



*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования*

«Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана»  
(МГТУ им. Н. Э. Баумана)



# Проектирование элементов автомобиля из композиционных материалов

## Лекция 12 «Элементы подсистем автомобиля из композиционных материалов»

*Составил доцент кафедры «Колесные машины», к.т.н.*

**Карташов Александр Борисович**



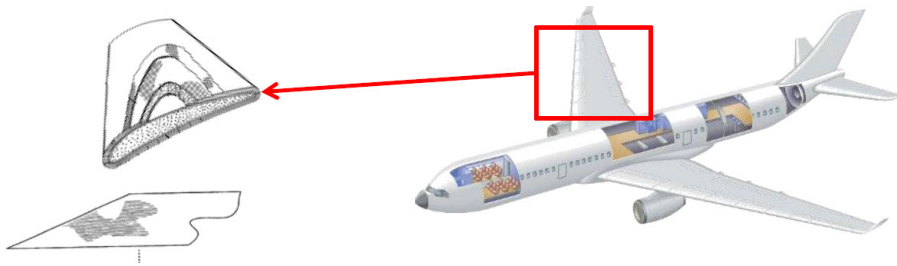
# Введение



Высокого качества автомобильной техники нельзя добиться без применения полимерных материалов вообще и полимерных композиционных материалов (ПКМ), в частности.

Полимерные материалы и ПКМ позволяют снизить массу автомобилей, материалоемкость и трудоемкость их изготовления, повысить надежность и комфортабельность, улучшить эксплуатационные параметры и конкурентоспособность.

Наиболее широко ПКМ применяются в крупногабаритных конструкциях, где можно получить наибольшую эффективность.





# Введение



Как показывает практика использования ПКМ в автомобилестроении, основные области их применения:

- различные крупногабаритные кузовные конструкции (кузова, кабины, капоты, крылья, двери, бамперы и др.);
- корпуса плавающих машин;
- узлы трансмиссии (трубы карданных передач, фрикционные накладки дисков сцепления, фрикционные элементы управления коробок передач и др.);
- узлы ходовой части автомобиля (упругие элементы систем поддрессоривания, подшипники скольжения, рычаги подвески, фрикционные элементы тормозных механизмов, ободья колес, декоративные колпаки колес легковых автомобилей и др.).



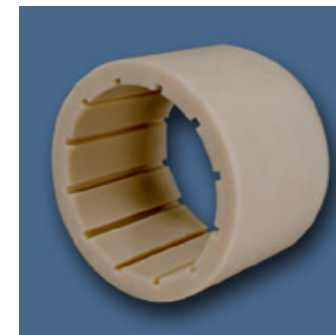
# 1. Элементы трансмиссии из композиционных материалов



## 1.1. Фрикционные элементы трансмиссии автомобиля

Композиционные материалы широко применяются во фрикционных узлах трансмиссии автомобиля — это ведомые диски сцеплений, элементы управления коробок передач (блокировочные муфты, тормоза).

Несмотря на значительные различия в конструктивном исполнении и функциональном назначении, фрикционные узлы имеют много общего, так как их работа основана на использовании сил трения для соединения ведущих и ведомых элементов различных подсистем автомобиля.





# 1.1. Фрикционные элементы трансмиссии автомобиля



При проектировании фрикционных узлов к ним предъявляются следующие основные требования:

- 1) надежное обеспечение передачи расчетного момента к ведомым элементам узлов;
- 2) высокая износостойкость фрикционного материала в паре трения при больших давлениях, что определяет долговечность узлов, их габариты и массу;
- 3) высокое значение коэффициента трения, который не должен зависеть от скорости скольжения, температуры, давления и степени изношенности поверхностей трения (чем выше коэффициент трения, тем меньше при прочих равных условиях габариты фрикционного узла);
- 4) экологическая чистота фрикционного материала и его доступность по стоимости для изделий автомобильной промышленности;
- 5) необходимые плавность включения и чистота выключения.



# Фрикционные элементы трансмиссии автомобиля



Во фрикционных узлах также следует обязательно обеспечивать хороший теплоотвод от элементов трения, так как их работа сопровождается выделением большого количества теплоты.

Силы нормального давления между трущимися поверхностями должны уравниваться внутри фрикционного узла и передаваться на подшипники валов.

Все фрикционные материалы в узлах трения подразделяются на металлические и композиционные.

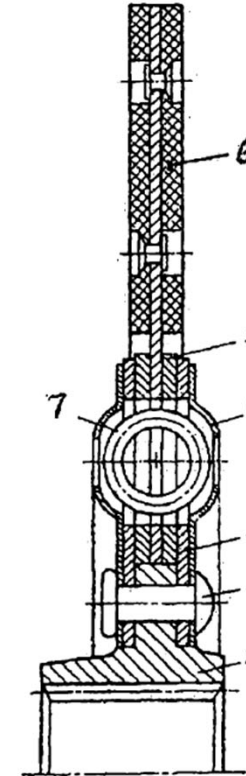
Рассмотрим особенности работы в узлах трения композиционных материалов, наиболее часто встречающихся в конструкциях сцеплений и коробок передач.



## 1.2. Ведомые диски фрикционных сцеплений



Ведомый диск (ВД) — важная часть фрикционных сцеплений (ФС), определяющая его ресурс. Он воспринимает от ведущих частей крутящий момент и за счет сил трения на рабочих поверхностях передает его в трансмиссию. Основные части ВД — диск-держатель 5, накладки 6 и ступица 1



Ведомый диск сцепления:  
1 — ступица; 2 — заклепка; 3 — диск демфера; 4 — обойма; 5 — диск-держатель; 6 — фрикционная накладка; 7 — пружина демфера

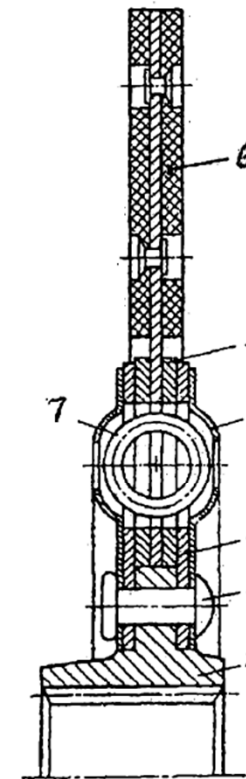


## 1.2. Ведомые диски фрикционных сцеплений



Диск-держатель выполняется из углеродистых сталей 45, 65Р, 70 или других и имеет толщину 10...25 мм, а накладки — из композиционных материалов.

Накладки выполняются в виде кольца или сегментов. На поверхностях трения накладок часто имеются радиальные или наклонные прорези (канавки). Они предназначены для удаления продуктов изнашивания и вентиляции поверхностей трения. Глубина канавок не более 25 % толщины накладки, а ширина 3...5 мм.



Ведомый диск сцепления:

1 – ступица; 2 – заклепка; 3 – диск демпфера; 4 – обойма; 5 – диск-держатель; 6 – фрикционная накладка; 7 – пружина демпфера



# Ведомые диски фрикционных сцеплений



Таблица 1.1

Основные параметры проектируемых сцеплений

Размеры накладок, мм			Максимально допустимая частота вращения $n_{дв\ max}$ , мин <sup>-1</sup>
Наружный диаметр $D_H$	Внутренний диаметр поверхности трения $d_H$	Толщина фрикционной накладки $\delta_H$	
180	100, 120, 125	2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5	8000
190	110, 130, 140		8000
200	120, 130, 140		8000
215	140, 150, 160		8000
225	140, 150, 160, 175		7000
240	160, 180		7000
250	155, 180		5000
280	165, 180, 22		5000
300	165, 175, 200	3,5; 4,0; 4,5; 6,0	4500
310	175, 200		4500
325	185, 200, 220, 230		4500
340	185, 195, 210	4,0; 4,5; 4,7; 5,0; 6,0	4000
350	195, 200, 210, 240, 290		4000
380	200, 220, 230		3500
400	220, 240, 280		3000
420	220, 240, 280	4,0; 4,5; 5,0; 6,0	3000
450	200, 240, 290	5,0; 5,5; 6,0	3000

Наружный диаметр  $D_H$  фрикционной накладки ограничивается, как правило, размерами маховика двигателя и должен быть согласован с ГОСТ 1786—88 на размеры фрикционных накладок (см. таблицу).



# Ведомые диски фрикционных сцеплений



Накладки соединяют с диском-держателем заклепками, клеем или путем прессования (рис. 1.2).

Прессование производится в горячих пресс-формах одновременным сжатием двух брикетов из композиционного фрикционного материала и расположенного между ними диска-держателя.

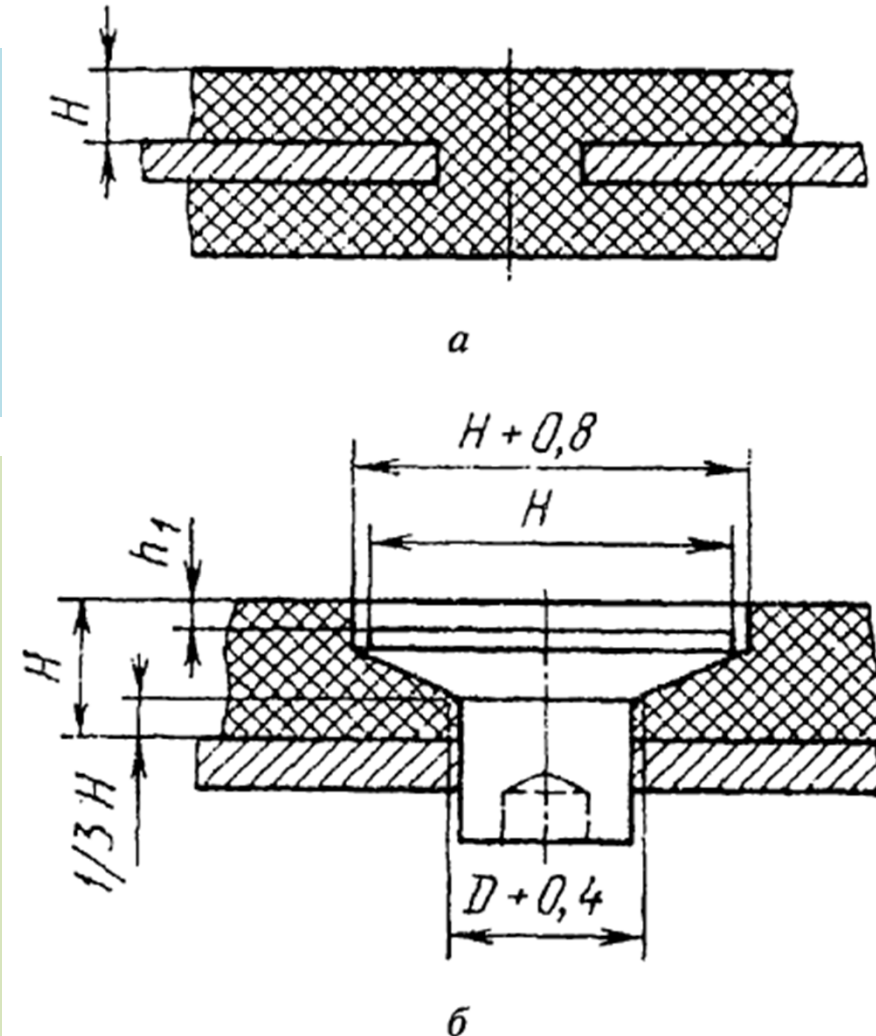


Схема соединения фрикционных накладок с диском:  
*a* – приформованного; *б* – заклепочного



# Ведомые диски фрикционных сцеплений

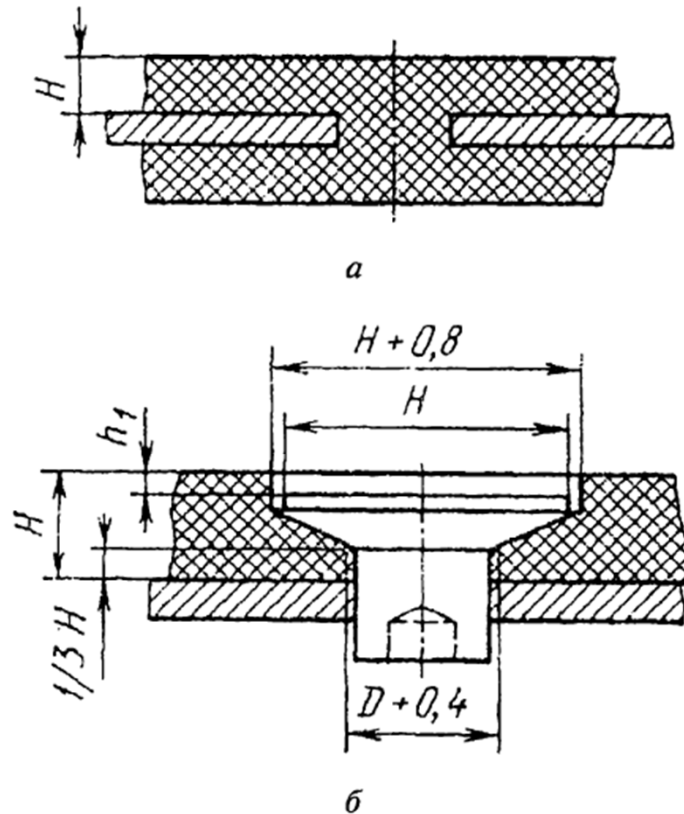


Схема соединения фрикционных накладок с диском:  
*a* – приформованного; *b* – заклепочного

Прочное сцепление осуществляется в результате адгезии между брикетами и диска-держателя и за счет того, что фрикционный материал двух брикетов соединяется в одно целое в прорезях и окнах диска-держателя (рисунок *a*). Чтобы не произошло коробления и трещинообразования в накладке, ее выполняют не в виде кольца, а сегментами.



# Ведомые диски фрикционных сцеплений



Клеевое соединение диска-держателя и фрикционных накладок имеет то преимущество, что при этом используется вся поверхность трения кольца, а не сегментов. Кроме того, срок службы таких дисков повышается за счет увеличения полезной толщины  $\delta_1$  накладки практически до полной толщины  $\delta_H$  накладки и увеличения площади трения в связи с отсутствием отверстий под заклепки (рисунок, б).

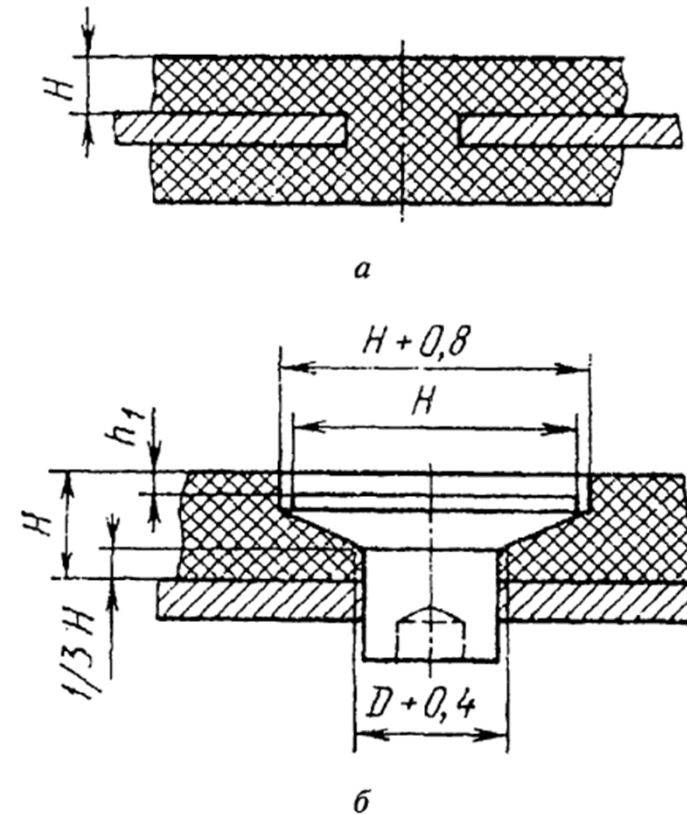


Схема соединения фрикционных накладок с диском:  
а – приформованного; б – заклепочного



# Ведомые диски фрикционных сцеплений



При заклепочном соединении накладки удерживаются от проворачивания реакцией заклепок и силой трения между диском-держателем и обратной (нерабочей) стороной накладок. Иногда применяют усиление стыка клеем, наносимым вокруг отверстий под заклепки на нерабочей стороне накладок. В зависимости от нагрузок и ширины  $D_H — d_H$  поля накладок заклепки могут располагаться в один, два или три ряда. Они могут соединять либо сразу обе накладки и диск, либо попеременно одну из накладок и диск.

Накладки современных ФС выполняют только из композиционных материалов. По типу матрицы они могут быть металлическими, минеральными и полимерными. Для их производства используют методы порошковой металлургии и переработки ПКМ.



# Ведомые диски фрикционных сцеплений



Название спеченных материалов накладок определяется матрицей (железо, медь, металлокерамика), которая связывает компоненты и придает композиту необходимую прочность. Наибольшее распространение в условиях без смазки получили материалы с железной и медной (бронзовой) матрицами.

В качестве наполнителей используют фрикционные добавки и твердые смазочные материалы (для предотвращения схватывания сцепления). Металлокерамические накладки изготовляют прессованием порошков указанных материалов под давлением 100...600 МПа с последующим спеканием при температуре 700...800 °С. Во время спекания металлокерамическая накладка прочно соединяется со стальным дискодержателем.



# Ведомые диски фрикционных сцеплений



Хорошая прирабатываемость металлокерамики приводит к тому, что в процессе трения поверхности трения ведущих и ведомых дисков касаются друг друга почти по всей номинальной площади. В результате тепловые потоки равномерно распространяются по поверхностям и в дисках не возникает значительных тепловых напряжений. Это способствует повышению работоспособности ФС и позволяет допустить следующие давления на поверхности трения:

- при трении всухую — до 2 МПа,
- при трении в масле — до 4 МПа.

Металлокерамика позволяет создать наиболее компактные фрикционные узлы, что важно при выборе фрикционного материала ведомых дисков сцепления.



# Ведомые диски фрикционных сцеплений



От названия фрикционных наполнителей зависит название композита. Например, металлокерамическими называют спеченные материалы, содержащие керамические наполнители, металлопластмассами – материалы, в которых поры матрицы заполняются полимерами (фторопластом, пульвербакелитом и т. д.).

Ударная вязкость спеченных материалов невелика, вследствие чего они плохо воспринимают динамические нагрузки.



# Недостатки накладок из металлических композитов



Накладки на основе металлических композитов (спеченные материалы) имеют ряд недостатков:

- удовлетворяют современным требованиям к поверхностям трения по износотрибционным свойствам в довольно узком диапазоне механических (удельная мощность трения  $175 \text{ Вт/см}^2$  под давлением до 1 МПа) и тепловых (температура в диапазоне до  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ ) нагрузок;

- имеют плотность, в 2-3 раза превышающую плотность традиционных материалов;

- дорогостоящи;

- отличаются относительно невысокими механическими характеристиками;

отрицательно влияют на износ и состояние поверхностей трения.



# Ведомые диски фрикционных сцеплений



Из-за отмеченных недостатков металлические композиты не могут конкурировать с ПКМ. Тем не менее они применяются в автомобилях большой грузоподъемности, тягачах, тракторах, т.е. там, где условия эксплуатации очень тяжелые.

ПКМ для накладок представляют собой композицию, состоящую из:

- полимерной матрицы,
- теплостойкого армирующего материала,
- армирующего наполнителя.

Матрицей являются материалы на основе:

- полимерных смол (арамидные, фенолформальдегидные, апилиноформальдегидные, оксалоны, полиамидные и др.);
- синтетические каучуки
- комбинации синтетических каучуков с полимерными смолами.



# Ведомые диски фрикционных сцеплений



Для регулирования эксплуатационных и технологических свойств применяют наполнители:

- 1) металлические (медь, бронза, латунь, цинк, алюминий, свинец, железо, титан, другие металлы и соединения в виде порошков, стружки или проволоки);
- 2) неметаллические (углерод, графит, кокс, сера и др.);
- 3) минеральные (керамика, барит, глинозем, каолин, мел, сурик и др.);
- 4) органические.

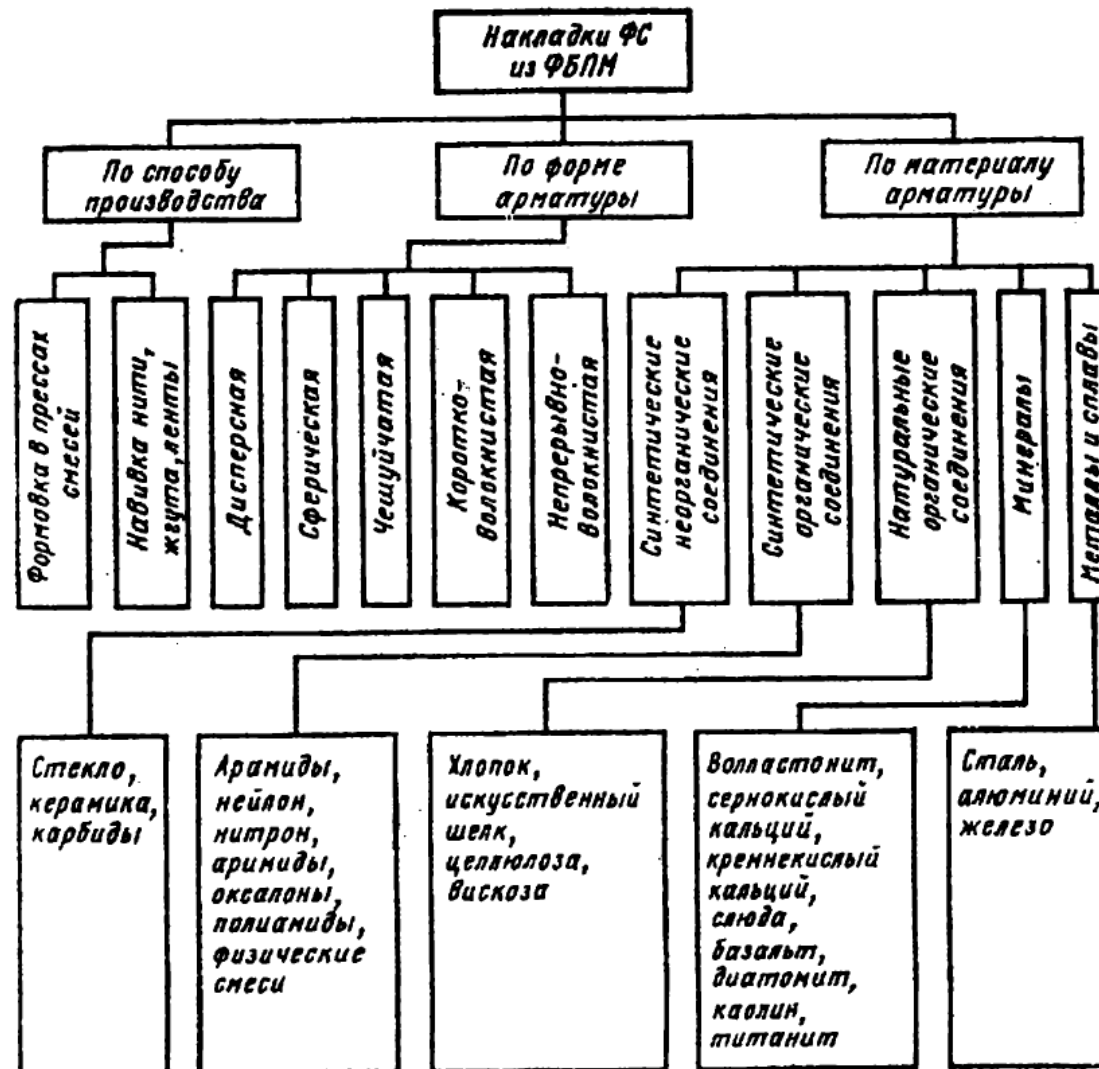
Для улучшения механических свойств в качестве арматуры применяют различные волокна. В настоящее время запрещено по экологическим соображениям применение асбестовых волокон, которые имели наибольшее распространение как арматура в накладках сцепления.



# Ведомые диски фрикционных сцеплений



## Классификация накладок из композиционных материалов





# Ведомые диски фрикционных сцеплений



В нашей стране в накладках могут использоваться материалы на основе канцерогенных волокон асбеста, которые обладают сравнительно высокой теплостойкостью (до 400...450 °С) и имеют в паре со сталью или чугуном при работе всухую коэффициент трения 0,3...0,5, а при работе в масле 0,06...0,08. Износостойкость таких материалов соизмерима с износостойкостью чугуна.

В целях увеличения теплопроводности накладок из композита на основе асбестовых волокон их армируют латунной, медной или алюминиевой проволокой. В качестве матрицы применяют различные полимерные материалы, а также синтетический каучук (асбокаучук).



# Ведомые диски фрикционных сцеплений



В состав таких материалов вводят различные наполнители:

- оксид цинка, улучшающий износостойкость;
- железный сурик, повышающий коэффициент трения;
- графит, повышающий термостойкость;
- барит, стабилизирующий коэффициент трения.

В большинстве стран мира существует запрет на применение любых материалов на основе асбеста. В тех конструкциях, где ранее применялись волокна асбеста, проведена замена этой составляющей фрикционного композита на экологически чистые материалы: базальтовые, стеклянные, арамидные волокна, металлическое волокно, вискозу, волластонит. Обычно применяют не один материал, а гибридные материалы.



## 1.4. Фрикционные элементы управления коробок передач



В КП автомобилей для переключения передач широко применяются механизмы (тормозные муфты), в которых используются фрикционные композиты. По конструктивному признаку фрикционные узлы делятся на дисковые и ленточные. В плане-тарных КП (ПКП), а также в некоторых КП с неподвижными осями фрикционные узлы (тормоза и муфты) устанавливаются для остановки или для блокировки звеньев с целью получения требуемой передачи.



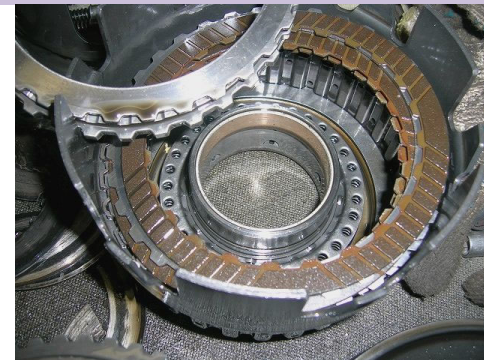


## 1.4.1. Дисковые фрикционные элементы управления



Наиболее часто в качестве фрикционных элементов управления в КП применяют дисковые тормоза и блокировочные муфты. Дисковые фрикционные элементы позволяют формировать большие площади трения, а чем больше поверхность трения фрикционного элемента, тем больший момент он может передавать.

Принцип работы дискового тормоза ничем не отличается от принципа работы блокировочной муфты. Разница заключается в том, что дисковый тормоз соединяет какое-либо звено КП с неподвижным корпусом КП, а блокировочная муфта соединяет между собой два звена КП.





# Дисковые фрикционные элементы управления



Фрикционный диск с накладками состоит из стального диска и приклеенных к нему, как правило, с двух сторон фрикционных накладок. В настоящее время наибольшее распространение нашли накладки из композиционных материалов (бумажные и металлокерамические).

Бумажные фрикционные накладки состоят из полимерной матрицы, а в качестве армирующего материала используются целлюлозные волокна. Для увеличения коэффициента трения и долговечности в полимерные связующие часто вводят наполнители в виде порошков графита или керамики.

Металлокерамические накладки изготавливают с применением медного порошка, смешанного с порошками свинца, базальта, асбеста и связующего из керамики.



# Дисковые фрикционные элементы управления



По стоимости изготовления, долговечности и некоторым другим параметрам для КП легковых автомобилей наиболее приемлемы бумажные накладки. Способность целлюлозного волокна впитывать масло гарантирует в процессе эксплуатации хорошее охлаждение, долговечность и незначительный износ. Бумажные накладки хорошо притираются и обеспечивают стабильность коэффициента трения в широком диапазоне скоростей скольжения.

Для тяжелых транспортных средств в КП в накладках тормозов и муфт применяют металлокерамику. Диски с подобными накладками обладают такими же достоинствами, что и диски с бумажными накладками, но стоимость их гораздо выше.



# Дисковые фрикционные элементы управления



Для улучшения охлаждения фрикционных дисков и стабилизации коэффициента трения на поверхности накладок выполняют специальные радиальные или спиральные канавки, а в тяжело нагруженных передачах — спирально-радиальные. Последние повышают коэффициент трения, хорошо отводят теплоту и уменьшают износ, так как вследствие наличия небольшого участка спирали, заключенного между радиальными канавками, сокращается путь движения масла от внутренней к внешней части диска.

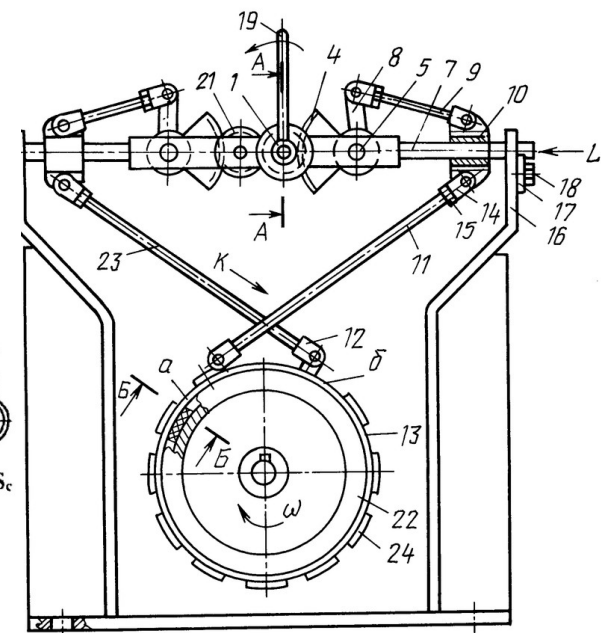
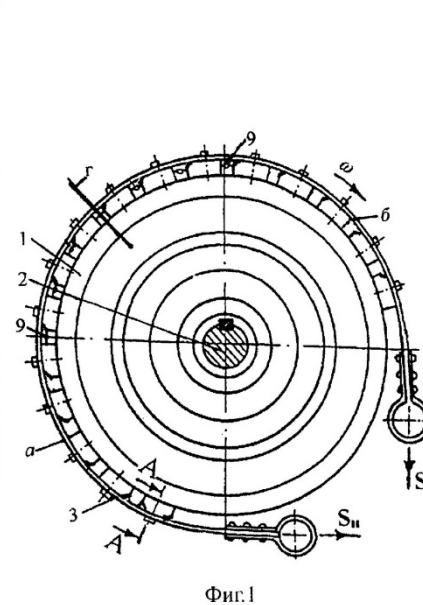
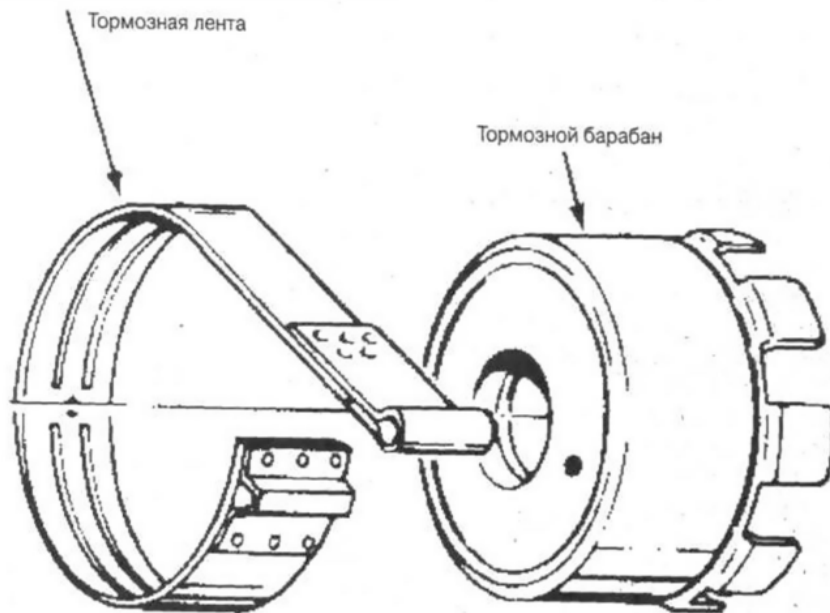
Один из основных показателей фрикционных материалов — коэффициент трения  $\mu$ , который является функцией двух переменных: давления сжатия накладок  $q$  и скорости скольжения  $v_{ск}$ .



## 1.4.2. Ленточные тормозные элементы управления



Ленточный тормоз состоит из тормозной ленты и тормозного барабана. Тормозные ленты, как правило, изготавливают из листовой стали, но в некоторых конструкциях используется чугун. На тормозную ленту с помощью заклепок или клея крепятся фрикционные накладки из тех же композиционных материалов, что и для дисковых элементов управления КП.





# Ленточные тормозные элементы управления



Ленточные тормоза, функционирующие как элементы управления КП, работают в масле, т. е. используются пары трения «бумага — металл» в масле. Работа фрикционной пары трения в масле позволяет значительно увеличить долговечность ленточного тормоза по сравнению с долговечностью такой же пары, работающей всухую, обеспечить стабильное значение коэффициента трения и реализовать большие удельные напряжения, возникающие во фрикционном композите во время работы тормоза.

Под действием силы трения армирующий материал сжимается и масло из его внутренних микроячеек выступает на поверхность трения, образуя масляную пленку между фрикционной накладкой и тормозным барабаном, снижая при этом температуру в зоне их контакта.



# Ленточные тормозные элементы управления



Для обеспечения нормальной работы пары трения на поверхности трения накладок выполняют кольцевые канавки, из которых масло постепенно затягивается в зону контакта накладки с тормозным барабаном. Таким образом обеспечивается граничное трение между контактируемыми поверхностями в процессе включения ленточного тормоза.

Допускаемая скорость скольжения на поверхности барабана для ленточных тормозов составляет 30,5 м/с, температуростойкость — 0 °С.



## 1.2. Композиционные материалы в карданных передачах



Применение композиционных материалов в карданных передачах снижает массу трансмиссии автомобиля, вибрации, шум в салоне, повышает надежность передачи, увеличивает прочность на кручение, изгиб вала, но себестоимость такого вала выше, чем стального.

Наибольшую эффективность передачи можно получить, изготавливая трубы карданных передач методом намотки. Применение валов из композиционных материалов позволяет также исключить необходимость промежуточных опор с подшипниками.

В США карданные валы изготавливались из композитов для грузовых автомобилей средней и большой грузоподъемности, а также переднеприводных легковых автомобилей.

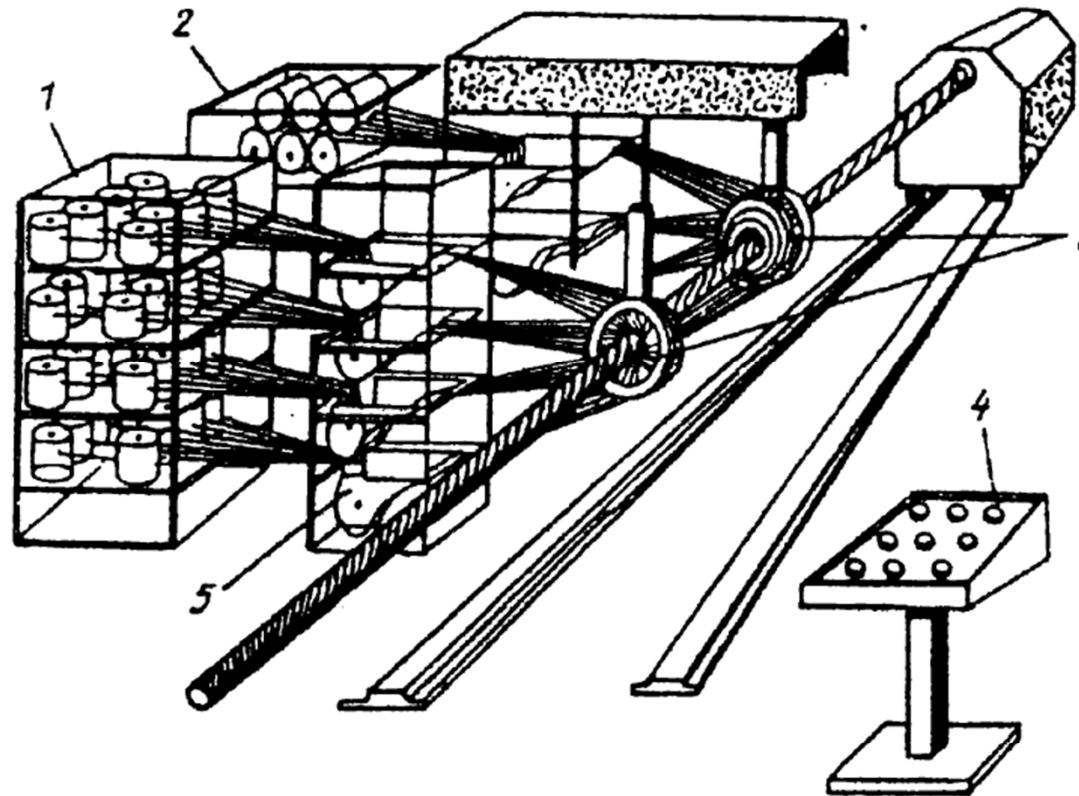


Схема изготовления карданных валов из ПКМ методом филаментной намотки:  
1, 2 – бабинодержатели со стекло- и углеродным волокном соответственно; 3 – нитераскладочные головки; 4 – компьютер; 5 – ванны с эпоксидным связующим



# Композиционные материалы в карданных передачах



Технология изготовления заключается в следующем: на алюминиевую тонкостенную трубу (оправку) сначала наматывают стекловолокно, пропитанное эпоксидным связующим, после чего накладывают непрерывные углеродные волокна с ориентацией их вдоль трубы, а затем наматывают еще один слой стекловолокна.

