http://www.naftaros.ru/articles/42/>
89. <http://imhodom.ru/node/11353>
90. <http://compositeonline.ru/technology/5190/>
91. [http://www.physics.by/e107\\_files/mono/monograf\\_4fed\\_pdf/4fed\\_gl7.pdf](http://www.physics.by/e107_files/mono/monograf_4fed_pdf/4fed_gl7.pdf)
92. <http://www.nanonewsnet.ru/news/2017/sozdan-kompozitnyi-polimernyi-nanomaterial-idealno-podkhodyashchii-dlya-golograficheskikh->
93. <http://www.nanonewsnet.ru/news/2017/mits-kompozity-rossii-oformil-patent-na-termostoikii-nanokompozit>
94. <http://www.studfiles.ru/preview/4242438/>

## Глоссарий

**Автожир** (гирокоптер, гироплан, ротаплан, англоязычные: autogiro, gyrocopter, gyropplane, rotorplane) – схема, подобная самолёту, у которого в качестве крыла (или в дополнение к нему) установлен свободно вращающийся винт.

**АэроКомпозит-Ульяновск** – инновационное предприятие, входящее в состав Ульяновского авиационного кластера и Объединенной авиастроительной корпорации. Инвестиционный проект строительства первого в России завода по производству композитных конструкций для авиастроения в Ульяновске был запущен по трехстороннему соглашению между Объединенной авиастроительной корпорацией, Правительством Ульяновской области и компанией «АэроКомпозит» в феврале 2010 года.

**Барма и Постник** (XV век) – архитекторы, авторы Покровского собора (храма Василия Блаженного) на Красной площади в Москве.

Русский летописец XVII века сообщает о двух зодчих: «...дарова ему [Ивану Грозному] Бог дву мастеров русских по реклу Постника и Барму и была премудры и удобни таковому чудному делу». Имена Постника и Бармы встречаются в летописных источниках в разной интерпретации. Есть упоминание только одного имени Бармы. Есть и такое летописное известие, где имя Постник и прозвище Барма совмещаются в одном лице — «сын Постникова, по реклу Барма». Наиболее распространённой и устоявшейся точкой зрения является та, которая признает авторство за двумя зодчими, хотя существует и мнение, что Барма и Постник – это одно и то же лицо.

Во время строительства храма Барма и Постник не пользовались рабочим чертежом, они строили по «размерам», нарисованным на строительной площадке, а также по гигантской модели будущего собора, сделанной из дерева в натуральную величину. Впоследствии, в кирпичной кладке храма были обнаружены деревянные конструкции, оставшиеся от этого натурного макета.

Многим известна страшная легенда, связанная с создателями храма Василия Блаженного. Когда царь Иван Грозный впервые увидел построенный храм, то пришел в восторг от его красоты и великолепия. Грозный вызвал к себе зодчих, построивших храм, и спросил, смогут ли они создать такой же или, может быть, даже еще более красивый? «Сможем», - ответили зодчие. «А вот и не сможете!» - злобно воскликнул царь и приказал выколоть зодчим глаза.

Собор построен из кирпича, что позволило богато декорировать фасады, барабаны и даже купола. Изначально, он был двуцветным красно-белым, современная яркая окраска появилась позже, в конце XVII (по другой версии, в XVIII веке, при Екатерине) века, когда храм ремонтировали после пожара. Тогда же галереи, или «гульбище», были перекрыты и застеклены, появилось крыльцо, а колокольня была соединена с основным зданием.

За годы жизни собор несколько раз достраивался, поэтому в нем сейчас не изначальные девять, а одиннадцать куполов. Первая «модернизация» относится к 1588 году и связана с именем Василия Блаженного. Василий Блаженный – фигура подлинная и удивительная. В шестнадцать лет бывший подмастерьем у сапожника юноша обрел прозрение и дал обет юродства. Он отказался от всех материальных радостей жизни – постоянно соблюдал пост, ходил в лохмотьях и босиком, спал на паперти. При этом он был чрезвычайно популярен в народе. Ему приписывают множество чудес и поступков, которые можно назвать нравственным подвигом. Он

обличал воров и казнокрадов, делился скудным подаянием со страждущими, исцелял тела и души людей. Что в этих рассказах правда, а что вымысел - сказать сложно, но фигура явно была незаурядная. Говорят, его боялся сам Иван Грозный. Во всяком случае, после смерти Василия, царь лично нес его гроб вместе с боярами, а отпевал юродивого сам митрополит Макарий. Считается, что на могиле Василия стали происходить чудеса.

В 1588 году Василий был канонизирован как блаженный, и тогда же его перезахоронили в Покровском соборе, для чего по приказу царя Федора Иоановича, был построен специальный придел. С тех пор храм в народе именуют в честь Василия Блаженного.

**Бизнес-джеты** – это небольшие пассажирские самолеты бизнес-класса для перевозки VIP-пассажиров на деловые встречи и просто так. Используются в основном в деловой авиации для персональных перелетов в любые точки земного шара. Внутри такие самолеты оборудуются на нужном пассажиру уровне комфорта. Это, как правило, двухмоторные реактивные самолёты средней дальности полёта, укомплектованные салонами бизнес-класса вместимостью от 5 до 50 человек. Слово «джет» в переводе с английского означает «реактивный самолёт». Путешествовать бизнес-джетами могут позволить себе только очень состоятельные люди.

**VIP** произносится «Ви-Ай-Пи», расшифровывается как **Very Important Person**, то есть «очень важная персона», и служит для обозначения «сильных мира сего»: политиков, бизнесменов, знаменитостей и прочих, как говорили раньше, «мажоров».

**Вавилон** – один из городов Древней Месопотамии, располагавшийся в исторической области Аккад. Важный политический, экономический и культурный центр Древнего мира, один из крупнейших городов в истории человечества, «первый мегаполис», известный символ христианской эсхатологии и современной культуры. Руины Вавилона расположены у окраины современного города Эль-Хилла (мухафаза Бабиль, Ирак).

По легенде, люди решили построить там высокую башню, чтобы добраться до Бога. Но Бог разгневался на людей, и смешал все языки и народы, чтобы помешать богопротивному делу людей. Люди перестали понимать друг друга, башня была полностью разрушена, а это событие вошло в историю под названием «Вавилонское столпотворение».

**Вейкбординг** или **вейкборд** (часто просто вейк, от англ. wakeboard: wake - кильватер, board - доска) - экстремальный вид спорта, сочетающий в себе элементы воднолыжного слалома, акробатику и прыжки. В вейкбординге выделяют две дисциплины: вейкборд-катер и вейкборд-электротяга (кабельный вейкбординг). В катерном вейкбординге спортсмен едет за катером, держась за фал, и выполняет различные трюки с помощью бегущей волны и трамплинов.

**Ветхий завет**, христианское название еврейской Библии, составляет первую, более древнюю часть христианской Библии. Ветхий Завет в христианской традиции соотносится с Новым Заветом. У евреев Библия обычно именуется Китве ха-кодеш («Священные Писания») или, сокращенно, *Танах* – по первым буквам названий трех главных частей еврейской Библии: Тора (Пятикнижие), Невиим (Пророки, в свою очередь подразделяющиеся на Невиим ришоним, т.е. Ранних пророков, и Невиим ахароним, т.е. Поздних пророков) и Кетувим (Писания или Агиографы). Еврейский канон включает в себя 24 книги, расположенные в следующем порядке.

**Витрувий** Марк Поллион (лат. Marcus Vitruvius Pollio; I век до н. э.) - римский архитектор и механик, учёный-энциклопедист. На данный момент известна только фамилия - Vitruvius. Имя Марк и прозвище Поллион являются вероятными, поскольку источником большей части биографических сведений являются труды самого Витрувия.