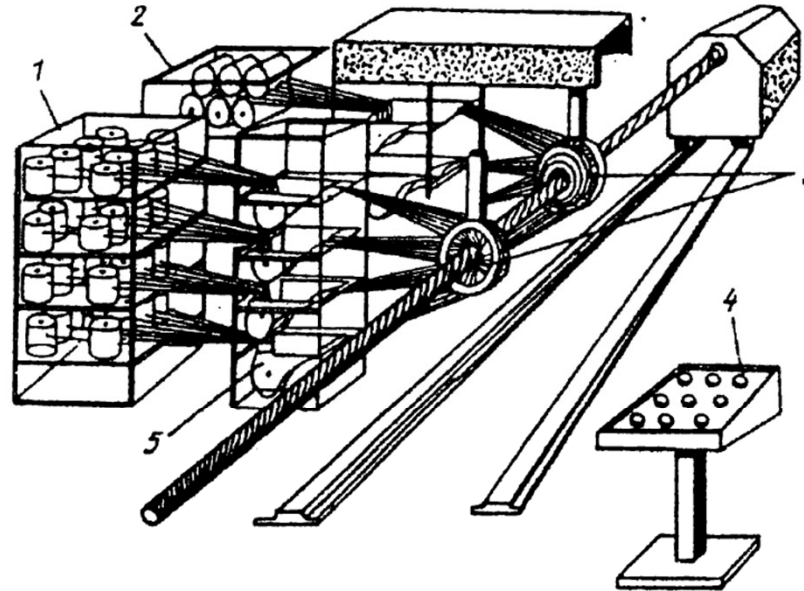


Схема изготовления карданных валов из ПКМ методом filamentной намотки:

1, 2 – бабинодержатели со стекло- и углеродным волокном соответственно; 3 – нитераскладочные головки; 4 – компьютер; 5 – ванны с эпоксидным связующим



# Композиционные материалы в карданных передачах



Собранное изделие подвергают нагреву под давлением до отверждения связующего. Применение этой технологии наиболее перспективно для изготовления тяжело нагруженных элементов. Она обеспечивает максимальную прочность детали при минимальной массе, так как содержание армирующего материала достигает 80 %.

Подобная технология изготовления труб карданных передач используется для некоторых автомобилей Audi, Ford Econoline, а также для легковых автомобилей с колесной формулой 4x4 фирмы Union Cardan (Франция).

У нас в стране разработана серия карданных валов из ПКМ (эпоксидная матрица – стеклянные и углеродные волокна). Наружные слои труб состоят из пропитанного эпоксидным связующим непрерывного стекловолокна, намотанного под углами  $90^\circ$  и  $\pm 20...45^\circ$  по отношению к продольной оси. Средние слои - из углеволокна, намотанного под углом  $\pm 15...35^\circ$ . Двухшарнирные валы на 30...35 % легче стальных, а замена стальных валов с промежуточными опорами на двухшарнирные из композиционных материалов снижает массу на 50...60 %.



## Композиционные материалы в карданных передачах (2)



Для повышения надежности карданных передач применяют радиально-торцевые уплотнения из композитов, которые обладают большими, чем резиновые, износостойкостью и долговечностью, лучше герметизируют узел.

Чтобы снизить нагрузки на карданную передачу, на шлицы наносят антифрикционные полимерные покрытия и ставят телескопические уплотнения. Снижение осевых нагрузок приводит к повышению долговечности подшипников КП и ведущих мостов, а также увеличивает износостойкость самих подвижных шлицевых соединений.



# Рильсановое (RILSAN) покрытие шлицевых соединений карданных валов и чехол из ПКМ





## Композиционные материалы в карданных передачах (3)



Приводные валы с шарнирами равных угловых скоростей (ШРУС) имеют одно из слабых мест – защитные чехлы (пыльники), которые изготавливались из резиновых композиций. В настоящее время для обеспечения герметичности ШРУС приводных валов применяют защитные упругие чехлы, выполненные из термоэластопласта, который по прочности, истираемости, усталостной выносливости значительно превосходит резиновые смеси.

Например, чехлы из термопласта Hightrel 8105 по усталостной выносливости превосходят резиновые в 8 – 10 раз. Кроме того, таким чехлам не свойствен эффект вакуумирования, они более стойки к механическим повреждениям от дороги.



## 2. Композиционные материалы в ходовой части автомобиля



### 2.1. Полимерные композиционные материалы в системе поддрессоривания

Перспективной областью применения высокопрочных композитов является изготовление упругих элементов поддрессоривания, ограничителей хода колес, подшипников скольжения, рычагов систем поддрессированные автомобилей.

Преимуществами элементов ходовой части из ПКМ являются:

- 1) *снижение массы;*
- 2) *повышение долговечности ходовой части;*
- 3) *снижение массы неподрессоренных частей ходовой части (увеличивает плавность хода, уменьшает нагрузки на несущую систему автомобиля)*



# 2.1.1 Упругие элементы



## 2.1.1.1. Листовые рессоры

Первые работы по применению ПКМ в производстве листовых рессор были проведены в 1960-х годах в США. От разработчиков потребовали, чтобы рессора была:

- легкой, прочной и долговечной (имея высокую потенциальную энергию деформации);
- экономичной в изготовлении;
- стойкой к воздействию факторов окружающей среды.

При этом распределение напряжений должно быть равномерным по длине рессоры.



## 2.1.1.1. Листовые рессоры



В результате многочисленных исследований в США, Англии, Франции, Германии, Японии, СССР и других странах было установлено, что рессоры (чаще однолистовые) из ПКМ имеют ряд преимуществ по сравнению с металлическими:

- снижение массы на 50...80 %;
- повышение коррозионной стойкости в различных средах эксплуатации;
- отсутствие межлистового трения и, как следствие, повышение комфортабельности, снижение шума;
- повышение долговечности в 3 – 5 раз, снижение коэффициента замены и ремонта;
- медленное разрушение рессоры за счет постепенного разрушения армирующих волокон (а не мгновенный излом, как при разрушении металлической рессоры);
- демпфирующие свойства, позволяющие отказаться от использования амортизаторов.



## 2.1.1.1. Листовые рессоры



Недостатки рессор из ПКМ:

- 1) структурная неоднородность материала и недостаточная стабильность параметров технологического процесса изготовления, приводящая к значительному рассеянию механических свойств ПКМ, достигающему 15...20 % относительно средних значений;
- 2) малая поперечная жесткость (в три раза меньше, чем у стальных рессор), которая приводит к необходимости увеличения их ширины в полтора раза;
- 3) низкая жесткость на кручение, стеклопластики, например, имеют в 10 раз меньшую, чем у стали, жесткость при кручении, что объясняется однонаправленной ориентацией армирующих волокон;
- 4) много проблем возникает с креплением рессор из ПКМ к металлическим узлам автомобиля (центральной части, концевым участкам и т. д.), так как ПКМ не выдерживают высоких пиковых контактных напряжений со стороны металлических деталей.



## 2.1.1.1. Листовые рессоры



Для выполнения этих требований был специально разработан материал Liteflex, представляющий собой композицию из непрерывных стеклянных волокон и связующего на основе эпоксидной смолы. Предварительно были проанализированы различные составы, имеющие арматуру в виде стеклянных, углеродных, органических, борных волокон, а в качестве связующих — эпоксидные, полиэфирные, фенольные компоненты и различные термопласты.

Однолистовая рессора из этого материала (см. рисунок), установленная в задней подвеске легкового автомобиля «Chevrolet Corvette» в 1981 году, имела массу 3,6 кг и заменяла пакет из 10-ти листов поперечно расположенной металлической рессоры массой 18,6 кг.



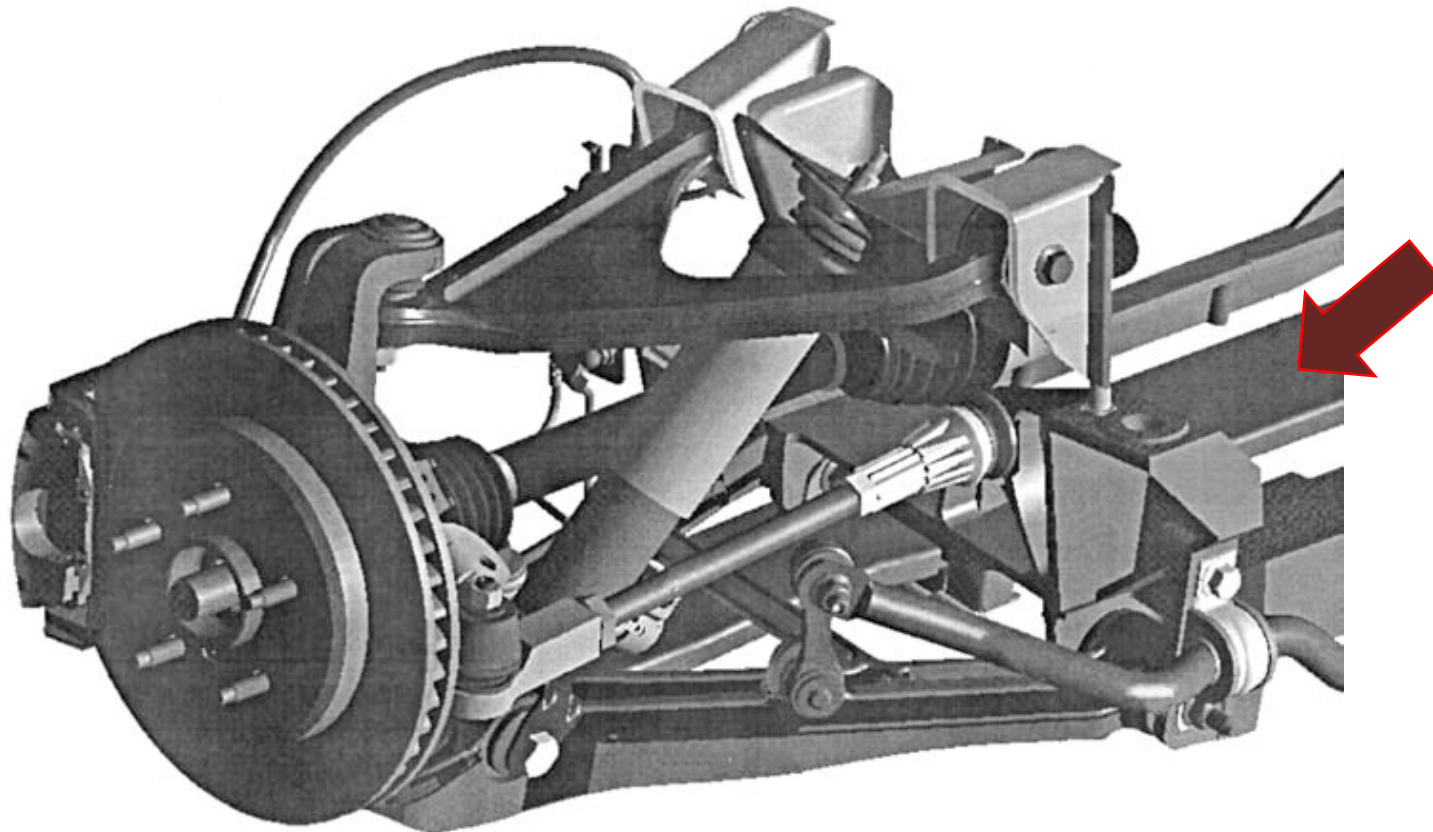
Рессора Chevrolet Corvette из материала Liteflex



# Листовые рессоры



Схема независимой подвески с поперечной рессорой используется на Corvette до сих пор (см. рисунок).



Задняя подвеска Chevrolet Corvette модели 1998 года

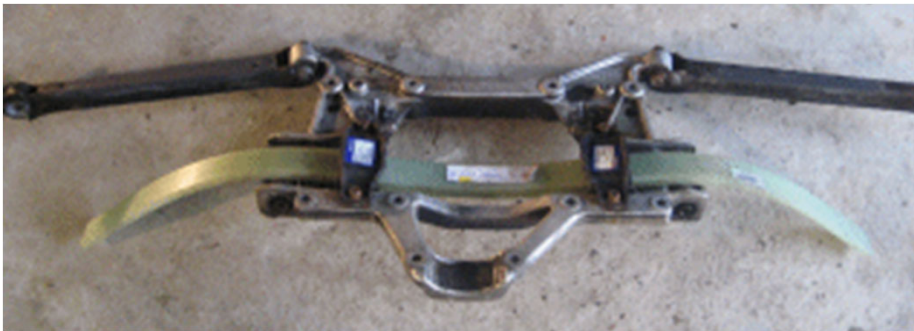


# Листовые рессоры



Поперечная рессора из композитного материала также использовалась или используется в следующих моделях автомобилей:

1) в задней подвеске Volvo 960 (только в модели универсал), Volvo S90, V90



Задняя подвеска автомобилей Volvo



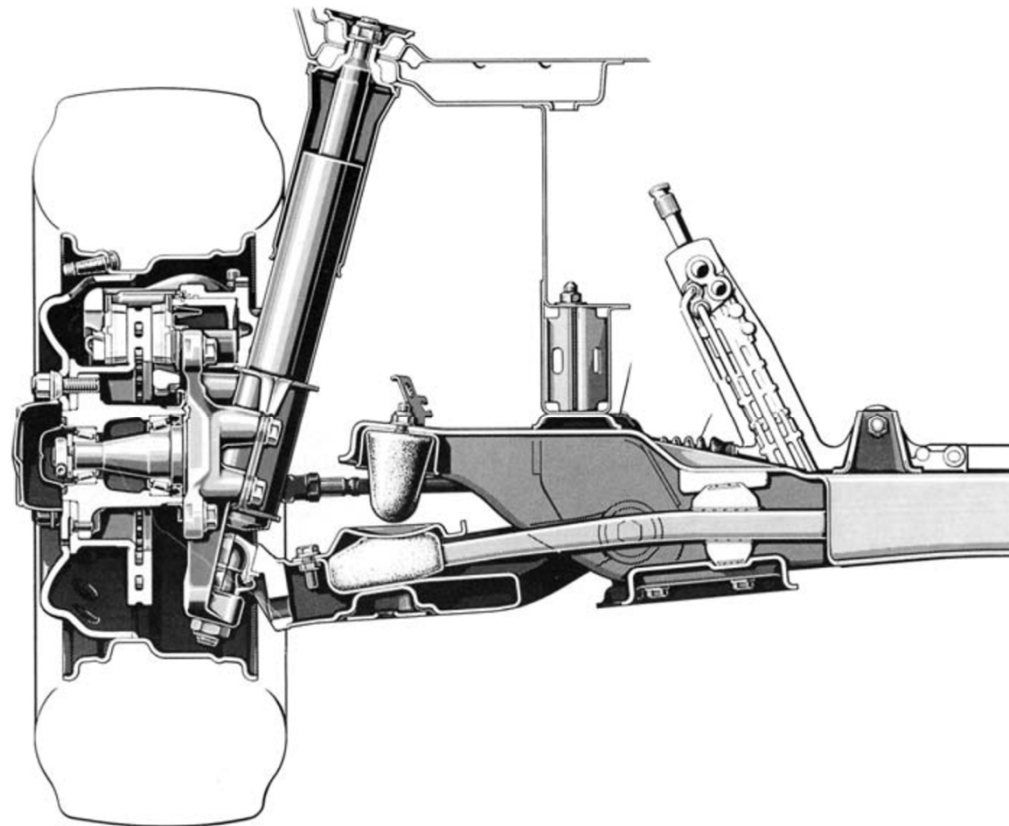
Стеклопластиковая рессора автомобилей Volvo



# Листовые рессоры



2) в передней подвеске автомобилей Mercedes-Benz Sprinter  
1995 модельного года



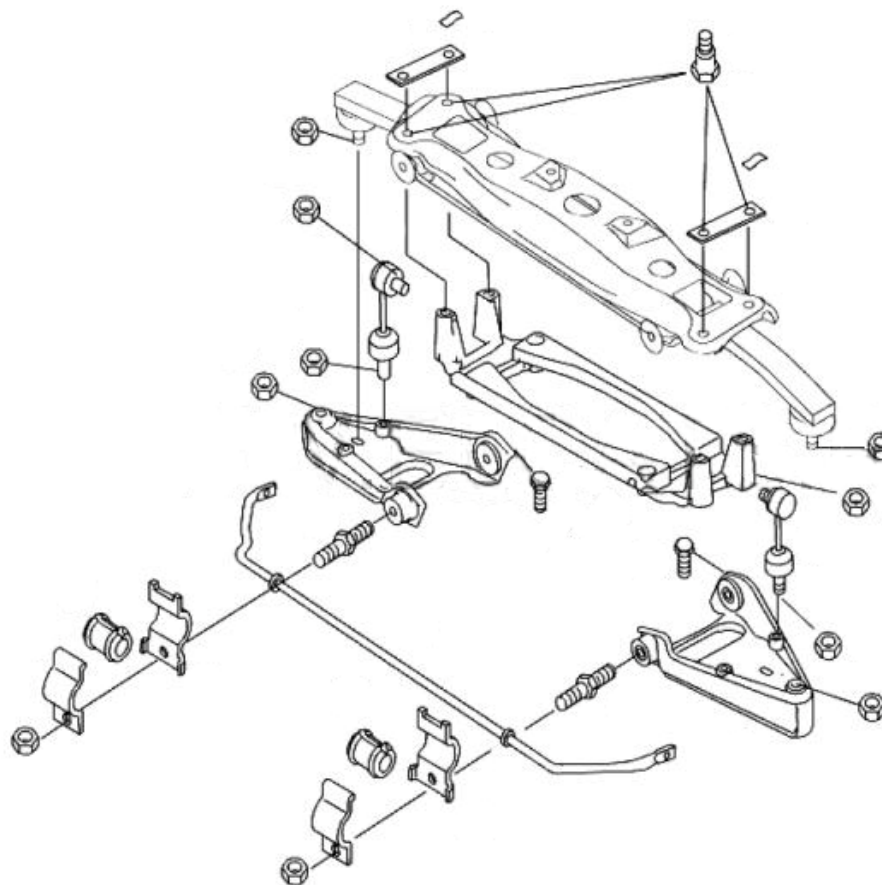
Передняя подвеска автомобиля Mercedes-Benz Sprinter (1995)



# Листовые рессоры



3) Mercedes Smart ForTwo (в настоящее время устанавливается рычажно-телескопическая подвеска)



Передняя подвеска ранних моделей Mercedes Smart City Coupe



# Листовые рессоры



4) платформы W General Motors (Lumina, Grand Prix, Regal, Cutlass Supreme);

5) платформы E General Motors (Eldorado, Toronado, Riviera, Reatta, Al-lante).

В РФ специально для изготовления листовых рессор был создан материал ППР-ЭХ на основе предварительно пропитанного эпоксихелатным связующим стеклоровинга. В качестве армирующего материала был использован стеклоровинг, а в качестве полимерной матрицы – связующее на основе эпоксидиановой смолы ЭД-20.



# Листовые рессоры



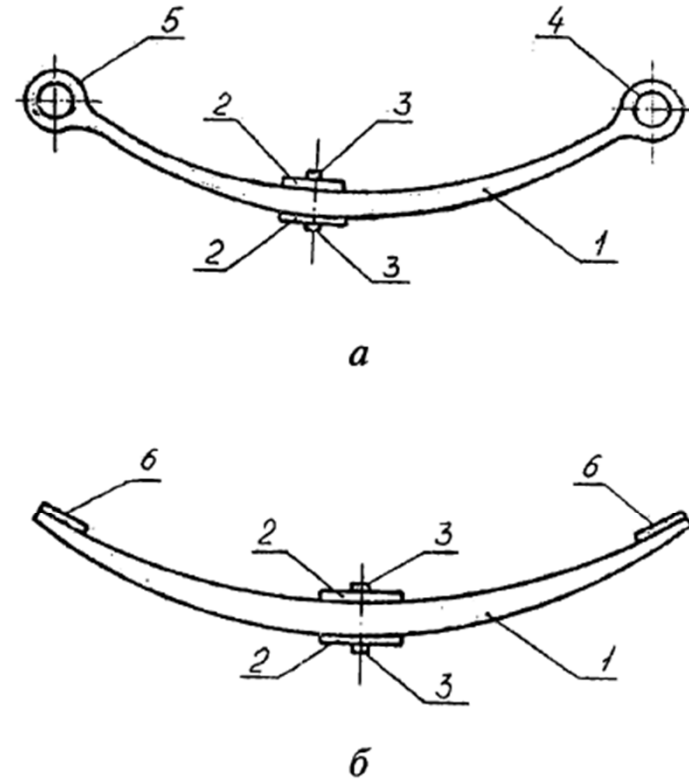
Характеристики физико-механических свойств этого материала и его зарубежных аналогов фирм General Motors (Liteflex), GKN и Saar Federn приведены в таблице. Там же для сравнения приведены данные для стали 60С2, часто применяемой в производстве многолистовых рессор.

Показатели	Материал				
	Liteflex	GKN	Saar Federn	ППР-ЭХ	Сталь 60С2
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2000	1970–2000	2040	1980–2000	7800
Соотношение «стекловолокно/связующее»	70/30	65/35	77/23	70/30	–
Прочность, МПа: при изгибе на разрыв на сдвиг	760 590 57	1100 760–800 57–80	1295 1153 78	1100 630–810 75	540* 1300** 260*
Модуль упругости, ГПа: при растяжении при изгибе	38 –	41–45 –	45,5 43	44–51 30	210 –
Относительное удлинение, %	5	–	3,2	3	1

\* Допускаемые напряжения.

\*\*Предел прочности.

Рессора из ПКМ в большинстве случаев представляет имеющую кривизну балку переменной толщины, на концах которой и в средней части предусмотрены элементы крепления рессоры к несущей системе и к оси колеса автомобиля.



Однолистовые рессоры из ПКМ:  
*a* – легкового автомобиля; *б* – грузового автомобиля; *1* – упругий элемент из ПКМ; *2* – полиуретановые накладки; *3* – металлические центрирующие вкладыши; *4* – металлическая втулка; *5* – ушко; *б* – металлические накладки



# Листовые рессоры



Технологический процесс изготовления однолистовых рессор включает укладку предварительно пропитанной связующим заготовки однонаправленного армирующего материала в прессформу, а затем прессование в многоместных формах по режимам отверждения связующего, как правило, на основе эпоксидных смол или их модификаций.

Для изготовления рессор создаются специальные линии, включающие пропитку связующим армирующего материала, набор заготовки листа рессоры переменной толщины, укладку ее и прессование в пресс-форме.

Много проблем возникает с креплением рессор из ПКМ к металлическим узлам автомобиля (центральной части, концевым участкам и т.д.), так как ПКМ не выдерживают высоких пиковых контактных напряжений со стороны металлических деталей.

В Японии был предложен способ изготовления листов, представленный на рисунке

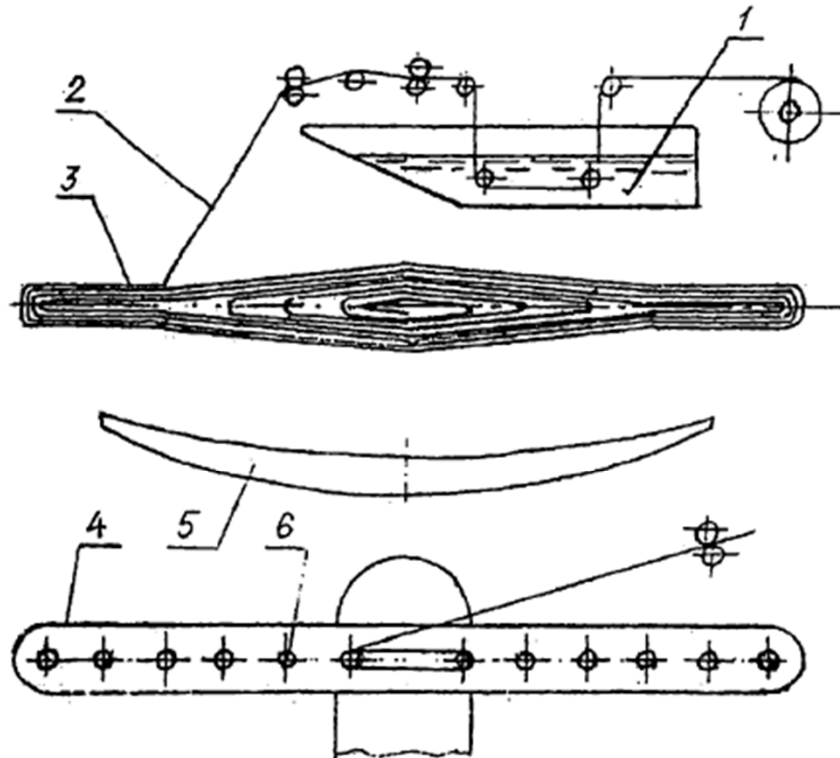


Схема изготовления листа переменного сечения:

1 – ванна со связующим, 2 – стеклоровинг; 3 – намотанная заготовка;  
4 – оправка; 5 – лист после опрессовки в пресс-форме; 6 – шип оправки

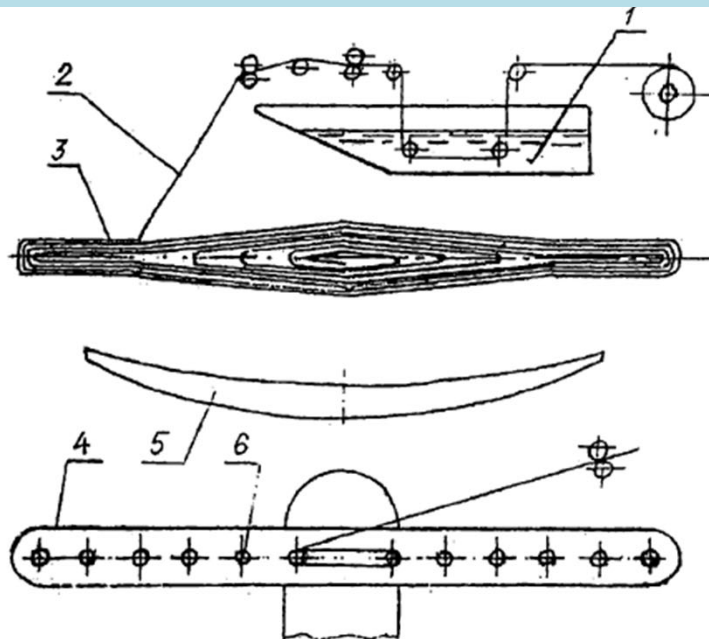


# Листовые рессоры



## Способ включает следующие операции:

- 1) пропитка связующим волокнистой ленты;
- 2) складывание ленты в продольном направлении с конкретным интервалом от переднего конца с подбором определенной ширины;
- 3) намотка вокруг первоначального сложенного участка в один или несколько витков ленты с большим интервалом, чем на первой стадии, и так, чтобы следующая точка перегиба располагалась дальше предыдущей;
- 4) резка ленты в заданном месте;
- 5) формование полученной заготовки в форме и отверждение при нагревании.



Другой способ изготовления листа переменной толщины показан на рисунке

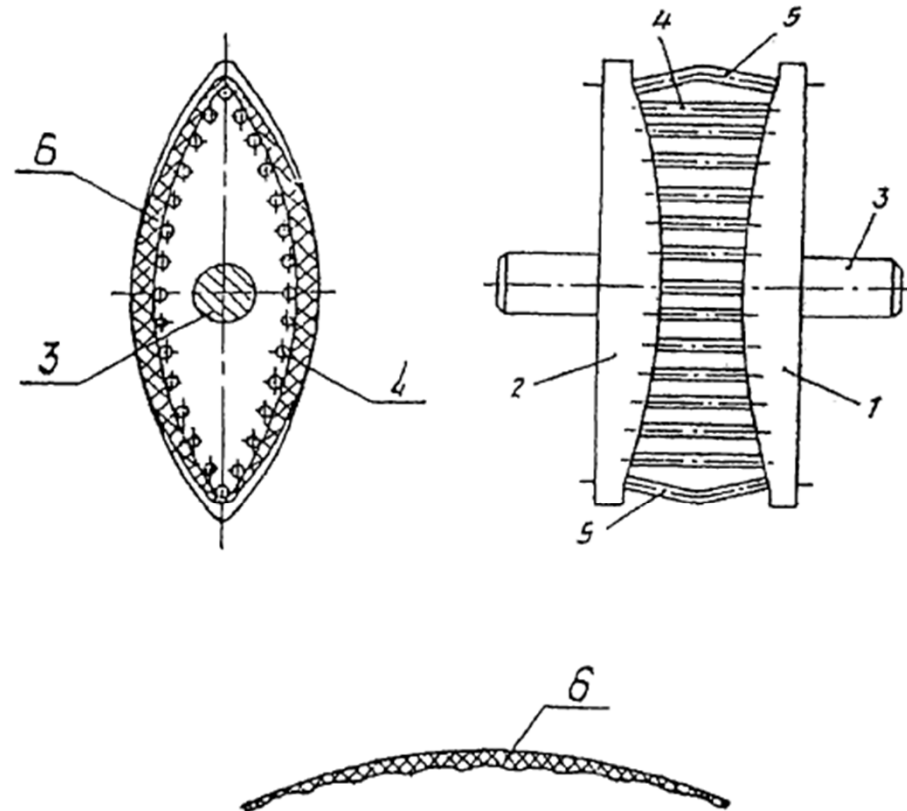


Схема намотки листовой рессоры:  
1, 2 – торцевые диски оправки; 3 – вал привода; 4, 5 – формообразующие стержни; 6 – лист рессоры после механической обработки



# Листовые рессоры



Способ включает намотку заготовки рессоры на оправку с эллиптической формообразующей поверхностью спиральными и кольцевыми слоями с расчетом числа витков и углов намотки таким образом, чтобы в каждом сечении площадь заготовки соответствовала чертежу. После отверждения заготовку разрезают вдоль большой оси и получают готовый лист рессоры.

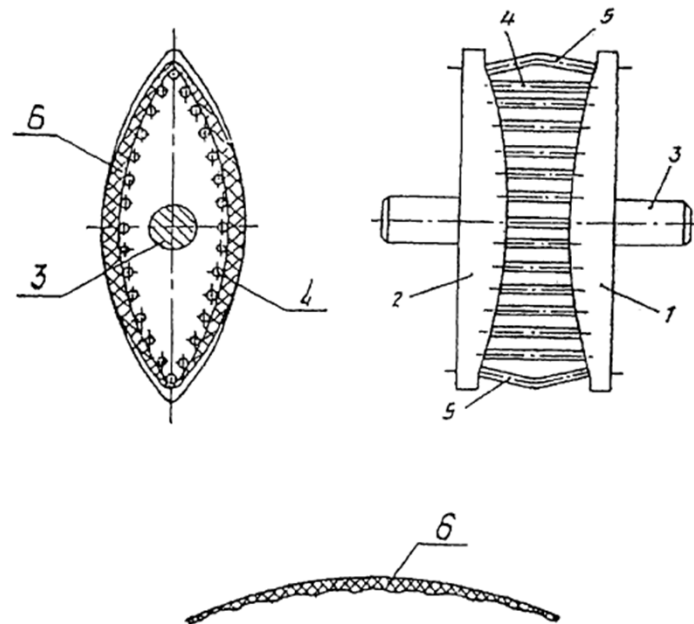


Схема намотки листовой рессоры:  
1, 2 – торцевые диски оправки; 3 – вал привода; 4, 5 – формообразующие стержни; 6 – лист рессоры после механической обработки



## Анализ применения ПКМ в упругих и упругодемпфирующих элементах систем поддресоривания КМ



Рессора из ПКМ в большинстве случаев представляет имеющую кривизну балку переменной толщины, на концах которой и в средней части предусмотрены элементы крепления рессоры к несущей системе и к оси колеса автомобиля.



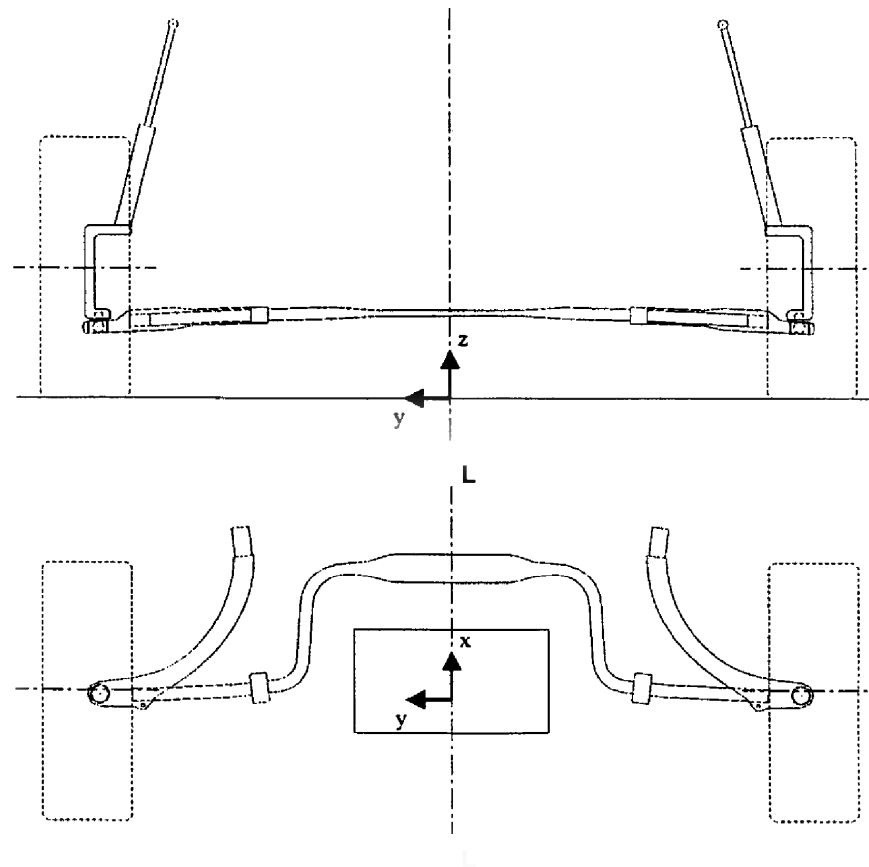
Однако существует множество других запатентованных конструкций. Выделим следующие недавно запатентованные конструкции известных мировых автопроизводителей.



# Анализ применения ПКМ в упругих и упругодемпфирующих элементах систем поддрессирования КМ



Ford Global Technologies, патент № 7029017 «Wheel suspension for a motor vehicle with a transverse leaf spring» (2006 г.)



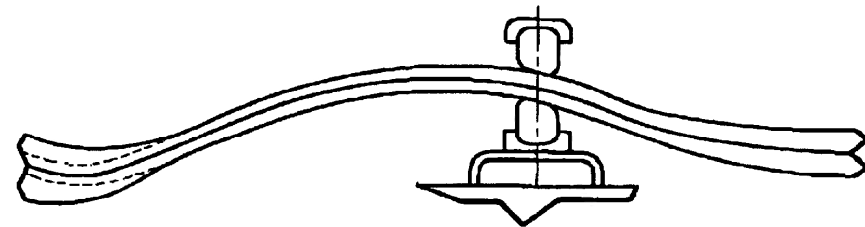
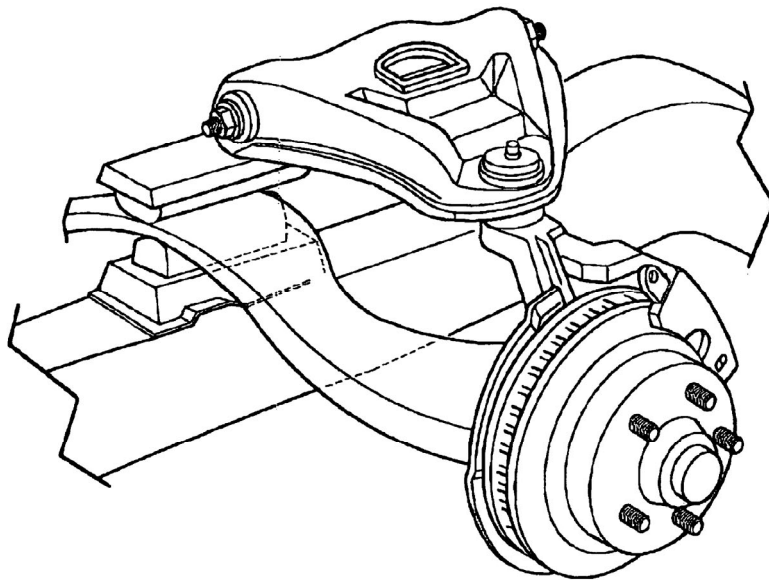
Конструкция упругого элемента из ПКМ фирмы FORD



## Анализ применения ПКМ в упругих и упругодемпфирующих элементах систем поддресоривания КМ



DaimlerChrysler, патент № 6811169 «Composite Spring Design that also Performs the Lower Control Arm Function for a Conventional or Active Suspension System» (2004 г.)



Конструкция подвески с упругим элементом из ПКМ фирмы DaimlerChrysler

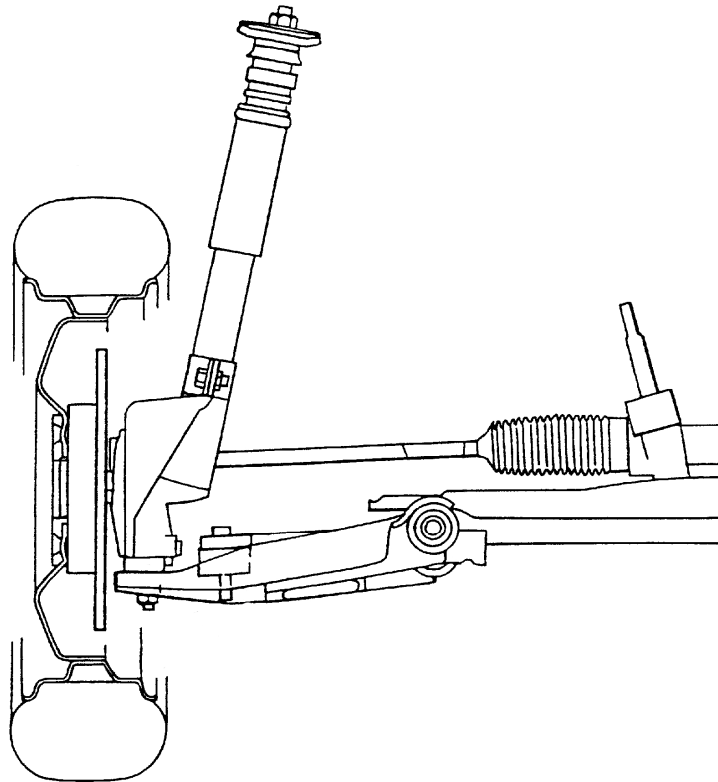
Способ закрепления рессоры на несущей системе, предложенный фирмой DaimlerChrysler



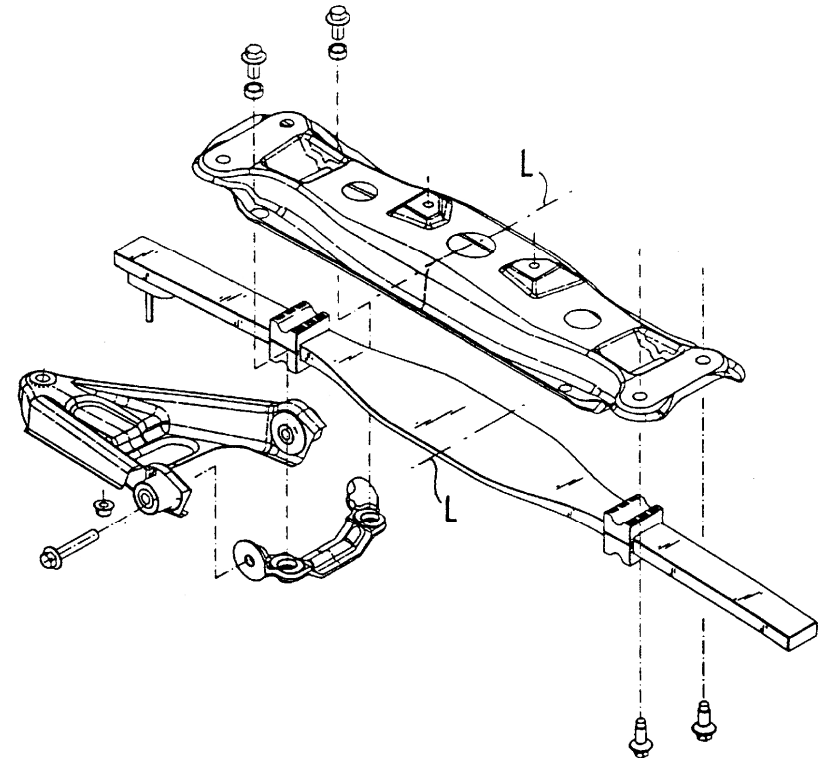
# Анализ применения ПКМ в упругих и упругодемпфирующих элементах систем поддресоривания КМ



Porsche AG, патент № 6029987 «Front Axle for a Motor Vehicle» (2000 г.)



Конструкция подвески с упругим элементом из ПКМ фирмы Porsche



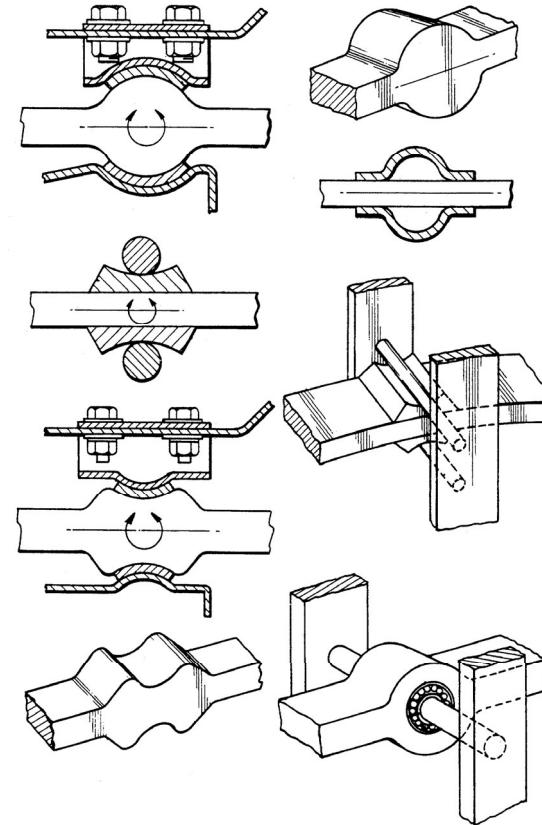
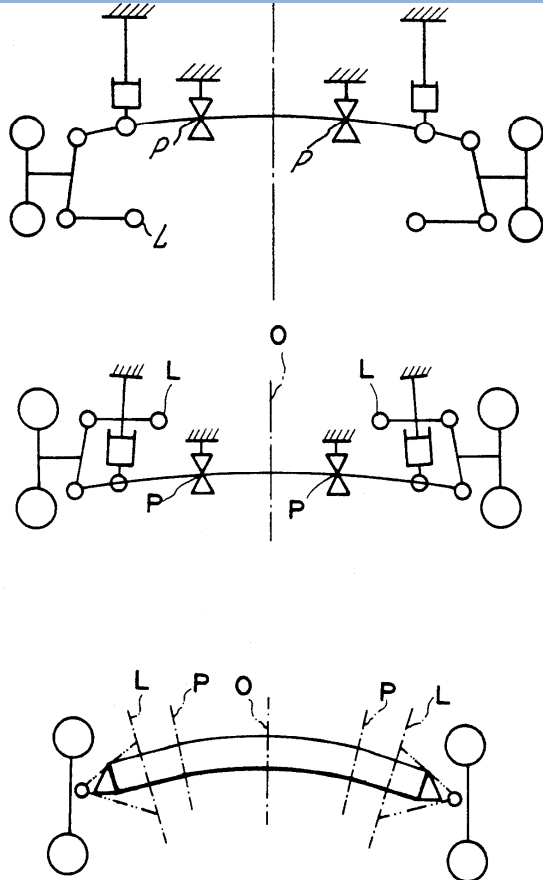
Способ закрепления рессоры на несущей системе, предложенный фирмой Porsche



# Анализ применения ПКМ в упругих и упругодемпфирующих элементах систем поддресоривания КМ



Honda, патент № 5141209 «Transverse leaf spring type suspension» (1992 г.)



Кинематические схемы подвески с упругим элементом из ПКМ фирмы Honda

Способы закрепления рессоры на несущей системе, предложенные фирмой Honda



# Листовые рессоры

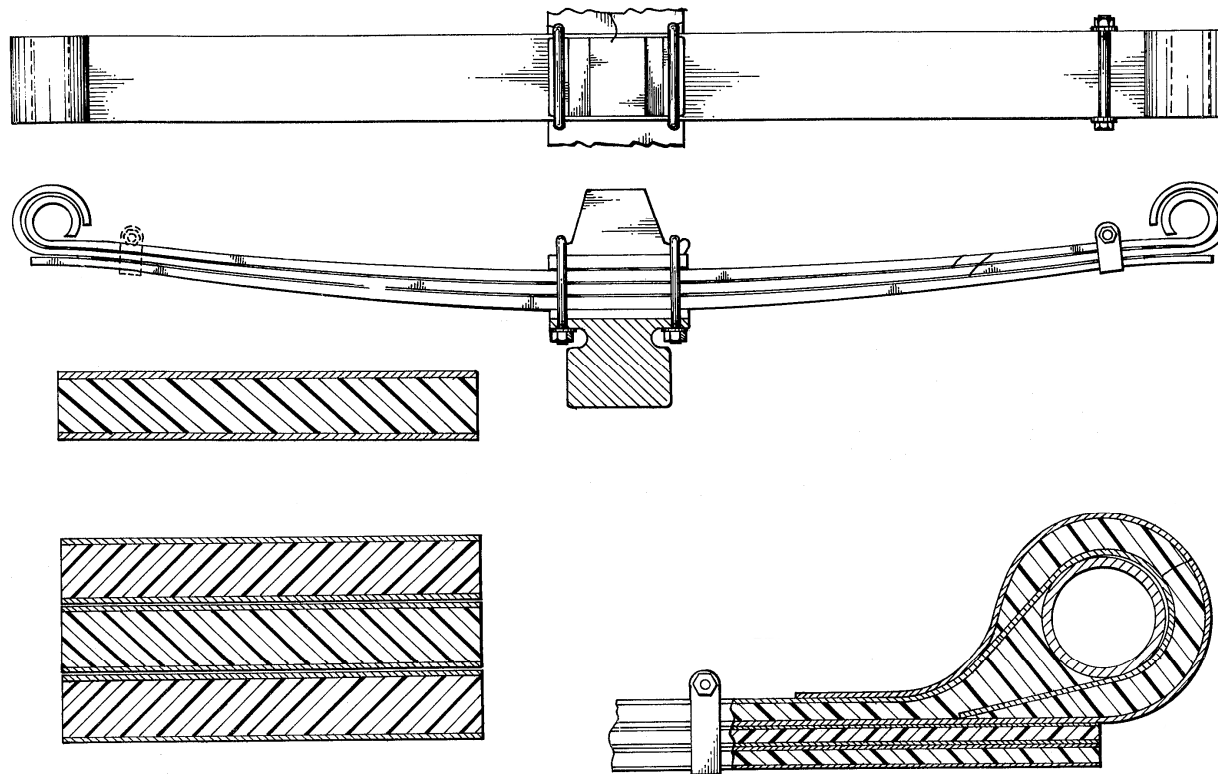


Как видно из приведенных примеров, листовые рессоры из ПКМ имеют один или два листа (т. е. это малолистовые рессоры) прямоугольного сечения постоянной ширины и переменной толщины по форме продольного параболического профиля.

Возможны также конструкции рессор, выполненных из нескольких листов. Например, патент № 4468014 (США, 1982 г.) описывает конструкцию рессоры, состоящей из многослойной композиции, каждый элемент которой представляет собой пластиковый лист, закрепленный между двумя стальными листами



# Листовые рессоры



Конструкция многолистовой рессоры из ПКМ, форсированной  
стальными листами

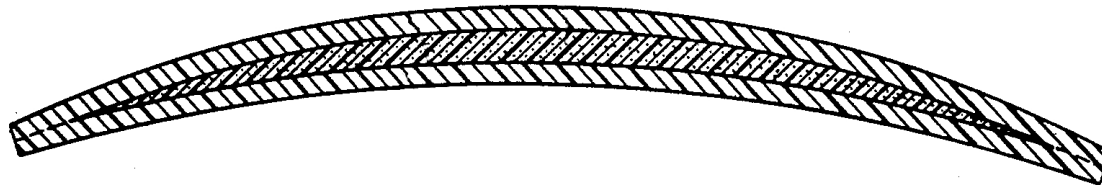


# Листовые рессоры



Многими исследователями предлагался вариант листовой рессоры из ПКМ с гибридными волокнами, т.е. сочетание стеклянных волокон с углеродными (или другими), а также применение волокон различного диаметра (патент № 2125329 – Англия).

При этом в зоне наибольших напряжений сжатия и растяжения (наружные слои) располагают углеродные волокна, а в средней части, где напряжения меньше, – стеклянные волокна или другой менее прочный материал (патент № 4688778 – США).



Конструкция  
трехлистовой  
рессоры из ПКМ



# Листовые рессоры



Применяя гибридные волокна, можно получать различный «эффективный» модуль упругости  $E_3$ , что как раз и важно при «вписывании» рессоры из КПМ в подвеску серийно выпускаемого автомобиля взамен металлической.

Данное предложение, однако, не лишено недостатков.

Во-первых, усложняется технология получения заготовки и собственно рессоры из КПМ.

Во-вторых, усложняется расчет профиля рессоры.

В-третьих, различие коэффициентов теплового расширения материалов из стекла и углерода, дискретность модуля упругости Юнга вызывает дополни-тельные внутренние напряжения в рессорах из гибридных волокон.

В-четвертых, как известно, углепластики противостоят ударам и распространению трещин, поэтому наслои, состоящие как раз из композиции углеродных волокон и эпоксидного связующего, необходимо защищать, например, бандажировать (патент № 3968958 – США), либо изготавливать наружные из стеклопластика.



# Листовые рессоры



С позиции применения ПКМ в качестве демпфирующих материалов в системе поддрессоривания автомобилей конструктивных решений, нашедших широкое применение, нет.

Однако следует отметить несколько изобретений, касающихся совместного использования ПКМ и материалов с высокой степенью поглощения энергии колебаний в виброизоляторах.

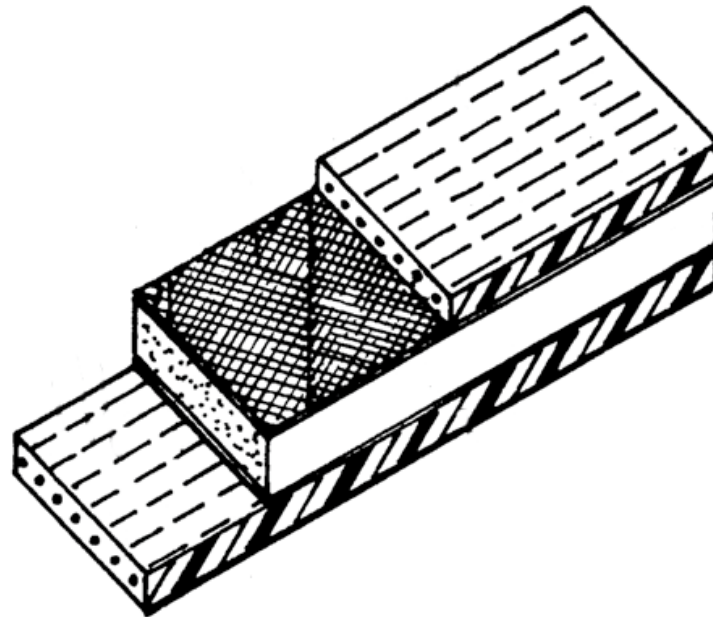
Например, патент № 4278726 (США, 1979 г.) описывает конструкцию демпфера, представляющего собой слоистую структуру, состоящую как минимум из одного жесткого неэластичного слоя и слоя вязкоупругого материала.



# Листовые рессоры



Жесткий слой может быть выполнен из пластика, усиленного различными волокнами, а в качестве вязкоупругого материала может выступать вулканизируемый эластомер, усиленный пучками скрученных волокон (например, стальных). Между слоями может находиться слой-связка из стеклопластика или другого аналогичного ПКМ.



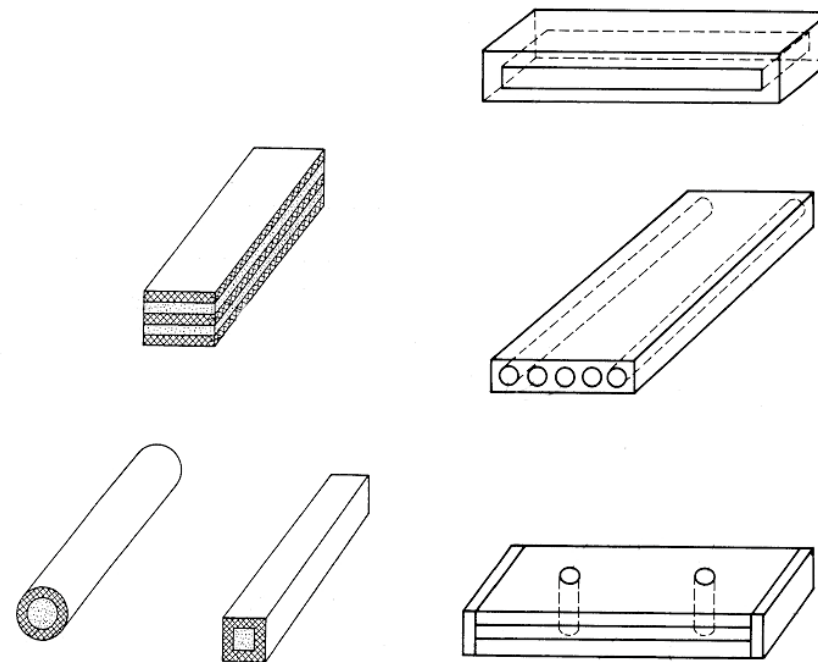
Вязкоупругий многослойный демпфер



# Листовые рессоры



Патент № 4716986 (США, 1988 г.) описывает различные конструкции демпферов, состоящих из композиции материалов с различными мерами пластических деформаций. Демпферы могут иметь различную форму и структуру



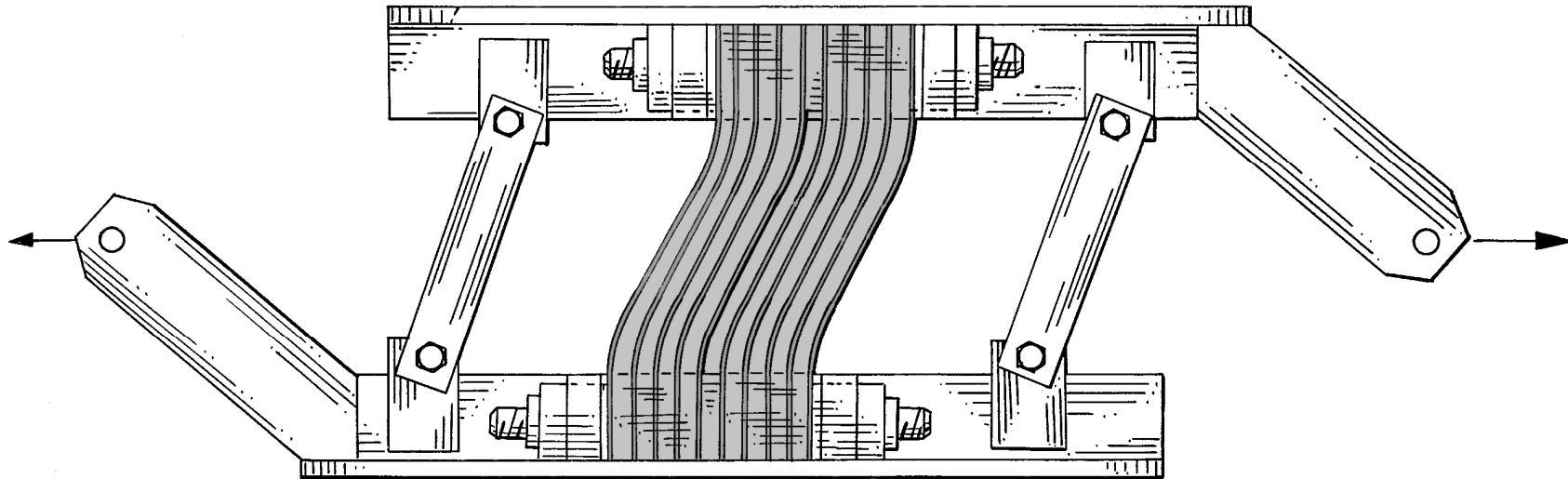
Различные конструкции вязкоупругих демпферов



# Листовые рессоры



Существует также конструкция вязко-упругого амортизатора, представленная на рисунке, приведенная в патенте № 4026534 (США, 1977 г.). Амортизатор состоит из нескольких слоев вязкоупругого материала с тонкими листовыми пружинами между ними.



Конструкция вязкоупругого амортизатора



# Листовые рессоры



Фирма Vertin провела сравнительные дорожные испытания задней подвески из ПКМ собственной конструкции и серийной (торсионной) подвески на автомобиле одной и той же модели. Уровень воздействия со стороны дороги в автомобиле с новой подвеской оказался значительно ниже, управляемость на поворотах – лучше.

Особенно хорошо автомобиль показал себя при движении на участках дороги с ухабами и неровностями, на поворотах дороги – из-за того, что поперечная рессора из КПМ противодействует крену автомобиля. Применение данных подвесок облегчает техническое обслуживание и ремонт, замена ее осуществляется значительно проще, чем торсионов.

Применение КПМ в качестве демпфирующих элементов систем подрессоривания позволяет в некоторых случаях отказаться от гидравлического амортизатора. Преимуществами такого конструктивного решения станет лучшая характеристика демпфирования системы подрессоривания при высокочастотном возмущении, отсутствие жидкости, накладывающей ограничения на температурный диапазон, снижение снаряженной массы и массы не-подрессоренных частей автомобиля.



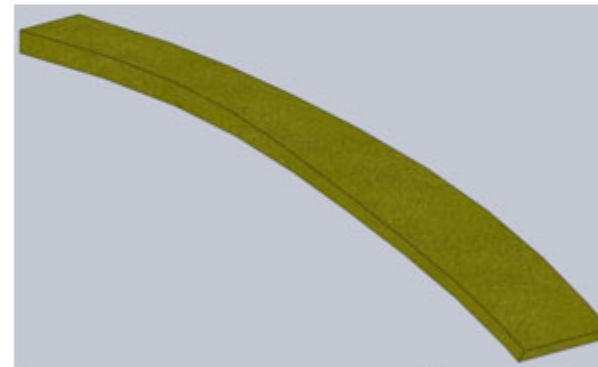
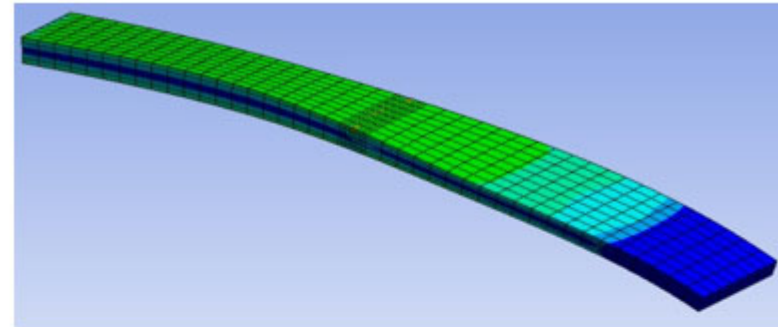
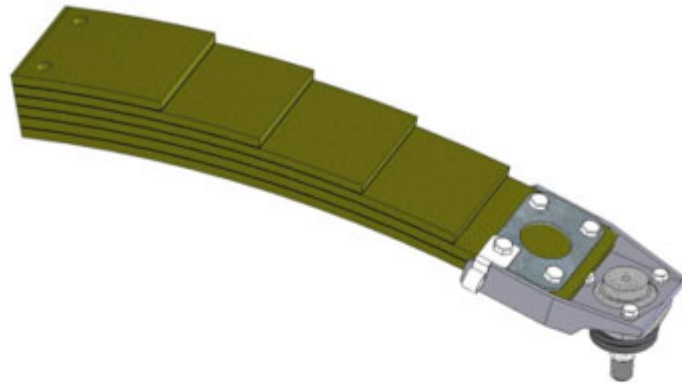
## Листовые рессоры из ПКМ, изготовленные в МГТУ им. Н.Э. Баумана



В МГТУ им. Н.Э. Баумана, разработаны и созданы конструкции независимых подвесок с применением композиционных материалов. Проведены исследования по изучению демпфирующих свойств композитов, создан метод проектирования упругодемпфирующих элементов на основе стеклопластика. Разработаны различные конструкции подвесок с монолистовой и многолистовой рессорой (рис. 1.). Общий вид подвески с упругодемпфирующим элементом из стеклопластика и испытательный стенд представлены на рис.2.



# Листовые рессоры из ПКМ, изготовленные в МГТУ им. Н.Э. Баумана



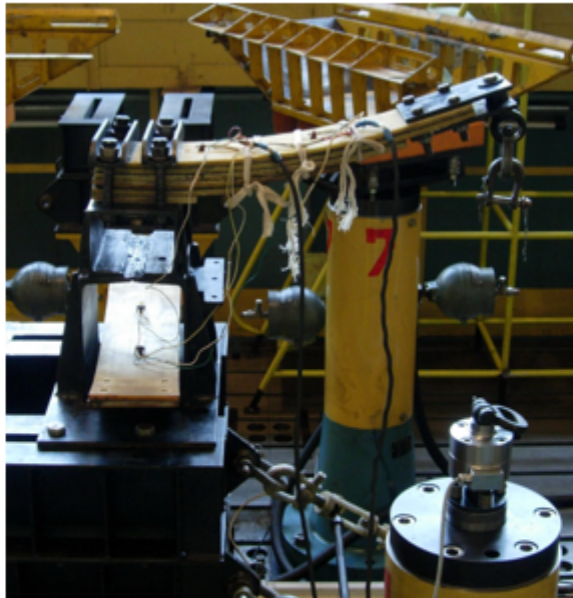
*a)*

*б)*

Рис. 1. Стеклопластиковая рессора МГТУ им. Н. Э. Баумана (опытный образец):  
*a* – многолистовая рессора из стеклопластика; *б* – модель монолистовой рессоры из стеклопластика.



*а)*



*б)*



*в)*

Рис. 2. Независимая подвеска с многолистовой рессорой из композиционного материала МГТУ им. Н. Э. Баумана (опытный образец): *а* – общий вид подвески; *б* – испытательный стенд; *в* – действующий образец.



# Листовые рессоры



Листовые рессоры из ПКМ имеют один или два листа (т. е. в большинстве случаев это малолистовые рессоры) прямоугольного сечения постоянной ширины и переменной толщины по форме продольного параболического профиля.

При проектировании малолистовой рессоры постоянной толщины и симметричного поперечного профиля в первую очередь необходимо определить ее длину, число и толщину листов.

Так как толщины и расчетные длины всех листов обычно одинаковы, для малолистовой рессоры, имеющей продольный параболический профиль, получим следующие формулы для расчета.



# Листовые рессоры



Формула для определения прогиба малолистовой рессоры, имеющей продольный параболический профиль:

$$h_p = \frac{\delta_1 P_z L^3}{2Enbh_{\text{л}}^3}; \quad (2.1)$$

Формула для определения коэффициента жесткости малолистовой рессоры, имеющей продольный параболический профиль:

$$c_p = \frac{2Enbh_{\text{л}}^3}{\delta_1 L^3};$$

Формула для определения напряжений малолистовой рессоры, имеющей продольный параболический профиль:

$$\sigma = \frac{3P_z L}{2nbh_{\text{л}}^2}, \quad (2.2)$$



# Листовые рессоры



Здесь и далее:

$\delta_1$  — коэффициент изменения прогиба реальной рессоры по сравнению с прогибом идеальной параболической рессоры, для которой  $\delta_1 = 1$ ;

$P_z$  — вертикальная сила, действующая на рессору;

$L$  — длина рессоры;

$E$  — модуль упругости материала рессоры;

$n$  — число листов;

$b$  — ширина листа;

$h_l$  — толщина листа.



# Листовые рессоры



Для проектируемой колесной машины коэффициент жесткости (или статический прогиб) рессоры, как и для многолистовой, определяют, исходя из условий плавности хода. Ширина рессоры в основном зависит от компоновки машины, и ее желательно иметь возможно большей.

Удельное напряжение (напряжение, соответствующее заданному прогибу) влияет на долговечность рессор и зависит от используемого материала, технологии изготовления, конструкции КМ и условий ее эксплуатации.

Поэтому, проектируя конкретную КМ, удельные напряжения назначают такими, чтобы обеспечить требуемую долговечность. При этом следует учитывать, что для данного коэффициента жесткости масса рессоры обратно пропорциональна квадрату ее удельного напряжения.



## 2.1.1.2. Торсионы



Упругие торсионные элементы в независимой системе поддресоривания применяют довольно часто. Их основными преимуществами являются высокая энергоемкость, оптимальная компоновка, хорошая защищенность от механических повреждений, возможность регулирования высоты кузова.

В нашей стране первые упругие элементы из ПКМ для систем поддресоривания были разработаны в середине 1960-х годов в МГТУ им. Н.Э. Баумана и Отделе главного конструктора ЗИЛ. Были изготовлены образцы торсионов из стеклопластика для подвески КМ высокой проходимости. Работы в этом направлении проводятся рядом зарубежных фирм как для КМ, так и для гусеничных машин.



# Торсионы



При создании торсионов были исследованы различные армирующие материалы:

- непрерывные и прерывистые волокна,
- стекловолокна,
- тканые материалы из углеродного, борного и органического волокон.

В качестве связующих были рассмотрены системы на основе полиэфирных, эпоксидных смол и термопласты. С точки зрения реализации параметров жесткости торсиона наиболее приемлемыми оказались непрерывные элементарные нити, для изготовления торсионов применялся метод намотки с контролем натяжения нитей.



# Торсионы



При создании торсионов были исследованы следующие армирующие материалы:

## Композиты на основе волокон

Характеристики	Бор	Е-стекло	S-стекло	Графит			Кевлар
				А	НМ	76	
Модуль упругости $E \cdot 10^5$ , МПа:							
вдоль волокон $E_{11}$	2,11	0,47	0,62	1,34	2,08	2,95	0,83
поперек волокон $E_{22}$	0,21	0,13	0,13	0,09	0,098	0,063	0,053
Модуль сдвига $G \cdot 10^6$ , МПа	0,042	0,056	0,062	0,042	0,042	0,046	0,019
Отношение прочности после 4500 циклов к начальной	0,82	0,47	0,47	0,82	0,82	0,82	0,56
Отношение модуля сдвига после 4500 циклов к начальному	0,97	0,95	0,97	0,97	0,97	0,97	0,95



# Торсионы



При исследовании композитной конструкции торсиона были рассмотрены следующие ее варианты: с использованием существующего диаметра и длины или существующей длины с увеличенным диаметром; с изменением и длины, и диаметра, а также гибридная конструкция, в которой высокомодульный, но не высокой прочности композит сердечника упрочнялся снаружи высокопрочным композитом.

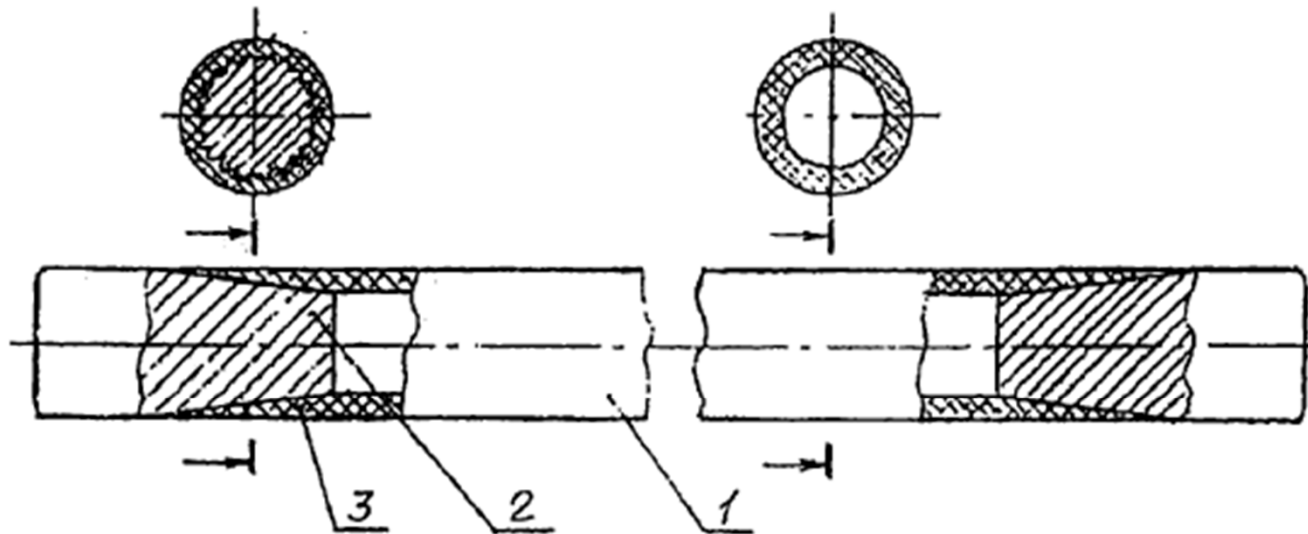
Исследования показали, что в наибольшей степени всем требованиям удовлетворяет графитоэпоксидный композит нитяной намотки с углом намотки  $\pm 45^\circ$ . Поперечное сечение было трубчатым, с отношением внутреннего диаметра к наружному 0,5. Трубчатое сечение также обеспечивало максимальное отношение жесткости при кручении к напряжению при сдвиге.



# Торсионы



Торцевые фитинги должны соответствовать размерам шлицев металлического аналога и передавать приложенный момент к торсиону. Ввиду высоких напряжений фитинги выполняют стальными.



Торсион из ПКМ:

1 – трубчатый стержень; 2 – восьмигранный фитинг;  
3 – клей



# Торсионы



Основной целью разработки упругих элементов на основе ПКМ для систем подрессоривания транспортных средств является использование высокого отношения прочности при растяжении к массе и демпфирующих свойств армированных пластиков. Преимуществом таких элементов перед стальными может стать их более высокая способность к накоплению энергии

**Характеристики стального и композитного торсионов**

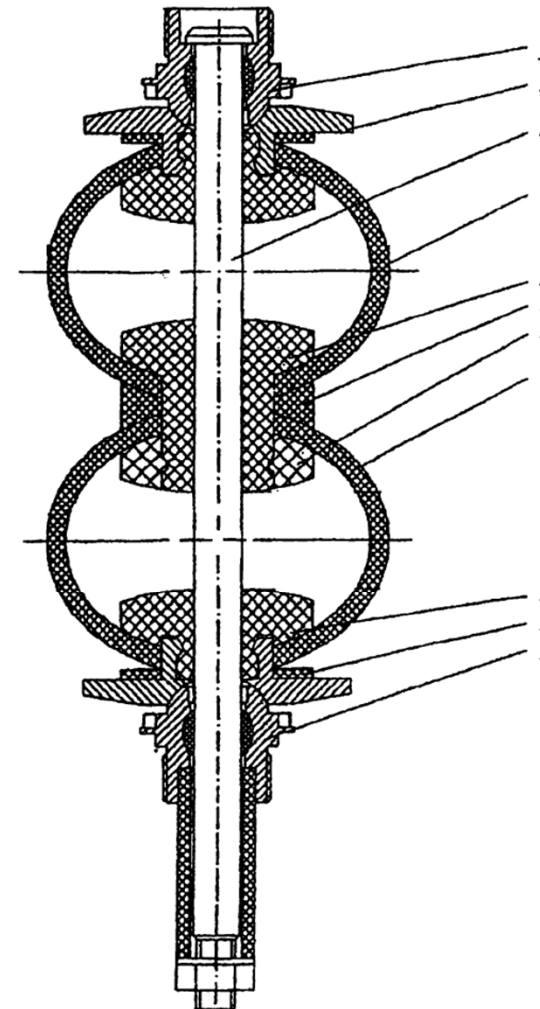
Характеристики	Стальной торсион	Композитный торсион на основе волокна А	
		1-й цикл	45000 циклов
Общая длина, мм	2 089,15	2 089,15	2 089,15
Диаметр, мм: наружный внутренний	59,69 —	74,22 37,11	74,22 37,11
Момент кручения, Н·м	42 647,6	51 990,7	42 640,1
Коэффициент жесткости рессоры, Н·м/град	844,5	845,2	819,8
Максимальный угол закручивания, град	50,5	50,5	52,0



## 2.1.1.3. Конструкции других упругих элементов с применением ПКМ



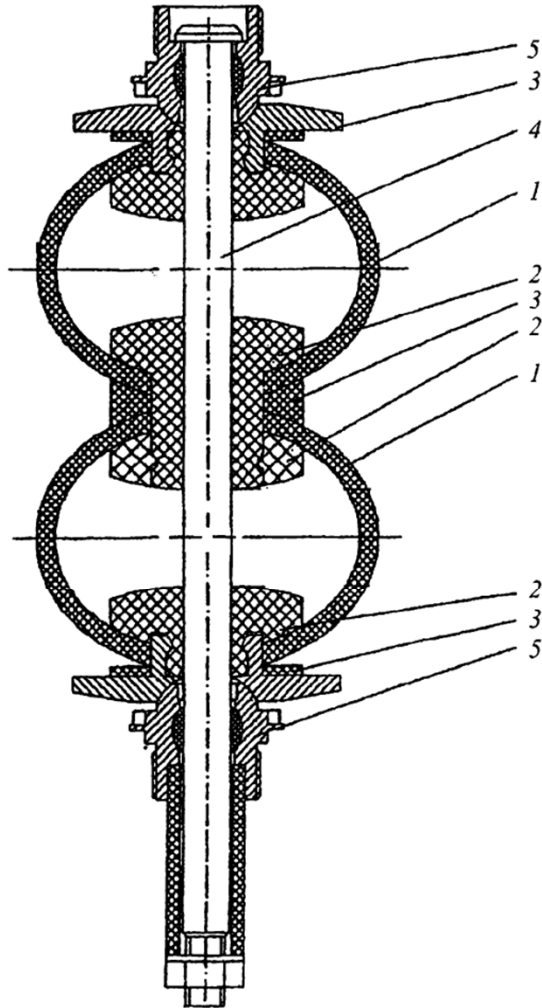
На основе ПКМ разработан эллиптический кольцевой упругий элемент, работающий в таких же режимах вертикальных деформаций и нагрузок, что и стальная спиральная пружина. Собирая последовательно ряд эллиптических кольцевых элементов, можно получить те же характеристики подвески, что и у спиральной пружинной рессоры.



Упруго-демпфирующий элемент подвески со стеклопластиковыми эллиптическими кольцами:  
1 – эллиптический упругий элемент; 2 – буфер; 3 – приставки;  
4 – шток направляющий; 5 – сферическая опора



# Конструкции других упругих элементов с применением ПКМ



В такой конструкции эллиптические элементы испытывают, главным образом, деформации изгиба и армирующие волокна подвергаются воздействию напряжений растяжения и сжатия, а не напряжений сдвига, как в спиральной пружине.

Упруго-демпфирующий элемент подвески со стеклопластиковыми эллиптическими кольцами:

1 – эллиптический упругий элемент; 2 – буфер; 3 – приставки;  
4 – шток направляющий; 5 – сферическая опора



# Конструкции других упругих элементов с применением ПКМ



С использованием свойств ПКМ разрабатываются необычные по форме упругие элементы:

- упругий элемент в форме трапеции (рисунок 1);
- зигзагообразная пружина для передних вилок мотоциклов и переднеприводных легковых автомобилей (рисунок 2).