Предположительно, родился как свободный римский гражданин в Кампании. Получил архитектурное образование. Во время гражданской войны под руководством Юлия Цезаря принимал участие в постройке военных машин. Позднее, будучи военным инженером, самостоятельно занимался разработкой и созданием баллист и других осадных орудий. Среди воплощённых проектов Витрувия наиболее значимыми являются базилика в Фано и конструкции римского акведука. Витрувий также является автором эргономической системы пропорционирования, позднее получившей распространение в изобразительном искусстве и архитектуре под названием «Витрувианский человек». В основе взглядов Витрувия лежало представление об универсальном объективном значении числовых закономерностей и пропорциональных отношений в строении Вселенной и человека, которыми надлежит руководствоваться и при сооружении зданий, и при построении машин. Дата смерти Витрувия неизвестна (что может свидетельствовать о том, что при жизни его работы не получили широкого признания).

**Галфвинд** (нидерл. *halve wind*), или полветра – курс, при котором угол между направлением ветра и направлением движения судна составляет около 8 румбов (около 90°). На этом курсе ветер дует перпендикулярно диаметральной плоскости (ДП) судна, а вымпельный ветер оказывается направленным с носа под острым углом к ДП.

**Геродот Галикарнаский** (484-425 г до н.э.) - древнегреческий историк, автор первого сохранившегося полномасштабного исторического трактата «История», описывающего греко-персидские войны и обычаи многих современных ему народов. Как древнегреческая поэзия начинается для нас с Гомера, так практически историография – с Геродота; предшественников его называют логографами. Труды Геродота имели огромное значение для античной культуры. Цицерон назвал его «отцом истории». Геродот чрезвычайно важный источник по истории Великой Скифии, включая десятки античных народов на территории современных Украины, России и Казахстана.

**Google Inc.** («Гугл») американская транснациональная публичная корпорация, реорганизованная 2 октября 2015 года в международный конгломерат Alphabet Inc., компания в составе холдинга Alphabet, инвестирующая в интернет-поиск, облачные вычисления и рекламные технологии. Google поддерживает и разрабатывает ряд интернет-сервисов и продуктов и получает прибыль в первую очередь от рекламы через свою программу AdWords. **Alphabet Inc.** - холдинг, располагающийся в Калифорнии (США). Владеет несколькими компаниями, ранее принадлежавшими Google Inc, и самой Google Inc в том числе. Во главе холдинга находятся сооснователи Google Ларри Пейдж и Сергей Брин. 1 февраля 2016 года Alphabet стал крупнейшей компанией в мире по рыночной капитализации, обойдя компанию Apple.

**Древняя Месопотамия** – одна из великих цивилизаций Древнего мира, существовавшая на Ближнем Востоке, в долине рек Тигр и Евфрат. Условные хронологические рамки – с середины IV тыс до н.э. (эпоха Урук) по 12 октября 539

г. до н.э. («падение Вавилона»). В разное время здесь располагались царства Шумера, Аккада, Вавилонии и Ассирии.

С IV тыс. до н.э. и до XIII в. н.э. в Междуречье находились крупнейшие города с наибольшим числом прилегающих населенных пунктов. В Древнем Мире Вавилон был синонимом Мирового Города. Месопотамия процветала при ассирийском и вавилонском владычестве, затем и при арабском господстве. Со времен появления шумеров и до падения Нововавилонского царства на территории месопотамской низменности проживало 10 % населения всей Земли. Междуречье относят к одному из древнейших очагов цивилизации в 4-м - 3-м тыс. до н.э., сформировавшему древние города-государства, среди которых шумерские города Киш, Урук (библейский Эрех), Ур, Лагаш, Умма, семитский город Акшак, шумерский город Ларса, а также государства Аккад, Ассирия и в начале 2000 г. до н.э. - Вавилония. В дальнейшем территория Месопотамии входила в состав Ассирии (IX-VII вв. до н.э.), Нововавилонского царства (VII-VI вв. до н.э.). Возможно, самым знаменательным в истории Месопотамии является то, что её начало совпадает с началом мировой истории. Первые письменные документы принадлежат шумерам. Из этого следует, что история в собственном смысле началась в Шумере и, возможно, была создана шумерами.

**Инки** – империя Инков развилась между 1400 и 1500 н.э. в районах, в которых теперь расположено Перу.

**Кайт** (англ. *power kite* - буксировочный воздушный змей) - большой управляемый воздушный змей (примерная площадь 4...12 м<sup>2</sup>), предназначенный для передвижения человека по поверхности воды или по снегу (буксировочный кайт).. Также, кайтом называют и его уменьшенную версию, предназначенную для обучения управлению кайтом и развлечений (пилотажный кайт, примерная площадь 1...3 м<sup>2</sup>). Основные виды кайтов по конструкции: парафойл и надувные.

**Камыш** (лат. *Scirpus*) – род многолетних однолетних прибрежно-водных растений семейства Осоковые. Высокое многолетнее растение. Стебель цилиндрический или трёхгранный высотой до 2,5 м. Цветки обоеполые, в колосках, собранных в зонтиковидное, метельчатое или головчатое соцветие. Известно 52 вида, распространённых по всему земному шару. На территории России произрастают: камыш колхидский, камыш Максимовича, камыш восточный, камыш укореняющийся, камыш лесной, камыш Вихуры.

**Кинёрет** (ивр. «ям Кинёрет»; араб. «Бухайрат-Табария»; также море Киннёрет или Хиннёретское, Тивериадское море, Генисарётское озеро, Геннисарётское озеро) – пресноводное озеро на северо-востоке Израиля. Более известное как Галилэйское море, Побережье озера является одним из самых низких участков суши на Земле – в среднем, на 213 м ниже уровня моря. Это самое низкое пресноводное озеро на Земле. Максимальная глубина – 45 м.

**Конвертоплан** (англ.: *convertiplane, heliplane*) – летательный аппарат с поворотными винтами, которые на взлёте и при посадке работают как подъёмные, а в горизонтальном полёте – как тянущие (при этом в полете подъёмная сила обеспечивается крылом самолётного типа). Таким образом, этот аппарат ведет себя как вертолет при взлете и посадке, но как самолет в горизонтальном полете. Большие винты конвертоплана помогают ему при вертикальном взлете, однако в горизонтальном полете они становятся менее эффективными по сравнению с винтами меньшего диаметра традиционного самолета.

**Костра́** (кострика, костеря, кострица) - одревесневшие части стеблей прядильных растений (льна, конопли, кенафа и др.), получаемые при их первичной обработке (мягчении, трепании). Костра составляет 65...70 % массы лубяного стебля и в основном состоит из целлюлозы (45...58 %), лигнина (21...29 %) и пентозанов (23...26%). Из костры делают строительные и теплоизоляционные плиты (см. костробетон), бумагу, топливо (см. костробрикет), сечку конопляную и др.

**Мякина** (поло́ва) - отброс, получающийся при молотье хозяйственных растений. Состоит из мелких, легкопадающих частей колосовых и бобовых растений, вроде обломков колосьев, цветочных и кроющих плёнок колосков, стручьев, обрывков, стеблей и пр. Сохраняется под навесами с опускающимися низко к земле крышами или в сараях, где она защищена от дождей и заноса снегом. Мякина находит себе применение в качестве кормового средства. По своему составу она ближе всего подходит к соломе тех растений, от которых она получается, но превосходит её содержанием азота и лёгкой переваримостью в свежем состоянии.

**Мультикоптер** (англ. *multirotor*, *multicopter*, многороторный вертолёт, многолёт) - общее название для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), построенный по вертолётной схеме с тремя и более несущими винтами. Образовано от слов «*multi*» (несколько) и «*copter*» (вертолет). Один из первых квадрокоптеров (четырёхроторный вертолет), который реально оторвался от земли и мог держаться в воздухе, был создан и испытан в 1922 году. Недостатком этих аппаратов была сложная трансмиссия, передававшая вращение одного мотора на несколько винтов. Изобретение хвостового винта и автомата перекоса исключила эти недостатки. Новые разработки начались в 1950-е годы, но дальше прототипов дело не продвинулось. Новое рождение мультикоптеры получили в XXI веке, уже как беспилотные аппараты. Благодаря простоте конструкции квадрокоптеры часто используются в любительском моделировании. Мультикоптеры удобны для недорогой аэрофото- и киносъёмки - громоздкая камера вынесена из зоны действия винтов.