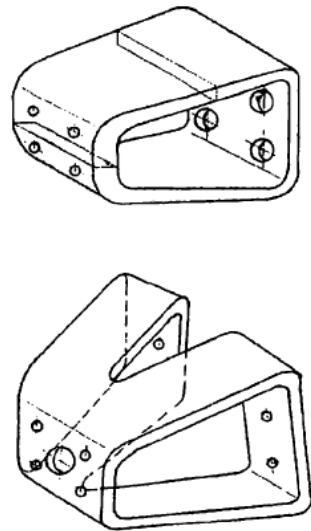


Рисунок 1 – Трапециевидные упругие элементы из ПКМ

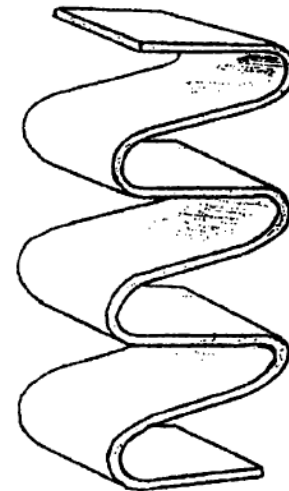
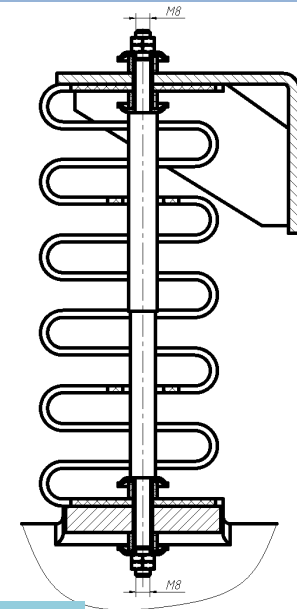
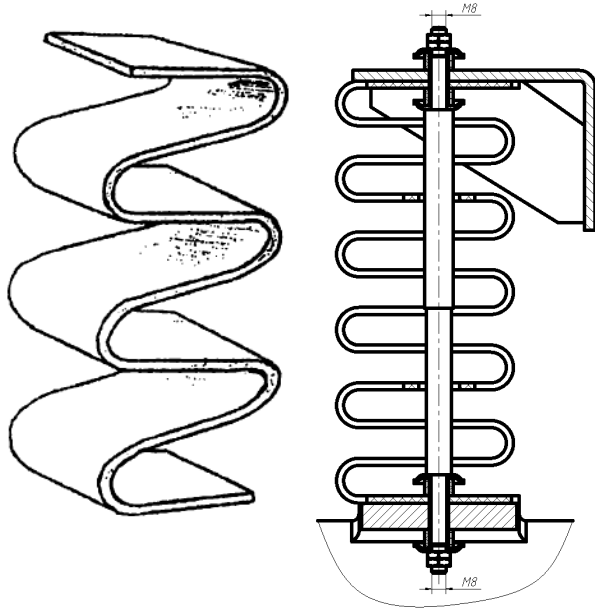


Рисунок 2 – Зигзагообразная рессора из ПКМ





# Конструкции других упругих элементов с применением ПКМ



Зигзагообразная пружина, состоящая из двух или четырех слоев армирующего материала, на 50 % легче металлической и позволяет регулировать рабочие характеристики в широком диапазоне за счет:

- 1) количества «волн»,
- 2) толщины листа,
- 3) применяемых материалов,
- 4) соотношения наполнителя и связующего.

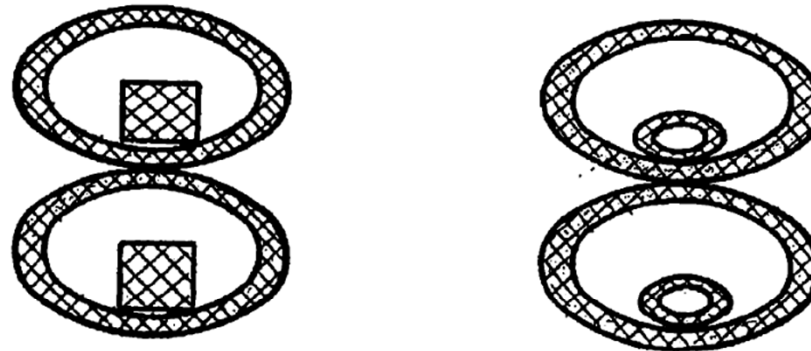
Всего 14 параметров по сравнению с 7-ю у стальных пружин.



# Конструкции других упругих элементов с применением ПКМ



На рисунке показана конструкция составной рессоры переменной жесткости, состоящей из эллиптических элементов, выполненных из ПКМ.



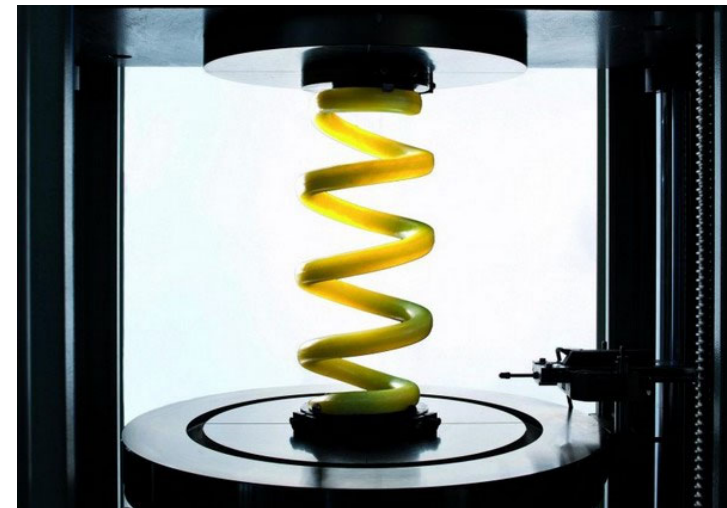
Составная пружина рессоры с переменной жесткостью, состоящая из эллиптических элементов, выполненных из ПКМ:  
*a* – со вставками из жесткой резины; *b* – с комплектом пружинных элементов эллиптической формы



# Конструкции других упругих элементов с применением ПКМ



Получение нелинейных характеристик



Стеклопластиковая пружина Audi



## Конструкции других упругих элементов с применением ПКМ



Перспективным направлением совершенствования систем поддресоривания является использование упругих элементов, изготовленных с применением композиционных материалов.

Применение таких упругих элементов позволяет добиться ряда преимуществ: улучшение плавности хода (за счет лучшего демпфирования в высокочастотной области), снижение общей вибронагруженности, улучшение эксплуатационных характеристик.





## Конструкции других упругих элементов с применением ПКМ



Из-за технологических особенностей композитные винтовые пружины возможно изготовить с более меньшим отношением среднего диаметра пружины  $D_{пж}$  к диаметру витка пружины  $d_{пж}$  по сравнению с металлическими. Жесткость пружины в кубе зависит от этого соотношения:

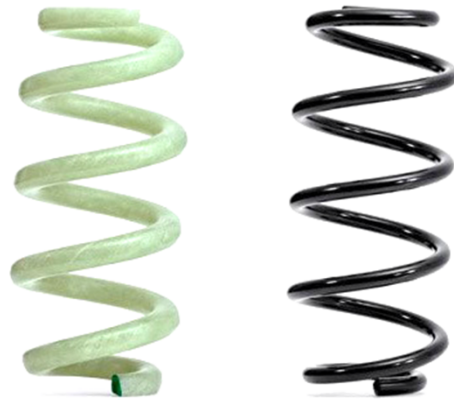
$$C_{пр} = \frac{G \cdot d_{пж}}{8 \cdot c^3 \cdot i_{сж}}$$

где  $c = D_{пж}/d_{пж}$ ;  $D_{пж}$  — средний диаметр пружины;  $d_{пж}$  — диаметр прутка пружины;  $i_{сж}$  — число рабочих витков пружины;  $G$  — модуль сдвига в материале пружины.

Таким образом для композитного материала с модулем сдвига  **$G=210$  ГПа** (например, эпоксиглепластик) возможно получить в несколько раз более жесткую пружину по сравнению с металлической в тех же габаритах.



## Конструкции других упругих элементов с применением ПКМ



Стеклопластиковые пружины на серийном автомобиле Audi купе R8





## Конструкции других упругих элементов с применением ПКМ



Спиральные пружины подвески, выполненные из стеклопластика (GFRP), устанавливаются на среднеразмерные модели Audi. Первенцем был автомобиль-купе R8, который дебютировал осенью 2014 г. в Париже.

Ядро новых пружин (его диаметр всего несколько миллиметров) состоит из длинных стеклянных волокон, скрученных вместе и пропитанных эпоксидной смолой. Автомат оборачивает вокруг ядра дополнительные волокна под углом плюс и минус 45 градусов к продольной оси. Компания утверждает, что энергетические затраты на выпуск такой пружины ниже, чем для обычной.

Стеклопластиковая пружина для среднеразмерной автомобиля весит около 1,6 кг, тогда как стальная — примерно 2,7. Экономия составляет 40% (или 4,4 кг) на весь автомобиль. Причём на 2,2 кг уменьшена неподрессоренная масса, что улучшило плавность хода. Кроме того, композитная пружина устойчива к ударам камней и не подвержена коррозии, в том числе от действия различных реагентов в составе дорожных и моющих средств.



## 2.1.2. Опоры скольжения рычагов подвески



Современные ПКМ обладают значительными потенциальными возможностями при создании долговечных высоконагруженных опор скольжения различных систем КМ, в частности опор рычагов подвески.

Высокая удельная прочность, износостойкость, стабильные антифрикционные свойства ряда ПКМ позволяют значительно повысить надежность и долговечность опор, снизить массу и динамические воздействия на корпус машины, а также уменьшить объем технического обслуживания узлов.

Опоры осей рычагов, как правило, выполняют в виде подшипников качения (игольчатых или роликовых) или подшипников скольжения из какого-либо антифрикционного материала, в том числе из ПКМ.



# Недостатки опор скольжения из ПКМ



Несмотря на ряд преимуществ, опоры с подшипниками качения имеют серьезные недостатки:

- им требуется периодически заменяемая смазка;
- поверхности деталей, служащие беговыми дорожками игольчатых подшипников, должны быть термообработаны до высокой твердости;
- их долговечность при эксплуатации ограничена.

Стремление упростить конструкции опор и рычагов подвески и повысить их долговечность привело к применению неметаллических материалов для опор.



# Недостатки опор скольжения из ПКМ



Разработка высоконагруженных опор скольжения подвески включает следующие этапы:

- разработка схемы нагружения и компоновки узла, включающая оценку эксплуатационных зазоров;
- выбор ПКМ для опоры с учетом нагрузок, возможности компоновки узла;
- определение основных геометрических параметров опор скольжения по контактным давлениям, температуре узла, толщине полимерного слоя, сборочному зазору и гарантированному натягу;
- обеспечение режима смазки, уплотнения узла;
- обеспечение высокой технологичности и минимальной стоимости при изготовлении и сборке;
- обеспечение технологичности и ремонтпригодности узла.



# Недостатки опор скольжения из ПКМ



При выборе конструктивного решения необходимо учитывать затраты не только на изготовление, но и на обслуживание и ремонт. В конечном итоге создание опор скольжения из ПКМ — это комплексная разработка материала и конструкции опоры, обеспечивающей заданные эксплуатационные параметры, срок службы и надежность при минимальных массе, производственных и эксплуатационных затратах.

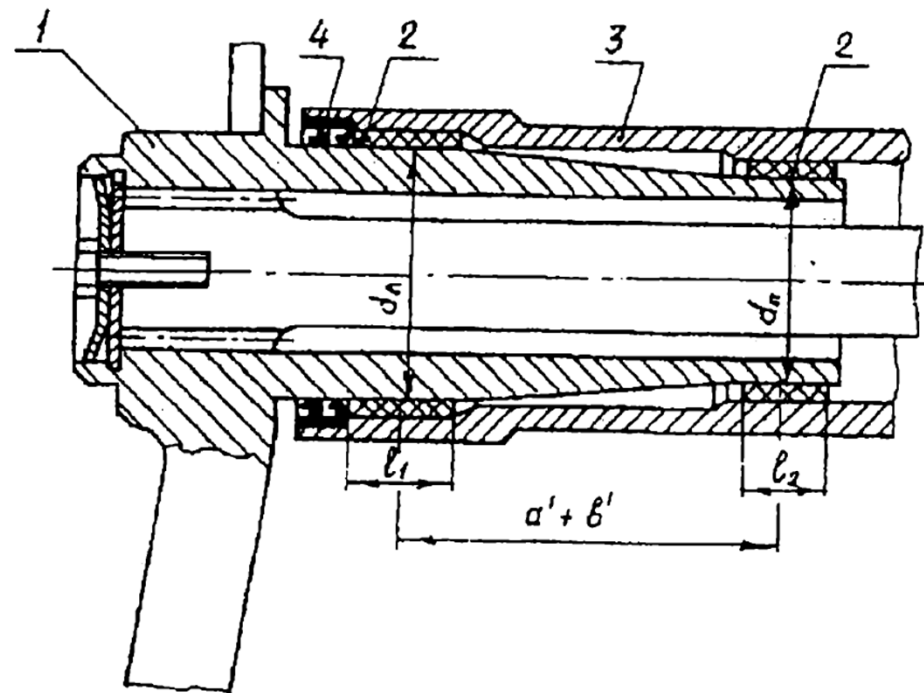
Анализ существующих конструкций опор скольжения рычагов подвески современных колесных машин показывает, что наиболее технологичной является конструкция в виде втулки, запрессованной с определенным натягом в корпус или промежуточную металлическую обойму.



# Недостатки опор скольжения из ПКМ



Такая конструкция наиболее проста и удобна при сборке, эксплуатации и ремонте.



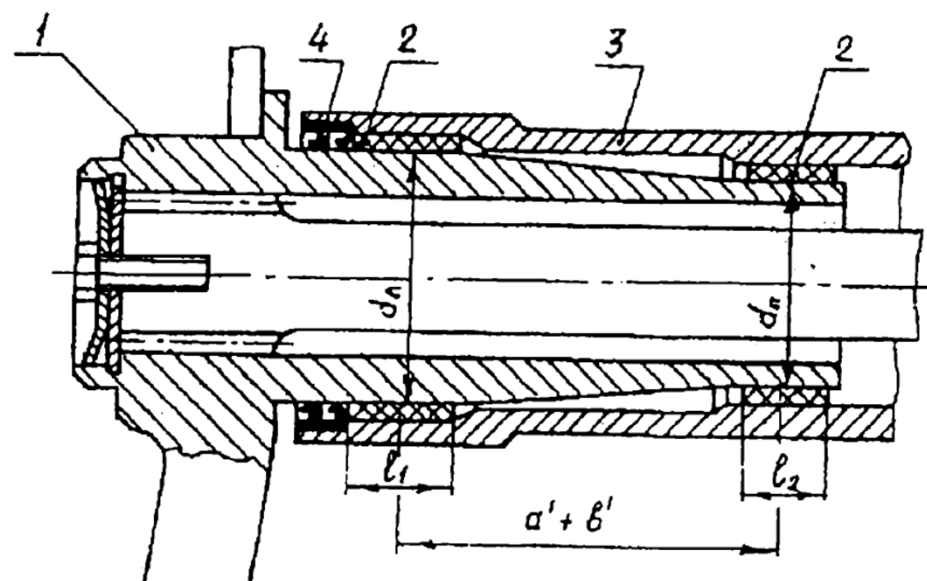
Конструкция узла торсионной подвески  
с полимерными опорами скольжения:  
1 – обойма; 2 – втулки; 3 – корпус; 4 – уплотнение узла



# Недостатки опор скольжения из ПКМ

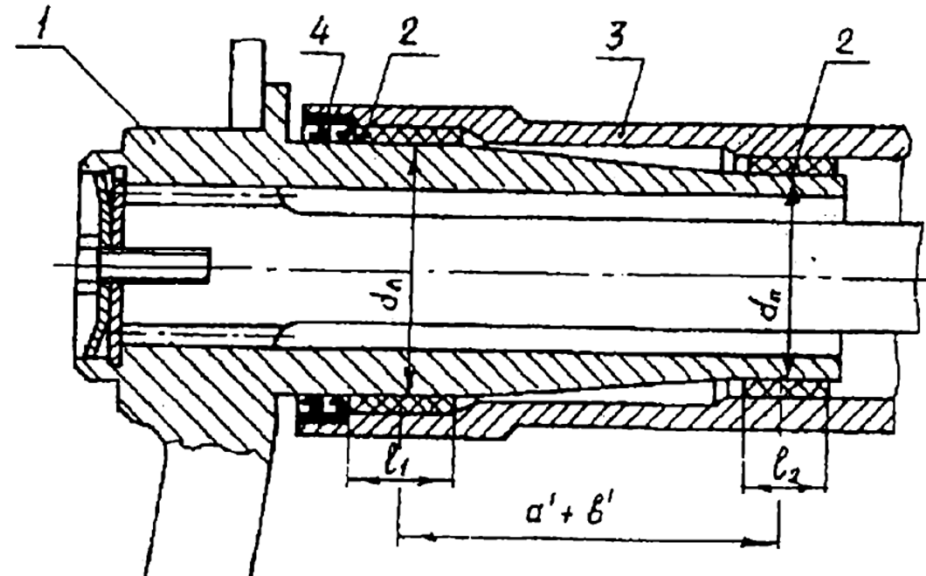


В такой опоре втулки растачиваются в размер после сборки. Опорный узел имеет уплотнение 4. Консистентная смазка закладывается при сборке, втулки изготавливаются из сополимера СТД или фенил она С2, а не из текстолита, что в два раза повышает ресурс и эксплуатационную надежность; снижение массы втулок составляет 2,6 кг.





# Недостатки опор скольжения из ПКМ



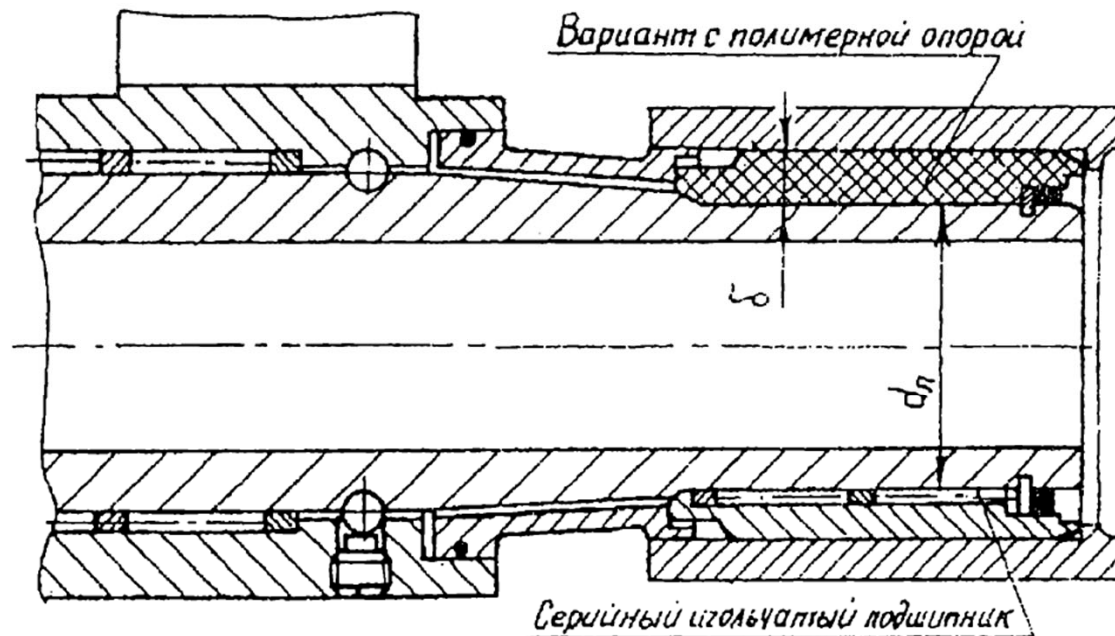
Конструктивные параметры узлов — это толщина стенок втулок  $\delta = 0,06$ , где  $d$  — внутренний диаметр втулок; натяг при запрессовке  $\Delta = 0,004d$ ; отношение длины опор к диаметру  $L/d = 0,85...0,93$ , минимально допустимый эксплуатационный зазор  $e_{min}^э = 0,137$  мм; необходимый сборочный зазор  $e_{сб} = 0,31$  мм.



# Недостатки опор скольжения из ПКМ



На рисунке показана конструкция опоры скольжения из фенилона С2, установленной взамен обоймы серийного игольчатого подшипника. Применение таких опор на машине с ко-лесной формулой 8х8 позволяет снизить массу машины на 42...45 кг.



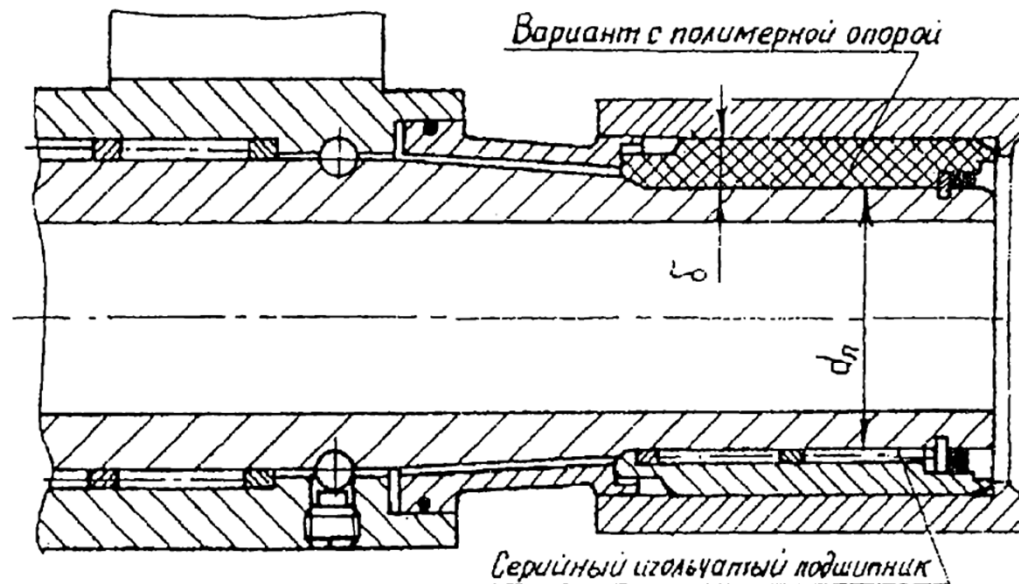
Конструкция узла подвески с опорами из фенилона С2



# Недостатки опор скольжения из ПКМ



Однако прямая замена игольчатого подшипника на полимерную опору с толщиной стенки 16 мм имеет недостаток — плохой теплоотвод. После двух гарантийных пробегов три опоры скольжения имели следы теплового разрушения.



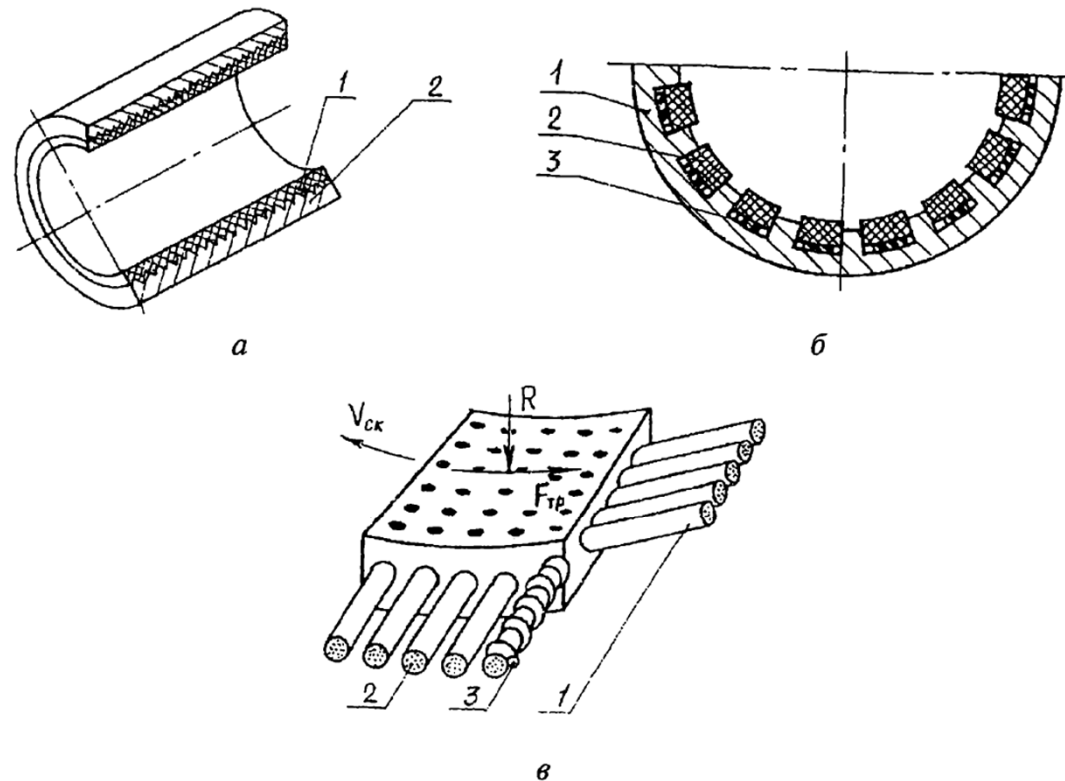
Конструкция узла подвески с опорами из фенилона С2



# Недостатки опор скольжения из ПКМ



На рисунке показана конструкция опоры скольжения для торсионной подвески.



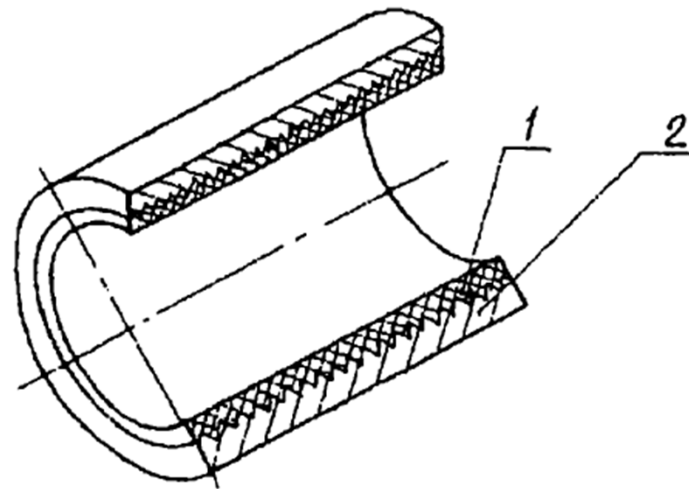
Конструкция опор скольжения для торсионной подвески:  
*а* – металлополимерная опора с рифленой подложкой; 1 – полимерный слой; 2 – обойма; *б* – опора с самоустанавливающимися вкладышами; 1 – обойма; 2 – вставки из ПКМ; 3 – подложки; *в* – фрагмент опоры из органопластика; 1 – основные нити; 2 – уточные нити; 3 – волокна из ПТФЭ



# Недостатки опор скольжения из ПКМ



Недостатки толстостенной втулки можно устранить применением металлополимерной опоры скольжения (рисунок а).



*a*

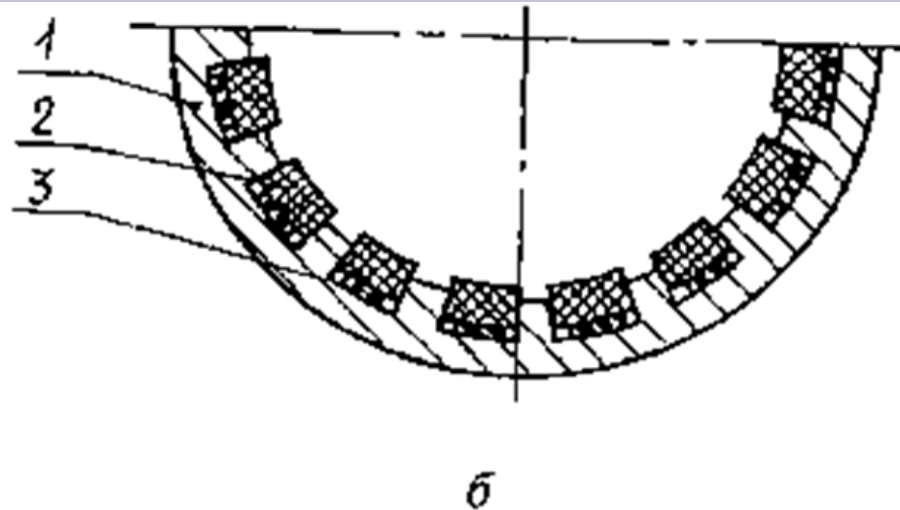
Полимерный слой 1 заформован на рифленую внутреннюю поверхность металлической обоймы 2, которая, в свою очередь, запрессовывается в корпус. Такая конструкция позволяет надежно фиксировать тонкий полимерный слой, обеспечивающий эффективный теплоотвод из зоны трения. Металлическую обойму, как правило, изготавливают из легких алюминиевых сплавов, степень нагрева таких втулок на 20...40 °С ниже, чем у цельнопластмассовых.



# Недостатки опор скольжения из ПКМ



Конструкция опоры скольжения с самоустанавливающимися вкладышами сочетает высокие антифрикционные свойства ПКМ, прочность и теплопроводность металлической обоймы (рисунок б).



Целесообразность самоустановки обусловлена неточностями сборки узла подвески, а также характером нагрузок на ось рычага. В пазах обоймы 1 размещены вставки 2 из ПКМ с подложками 3 из эластичного материала, вставки выступают над рабочей поверхностью обоймы на величину деформации эластичной подложки при максимальной нагрузке.

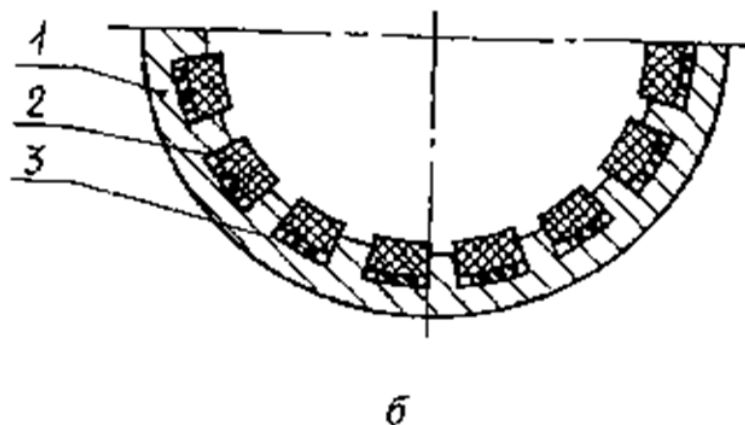


# Недостатки опор скольжения из ПКМ



При номинальной нагрузке ось качается по цилиндрической поверхности вставок, а при кратковременном увеличении давления часть нагрузки воспринимаете обоймой. Такая опора скольжения с вставками из сополимера СТД, подложками из полиуретана СКУ-ПФЛ-100 и стальной обоймой прошла испытания на стенде при давлении 15 МПа в объеме  $10^7$  циклов.

Конструкции опор из термопластов сополимера СТД, фенилона С2 обладают ограниченной прочностью и довольно высоким самонагревом. Модифицирование этих материалов анти-фрикционными добавками (графит, дисульфид молибдена) не меняет их антифрикционные свойства и износостойкость.

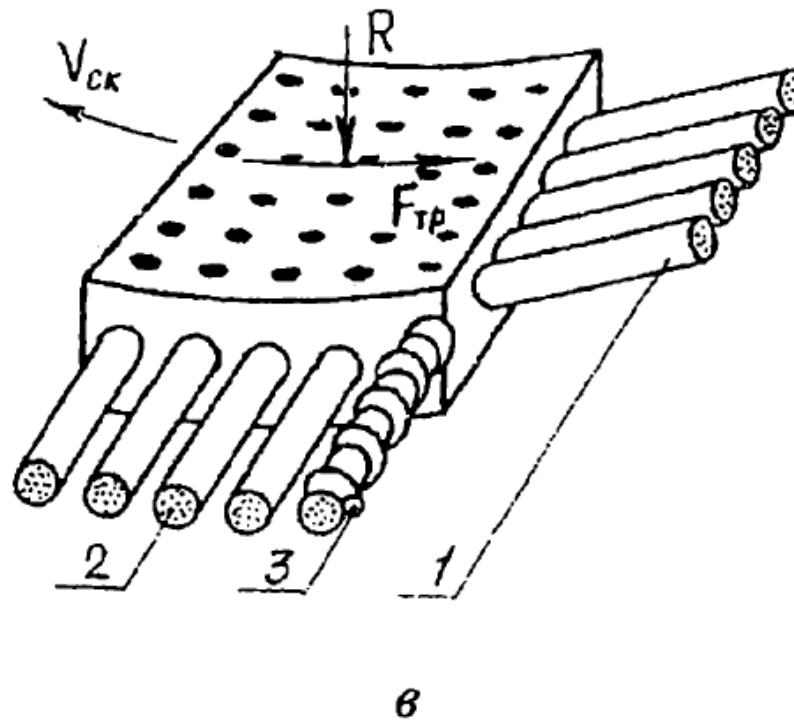




# Недостатки опор скольжения из ПКМ



Большими возможностями при создании высоконагруженных опор скольжения обладают антифрикционные ПКМ волокнистой структуры, состоящие из полимерной матрицы, армирующих и антифрикционных волокон (волокнистая составляющая — отдельные нити, жгуты или ткани требуемого переплетения).

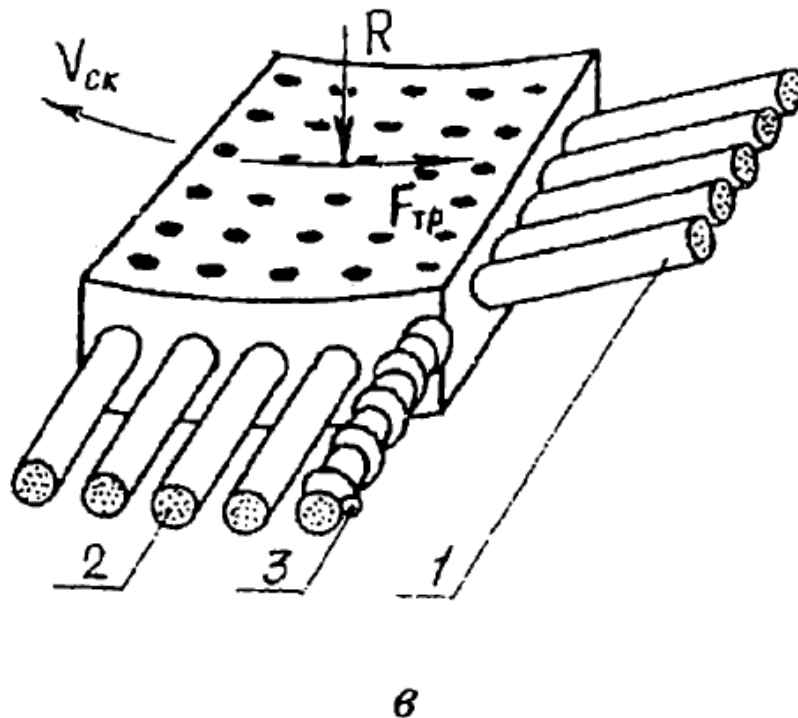




# Недостатки опор скольжения из ПКМ



На рисунке **в** показана схема переплетения тканого элемента антифрикционного вкладыша для фрагмента втулки. Тканый наполнитель содержит основные 1 и уточные 2 нити из высокомодульных волокон типа СВМ.



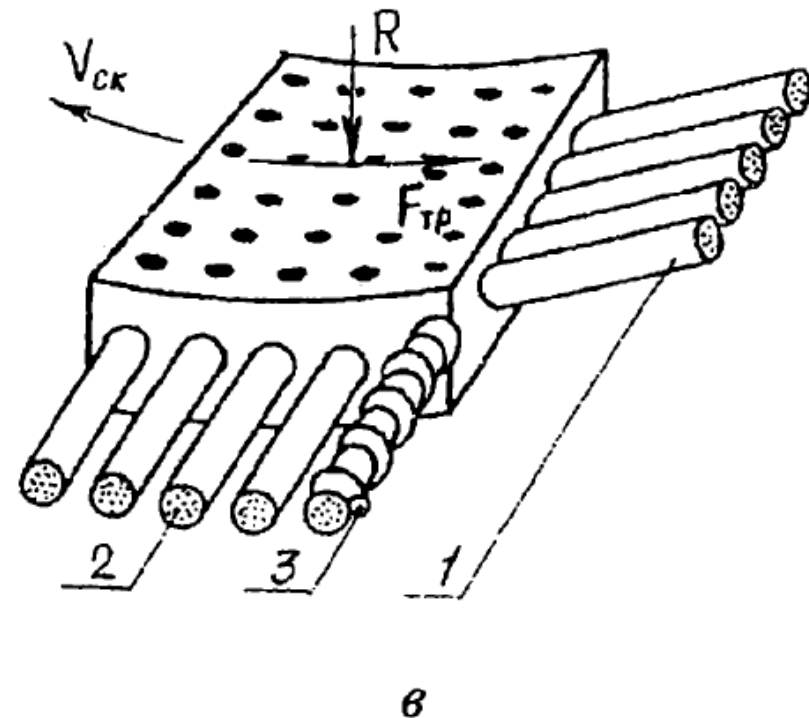
Уточные нити оплетены волокнами политетрафторэтилена (ПТФЭ) 3 с низким коэффициентом трения. Расположение основных нитей в ткани по направлению относительного перемещения трущихся тел придает высокую несущую способность таким втулкам, так как сопротивление циклическим нагрузкам, возникающим при трении, является одним из факторов, определяющих несущую способность узлов трения.



# Недостатки опор скольжения из ПКМ



Волокна СВМ обладают высокой стойкостью к растягивающим циклическим нагрузкам и определяют несущую способность и минимальную деформацию вкладыша. Высокие антифрикционные свойства такого вкладыша достигаются оплеткой уточных нитей нитями ПТФЭ. Оптимальное соотношение связующего и ткани определено экспериментально. Коэффициент трения зависит от степени содержания нитей ПТФЭ и регулируется шагом оплетки уточных нитей.





## 2.1.3. Другие элементы системы поддрессоривания из полимерных композиционных материалов



Ограничители хода предназначены для предотвращения перегрузки и поломки упругих элементов и амортизаторов, а так же для снижения динамических нагрузок, действующих на несущую систему и экипаж при пробое подвески. Ограничители хода (отбойники) выполняются жесткими или упругими. Жесткие отбойники представляют собой металлические упоры установленные на несущей системе с помощью сварки или резьбового соединения. В упругих ограничителях хода широко применяются полиуретаны. Ход и энергоемкость этого упругого элемента невелики, и ограничители не оказывают никакого влияния на характеристику подвески и на плавность хода автомобиля.





## Другие элементы системы поддрессоривания из полимерных композиционных материалов



Высокие физико-механические характеристики полиуретанов позволяют создавать на их основе поддрессорники, имеющие значительную деформацию и увеличивающие жесткость подвески в конце хода. Вследствие высокой ударной прочности материала ( $20 \text{ Н/см}^2$ ) при их использовании можно отказаться от дополнительных упругих упорных элементов.

Полиуретаны применяются для эластичных буферов в грузовых автомобилях, автобусах и автомобилях повышенной проходимости. Дополнительные упругие элементы из ячеистого полиуретана установлены на легковых автомобилях Renault, амортизаторах Voge, в подвесках Macpherson. Этот материал вследствие своей ячеистой структуры сжимается до тех пор, пока не закроются все ячейки. Пружинящие элементы могут допустить ход рессоры до 80 % их высоты.

В легковых и спортивных автомобилях возможно изготовление из однонаправленных углепластиков рычагов системы поддрессоривания.



## 2.1.4. Полимерные композиционные материалы в колесном движителе



Колеса являются одной из массовых автомобильных конструкций, а специфика их крупносерийного и массового производства требует своего подхода к проблеме создания материала конструкции и технологии изготовления колес из ПКМ. К материалам для колес предъявляются следующие требования:

- высокие физико-механические характеристики и сохранение этих характеристик в течении 20 лет при температурах эксплуатации от -50 до 100 °С в различных климатических зонах;
- стойкость к маслам, различным видам топлив и другим агрессивным средам при ограниченном их попадании и к различным средствам обработки колес (воды с моющими средствами, обработки при дегазации и дезактивации и т.д.);
- стабильность свойств материала при длительной эксплуатации в воде;
- невысокая стоимость и доступность;
- экологичность материалов и способов их переработки в изделия.



Основными материалами для колес из ПКМ являются армированные короткими или длинными волокнами пластики на основе стеклянных, углеродных или гибридных волокон и терморезактивных (полиэфирных, эпоксидных, эпоксифенольных) или термопластичных связующих (поликарбонатных, полиамидных и др.). Стеклонаполненные термопласты перерабатываются в изделия высокопроизводительным методом литья под давлением. Стеклопластики на основе полиэфирных и фенольных смол являются наиболее дешевыми материалами, они перерабатываются в изделия методом прессования. При изготовлении разъемных колес большого диаметра возможно применение метода намотки.

Для опытного и единичного производства возможно использование полиэфирных или эпоксидных связующих холодного отверждения и тканых армирующих материалов. В таблице далее описаны некоторые физико-механические свойства материалов для колес.



**Свойства материалов для колес**

Материал	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Прочность при растяжении, $\sigma_p$ , МПа	Модуль упругости при растяжении $E_p$ , МПа · 10 <sup>4</sup>	Диапазон рабочих температур, °С
Полиэфирный стеклопластик холодного отверждения на основе тканей	1600	230	1,25	От -60 до +80
Полиэфирный стеклопластик — полуфабрикат (типа АП-70-151)	1750	96	1,20	От -60 до +100
Стекловолокнистый пресс-материал (типа ДСВ)	1800	80	2,02	До 200
Углепласт на основе эпоксидного связующего	1550	585	4,50	От -60 до +100
Поликарбонат стеклонаполненный	1520	120	1,00	От -90 до +135
Стеклопластик намоточный на основе эпоксидного связующего	1600	500	2,25	От -60 до +120



Выбор метода изготовления зависит от объема производства, применяемого материала, конструктивного исполнения изделия представлен в таблице.

### Выбор метода изготовления

Материал	Объем производства	Особенности конструктивного исполнения изделия	Метод изготовления
Слоистый стеклопластик на основе полиэфирного связующего холодного отверждения	Опытное, единичное	Не ограничены	Контактное формование
Слоистый стеклопластик на основе полиэфирного связующего горячего отверждения	Мелкосерийное	Разъемное колесо с элементами постоянного или переменного сечения, пригодными для прямого прессования	Прессование



## Применение ПКМ в колесном движителе



Материал	Объем производства	Особенности конструктивного исполнения изделия	Метод изготовления
Препрег или дозируемый пресс-материал	Среднесерийное	Разъемное колесо с элементами постоянного сечения, пригодными для прямого прессования	Пресование
Стеклонаполненный термопласт	Крупносерийное	Неразъемное колесо простой конфигурации и небольшого размера	Формование в твердом состоянии (штамповка)
Стеклонаполненный термопласт	Крупносерийное	Неразъемное колесо сложной конфигурации	Литье под давлением
Слоистый стеклопластик на основе эпоксидного связующего горячего отверждения	Серийное	Ободная часть разъемного колеса	Намотка



По типу конструктивного исполнения колеса делятся на:

- неразборные (однокомпонентные);
- разборные (многокомпонентные).

Как правило, колеса легковых автомобилей – неразборные; у грузовых они могут быть неразборными, разборными в продольной и поперечной плоскостях.



На рисунке показаны примеры конструкций колес из стеклопластика для легковых и грузовых автомобилей, изготовленных методами литья под давлением и прессования.

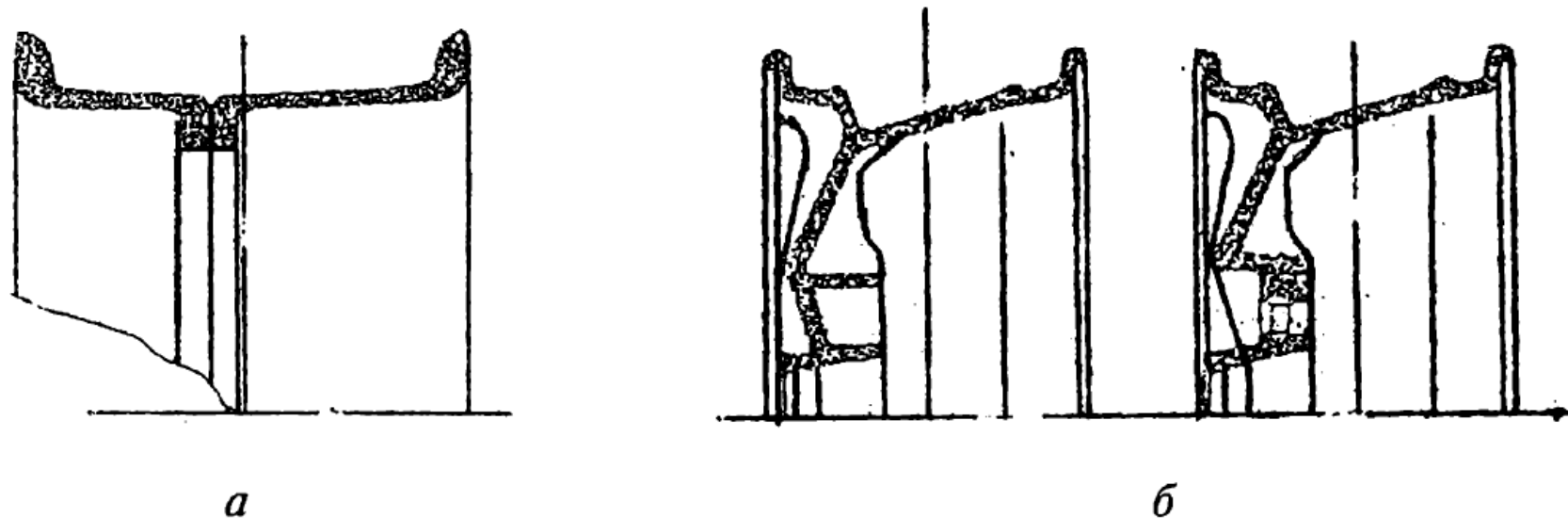


Рисунок – Колеса автомобилей из ПКМ:

*а* – грузового из препрега методом прессования; *б* – легкового, изготовленного из стеклонаполненного поликарбоната методом литья под давлением



На рисунке показан пример конструкции колеса для КМ высокой проходимости, где ободная часть колеса изготовлена методом намотки стеклоткани, пропитанной связующим на основе эпоксидной смолы.

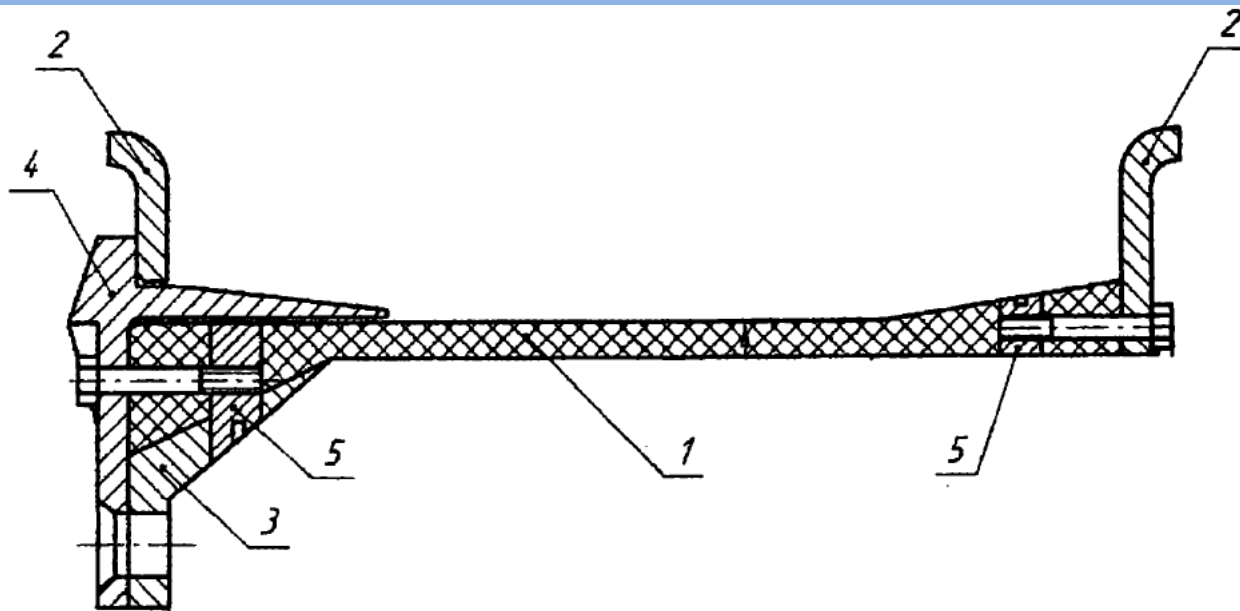


Рисунок – Конструкция обода колеса автомобиля высокой проходимости:  
1 – основание обода из ПКМ; 2 – бортовое кольцо; 3 – торцевое кольцо;  
4 – фланцевое кольцо; 5 – штифтоболтовое соединение



## Применение ПКМ в колесном движителе



Колесо автомобиля является высоконагруженным элементом, который подвергается воздействию значительных внутренних и внешних сил.

Внутреннее нагружение создается давлением воздуха в шине и натягом ее бортов, а также статическими сборочными напряжениями, возникающими от крепления колеса на ступице.

Внешними являются нормальные силы давления на колесо от колеблющейся подвески массы автомобиля и боковые силы при движении на поворотах. Кроме того, на катящееся колесо действуют центробежные силы вследствие его статической и динамической неуравновешенности. Действие внешних сил при качении колеса носит периодический характер и вызывает усталостные напряжения в ободке, диске и деталях крепления колеса.



Методы расчета колеса, приводимые в современной технической литературе, как правило, предусматривают отдельные расчеты ободной и дисковой частей колеса. Для колес, выполненных из ПКМ различными методами, в расчетах в зависимости от структуры материалов можно принять ПКМ, армированный короткими и средними волокнами (прессование, метод литья под давлением), квазиизотропным, а армированный непрерывными волокнами — анизотропным.

Колесо имеет сложную пространственную форму, поэтому при его расчете целесообразно использовать метод конечных элементов. Ввиду симметричности конструкции достаточно получить модель половины или даже четверти ее части.



Создание новых и совершенствование существующих конструкций колес осуществляется на основе экспериментально-теоретических методов и опыта эксплуатации. Совершенствование колес направлено на увеличение их прочности и долговечности, на снижение массы, улучшение качества и точности изготовления на основе внедрения новых материалов, в том числе ПКМ и технологий, на повышение технико-экономических показателей.

Актуальной задачей по-прежнему является создание работоспособной конструкции безопасного колеса. При аварийном выпуске воздуха из шин такое колесо должно не только обеспечивать возможность управления автомобилем, но и позволять без замены поврежденной шины продолжать движение на расстоянии более 100 км.

В легковых автомобилях декоративные колпаки колес в настоящее время выполняются только из ударопрочных композитов где в качестве армирующего материала используются короткие волокна или порошковые наполнители, в качестве связующих - термопласты, метод изготовления чаще всего – литье под давлением.



# Применение ПКМ в колесном двигателе



Углепластиковое колесо гоночного автомобиля



## 9.4.2 Применение безвоздушных колес в современном автомобиле



Изобретение пневматической шины относится к 1845г. Сопротивление качению колеса с пневматической шиной является основным видом сил сопротивления движению автомобилей и одновременно одним из важнейших критериев их конструкторского совершенства. Меры по уменьшению сопротивления качению транспортных средств всегда занимали важное место в развитии инженерной мысли и истории автомобильной техники.

В настоящее время все больше иностранных исследований направлены на создание безвоздушных колесных движителей (рисунок). Основные преимущества таких движителей – это большая надежность вследствие отсутствия герметичной газовой оболочки и потенциальная возможность уменьшить сопротивление качению.



# Применение безвоздушных колес в современном автомобиле

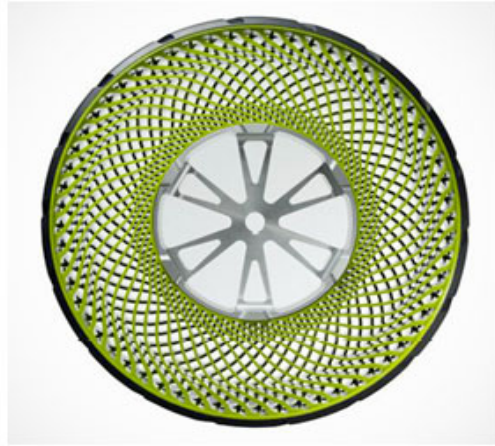


Рисунок 7 – Современные безвоздушные колесные движители

В МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре «Колесные машины» ведутся активные исследования по созданию безвоздушных колесных движителей из стеклопластика.



# Варианты повышения надёжности КД



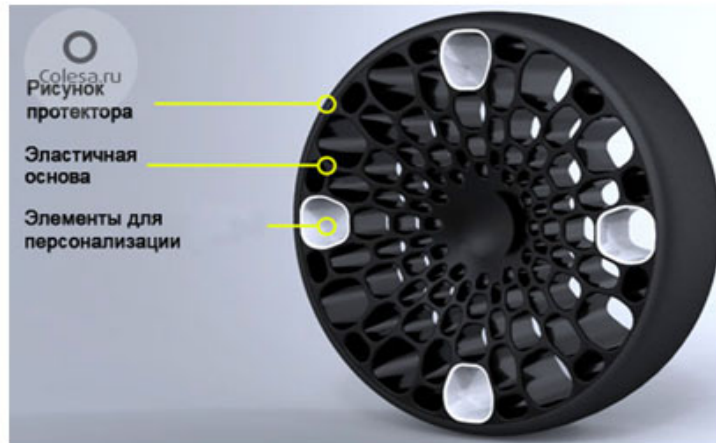
Bridgestone



NPT



Michelin Tweel



MINILUX tires



ERW





# Варианты повышения надёжности КД

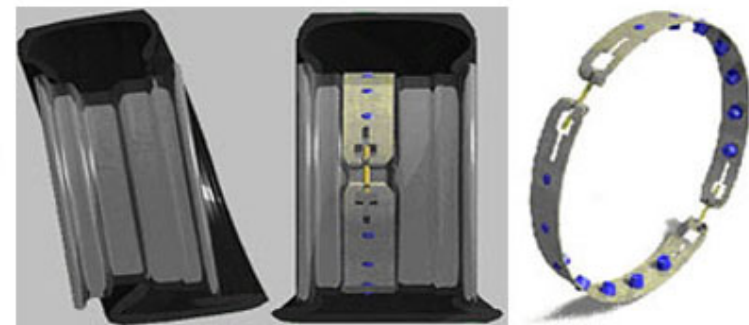


Rodgard system

Вставка лепесткового типа



Michlein PAX system



Tyron system



# Вставка Hutshinson

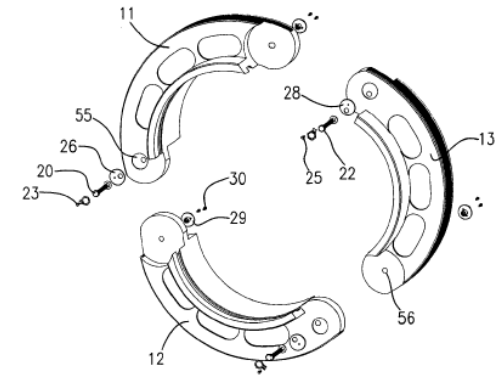
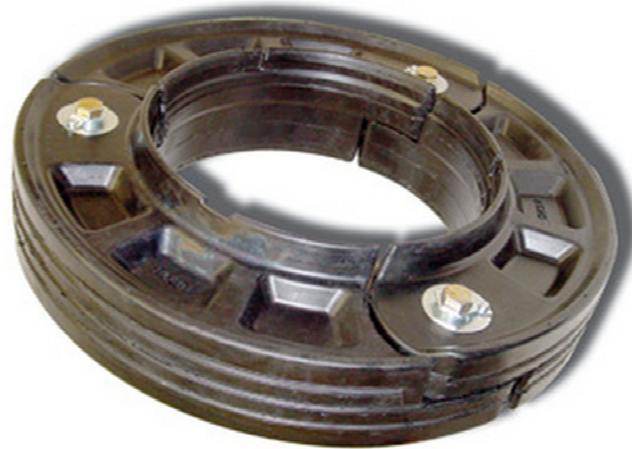
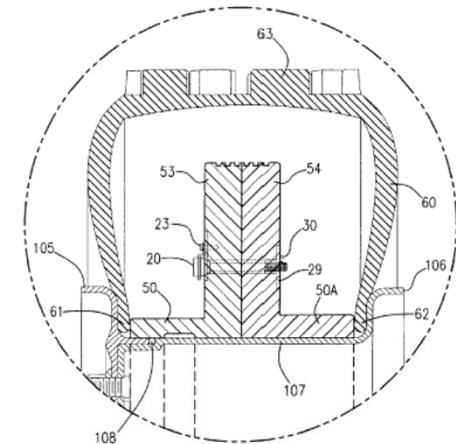
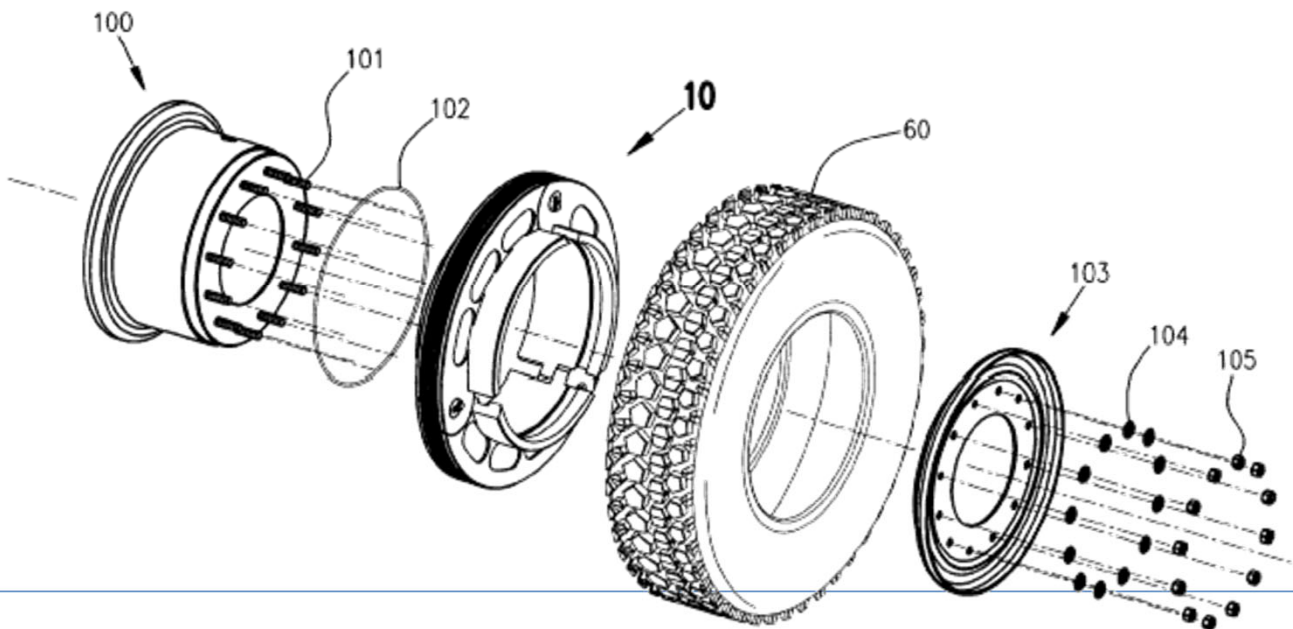


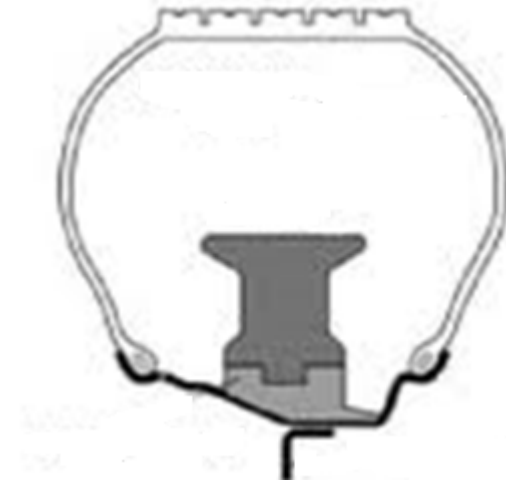
FIG. 13





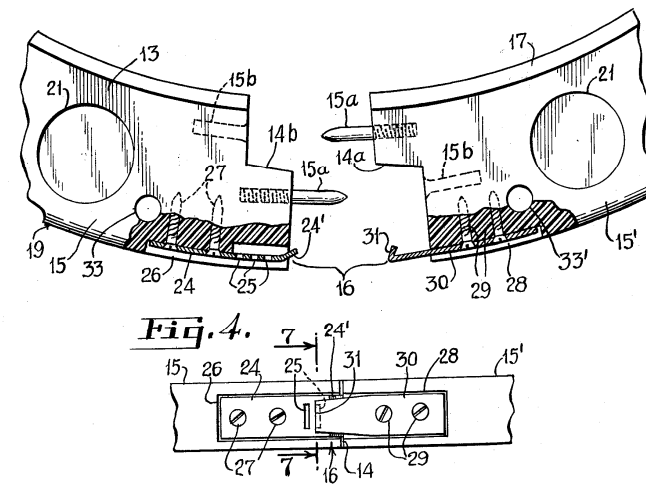
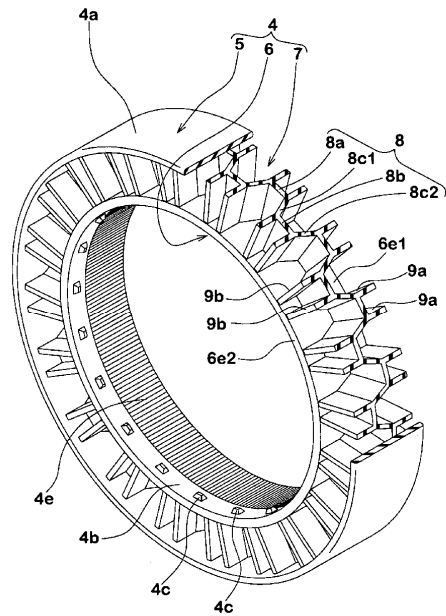
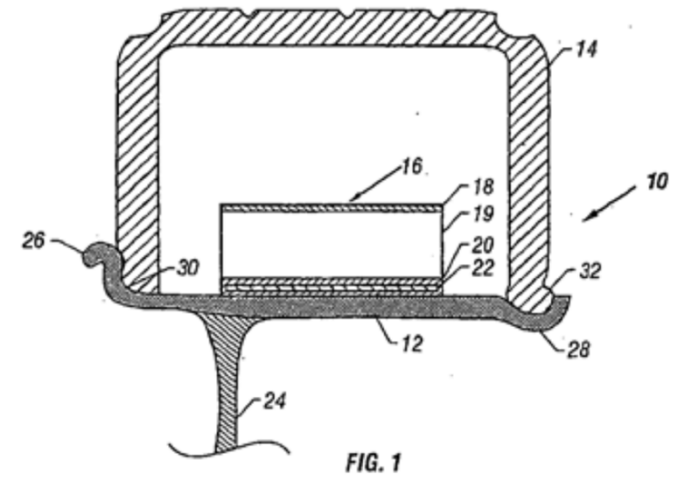
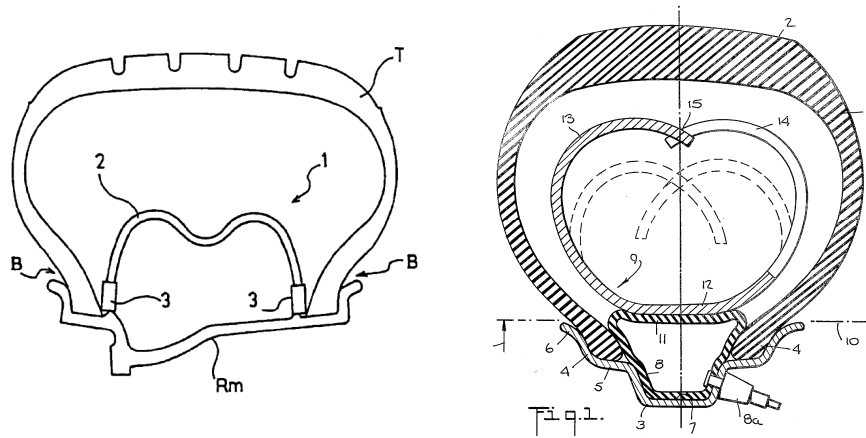


# Вставка Rodgard



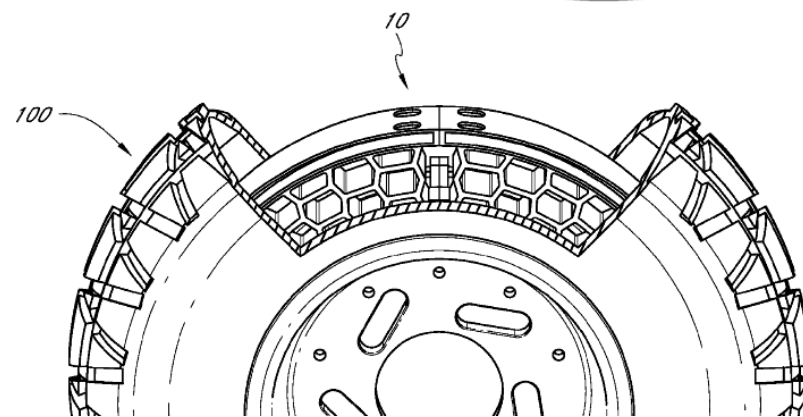
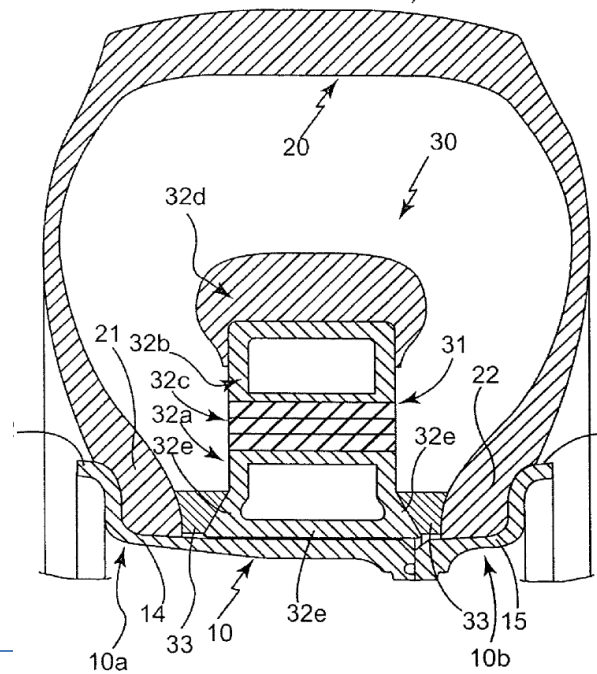
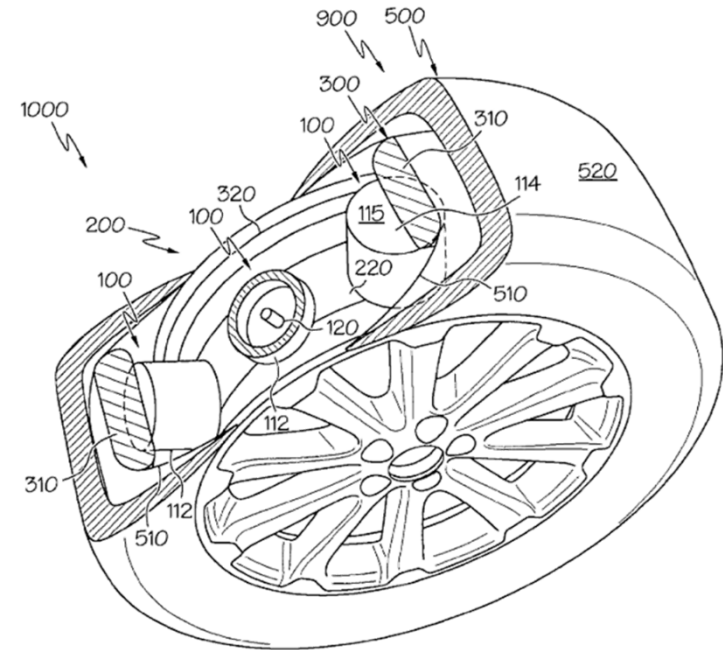
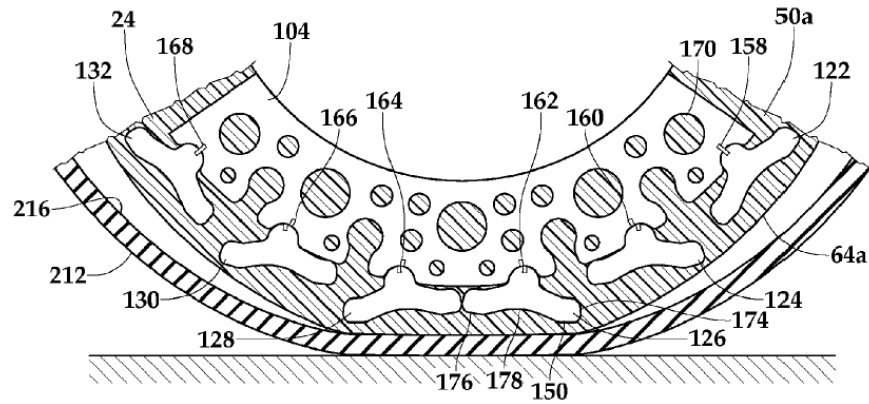


# Вставка безопасности



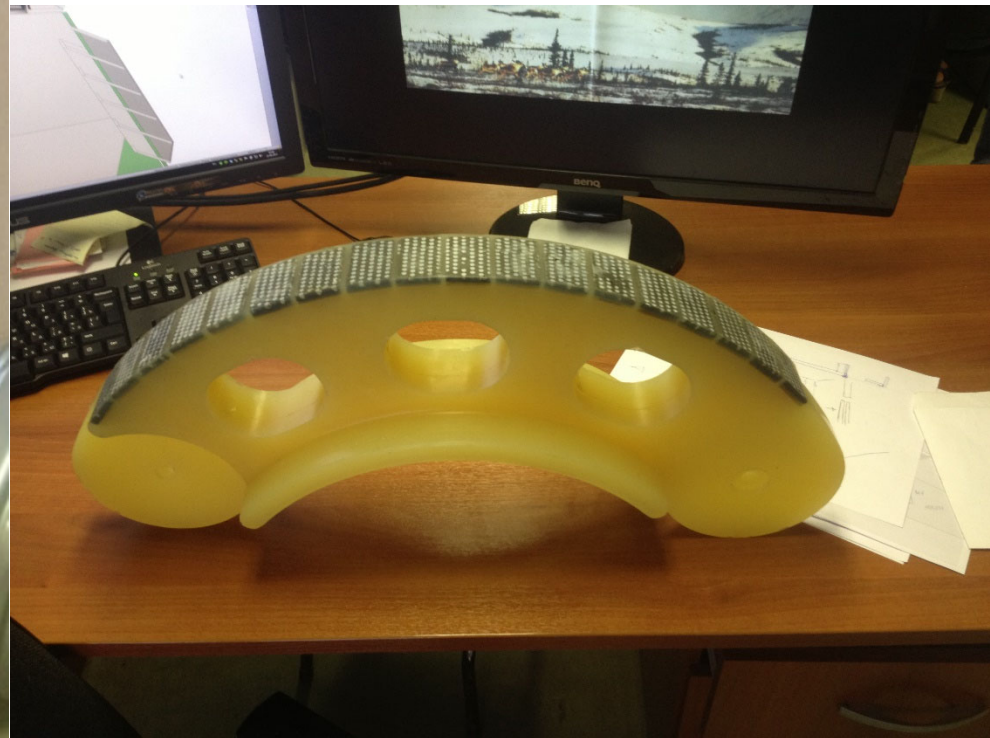


# Вставка безопасности





# Вставка безопасности МГТУ





### 3. Фрикционные элементы тормозных механизмов



Основными элементами тормозных механизмов автомобилей являются детали, составляющие пару трения: фрикционные накладки и тормозные барабаны (у ленточных и колодочных тормозов) и диски (у дисковых тормозов).

В автомобилях в большинстве случаев колесные тормоза являются сухими. В сухих тормозах используют фрикционные ПКМ на комбинированном связующем, выдерживающие температуру 450...650 °С и давление до 3...5 МПа и отвечающие требованиям ГОСТ 50507—93 «Изделия фрикционные тормозные. Общие технические требования».

Фрикционные накладки тормозных механизмов изготавливают формованием ПКМ из волокнистых материалов (асбеста или базальта) со связующими материалами и наполнителями.



# Фрикционные элементы тормозных механизмов



Применяются связующие на основе каучука или синтетических смол, а наполнителями являются оксид цинка или железный купорос. В последнее время получают распространение накладки, не содержащие асбеста, что обеспечивает экологическую безопасность в производстве и эксплуатации.

Тормозные накладки должны обладать стабильным коэффициентом трения, высокой прочностью и износостойкостью, сохранять механические свойства при температуре до 400 °С и при длительном воздействии воды. По своим свойствам материал накладок дисковых тормозов отличается большей термостойкостью и способностью выдерживать более высокие давления, чем материал барабанных тормозных механизмов.



# Фрикционные элементы тормозных механизмов



В ленточных стояночных тормозах накладки из ПКМ к тормозной ленте крепятся с помощью заклепок. В колодочных тормозах они могут приклеиваться или приклепываться к тормозной колодке. В дисковых тормозах тормозная колодка выполняется из стальной пластины, к которой способом горячего формования крепятся накладки из фрикционного материала. Для увеличения поверхности контакта между накладкой и колодкой в последней выполняют сквозные отверстия, куда при горячей формовке затекает фрикционный материал.



### 3. Применение полимерных композиционных материалов в кузовных конструкциях



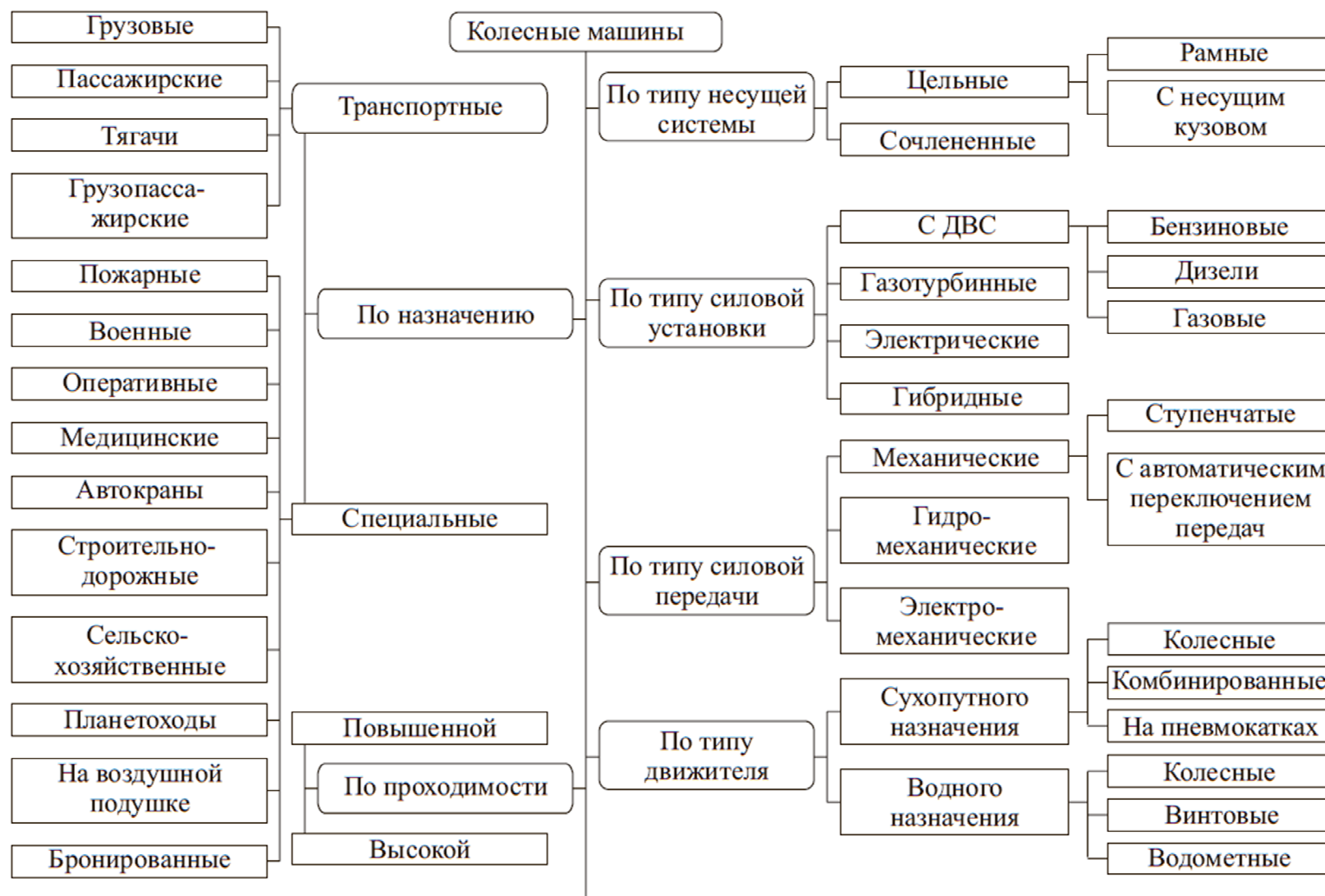
#### 3.1. Крупногабаритные конструкции из полимерных композиционных материалов в легковых и грузовых автомобилях

Одной из основных частей автомобиля, характеризующих его надежность, является несущая система, которая может быть выполнена в виде рамы или кузова. Она может служить для размещения агрегатов, экипажа, груза, спецоборудования и т. д.