**Коптер** – сокращение от слова «*helicopter*», вертолет. Используется либо по прямому назначению, либо как обозначение беспилотного летательного аппарата с *n*-ым количеством несущих винтов.

**Квадрокоптер** - БПЛА с 4 пропеллерами, что обычно размещаются по краям коптера. Русское название «*квадрокоптер*» - калька с английского «*quadcopter*», что переводиться как 4-роторный вертолет.

**Гексакоптер** - БПЛА с 6 пропеллерами, что обычно размещаются по краям коптера. Название произошло от слов «*hexa*» («*гекса*», с древнегреческого — «*шесть*») и «*copter*».

**Октокоптер** - БПЛА с 8 пропеллерами, что обычно размещаются по краям коптера. Название произошло от слов «*octo*» («*окто*», с латыни - «*восемь*») и «*copter*».

**Дрон** – БПЛА. Часто это название применяется для обозначения квадрокоптеров и других мультикоптеров, что является ошибкой, поскольку дроном называются беспилотники военного назначения, внешний вид которых существенно отличается от коптеров.

**Ready-to-Fly** - собирательное название для мультикоптеров, что не требуют сборки. Дословно это выражение можно перевести как «готовый к полету». Как

правило, для первого полета таких мультикоптеров нужно лишь зарядить аккумуляторную батарею и, в некоторых случаях, откалибровать компас.

**Орнитоптёр (махолёт)** – аэродинамический летательный аппарат, двигателем которого является машущее крыло. В русском языке также распрос-транены синонимы – махолёт, птицекрылый летательный аппарат и т. п. Хотя в истории известно множество попыток создания орнитоптера на мускульной тяге, но до сих пор не создано ни одного такого аппарата. Основная проблема в создании пилотируемого орнитоптера на мускульной тяге заключается в недостаточно высоком отношении вырабатываемой человеком мощности в течение длительного времени к суммарной массе аппарата и самого пилота. Проще говоря, современный человек не настолько силен и вынослив, чтобы поднять с помощью искусственных крыльев свой вес от земли и продержаться в воздухе хотя бы несколько секунд. В настоящее время махолёты в основном строятся таких же размеров, как птицы и насекомые. Создание более крупных махолётов сталкивается со значительными трудностями. Тем не менее предпринималось много попыток построить махолёт, которым мог бы управлять человек, и некоторые такие махолёты были способны летать.

**Обечайка** – открытый цилиндрический или конический элемент конструкции (типа обода или барабана, кольца, короткой трубы), используемый в изготовлении сварных или деревянных сосудов, резонаторов музыкальных инструментов, стенки люков и т. д.

Обечайка топливного бака корпуса ракеты на жидком топливе - элемент топливного бака корпуса ракеты на жидком топливе, представляющий собой оболочку, расположенную между распорно-стыковочными шпангоутами. Обечайка обычно бывает цилиндрической или конической формы

**Папи́рус (растение)** или **сыть папирусная** – травянистое многолетнее растение семейства Осоковые, встречающееся в Африке. Другие названия растения – папирусная осока, бумажный тростник. В древне-египетской иконографии изображения папируса, растущего по берегам Нила, встречаются с начала III тысячелетия до н.э. Это растение ещё в глубокой древности стало символом Нижнего Египта, а позднее для греков и римлян. Папирус – очень высокое растение до 5 м с почти безлистными побегами диаметром до 7 см. Стебли треугольной формы растут из толстого, древообразного корневища; каждый стебель на конце несёт крупное зонтиковидное соцветие, которое у молодого растения имеет форму метёлки. Из его стеблей сооружали тростниковые ладьи (барельефы эпохи четвёртой династии с изображением людей, режущих папирус для строительства лодки; подобные суда до сих пор можно встретить в Судане), паруса, мачты, ткань, верёвки, и сандали. Согласно Теофрасту, такелаж флота правителя Антигона был сделан из папируса.