Несущая система воспринимает нагрузки от собственной массы, установленных на нее агрегатов, экипажа, толкающих усилий во время движения автомобиля, нагрузки от подвески при езде по неровной дороге, на поворотах, при ускорении и торможении. Несущая система может являться также защитой экипажа от всевозможных наружных воздействий.

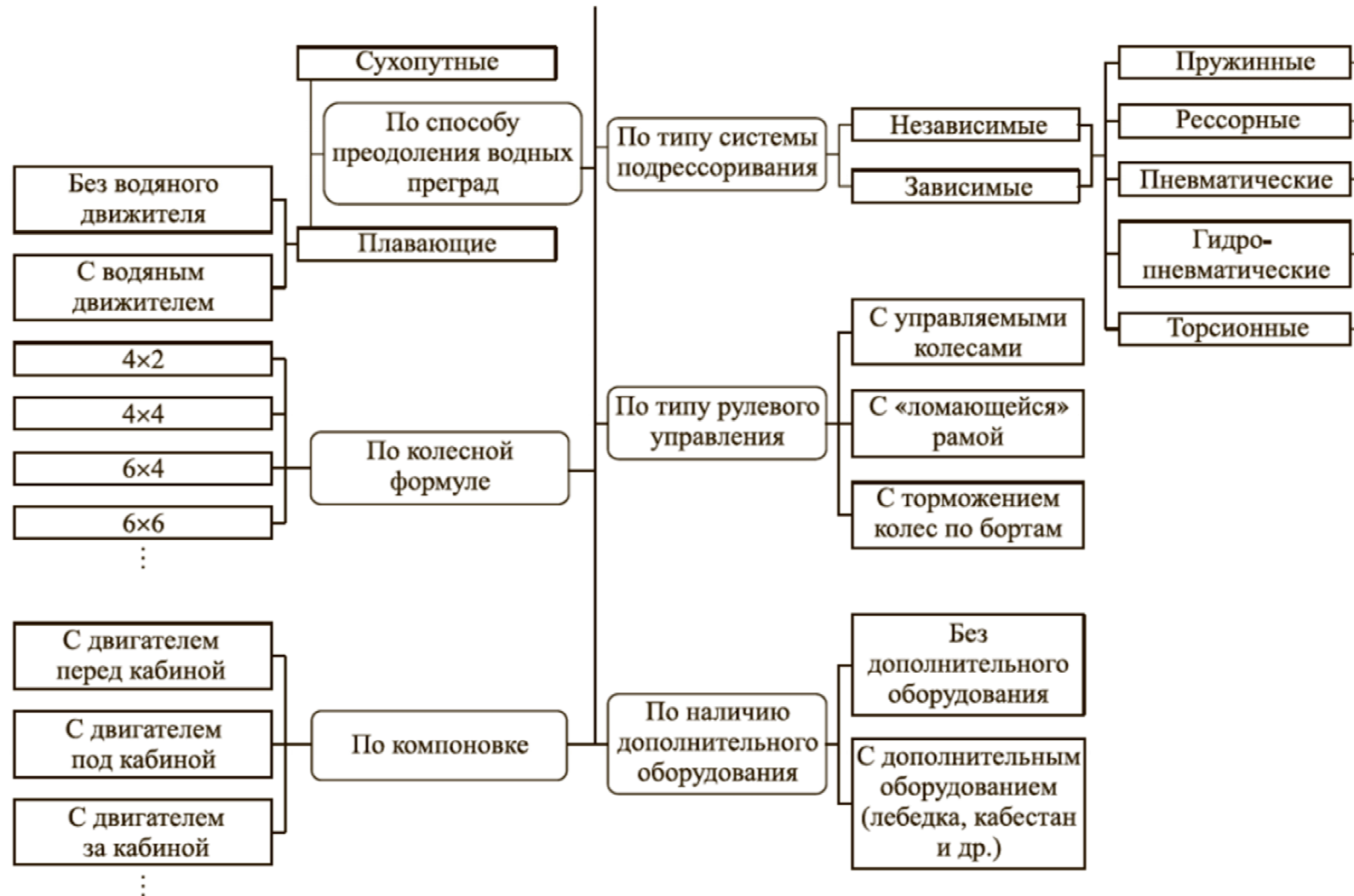


# Общая классификация колесных машин





# Общая классификация колесных машин





## 3.2. Основные требования, предъявляемые к несущим системам



Учитывая назначение несущих систем, можно сформулировать основные требования, предъявляемые к ним. Они должны быть:

- прочными и достаточно жесткими;
- надежными;
- максимально легкими — этого можно достичь правильным подбором материала, рациональным конструктивным решением с учетом возможностей материала и методов его переработки в изделие;
- простыми и технологичными в изготовлении;
- экономичными.

К некоторым несущим системам предъявляют ряд дополнительных требований.

Например, для кузовов плавающих автомобилей это требования, связанные с условиями работы КМ в двух различных средах — на суше и воде.



# Основные требования, предъявляемые к несущим системам



Удовлетворение всем перечисленным выше требованиям является весьма сложной задачей. Это усугубляется еще и тем, что в отечественной литературе вопросам проектирования и создания кузовов посвящено небольшое количество работ.

Одним из основных требований, предъявляемым к несущим системам автомобилей, является **минимальность массы**.

Уменьшение собственной массы КМ может быть достигнуто применением в конструкциях кузовов легких конструкционных материалов (алюминиевых сплавов, ПКМ).

Опыт создания несущих систем у нас в стране и за рубежом показывает, что при правильном подборе материала и рациональном выборе конструкции несущей системы, способа изготовления и количества выпускаемых автомобилей показатель эффективности кузова из ПКМ оказывается выше, чем у металлического.



# Анализ кузовных конструкций из ПКМ



Анализ кузовных конструкций, в которых используются ПКМ как конструкционный материал, показывает, что все они могут быть:

- 1) цельнопластмассовыми,
- 2) пластмассовыми с металлическими элементами;
- 3) металлическими с пластмассовыми элементами.

Кузовные конструкции из ПКМ различаются:

- 1) по наличию или отсутствию каркаса,
- 2) виду облицовки (единая оболочка или отдельные панели),
- 3) типу облицовки (однослойные или многослойные),
- 4) виду материала.



# Анализ кузовных конструкций из ПКМ



В ряде случаев пластмассовые кузова и кабины имеют и металлические элементы:

- основание,
- каркас,
- усиливающие балки,
- стойки и профили.

Эти элементы, как правило, являются несущими элементами.

Металлические кузовные конструкции с отдельными пластмассовыми панелями, обычно наиболее сложными и часто изменяемыми в процессе производства, также заслуживают большого внимания.



# Анализ кузовных конструкций из ПКМ



Все рассмотренные конструкции кузова автомобиля могут иметь каркас металлический или из ПКМ

К каркасу крепится облицовка кузова, выполненная либо в виде оболочки, либо в виде отдельных панелей.

Бескаркасные конструкции выполняются обычно в виде цельной оболочки многослойного типа (двух- или трехслойные).





# Анализ кузовных конструкций из ПКМ



Для несущих конструкций автомобиля ПКМ на основе стекловолокна и терморепактивных смол могут составить конкуренцию углепластикам или пластикам на основе стекловолокна и термопластичных смол, или ПКМ на основе гибридных волокон.

Для наружных облицовочных деталей:

- передних и задних панелей бамперов,
- крыльев,
- крыш фургонов,
- обтекателей,

такую конкуренцию составляют модифицированный полипропилен, поликарбонат, полиуретан, анилон, а также их стеклонаполненные модификации.

В производстве указанных деталей в последнее время широко применяют углепластики.



# Анализ кузовных кузовных конструкций из ПКМ



Из терморективных полимеров наиболее хорошо исследованы и нашли широкое применение в автомобилестроении ненасыщенные полиэфирные и эпоксидные смолы.

Из термопластов наиболее хорошо исследованы и нашли широкое применение в автомобилестроении полимеры, перерабатываемые методами литья под давлением, реакционно-инжекционным формованием, штамповкой, а также полиуретаны (термопластичные и терморективные), полипропилены, поли-амиды и др.

Некоторые крупногабаритные изделия, рекомендуемые ПКМ, и проблемы, сдерживающие их широкое применение в конструкциях автомобилей, описаны в таблице.



# Анализ кузовных кузовных конструкций из ПКМ



## Применение деталей из ПКМ

Детали	Материал	Проблемы, сдерживающие широкое применение
Крыша	Листовые формовочные композиции (препреги), армированные стекловолокном, полиамид, поликарбонат	Сложность окраски
Задняя дверь	Листовые формовочные композиции, стеклонаполненный полиамид, поликарбонат для заднего стекла	Необходимость обеспечения жесткости конструкции, окраска
Панель приборов, рулевое колесо, облицовка панели приборов	ABS, модифицированный полифениленоксид, модифицированный полипропилен, смеси ABS-поликарбонат	—
Двери	Листовые формовочные композиции из полиуретана, стеклонаполненный полиамид	Недостаточная жесткость конструкции, окраска
Наружная панель днища кузова, улучшающая аэродинамику	Листовые формовочные композиции, стеклонаполненный полиамид	Некоторые ограничения в изготовлении изделий массового производства больших размеров
Сиденья	Эластичный полиуретан для подушек сидений, полипропилен, наполненный тальком и стекловолокном, полиамид с минеральным наполнителем для каркасов	—
Капот	Листовые формовочные композиции (малоусадочные)	Необходимость получения качества поверхности класса I для дальнейшей окраски



# Анализ кузовных конструкций из ПКМ



Детали	Материал	Проблемы, сдерживающие широкое применение
Передние крылья	Стеклонаправленные полиуретан и полиамид (изготовление деталей методом реакционно-инжекционного формования – RIM)	Сложность окраски
Детали подкапотного пространства	Стеклонаполненный полиамид, полибутилентерефталат, полипропилен, премиксы и др.	Необходимость высокой стойкости к повышенным температурам подкапотного пространства
Передняя часть кузова (интегральная панель, передний бампер, спойлер, решетка радиатора и т. д.)	Термопластичные пластмассы, перерабатываемые методом инжекционного формования (полипропилен, полибутилентерефталат, поликарбонат), листовые формовочные композиции, полиуретан	Сложность окраски
Топливный бак	Полиэтилен высокой плотности (изготовление – методом выдувания; для небольших объемов производства – ротационным формованием), полиамидные добавки, исключаящие необходимость использования дорогостоящего процесса сульфатирования бака	То же
Остекление	Поликарбонат с антиабразивным покрытием (боковых окон)	Необходимость разработки покрытия, стойкого к абразивному износу



# Анализ кузовных конструкций из ПКМ



Для изготовления кузовов и кабин могут быть использованы различные типы стеклопластиков в зависимости от вида стекловолокнистого армирующего материала и связующего на основе полиэфирных, эпоксидных и эпоксифенольных смол.

Наибольшее распространение, как самые дешевые, получили связующие на основе бесстирольных полиэфирных смол.

Несмотря на высокую стоимость основных материалов, составляющих композицию (армирующего материала и связующего), в создании кузовных конструкций начинают применяться прессованные (в виде отдельных панелей) и намоточные углепластики (элементы подкрепления панелей из стеклопластика).



# Анализ кузовных конструкций из ПКМ



В настоящее время широко освоено производство крупногабаритных автомобильных деталей из ПКМ.

Наибольший интерес представляют крупногабаритные кузовные панели, такие как:

- крышка багажника,
- капот,
- крылья,
- отдельные блоки передней и задней частей автомобиля,
- крыша и.

Использование препрегов для производства капотов как легковых, так и грузовых автомобилей в последнее время быстро распространяется, что обусловлено, в частности, разработкой малоусадочных препрегов.



# Анализ кузовных конструкций из ПКМ



Применение интегральных капотов и деталей передней части автомобилей из препрегов почти во всех моделях автомобилей большой грузоподъемности с капотной компоновкой (за исключением мелкосерийных, где они выполняются контактным методом) становится традиционным.

Капоты из препрегов на 40...50 % легче, чем металлические, поэтому проще открываются, для них к минимуму сводятся требования к установке дополнительных опор для фиксации в открытом положении.





# Анализ кузовных конструкций из ПКМ



Большое распространение получают двери из ПКМ, изготовленные из препрегов, как для грузовых, так и для легковых автомобилей. Целесообразность применения препрегов для этих дверей, по данным американских фирм, определяется снижением массы на 30...40 % и экономией капиталовложений на 40...60 %. Чем больше размеры дверей, тем выше эффективность применения ПКМ для этих конструкций.





# Анализ кузовных конструкций из ПКМ



Широко применяются ПКМ с использованием препрегов для производства сборных крыш легковых автомобилей. Эти крыши легко снимаются, и автомобиль из седана превращается в кабриолет. Кроме того, из ПКМ выполняются цельные и составные крыши кузовов фургонов, санитарных и других специальных автомобилей.





# Анализ кузовных кузовных конструкций из ПКМ



Для изготовления крупногабаритных деталей из препрегов для кузовов автомобилей часто используется не обычное, а инжекционное прессование. Этот метод позволяет получить в крупносерийном и массовом производствах сложные, с хорошей поверхностью наружные крупногабаритные детали, при этом время их производства сокращается на 20...25 %, а масса — на 10...30 %.

Основное преимущество этого метода — полная автоматизация взвешивания, дозирования и смешивания компонентов состава, а также заполнения пресс-формы необходимым количеством материала. Такие преимущества инжекционного прессования армированных стекловолокном терморезистивных полиэфирных композиций перед прессованием в формах, как улучшение качества деталей и снижение стоимости, с избытком окупают повышенные капитальные затраты.



# Анализ кузовных кузовных конструкций из ПКМ



Многолетний положительный опыт применения препрегов в качестве материалов для изготовления облицовочных и навесных наружных панелей кузовов и кабин, их производства и переработки в крупногабаритные панели на автоматизированных линиях, разработка малоусадочных рецептур препрегов с улучшенными механическими и технологическими свойствами дают возможность использовать эти материалы также для каркаснопанельных конструкций кузовов и кабин из стеклопластиков.





# Анализ кузовных кузовных конструкций из ПКМ





# Анализ кузовных конструкций из ПКМ



Как показывает анализ современных конструкций навесных облицовочных панелей из препрегов, эти конструкции отличаются повышенными антикоррозионными свойствами, снижением массы на 20...45 % и трудоемкости производства в 2—3 раза.

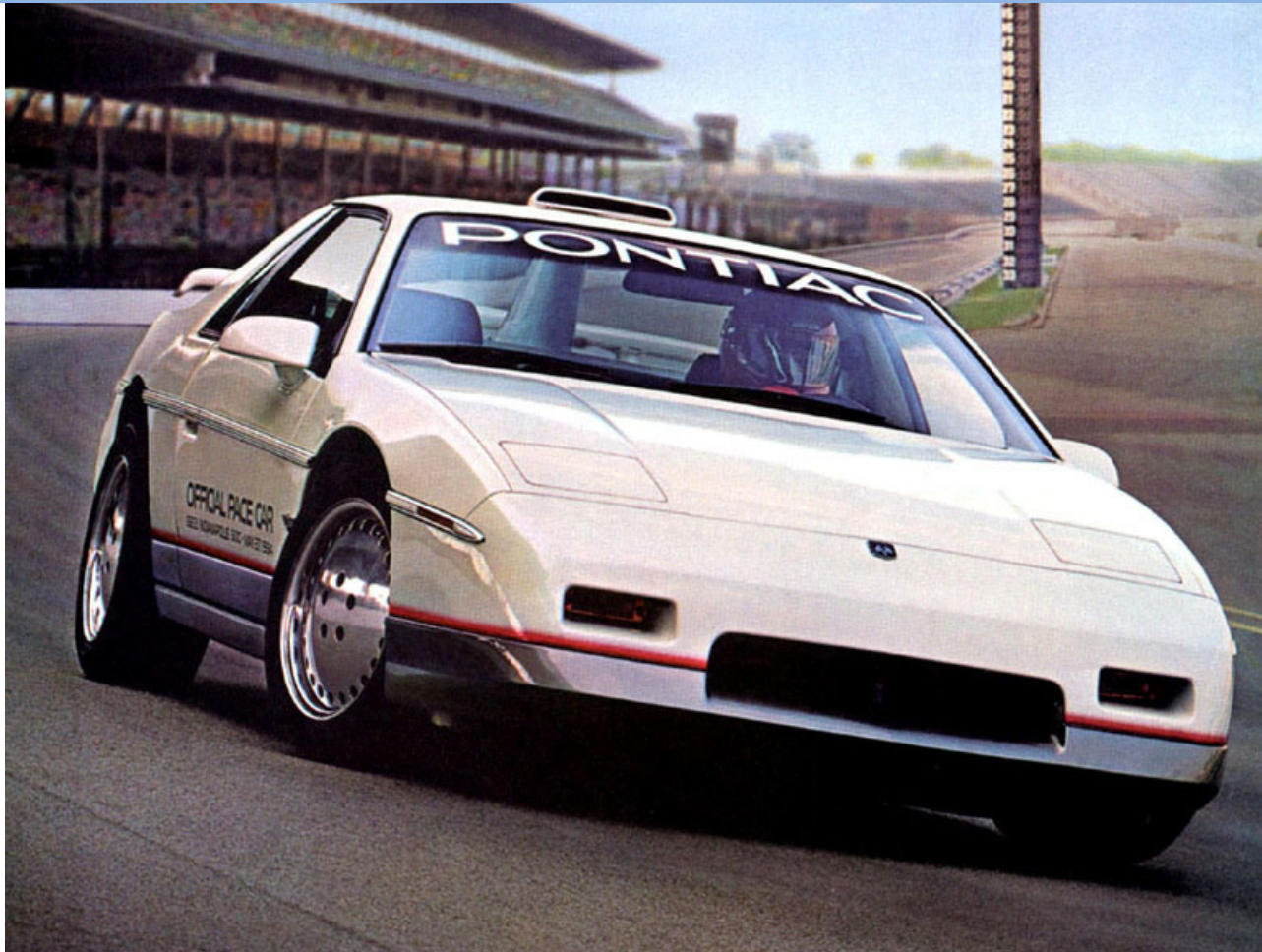
Более 50 лет фирма Chevrolet выпускает серийно автомобиль Corvett с кузовом каркасно-панельного типа, в котором широко применяются ПКМ наряду с алюминием, магнием и высокопрочной сталью. Почти все панели кузова (крыша, задние панели днища, крылья, двери, капот, передняя часть) изготавливаются из листового материала (полиэфирного стеклопластика), в котором количество армирующего материала достигает 30 %. Кузов имеет стальной каркас, к которому болтами крепится днище из алюминиевого сплава. К каркасу крепятся все навесные панели.



# Анализ кузовных конструкций из ПКМ



Другим примером широкого применения ПКМ в кузовах автомобилей является серийный двухместный автомобиль Fiero фирмы Pontiac.





# Анализ кузовных кузовных конструкций из ПКМ



Кузов каркасно-панельного типа состоит из каркаса, выполненного из 300 отдельных штампованных деталей, соединенных между собой точечной сваркой. После изготовления каркаса на него устанавливаются 27 панелей из ПКМ.

Панели облицовки кузова не являются несущими деталями и могут быть сняты с каркаса. Они изготавливаются из трех материалов:

- малоусадочных препрегов,
- полиуретанов и армированных полиуретанов.





# Анализ кузовных кузовных конструкций из ПКМ



Из препрегов выполняются панели с плоскими горизонтальными поверхностями большой площади (капот двигателя весит 15 кг, крышка багажника с верхними задними панелями кузова - 25 кг, крыша - 6 кг).

Передние крылья, нижние передние панели боковин задней части, дверные и боковые панели выполнены из армированной поли-уретановой композиции методом RRIM.





# Анализ кузовных кузовных конструкций из ПКМ



Панели порогов изготовлены из олефинового термопласта с высокой сопротивляемостью выкрашиванию и образованию вмятин. Поскольку панели не являются несущими, можно каждый модельный год изменять форму кузова, не меняя основную конструкцию несущей системы и всего автомобиля в целом.





# Анализ кузовных кузовных конструкций из ПКМ



Панели порогов изготовлены из олефинового термопласта с высокой сопротивляемостью выкрашиванию и образованию вмятин. Поскольку панели не являются несущими, можно каждый модельный год изменять форму кузова, не меняя основную конструкцию несущей системы и всего автомобиля в целом.





# Анализ кузовных кузовных конструкций из ПКМ



Фирма отмечает, что при изготовлении кузовных панелей из ПКМ затраты на оборудование и оснастку меньше, чем при изготовлении стальных. Кроме того, оснастка для деталей из ПКМ изготавливается на шесть месяцев быстрее, чем для металлических.





# Анализ кузовных кузовных конструкций из ПКМ



Навесные детали из ПКМ применяются на легковых автомобилях Honda (Япония), Austin Rover (Великобритания), в спортивных автомобилях фирм Ferrari (Италия), BMW (Германия) и многих других, рассмотренных в лекции №1.

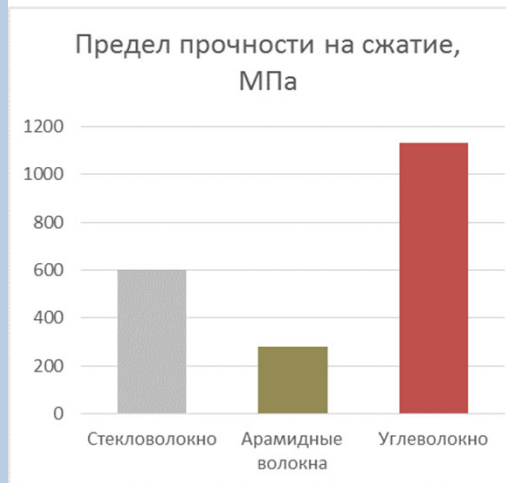
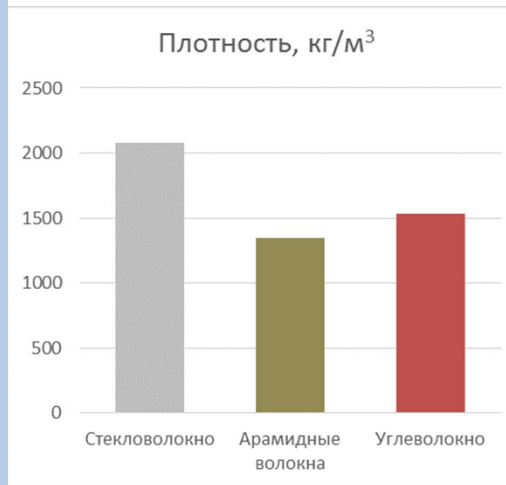




# Сравнение свойств армирующих материалов, применяемых в деталях автомобилей из ПКМ



- Углеволокно обладает более высокими показателями прочности и жесткости, чем стекловолокно, но при этом стоит в среднем в 5 раз дороже.
- Арамидные (органические) волокна могут применяться в тех частях, где требуется износостойкость.
- Несущая система из углепластика в среднем на 50 % легче, чем аналогичная из стали, и на 30 % легче, чем аналогичная из алюминия.





# История применения

## Первые автомобили с несущими системами из ПКМ



Автомобиль: **Lotus Elite**;  
Годы производства: 1957 г.-1963 г.;  
Материал несущей системы: Стеклопластик;  
Снаряженная масса: 504 кг;  
Мощность двигателя: 75 л.с.



Автомобиль: **McLaren MP4** (класс “Формула-1”);  
Год производства: 1978 г.;  
Материал несущей системы: Углепластик;  
Снаряженная масса: 504 кг;  
Мощность двигателя: 75 л.с.



Автомобиль: **McLaren F1**;  
Год производства: 1992-1998 г.;  
Материал несущей системы: Углепластик;  
Снаряженная масса: 1140 кг;  
Мощность двигателя: 627 л.с.



# История применения



В России (СССР) на кафедре «Колесные машины» МВТУ им. Н.Э. Баумана впервые в стране в 1958 г. был изготовлен кузов каркасно-панельного типа с навесными панелями из стеклопластика для микролитражного автомобиля.

Кузов состоял из трубчатого металлического каркаса, пола, выполненного из алюминиевого сплава, и стеклопластиковых навесных деталей. Опыт изготовления стеклопластиковых крупногабаритных панелей для этого легкового автомобиля позже был использован при создании кабин специальных автомобилей, кузовов плавающих машин и других кузовных конструкций.





# История применения



## Первые автомобили с несущими системами из ПКМ

---



Автомобиль: “МВТУ”;  
Год создания: 1958 г.;  
Несущая система: каркасно-панельного типа с панелями из стеклопластика;  
Масса несущей системы: 47 кг;



Автомобиль: ЗИЛ-135П;  
Год создания: 1965 г.;  
Несущая система: трехслойная панель со стеклопластиковыми оболочками и пенопластом в качестве среднего слоя.

---



# Актуальность применения

Тенденция изменения стоимости и объема выпуска автомобилей с несущей системой из композиционных материалов



Модель	Годы производства	Объем выпуска	Цена
McLaren F1	1992-1998	106	\$1 200 000
Ferrari F50	1995-1997	349	\$528 000
Pagani Zonda	1998	135	\$500 000
Ferrari Enzo	2002	400	\$659 330
Porsche Carrera GT	2003-2006	1270	\$540 000
Mercedes-Benz SLR	2003-2010	1400	\$450 000
Lexus LFA	2010-2012	500	\$540 000
McLaren 12C	2011	4000	\$231 400
Lamborghini Aventador	2011	2536	\$393 695
Alfa Romeo 4C	2013	2500 в год	\$55 000
BMW i3	<b>2013</b>	<b>16 000 в год</b>	<b>\$42 275</b>
BMW i8	2014	5000 в год	\$135 000



# Применение в серийных автомобилях



Автомобиль: **BMW i3**;

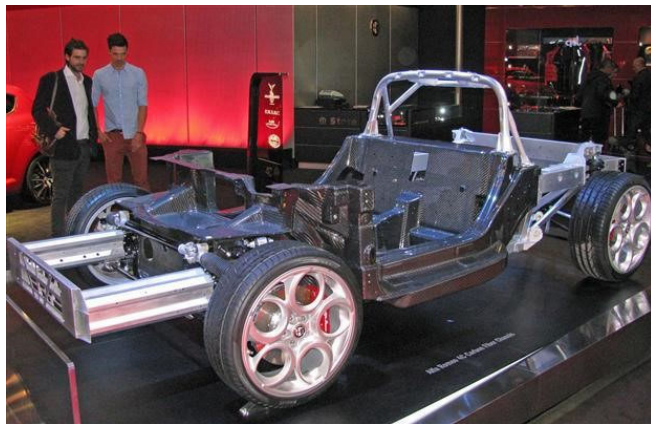
Год начала производства: 2013г.;

Несущая система: комбинированная, с кузовом из углепластика;

Снаряженная масса: 1195 кг (аналогичный электромобиль со стальной несущей системой Nissan Leaf: 1493 кг);

Объем продаж за 2014 год: 16 052

Стоимость: от 42 275\$



Автомобиль: **Alfa Romeo 4C**;

Год начала производства: 2013г.;

Несущая система: комбинированная, передняя часть из углепластика;

Снаряженная масса: 895 кг;

Объем производства: 2500 в год;

Стоимость: от 55 000\$



Автобус: **Evopro Modulus**;

Несущая система: трехслойные панели с оболочками из стеклопластика и средним слоем из пенопласта

Снаряженная масса: 5630 кг

Вместимость: 68 пассажиров



## Прогресс в изготовлении деталей из ПКМ



Благодаря развитию технологии изготовления изделий из ПКМ, время, необходимое на изготовление деталей многократно снизилось, что сделало возможным применение изделий из ПКМ в серийном производстве.

Автомобиль	Год	Время на изготовление, ч.
McLaren F1	1992	3000
McLaren SLR	2003	500
BMW i3, McLaren 12C	2013	4

В настоящее время, стоимость изделия массой 1 кг из углепластика составляет в среднем 20\$, в то время, как стоимость 1 кг стали составляет менее 1\$. По некоторым оценкам, массовое применение углепластика в несущих системах автомобилей станет экономически оправдано, когда стоимость 1 кг углепластика снизится до 10\$. При этом, за последние 10 лет стоимость 1 кг углепластика снизилась на 15\$.



# Анализ кузовных кузовных конструкций из ПКМ



Успешное применение ПКМ в кузовостроении возможно лишь в том случае, если конструктору хорошо известны их преимущества и недостатки, а также условия переработки в изделия.

К конструкциям кузовов и кабин предъявляются общие требования по обеспечению необходимых жесткости, прочности и долговечности при минимальных массе, технологичности, стоимости.



# Дополнительные требования к кузовным конструкциям из ПКМ



Успешное применение ПКМ в кузовостроении возможно лишь в том случае, если конструктору хорошо известны их преимущества и недостатки, а также условия переработки в изделия.

К конструкциям кузовов и кабин предъявляются общие требования по:

- обеспечению необходимых жесткости,
- прочности,
- долговечности при минимальных массе,
- технологичности,
- стоимости.



# Дополнительные требования к кузовным конструкциям из ПКМ



Кроме того, при создании кузова и кабины необходимо выполнение следующих условий:

- защита людей при авариях и других видах воздействий;
- соответствие уровня вибраций и шумов действующим нормам;
- свободный доступ к системам, узлам и агрегатам КМ при их обслуживании;
- хорошая обзорность, удобство посадки и высадки водителя и пассажиров, погрузки и разгрузки перевозимых грузов;
- высокие эргономические качества;
- герметичность и достаточная тепло- и шумоизоляция;
- выполнение требований эстетики;
- обеспечение высокой коррозионной стойкости и др.



# Отечественная практика установки кабин из ПКМ на грузовых автомобилях



Практика установки кабин из ПКМ на грузовых автомобилях и специальных шасси показывает, что они обладают антикоррозионными, тепло- и звукоизоляционными свойствами без применения каких-либо дополнительных мероприятий, что способствует снижению массы и упрощению конструкции (не нужны дополнительные тепло- и звукоизоляционные материалы или специальные покрытия).

В летнее время в кабинах из ПКМ прохладнее, чем в металлических, а зимой на их обогрев требуется меньше тепла, что уменьшает расход топлива или электроэнергии.

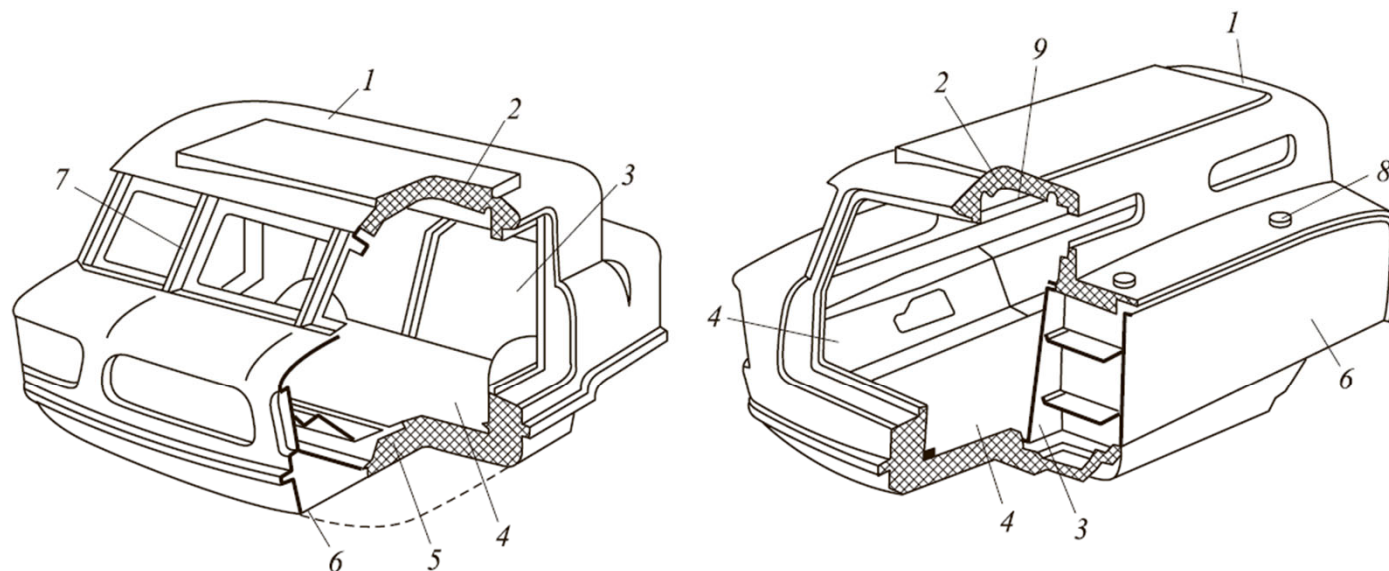
Уровень шума в таких кабинах (от двигателя) примерно в два раза ниже, чем в металлических. Все это благоприятно сказывается на работоспособности водителя и самочувствии пассажиров в течение длительного времени.



# Отечественная практика установки кабин из ПКМ на грузовых автомобилях



Стеклопластики уже давно и прочно нашли свое применение в серийном производстве кабин грузовых и специальных автомобилей. На рисунке представлена бескаркасная четырехместная кабина, изготовленная из крупногабаритных стеклопластиковых панелей для специального шасси ЗИЛ-БАЗ 135Л с колесной формулой 8х8.



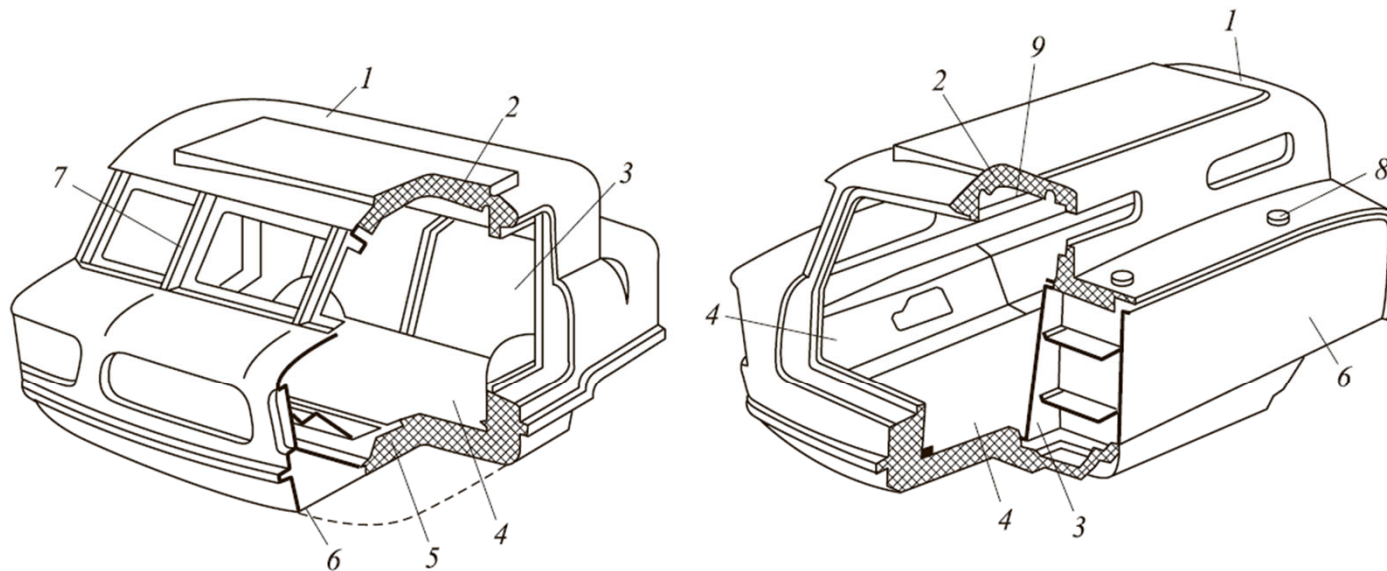
Цельнопластмассовая бескаркасная кабина панельно-оболочечного типа:  
1 – внешняя оболочка; 2 – панель крыши; 3 – панель топливного бака; 4 – панель пола; 5 – усилитель основания; 6 – основание; 7 – рама лобового стекла; 8 – заливная горловина бака;  
9 – задняя внутренняя панель



# Отечественная практика установки кабин из ПКМ на грузовых автомобилях



Расстояние между наружными и внутренними панелями заполнено пенополиуретаном. Конструкция кабины полностью соответствует мелкосерийному характеру производства; рассчитана на контактный метод формования элементов из полиэфирного стеклопластика холодного отверждения.



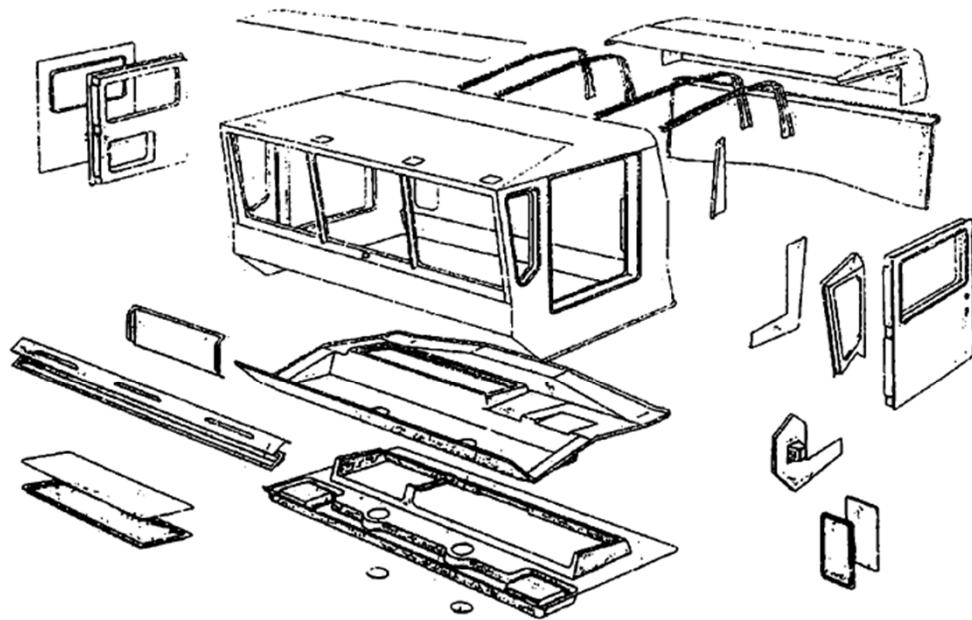
Цельнопластмассовая бескаркасная кабина панельно-оболочечного типа:  
1 – внешняя оболочка; 2 – панель крыши; 3 – панель топливного бака; 4 – панель пола; 5 – усилитель основания; 6 – основание; 7 – рама лобового стекла; 8 – заливная горловина бака;  
9 – задняя внутренняя панель



# Отечественная практика установки кабин из ПКМ на грузовых автомобилях



На рисунке показана конструкция также бескаркасной четырехместной кабины панельно-оболочечного типа для специального шасси ЗИЛ-БАЗ 135К. Кабина изготовлялась из тех же материалов, что и вышеописанная, и рассчитана на тот же характер производства.



Стыковка всех крупногабаритных и мелких элементов в обеих кабинах осуществлялась с использованием клеемеханических соединений.

Панели бескаркасной четырехместной кабины автомобиля ЗИЛ-БАЗ 135К



# Практика установки кабин из ПКМ на грузовых автомобилях



В настоящее время созданы конструкции цельнопластмассовых кабин для грузовых автомобилей, удовлетворяющих требованиям крупносерийного производства (например, в Великобритании).

Кабина панельно-каркасного типа с металлическим полом имеет 27 крупногабаритных панелей, отпрессованных в металлических формах (внутренние и наружные панели дверей, панели крыши, задняя панель и т. п.).

Пластмассовые панели из малоусадочного огнестойкого препрега крепятся к металлическому каркасу механическим способом, для чего в панелях из стеклопластика запрессованы металлические крепежные элементы. Толщина стенок панелей около 3 мм, с утолщениями кромок и ребрами - до 6 мм.



# Практика установки кабин из ПКМ на грузовых автомобилях



Длительная эксплуатация автомобильных кузовных деталей из препрегов (армирующий материал — рубленые стеклянные волокна) подтвердила высокие эксплуатационные характеристики конструкций из этих материалов, но выявила и недостатки:

- по сравнению с металлическими деталями они имеют низкую прочность на растяжение и изгиб,
- по сравнению с металлическими деталями они имеют невысокую жесткость.





# Кузова плавающих колесных машин из ПКМ



Кузова плавающих КМ существенно отличаются от кузовов сухопутных. При их проектировании необходимо учитывать следующие основные требования:

- соответствие водоизмещения полной массе КМ и требуемому запасу плавучести;
- водонепроницаемость;
- хорошая обтекаемость для уменьшения сопротивления при движении по воде;
- незатопляемость при входе в воду и выходе из нее;
- достаточная коррозионная стойкость при эксплуатации КМ в пресной и морской воде.

Кузов плавающей КМ состоит из корпуса, кабины, моторного отсека, также возможно наличие грузового отсека, салона, откидывающихся или съемных бортов и т. д.



# Кузова плавающих колесных машин из ПКМ



Особый интерес представляет применение ПКМ в корпусах плавающих КМ. Оно дает возможность значительно снизить массу корпуса, которая составляет 50...60 % от полной массы автомобиля.

Применение ПКМ позволяет создавать корпуса:

- полунесущие (оболочка корпуса из ПКМ с встроенной в нее металлической рамой);
- полностью состоящие из ПКМ (безрамные).





# Кузова плавающих колесных машин из ПКМ



Выполнение корпусов плавающих машин из ПКМ позволяет решить следующие задачи:

- обеспечить высокую герметичность и коррозионную стойкость конструкции;
- получить корпус практически любой формы (с обтекаемыми обводами), что дает возможность машине двигаться по воде с высокой скоростью;
- обеспечить высокую ударную прочность (особенно в случае применения в конструкции несущей схемы трехслойных элементов);
- обеспечить высокую живучесть;
- выполнить машину непотопляемой, если все свободные объемы в корпусе заполнены пенопластом;
- уменьшить вероятность обнаружения машины на плаву радиолокатором (мала эффективная площадь рассеяния), а также в темноте с помощью ИК-приборов (экранизация корпусом теплового излучения);
- обеспечить простоту ремонта в полевых условиях.



# Схема корпуса непотопляемого плавающего автомобиля

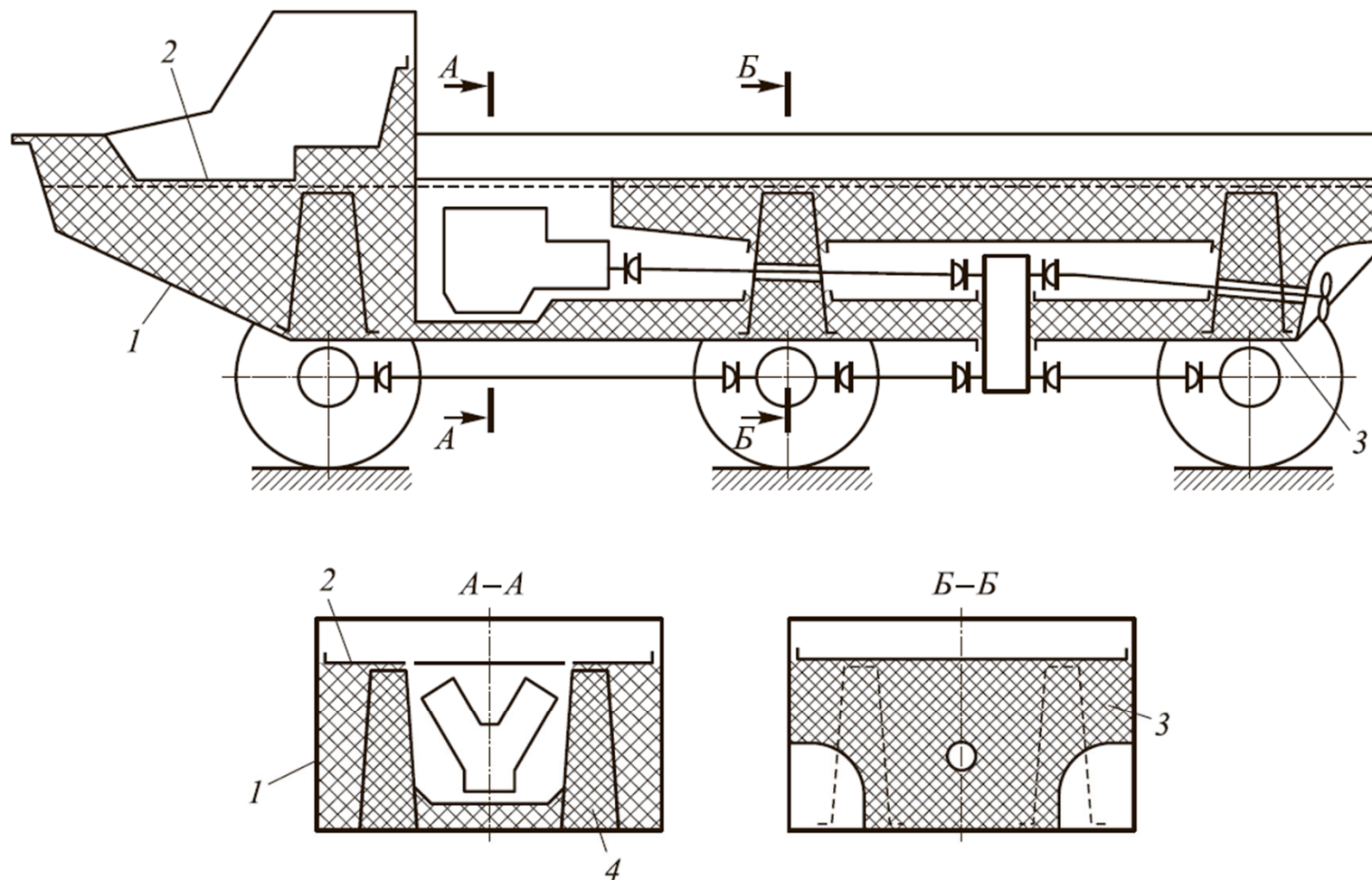


Схема корпуса непотопляемой плавающей КМ:

1 – оболочка корпуса; 2 – палуба корпуса; 3 – поперечная балка; 4 – продольная балка корпуса (лонжерон)



# Корпуса плавающих колесных машин

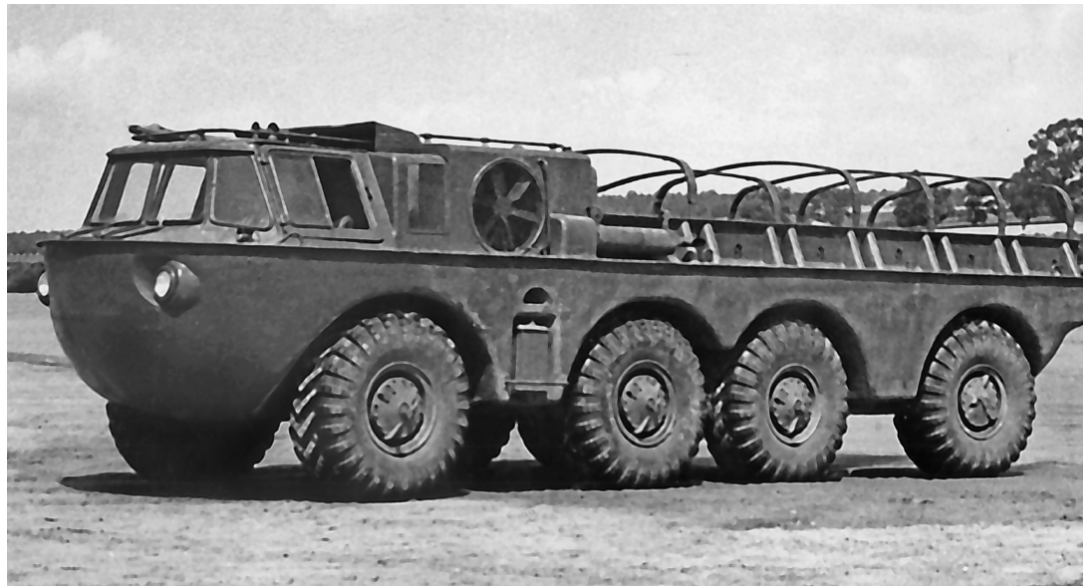


Кафедра «Колесные машины» МВТУ им. Н.Э. Баумана в разное время принимала участие в создании и испытаниях корпусов плавающих КМ, изготовленных на автозаводе им. И.А. Лихачева в Отделе главного конструктора, руководимом В.А. Грачевым.

Так, опытная плавающая четырехосная десантно-транспортная машина ЗИЛ-135БП длиной 9м впервые в мире была выполнена с цельнопластмассовым несущим корпусом. Собственная масса машины 9700 кг, грузоподъемность 5000 кг. Самая крупная деталь корпуса массой 900 кг — нижняя часть лодкообразного типа с восемью колесными шинами. В нее встроены внутренние панели, образующие коробчатые продольные и поперечные элементы. Кабина, мотоотсек борта и пол грузового отсека сделаны из стеклопластиковых элементов коробчатой формы.



# Плавающий автомобиль ЗИЛ-135БП с цельнопластмассовым кузовом





# Корпуса плавающих колесных машин



За рубежом позже появились подобные опытные конструкции:

- небольшой вездеход Fox (США) длиной около 3 м,
- легкой автомобиль Bauer (ФРГ) длиной около 5 м и др.

Плавающая четырехосная десантно-транспортная машина ЗИЛ-135П также выполнена с цельнопластмассовым несущим корпусом, состоящим из трехслойных деталей. Форма (обводы) корпуса отработана на физических моделях в бассейнах ЦНИИ им. А.Н. Крылова, а конструкция несущей системы — в МВТУ им. Н.Э. Баумана.

В физические модели оболочки корпуса встраивались поочередно коробчатые элементы (лонжены, поперечины), стальная рама и трехслойные элементы. Наибольшей прочностью и жесткостью обладала цельнопластмассовая конструкция, состоящая из трехслойных элементов.



# Десантно-транспортная машина ЗИЛ-135П



Плавающая десантно-транспортная машина с несущим цельнопластмассовым кузовом



# Корпуса плавающих колесных машин



Корпус плавающей машины ЗИЛ-135П состоит из лодкообразной трехслойной оболочки (стеклопластик — пенопласт — стеклопластик) длиной 14 м и шириной 3 м с восемью колесными шинами, двух продольных балок, идущих от носа до кормы (стеклопластик — армированный фанерой пенопласт — стеклопластик), четырех поперечин, расположенных между колесными нишами, палубы и пола в салоне.

Поперечины, палуба и пол выполнены также трехслойным. Днище оболочки корпуса — трехслойной конструкции, для придания большей жесткости в качестве срединного слоя (заполнителя) использован армированный бакелизированной фанерой пенопласт. Толщина наружных слоев внутренних панелей составляет 3...4 мм, пенопласта — 30 мм. Для соединения элементов несущей системы, кабины, салона использованы клеевые, клеємеханические соединения и приформовывание. Толщины наружных слоев оболочки корпуса 4...5 мм, а кабины и салона - 3 мм.



# Корпуса плавающих колесных машин



Серийные поиско-эвакуационные плавающие машины: грузовая ЗИЛ-4906 и пассажирская ЗИЛ-49061 — имеют корпуса из ПКМ со встроенными алюминиевыми рамами лонжеронного типа.



Самая крупная деталь — нижняя часть корпусов лодкообразного типа с шестью колесными нишами выполнена из полиэфирного стеклопластика холодного отверждения. В нее вставлена рама и установлены все остальные пластмассовые элементы (кабина, пол, продольные внутренние панели и т. д.).



# Корпуса плавающих колесных машин



Такая интегральная конструкция обладает высокой жесткостью и состоит из небольшого количества элементов из ПКМ. Она значительно проще в изготовлении, чем две вышеописанные конструкции несущих корпусов плавающих КМ.

Элементы корпусов плавающих КМ выполнены из полиэфирного стеклопластика на основе тканых армирующих стекловолоконистых материалов методом контактного формования. Соединения элементов конструкций осуществлены клеевым и клеємеханическим способами.





# Корпуса плавающих колесных машин



Для расчета напряженно-деформированного состояния элементов кузовов плавающих КМ с использованием метода конечных элементов наряду с симметричными нагрузками (изгиб), кососимметричными (кручением) и боковыми (в горизонтальной плоскости) необходимо учитывать режимы нагружения корпуса от воздействия воды на плаву, входа и выхода КМ из воды.

Кроме того, следует учитывать, что кузова плавающих КМ имеют жесткую оболочку (часто многослойную), которая воспринимает изгибающие нагрузки. Поэтому разбиение оболочки на конечные элементы должно быть достаточно частым.



## Полимерные композиционные материалы для защиты колесных машин от поражения стрелковым оружием и осколками ручных гранат



Для военных и специальных КМ, действующих в условиях локальных конфликтов, а также миротворческих и антитеррористических операций или в чрезвычайных ситуациях, существует высокая вероятность попасть под воздействие различных средств поражения. Одним из наиболее распространенных средств поражения являются пули стрелкового оружия калибра 5,45... 15,2 мм и мины различных типов.

В том случае, когда КМ, созданные на базе обычных серийных машин, должны обладать защитой от стрелкового оружия, уровень их противопульной защиты может быть обеспечен установкой модульного комплекта защитных устройств (КЗУ). При этом необходимо в несущей системе предусмотреть установку комплекта специальных крепежных кронштейнов и опор, сварных и разъемных соединений. При установке КЗУ увеличивается масса КМ, что уменьшает полезную нагрузку, повышает износ узлов и агрегатов, расход топлива, снижает проходимость и т. д.



## Полимерные композиционные материалы для защиты колесных машин от поражения стрелковым оружием и осколками ручных гранат



Анализ противопульной защиты КМ показывает, что она может быть выполнена из металлов и композиционных материалов. Защита подразделяется на непрозрачную (все элементы защиты на несущей системе) и прозрачную (остекление кузова, дверей и т. д.).

На КМ различных классов и назначения для бронирования применяют:

- металлы (броневая сталь, алюминиевые сплавы, титановые сплавы);
- композиционные материалы (керамика, стеклопластики, органопластики и их композиции);
- волокнистые материалы (органические ткани);
- прозрачные материалы (стекло, поликарбонат и их композиции).

Из непрозрачных средств защиты наибольшее распространение на КМ получила стальная броня толщиной 4..8 мм. Основные недостатки стальной брони — большая масса, разная стойкость при воздействиях различных поражающих средств и при различных условиях встречи с броней.



## Полимерные композиционные материалы для защиты колесных машин от поражения стрелковым оружием и осколками ручных гранат



Алюминиевая броня на основе вязких сплавов обладает высокой стойкостью к осколкам. При толщинах 30...40 мм она надежно защищает от пуль, но стоимость такого бронирования выше, чем стального.

Титановая броня при большой плотности по сравнению с алюминиевой требует и меньших толщин. Обладая высокой прочностью и вязкостью, титановая броня хорошо защищает от осколков и пуль, но стоимость такого бронирования еще выше, чем алюминиевого.

Задача снижения массы КМ при минимальной стоимости брони — одна из актуальных. Наиболее эффективной является защита, включающая в себя керамику, стеклопластики и органопластики. Такая защита применяется в виде плит, либо встроенных в конструкцию серийных кузовов, либо навешенных на несущую систему.



## Полимерные композиционные материалы для защиты колесных машин от поражения стрелковым оружием и осколками ручных гранат



Одним из наиболее распространенных материалов является стеклотекстолит. Например, стеклотекстолит марки СТБ-3- ФЭФН выпускается серийно по ОСТ ВЗ-6229—87 в виде плоских прессованных плит толщиной от 2 до 53 мм.

Основные его характеристики СТБ-3- ФЭФН следующие:

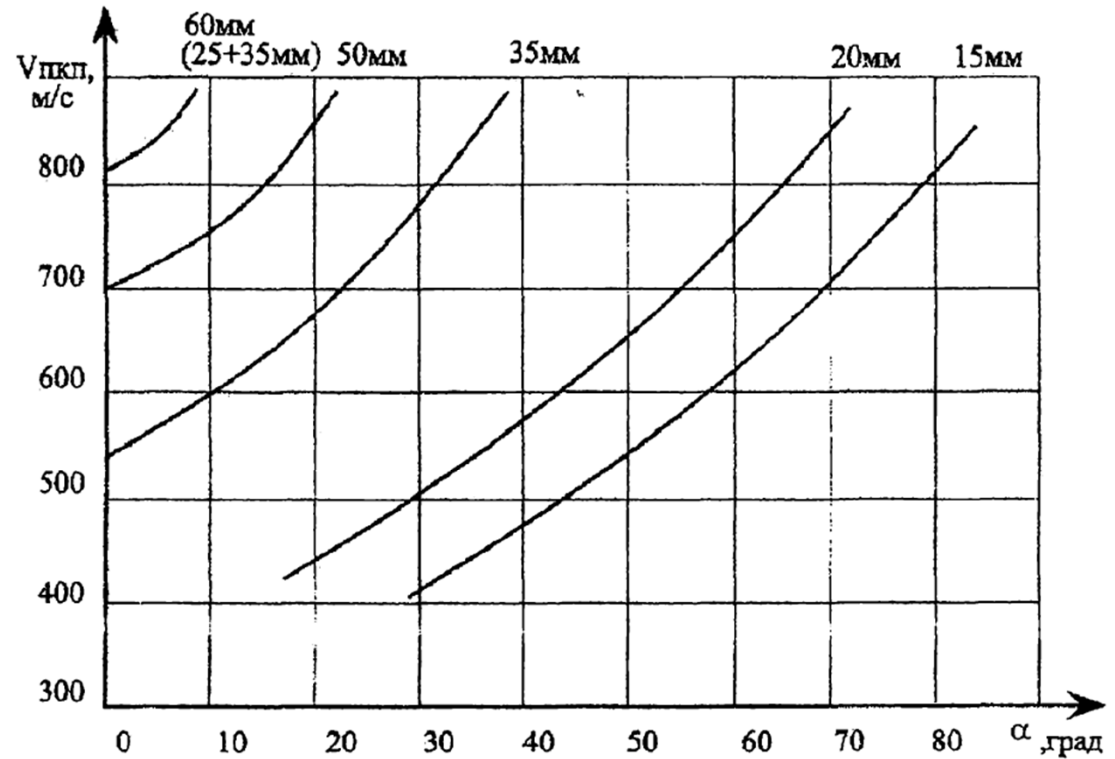
- плотность не менее 1950 кг/м<sup>3</sup>;
- разрушающее напряжение при межслойном сдвиге не менее 400 МПа;
- разрушающее напряжение (при изгибе — 550...590 МПа, при растяжении — 420...450 МПа, при сжатии — 450...470 МПа);
- статическая твердость 130 МПа;
- сопротивление динамическому внедрению не менее 140 МПа.



# Полимерные композиционные материалы для защиты колесных машин от поражения стрелковым оружием и осколками ручных гранат



Гарантийный срок эксплуатации СТБ-3-ФЭФН – 25 лет. Он не токсичен, трудносгораем. Результаты испытаний обстрела пуль Б-32 калибра 7,62 мм образцов стеклопластика в зависимости от углов встречи пули с бронепреградой  $\alpha$  показаны на рисунке. Анализ результатов испытаний показывает, что стеклопластик превышает по стойкости сталь марки 1 на 15...20% при углах встречи  $\alpha$  до  $30^\circ$  и свыше  $60^\circ$ .



Зависимость стойкости стеклопластика СТБ-3-ФЭФН при обстреле пуль Б-32 калибра 7,62 мм от угла встречи  $\alpha$  и толщины преграды  $h$



## Полимерные композиционные материалы для защиты колесных машин от поражения стрелковым оружием и осколками ручных гранат



С увеличением толщины стеклопластика его преимущество по стойкости снижается; при толщине не менее 35 мм композитная броня имеет более высокую стойкость, чем стальная броня той же массы во всем диапазоне углов  $\alpha$ .

Для защиты от средств поражения, имеющих бронепробивную способность меньше, чем у бронебойной пули Б-32 калибра 7,62, за рубежом разработаны и серийно выпускаются современные композиционные материалы, например Дунеета, ARMET-URY-2 (США), Twaron (Германия). Масса 1 м<sup>2</sup> материала составляет от 20 до 34 кг. В России разработаны образцы структур бронепреград на основе органопластика и керамики, которые обеспечивают защиту от указанных выше пуль, имеют показатели массы не более 39 кг на 1 м<sup>2</sup>.



## Полимерные композиционные материалы для защиты колесных машин от поражения стрелковым оружием и осколками ручных гранат

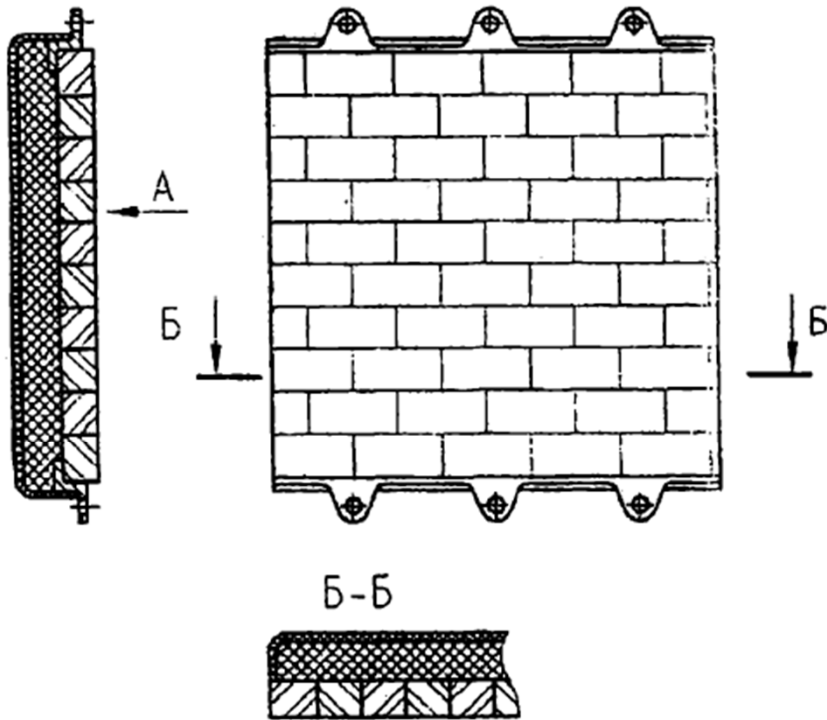


В России разработаны схемы комбинированного бронирования на базе серийно выпускаемых композиционных материалов (керамика SiC, стеклотекстолит СТБ-3-ФЭФН), при массе 1 м<sup>2</sup> преграды в 40...51 кг они обеспечивают защиту от пуль Б-32 калибра 7,62 мм при обстреле с дистанции 100 м и угле встречи пули с броней  $\alpha = 0^\circ$ . Данные структуры включают в себя дополнительный локальный запреградный пробивоосколочный экран из 15—16 слоев ткани ТСВМ-ДЖ.

Принципиальная конструкция модуля КЗУ включает в себя керамический блок, набранный из отдельных плиток размером 50 x 50 мм, расположенных со смещением на полширины плитки (см. рисунок далее).



# Полимерные композиционные материалы для защиты колесных машин от поражения стрелковым оружием и осколками ручных гранат

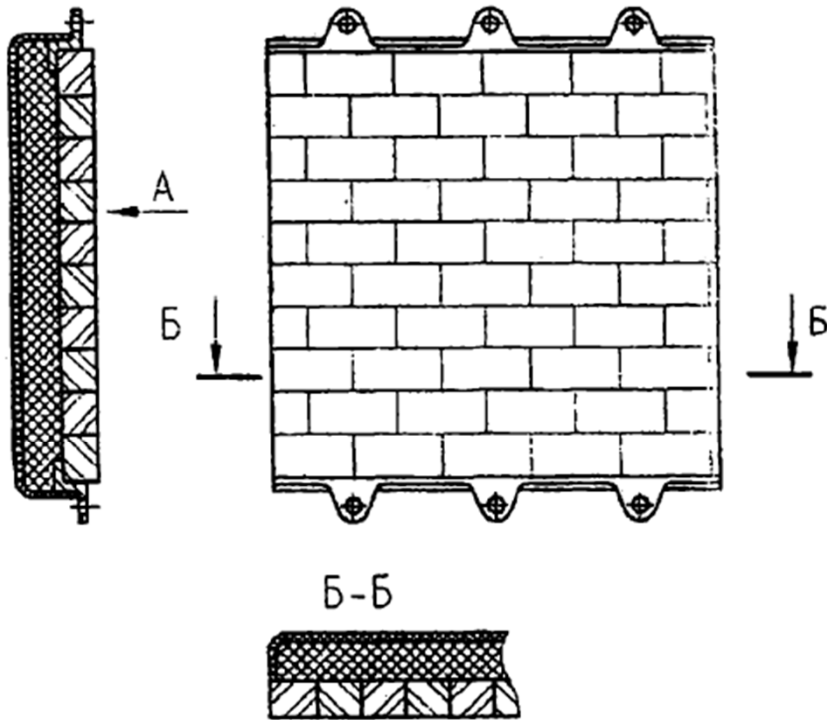


Принципиальная схема конструкции модуля КЗУ

Выбор размеров и порядка расположения плиток обеспечивает оптимальное сочетание живучести керамического блока при пулевом обстреле и размеров ослабленных зон на стыках плиток. Для повышения живучести и придания большей конструктивной жесткости на блок керамики с лицевой стороны наклеен слой стеклоткани и нанесен слой пенополиуретана (ППУ) толщиной 20...40 мм, закрытый, в свою очередь, слоем из 3...4 мм стеклопластика, образующего защитный кожух.



## Полимерные композиционные материалы для защиты колесных машин от поражения стрелковым оружием и осколками ручных гранат



Принципиальная схема конструкции модуля КЗУ

Для повышения огнестойкости на лицевую сторону кожуха может быть нанесено огнезащитное покрытие из материалов ОВР или СМОГ. Сам керамический блок клеится на стеклотекстолитовую подложку, обеспечивающую необходимую жесткость модуля КЗУ. Крепление модуля КЗУ к несущей системе (кузову, корпусу, каркасу) осуществляется с помощью болтового соединения. В зависимости от требуемого уровня защиты в модуле могут быть использованы блоки с керамикой различной толщины.



## Полимерные композиционные материалы для защиты колесных машин от поражения стрелковым оружием и осколками ручных гранат



Для обеспечения защиты экипажа от воздействия осколков гранат на днище корпуса КМ применяют специальный амортизационный подвой из полимерных или композиционных материалов в виде ковриков или защитных листов.

Для обеспечения локальной защиты легковых автомобилей создаются более легкие закладные плиты из композиционных материалов (двери, сиденья и другие места пассажирского отделения кузова). Это могут быть плиты, выполненные на основе органопластика и керамики.

На отпрессованную плиту органопластика приклеиваются клеями на основе эпоксидных смол плитки керамики размером 50 x 50 мм (реже 100 x 100 мм) толщиной 8 мм. К качеству материала керамики и механической обработке плиток предъявляются очень высокие требования.

Применяют керамические плитки на основе корунда  $Al_2O_3$  с плотностью 3700...3900 кг/м<sup>3</sup>, на основе карбида кремния SiC с плотностью 3000...3100 кг/м<sup>3</sup> и на основе бора с плотностью 2500 кг/м<sup>3</sup>.



## Полимерные композиционные материалы, обладающие защитными свойствами от гамма-излучения, в кузовных конструкциях автомобилей



При движении КМ по зараженной местности, при ликвидации аварий и транспортировке различных веществ, обладающих гамма-излучением, возникает необходимость защиты людей и оборудования от этого вида воздействия.

Для боевых КМ (транспортные шасси для ракетного вооружения, специальные транспортные средства и т. д.) в запасные части, инструменты и принадлежности входит комплект стальных листов, которые навешиваются на кабины, кузова и корпуса в случае прохождения КМ по зараженной гамма-излучением местности.

Аналогичные мероприятия приходится осуществлять в случае ликвидации аварии на атомной электростанции, когда используются обычные транспортные средства.



## Полимерные композиционные материалы, обладающие защитными свойствами от гамма-излучения, в кузовных конструкциях автомобилей



Для защиты людей, помимо индивидуальных средств (одежда, обувь), также применяют локальную защиту. Использование дополнительной защиты в значительной степени повышает массу машины. Поэтому при создании любого транспортного средства задача снижения массы при выполнении требований ТЗ является одной из основных.

Разработка специальной защиты требует исследования материалов, их защитных свойств, эксплуатационных и технологических характеристик и конструкторских разработок на этой базе, обеспечивающих высокие уровни защиты при минимальной массе и жестких габаритах. Для достижения высокой эффективности необходимо также изучать влияние конструктивных параметров защиты на ее уровень с использованием методов расчета.



## Полимерные композиционные материалы, обладающие защитными свойствами от гамма-излучения, в кузовных конструкциях автомобилей



Как правило, защита от воздействий многих видов бывает многослойной, где каждый слой выполняет вполне определенные защитные функции. Разработка противорадиационных материалов и конструкций защиты требует учета как физических процессов взаимодействия компонентов излучения с веществом, так и условий эксплуатации КМ.

Для защиты от потока нейтронов используют подбои из различных полимерных материалов — полипропилена, полистирола, эпоксидных смол, боросодержащих соединений.

Одним из способов получения полимерного материала или композиции, обладающих защитными свойствами от гамма-излучения, является введение в их состав специальных наполнителей.



## Полимерные композиционные материалы, обладающие защитными свойствами от гамма-излучения, в кузовных конструкциях автомобилей



Поскольку способы их химического присоединения к молекулам полимера или очень сложны и дороги, или плохо изучены, наиболее доступным методом является механическое введение наполнителей в связующее. Кроме того, при химическом взаимодействии полимера (матрицы) с введенными элементами могут измениться технологические и механические свойства композита.

Поглощение гамма-излучения определенной энергии данным веществом характеризуется линейным коэффициентом ослабления  $\mu$ , а интенсивность излучения, прошедшего защиту, определяется выражением

$$I = I_0 e^{-\mu h},$$

где  $I_0$  — интенсивность излучения без применения защиты;  $h$  — толщина защиты.



Отношение  $I_0/I = K$  называют кратностью ослабления. Таким образом, зная коэффициент  $\mu$  для данного материала, для заданной энергии излучения можно определить толщину  $h$  защиты по требуемому коэффициенту ослабления  $K$ . Однако следует иметь в виду, что формула (3.1) справедлива только для строго направленного узкого пучка гамма-лучей. Для широкого пучка это выражение имеет вид

$$I = I_0 e^{-\mu h} B,$$

где  $B$  – фактор накопления, который зависит от многих параметров (энергии гамма-квантов излучения, геометрии источника излучения, атомного номера элемента и толщины материала защиты, геометрии защиты, положения источника излучения и детектора по отношению к защите).



## Полимерные композиционные материалы, обладающие защитными свойствами от гамма-излучения, в кузовных конструкциях автомобилей



При создании кузовов и кабин из стеклопластиков путем введения в полиэфирное связующее определенных наполнителей возможно получить новый композиционный материал, обладающий направленными защитными свойствами. Использование композиционных материалов позволяет одновременно с конструкцией создавать материал.

Использование композиционных материалов открывает большие возможности для разработки радиационной защиты. Материал должен удовлетворять следующим требованиям:

- быть доступным и дешевым;
- храниться не менее 8—10 лет;
- обладать стойкостью к топливам, маслам, применяемым в колесных машинах;
- иметь определенную прочность, жесткость;
- быть негорючим;
- иметь хорошую технологичность;
- обладать стабильностью свойств после гамма-облучения и другими специальными свойствами.



## Полимерные композиционные материалы, обладающие защитными свойствами от гамма-излучения, в кузовных конструкциях автомобилей



Такая задача может быть решена за счет выбора связующего, рационального распределения армирующего материала (для обеспечения прочности и жесткости конструкции) и наполнителей (для обеспечения защиты и требуемых технологических свойств материала).

При изготовлении кабин, кузовов, корпусов в качестве наполнителей для обеспечения защиты используют мелкодисперсные порошки металлов, оксидов металлов и др. Так, при энергии излучения 0,661 МэВ (наиболее близкой к средней энергии выпавших радиоактивных осадков) для стальных элементов защиты толщиной 10 мм кратность ослабления гамма-лучей составляет  $K = 1,28$ .



## Полимерные композиционные материалы, обладающие защитными свойствами от гамма-излучения, в кузовных конструкциях автомобилей



Чтобы получить такой же коэффициент ослабления, необходимо изготовить защиту из полиэфирного стеклопластика с наполнителем (порошком свинцового сурика  $Pb_3O_4$ ) толщиной 21 мм. При этом, например, для кабины ЗИЛ-БАЗ 135 из стеклопластика, обладающего защитными свойствами, можно получить снижение массы на 30 % по сравнению с массой серийной кабины из стеклопластика с локальной защитой из стальных плит толщиной 10 мм.





## Трехслойные конструкции из полимерных композиционных материалов в кузовостроении



При проектировании кузовов колесных машин специального назначения (кунги, кузова для перевоза специальных грузов), кабин грузовых и корпусов плавающих машин часто используют трехслойные конструкции, обладающие высокими прочностью и жесткостью при минимальной массе, а также усталостной прочностью, обусловленной непрерывностью связей составных частей и отсутствием концентраторов напряжений; хорошими тепло-, вибро- и звукоизоляционными свойствами и др.

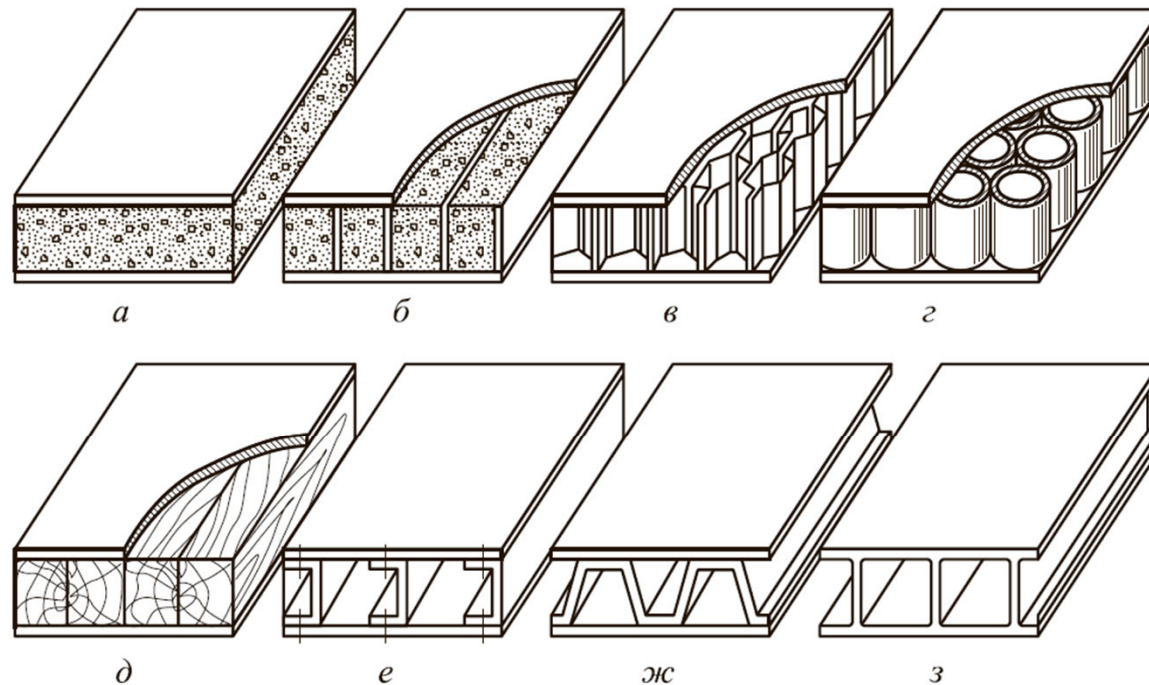
Широкое применение этих конструкций ограничивается трудностью проведения контроля качества соединения обшивок с сердцевиной, низкой производительностью изготовления, более высокой стоимостью по сравнению с обычными конструкциями.