**Папи́рус** или **би́блиос** – писчий материал, в древности распространённый в Египте, а позднее – на всём пространстве античного мира. Для изготовления папируса использовалось одноимённое водно-болотное растение *Syperus papyrus*, принадлежащее семейству Осоковые. Использовался в Египте по меньшей мере с III тысячелетия до н.э., в античном мире появился примерно с VII века до н.э. Был в употреблении до XII века, вплоть до вытеснения бумагой. Для производства папируса египтяне использовали тростниковое растение из семейства осоковых, которое в изобилии произрастало на берегах Нила.

**Пропилеи** – парадный проход, проезд, образованный портиками и колоннами, расположенными симметрично оси движения на каком-либо (главным образом - священном) участке (позднее - в архитектурном ансамбле или в дворцово-парковом комплексе) Наиболее распространены пропилеи, образованные двумя стенами, с боков ограждающими проход, и одной поперечной стеной с проемами, пересекающей проход примерно посередине его длины; имеющими колоннады на обоих фасадах. Характерны для архитектуры Древней Греции (известны уже в эпоху Эгейской культуры). Выдающимся памятником архитектуры являются знаменитые пропилеи, оформляющие вход на акрополь в Афинах (437-432 до н.э.). Позже, в конце XVIII - начале XIX веков, к этому типу сооружений обращались архитекторы классицизма, в частности это сказалось на форме триумфальных ворот. Во второй половине XIX и в XX вв. пропилеи строятся преимущественно как часть особо значительных торжественных архитектурных комплексов.

**Птерозавры** (или **летающие ящеры**) – отряд вымерших летающих архозавров. Жили в мезозойскую эру. Последние представители относятся ко времени вымирания динозавров, около 66 млн лет назад. Размах крыльев птерозавров достигал 11 м, что более чем втрое превышает этот показатель у крупнейшей из ныне живущих летающих птиц альбатроса. В середине XVIII в. учёные извлекли из юрских зольнхофенских известняков (Бавария, Германия) несколько полных скелетов небольшого животного. Это существо настолько отличалось от всех современных животных, что долгие годы учёные терялись в догадках, что это за животное. Одни сочли его неведомой уткой, другие - летучей мышью и даже миниатюрным драконом. И только в 1809 году французский зоолог и палеонтолог Жорж Кювье окончательно установил, что найденные скелеты принадлежали вымершей летающей рептилии. Кювье назвал её птеродактилем («палецкрыл»).

**Смитсоновский институт** (англ. *Smithsonian Institution*) - научно-исследовательский и образовательный институт в США и принадлежащий ему комплекс музеев. Основан в 1846 году актом Конгресса США. Официально считается государственным учреждением, финансируется правительством США, частными жертвователями, а также за счёт издательской и коммерческой деятельности (в основном, выпуск развивающих и обучающих игр, программ, видеоматериалов, продажа сувениров). Большинство учреждений находится в Вашингтоне. Своё название институт получил в честь английского учёного Джеймса Смитсона, умершего бездетным и завещавшего всё своё состояние на «основание учреждения в США, которое будет служить развитию и распространению знаний». Смитсоновский институт - образовательный и научно-исследовательский институт и связанный с ним музейный комплекс, самое крупное в мире хранилище экспонатов, музейных ценностей и артефактов. В состав института входят 19 музеев, зоопарк, 9 научно-исследовательских центров, а также 156 музеев, являющихся филиалами Смитсоновского института. Из них 10 музеев находятся на Национальной аллее.

**Трирема** (триёра) - класс боевых кораблей, которые использовались античными цивилизациями Средиземноморья, в особенности финикийцами, античными греками и древними римлянами. Триремы получили своё название из-за 3 рядов вёсел, которые, предполагается, располагались одно над другим в шахматном порядке; каждым веслом управлял один человек. Ранние триремы являлись результатом эволюции унитариев - античных боевых кораблей с одним рядом вёсел, от 12 до 25 с каждой стороны, и бирем - боевых кораблей с двумя рядами

вёсел. Возможно, что первыми построили трирему финикийцы. Являясь самым быстрым и манёвренным боевым кораблём, трирема доминировала в Средиземноморье с 7-го по 4-й век до н.э., пока не появились более крупные боевые корабли - quadriremes и quinqueremes (пентеры). Триеры играли важную роль в Греко-персидских войнах, в становлении морской империи Афин и её падении в результате Пелопоннесской войны.

**Тростник** – род крупных широко распространённых многолетних травянистых растений семейства Злаки, или Мятликовые. Это растение иногда ошибочно называют словом «камыш», однако Камыш (*Scirpus*) - это род растений семейства Осоковые (*Cyperaceae*). Сахарный тростник - другой род злаков из подсемейства просовых (*Panicoideae*).

**Тур Хейердал** (1914-2002), выдающийся норвежский путешественник, этнограф и археолог. Окончил университет в Осло и начал научные исследования в Тихом океане, которые прервала II мировая война. Хейердал в качестве радиостандиверсанта, сражался за освобождение Норвегии от нацистов и был удостоен награды за храбрость. Приобретенные на войне навыки способствовали успеху его экспедиций. Хейердал и пятеро его соратников построили плот «Кон-Тики» и пересекли Тихий океан за 101 день, преодолев 8000 км. В 1969-1970 годах он построил папирусные ладьи Pa и Pa-2.

**Шаттл** (англ. Space Shuttle - «космический челнок») - американский многоразовый транспортный космический корабль. Шаттлы использовались в рамках осуществляемой НАСА государственной программы «Космическая транспортная система» (англ. Space Transportation System, STS).

Подразумевалось, что шаттлы будут «снова, как челноки» между околоземной орбитой и Землёй, доставляя полезные грузы в обоих направлениях. Программа по созданию шаттлов разрабатывалась компанией North American Rockwell по поручению НАСА с 1971 года. При создании системы использовался ряд технических решений для лунных модулей программы «Аполлон» 1960-х годов: эксперименты с твердотопливными ускорителями, системами их отделения и получения топлива из внешнего бака. Всего было построено 5 шаттлов (два из них погибли в катастрофах) и один прототип. Полеты в космос осуществлялись с 1981 по 2011 гг.

В 1985 году НАСА планировало, что к 1990 году будет совершаться по 24 старта в год, и каждый из кораблей совершит до 100 полётов в космос. На практике же они использовались значительно меньше - за 30 лет эксплуатации было произведено 135 пусков (в том числе две катастрофы). Больше всего полётов (39) совершил шаттл «Дискавери».

**Шеллак** (от нидерл. schellak) - природная смола, экскретируемая самками ряда родов насекомых-червецов семейства Kerriidae, паразитирующими на некоторых тропических и субтропических деревьях в Индии и странах Юго-Восточной Азии. В качестве производителя шеллака наиболее известен вид *Kerria lacca*, он же *Laccifer lacca*, культивируемый в некоторых тропических странах (включая не только Азию, но и Центральную Америку) намеренным подсаживанием на дикорастущие растения соответствующих пород.

Шеллак используется для изготовления лаков, изоляционных материалов и в фотографии. До изобретения винила в 1948 году шеллак использовался для производства грампластинок. Используется в пиротехнике как горючее вещество,

например, для сигнальных огней (зелёный огонь: 85% - хлорат бария, 15% - шеллак), трассирующих боеприпасов (трассирующий состав: 55% - нитрат бария, 35% - магний, 10% - шеллак). Шеллак съедобен и используется в качестве глазури для покрытия таблеток, конфет, обозначаясь при этом в составе как пищевая добавка E-904. Лак на спиртовой основе из шеллака используется в мебельной промышленности, в обувной промышленности, как закрепитель для уреза кожаных подошв и каблуков, а также используется для финишного покрытия акустических музыкальных инструментов из дерева.



*Научное издание*

**Колокатов Александр Михайлович  
Гамидов Абдурахман Гаджиевич  
Ибиев Гани Закаевич**

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ:  
исторические примеры использования  
и применение**

Коллективная монография

ISBN 978-5-98896-198-7



Подписано в печать 10.11. 2022. Формат 60 x 84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Усл. печ. л. 17,6. Тираж 100 экз. Зак. № 641  
Издательство ГУП «Книжное издательство»,  
ЧР, г. Грозный, ул. Н.Назарбаева, 92