## Трехслойные конструкции из полимерных композиционных материалов в кузовостроении



Трехслойные конструкции состоят из двух тонких внешних слоев прочного материала, связанных между собой малопрочным легким наполнителем (рис. а, б, в, г), слоем древесины (рис. д) или элементами различного профиля (рис. е, ж, з).



Трехслойные панели с различными наполнителями:

*а* – с пенопластом; *б* – с армированным пенопластом; *в* – с шестигранными сотами; *г* – с трубчатой сердцевинной; *д* – с деревянными брусками; *е* – с элементами С-образного профиля; *ж* – с гофрами; *з* – с ячейками



## Трехслойные конструкции из полимерных композиционных материалов в кузовостроении



Заполнитель и профильные элементы обеспечивают совместную работу и устойчивость внешних слоев. Трехслойные панели с разнесенными внешними слоями обладают при небольшой массе высокими характеристиками прочности и жесткости, а также высокой усталостной прочностью, обусловленной непрерывностью связей составных частей и отсутствием концентраторов напряжений. При надлежащем выборе параметров трехслойной панели тонкие, работающие на сжатие или сдвиг, внешние слои могут выдерживать высокие напряжения.

Кроме того, трехслойные панели обладают хорошими виброизоляционными и радиотехническими характеристиками, а также звуко- и теплоизоляционными свойствами.



## Трехслойные конструкции из полимерных композиционных материалов в кузовостроении



Широкое использование этих конструкций ограничено трудностью проведения контроля качества соединения наружных слоев и сердцевины (заполнителя), низкой производительностью изготовления, более высокой стоимостью, чем у тонкостенных конструкций.

Конструкции с заполнителями, в частности трехслойные панели, находят применение:

- 1) при создании кузовов грузовых автомобилей (кунги, рефрижераторы, кузова для перевозки специальных грузов и др.),
- 2) специальных автомобилей (плавающие, санитарные машины и др.);
- 3) кузовов автобусов для районов Крайнего Севера (капоты, передние панели, крыши и др.),
- 4) легковых автомобилей.

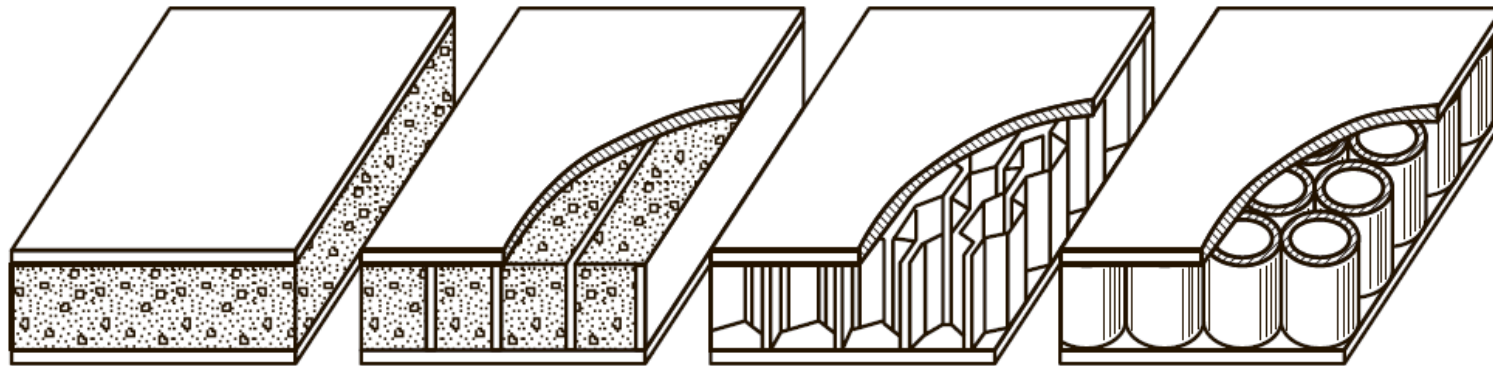


# Алгоритм проектирования и способы получения трехслойных конструкций



При проектировании трехслойных пластин и оболочек проектировщик стремится создать оптимальную конструкцию, поэтому проектирование в определенной степени можно считать оптимальным.

Методы оптимизации позволяют алгоритмизировать процесс проектирования, экономить материал и уменьшать массу конструкции, повышая ее эффективность. Их применение обязательно при создании корпусов из трехслойных панелей.





# Алгоритм проектирования и способы получения трехслойных конструкций



Алгоритм проектирования трехслойных пластин и оболочек следующий:

- 1) определение приведенных жесткостных, прочностных и массовых характеристик сердцевины;
- 2) расчет предельных нагрузок и проверка общей устойчивости;
- 3) определение напряженно-деформированного состояния пластины или оболочки;
- 4) расчет местной устойчивости пластины или оболочки, проверка выполнения условий сохранения несущей способности трехслойной конструкции при потере местной устойчивости ее элементами;
- 5) оценка по критерию прочности сердцевины и прочности связи ее с несущими слоями (обшивками);
- 6) определение параметров трехслойной пластины или оболочки, удовлетворяющих приведенным выше условиям.



# Алгоритм проектирования и способы получения трехслойных конструкций



Видно, что выбор оптимальных параметров трехслойных пластин и оболочек является более сложной задачей по сравнению с определением параметров однослойных конструкций. Это связано со значительным разнообразием расчетных схем трехслойных конструкций и большим числом варьируемых параметров.

Рассматриваемые в теории оптимального проектирования задачи применительно к расчетам трехслойных пластин и оболочек заключаются в определении формы, физико-механических и геометрических характеристик и условий работы всей конструкции, обеспечивающих достижение экстремума (максимума или минимума) выбранной характеристики качества пластин и оболочек при ряде ограничений.



# Алгоритм проектирования и способы получения трехслойных конструкций



Критериями качества в задачах оптимизации трехслойных пластин и оболочек, как правило, являются их масса и стоимость.

Функциями состояния - напряжения, деформации, перемещения несущих слоев и сердцевины.

Управляемыми переменными могут быть толщины несущих слоев (обшивок), физико-механические характеристики (и углы ориентации осей анизотропии в случае использования волокнистых композиционных материалов) несущих слоев, параметры сердцевины (толщина, модуль сдвига, модуль упругости и коэффициент Пуассона).

Такие параметры оптимизации, как физико-механические характеристики материалов несущих слоев (обшивок), структура сердцевины и другие, могут принимать ряд дискретных значений. При этом задача оптимизации сводится к перебору вариантов и сравнению значений критерия качества, соответствующих этим вариантам, с целью выбора оптимального.



# Способы изготовления трехслойных панелей



В общем случае трехслойные конструкции могут иметь обшивку, изготовленную из:

- металлов (сталь, алюминий),
- пластмасс (стеклопластики, duroпласты и др.),
- фанеры,
- прессованного картона.

В качестве среднего слоя используют:

- пенопласты (полистирольные, полихлорвиниловые, полиуретановые и др.),
- соты (из алюминиевой фольги, стеклоткани или бумаги, пропитанных смолами),
- древесину (бруски, древесно-стружечные плиты),
- гофры (из металлов или пластмасс),
- ячейки из стеклопластика.



# Способы изготовления трехслойных панелей



Возможны комбинированные обшивки. Например, наружная стальная, внутренняя пластмассовая и срединный слой, например, соты, гофры и ячейки, заполненные пенопластом; армированный пенопласт.

Пенопласт обычно армируется фанерой, листовым стеклопластиком или алюминием. Шаг армирования (расстояние между армирующими элементами) оказывает существенное влияние на жесткость сердцевины.

В процессе армирования плиточных пенопластов блок, набранный из последовательно чередующихся и покрытых клеем плит пенопласта и листов армирования, склеивают при определенном давлении и температуре. Затем из него нарезают плиты необходимой толщины для среднего слоя.



# Основные свойства некоторых типов срединных слоев приведены



Характеристика срединных слоев

Вид сердцевины	Структура	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности, МПа		Влагостойкость	Горючесть
			при растяжении	при сжатии		
Древесина (бальза)	Волокнистая	100–300	0,4–1,4	2,1–13,3* 0,3–1,3**	Плохая	Горит
Соты бумажные	Шестигранные	20–40	–	0,3–0,9	»	Горят
Соты стеклопластиковые	»	10–140	–	0,9–15,4	Средняя, водопоглощение незначительное	Самозатухает
Соты алюминиевые	»	20–130	–	0,4–8,4	Хорошая	Не горят
Пеностекло	Ячеистая	140	0,5	0,9	Средняя, водопоглощение незначительное	То же
Пенопласт полистирольный	»	20–300	0,4–0,7	0,1–0,25	Плохая	Горит
Пенопласт фенольный	»	80–320	0,4–3,4	0,4–6,8	Хорошая	Не горит
Пенополиуретан	»	10–480	0,02–1,4	0,3–2,7	»	Самозатухает

\* Вдоль волокон.

\*\* Поперек волокон.



# Способы изготовления трехслойных панелей



В зависимости от типа материала обшивки и типа сердцевины применяют различные способы образования трехслойных панелей:

- пайку,
- сварку,
- склеивание,
- вспенивание пенопласта в собранной конструкции,
- напыление,
- формование.

Наиболее широко распространено склеивание. При этом обшивка и сердцевина могут быть выполнены из различных материалов. Склеивание чаще всего осуществляют с помощью эпоксидных клеев — жидких или в виде полужестких пленок, обладающих высокой адгезией.



# Способы изготовления трехслойных панелей



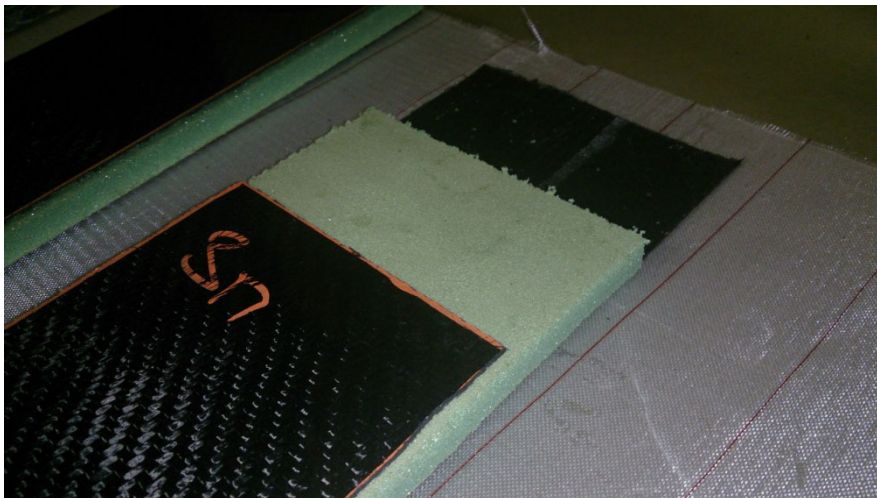
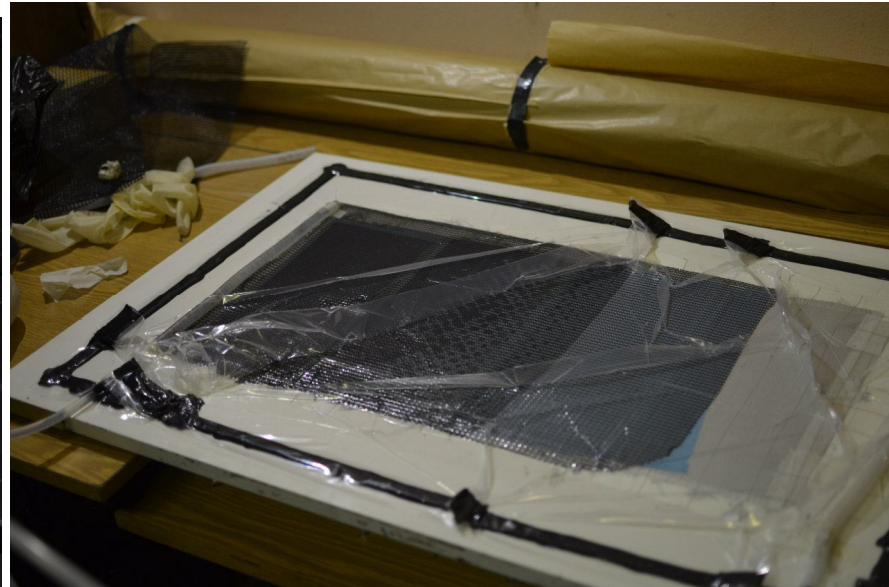
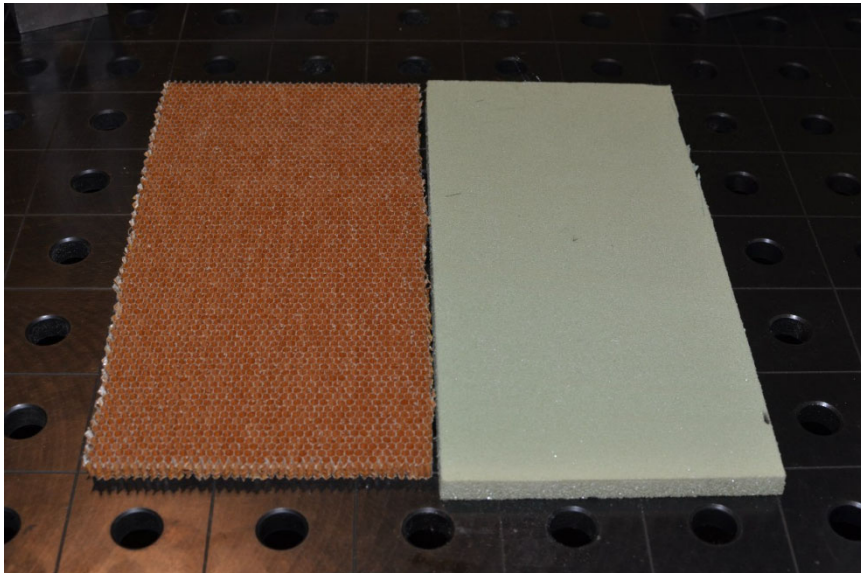
Процесс изготовления трехслойных панелей с использованием клеев включает в себя следующие операции:

- раскрой обшивок и сердцевины;
- подготовка к склеиванию (обезжиривание);
- нанесение клея на поверхности;
- соединение элементов и сжатие пакета;
- выдержка до полного отверждения клея (с нагревом или без него).

Сжатие чаще всего осуществляют с помощью вакуумных мешков или в автоклаве, что гарантирует равномерное давление по всей длине панели. При использовании этого метода большое влияние на качество панелей оказывают состояние обшивок (отсутствие волнистости, коробления, вмятин и т. п.) и равномерность толщины сердцевины.

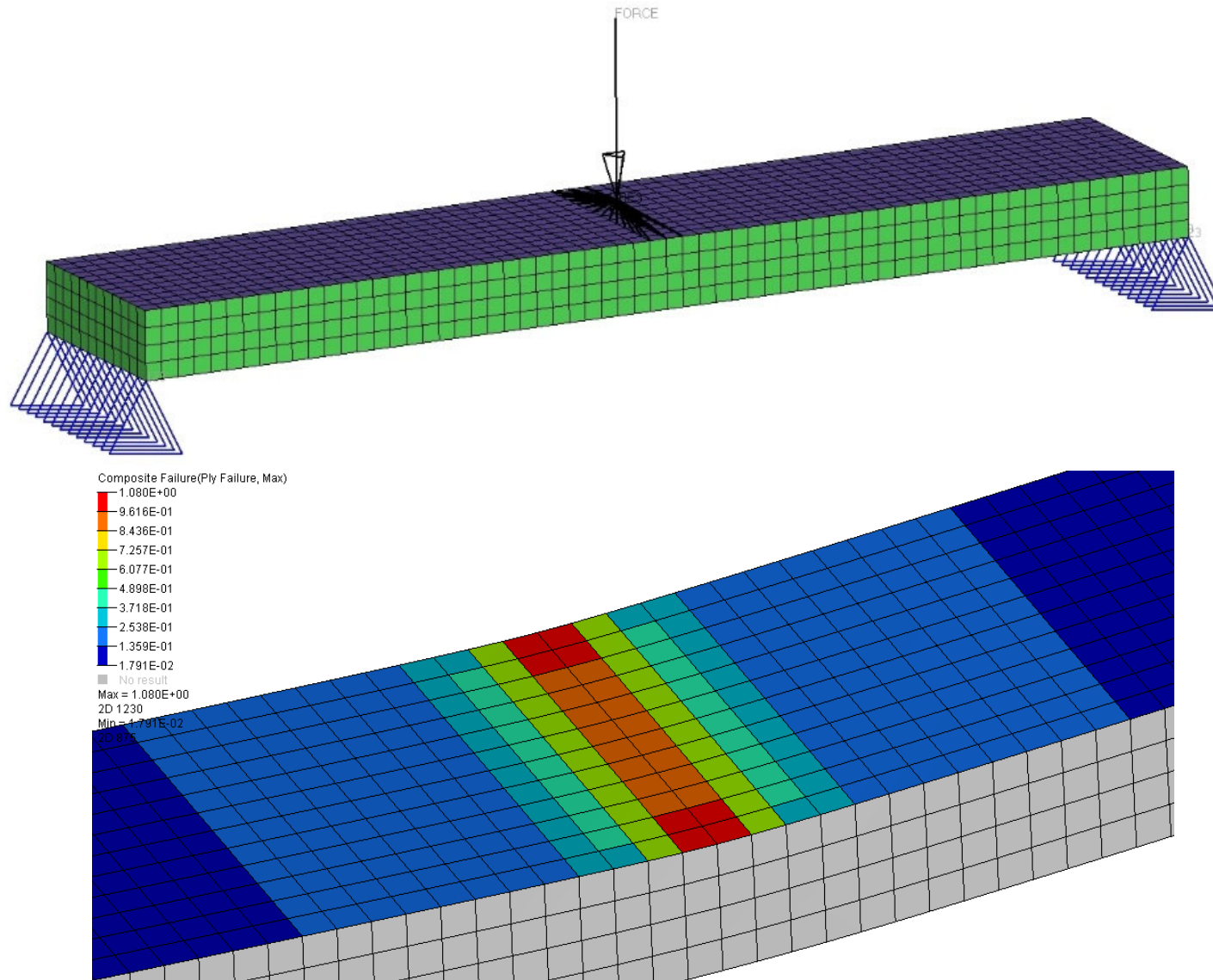


# Изготовление элементов автомобиля с применением Сэндвич-панелей



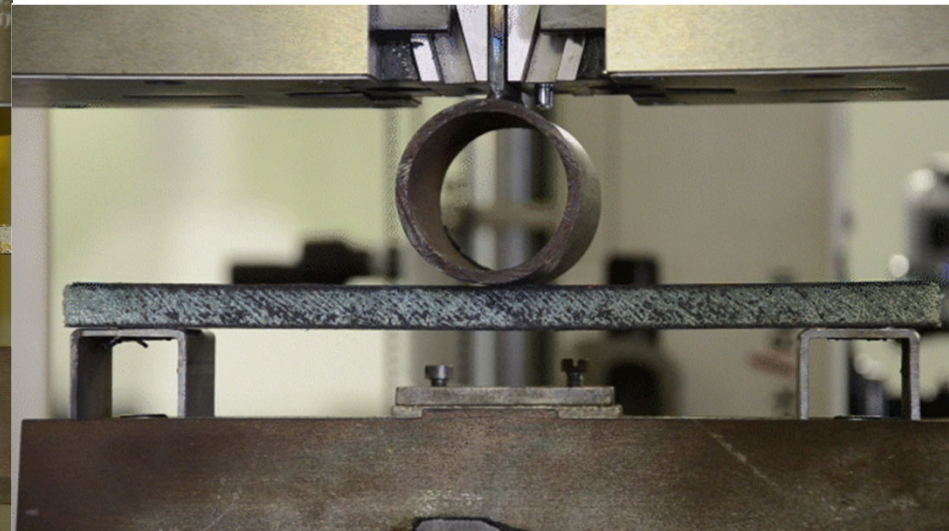


# Изготовление элементов автомобиля с применением Сэндвич-панелей





## Изготовление элементов автомобиля с применением Сэндвич-панелей





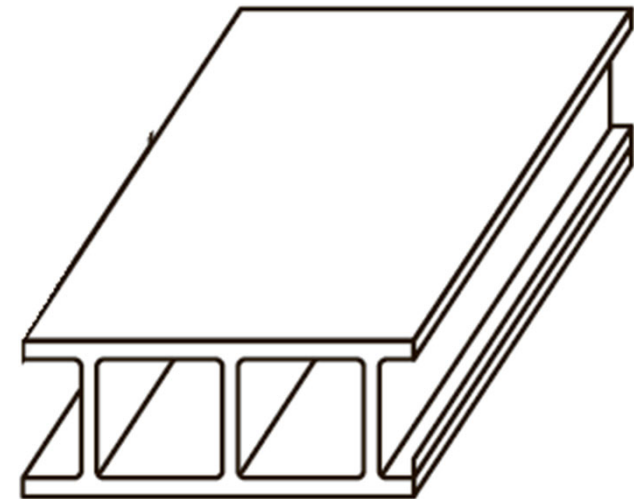
# Способы изготовления трехслойных панелей



При изготовлении обшивок из формуемого стеклопластика трехслойные панели получают в процессе формования. Так, на отформованную, но не отвержденную обшивку укладывают сердцевину, по которой затем формируют другую обшивку из стеклопластика. Масса таких панелей на 5... 15 % меньше, чем склеенных обычным способом. Таким образом, например, были получены элементы корпуса ЗИЛ-135П.

Пайку и сварку используют в тех случаях, когда обшивки и сердцевина выполнены из металлов.

Метод получения трехслойных панелей в процессе формования обшивок и сердцевины (в виде прямоугольных или трапециевидных ячеек) применяют только для стеклопластиков.



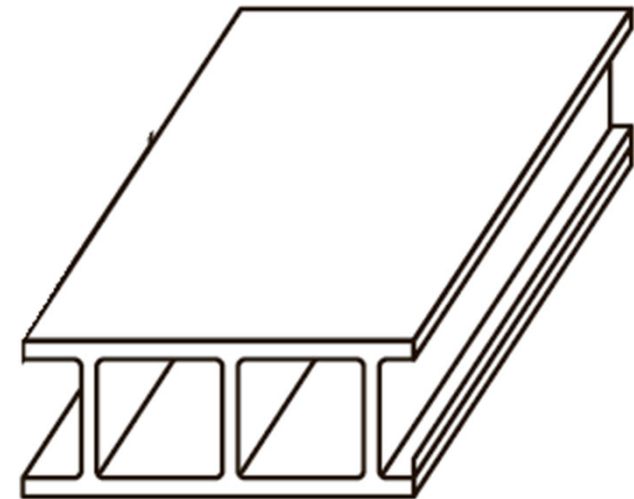


# Способы изготовления трехслойных панелей



При этом на покрытую разделительным составом плиту (форму) последовательно укладывают несколько слоев стеклоткани для образования наружного слоя обшивки и пропитывают связующим; одновременно на специальных приспособлениях наматывают стеклоткань на прямоугольные или трапециевидные скалки (и пропитывают ее связующим), которые затем плотно укладывают на наружный слой обшивки.

Скалки последовательно закрывают еще несколькими слоями стеклоткани, пропитанной связующим, которые образуют наружный слой другой обшивки. Весь пакет помещают в вакуумный мешок для сжатия и выдерживают до отверждения связующего, затем скалки удаляют.





# Способы изготовления трехслойных панелей



Достоинство метода — получение монолитных панелей, обладающих высокой динамической прочностью и жесткостью при очень малой собственной массе. Так, ее жесткость больше в 18—20 раз вдоль ячеек и в 8—10 раз поперек ячеек, чем у стального листа той же массы.

Метод образования трехслойных панелей (конструкций) путем вспенивания в них срединного слоя наиболее прост и удобен, несмотря на ограниченный выбор материала для этого слоя (самовспенивающиеся пенопласты на основе твердых полуфабрикатов или жидких компонентов).

Пенопласты на основе твердых полуфабрикатов вспениваются при повышенных температурах, а на основе жидких компонентов — в результате химической реакции после их смешивания. При вспенивании происходит повышение давления газов внутри заполняемого объема, поэтому деталь (панель) устанавливают в соответствующую ограничительную форму. Пенополиуретаны отличаются от всех других самовспенивающихся материалов высокой технологичностью.



# Особенности расчета трехслойных панелей



При работе кузовной конструкции несущие слои воспринимают продольные нагрузки (растяжение, сжатие, сдвиг) в своей плоскости и поперечные изгибающие моменты, а наполнитель воспринимает поперечные силы при изгибе трехслойной конструкции и обеспечивает совместную работу и устойчивость несущих слоев.

Способность наполнителя воспринимать нагрузку в плоскости несущих слоев зависит от конструкции наполнителя и его характеристик жесткости. Если трехслойная конструкция имеет элементы каркаса, то они обеспечивают местную жесткость конструкции при действии сосредоточенных сил и в местах крепления повышают сопротивление усталости.



# Особенности расчета трехслойных панелей



Главная особенность трехслойной конструкции с заполнителем состоит в том, что в результате разнесения несущих слоев на некоторое расстояние друг от друга достигается большое отношение жесткости конструкции к ее массе. Для однослойной пластины той же массы это соотношение жесткостей будет не менее  $3(H_1/\delta_{HC})^2$ , где  $H_1$  - расстояние между срединными поверхностями несущих слоев, а  $\delta_{HC}$  — толщины несущих слоев.

Прочность, устойчивость и жесткость конструкций с заполнителями зависят как от геометрических и жесткостных, так и от прочностных параметров составляющих элементов конструкции — несущих слоев, заполнителей, соединений несущих слоев с заполнителями, а также всей панели в целом.



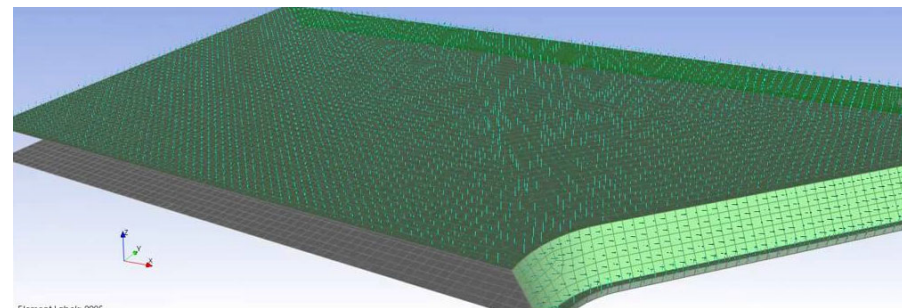
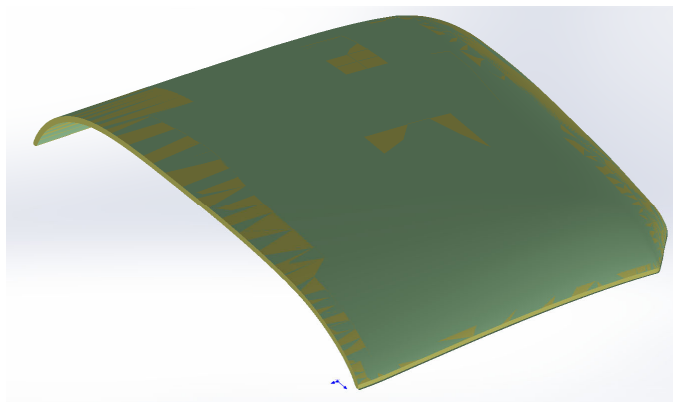
# Особенности расчета трехслойных панелей



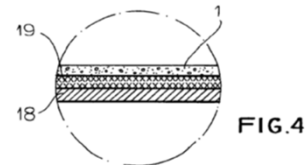
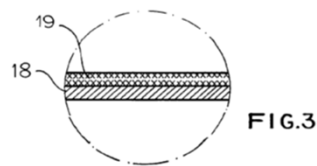
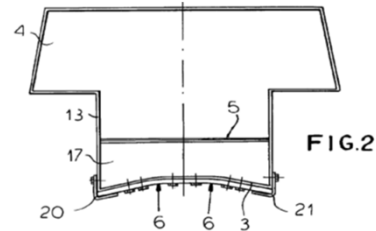
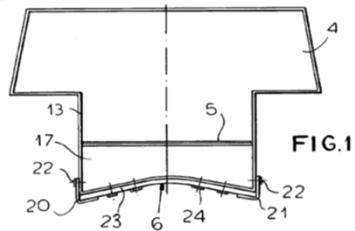
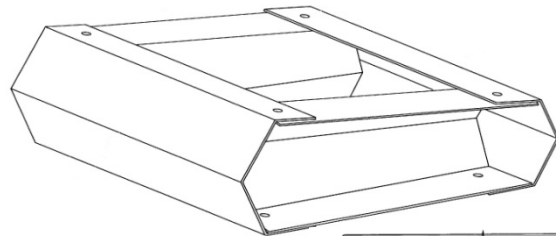
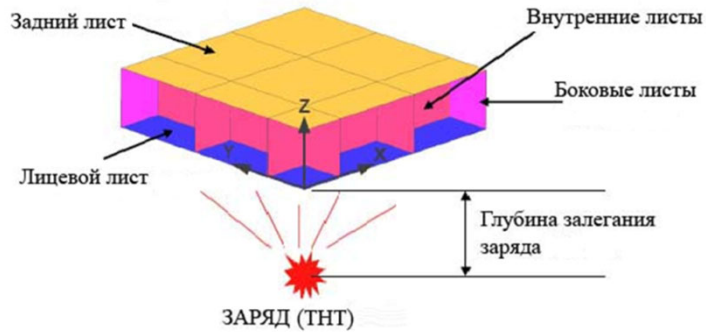
Существуют разные подходы к расчету трехслойных конструкций, основные различия между ними заключаются в том, как представляется конструкция:

- 1) либо рассчитываются приведенные характеристики прочности, жесткости по зависимостям строительной механики однослойных конструкций,
- 2) либо отдельно ведется расчет несущих слоев, слоя заполнителя, соединения несущих слоев и заполнителя.

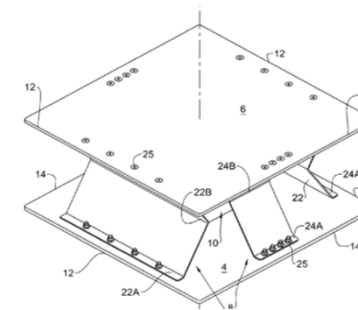
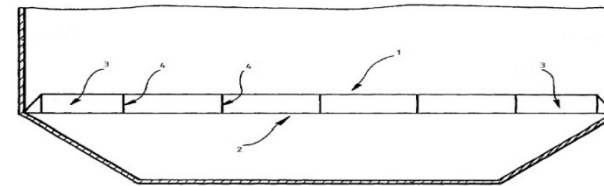
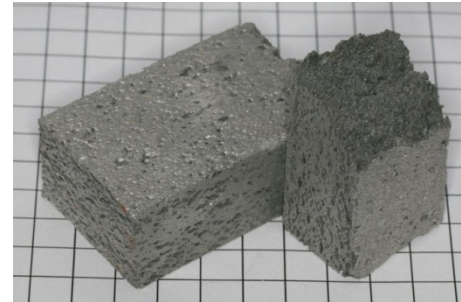
В инженерной практике широко используется метод конечных элементов.



## Сотовые конструкции



## Пеноматериалы





# Шумоизоляционные композиционные материалы для колесных машин



Шумоизоляция автомобиля – это комплекс специальных мероприятий, который уменьшает различные шумы, появляющиеся снаружи.

Материалы для шумоизоляции автомобиля позволяют сделать поездку комфортной, благодаря снижению уровня посторонних шумов.

Применение различных материалов для качественной шумоизоляции автомобиля, обуславливает деление ее на несколько типов:

Виброизоляция — этот вид шумоизоляции, уменьшающий шумы, которые появляются от вибрации в узлах и деталях автомобиля.

Скрипоизоляция — этот вид шумоизоляции, уменьшающий различные звуки, которые возникают от движения кузова или его частей.



# Шумоизоляционные композиционные материалы для колесных машин



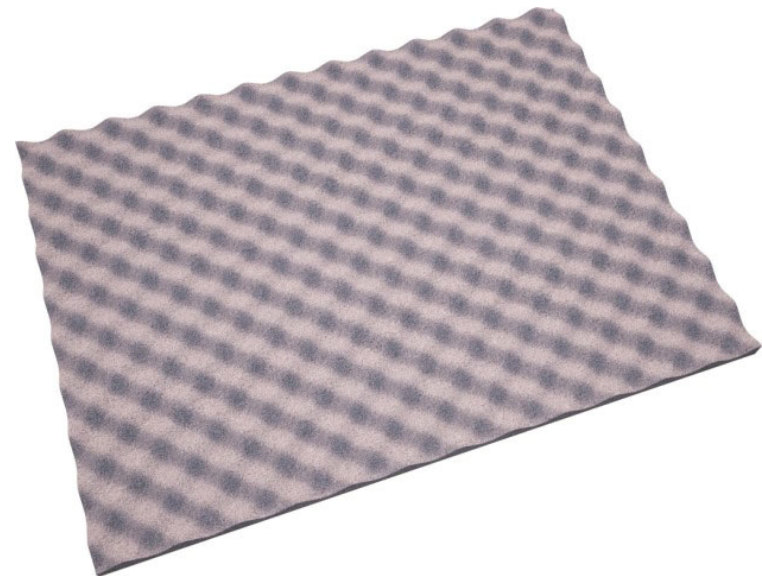
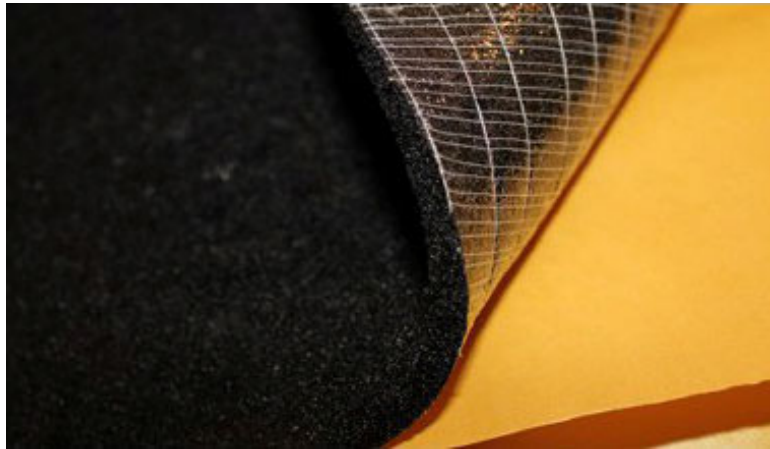
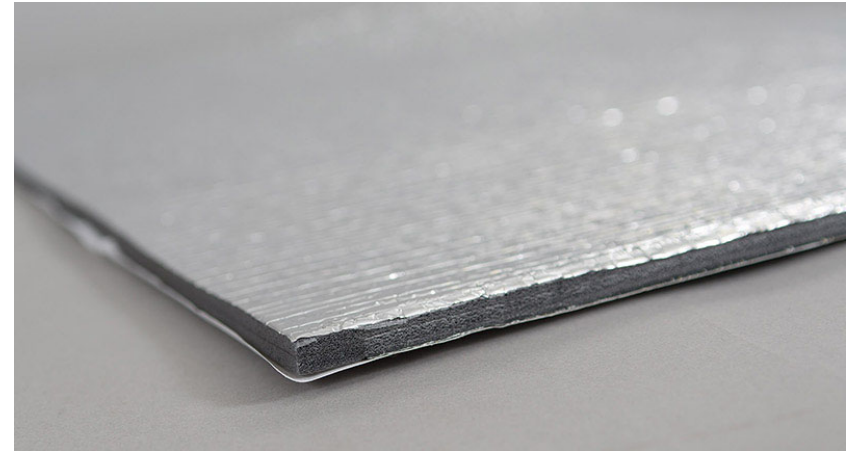
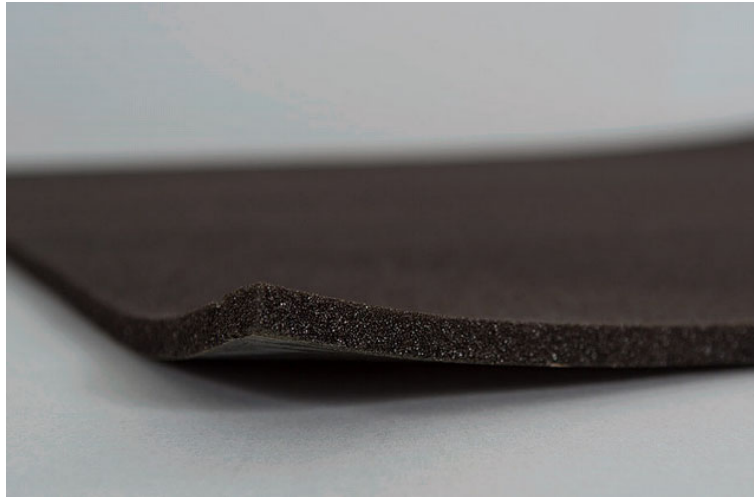
Для повышения шумоизоляции автомобиля разработано большое число вибро- и скрипоглощающих композиционных материалов.

В общем случае их можно разделить на следующие группы:

- материалы на основе вторично-вспененного ППУ высокой плотности с битумной пропиткой;
- материалы из акустического войлока повышенной плотности по технологии термического скрепления, дополнительно защищённые неткаными полотнами;
- звукопоглощающие уплотнительный противоскрипный материал на основе вязко-эластичного ППУ;
- материал на основе вспененного синтетический каучука с закрытой пористой структурой;
- материалы на основе фольгированного ППЭ с монтажным слоем из вибродемпфирующей мастики.



# Шумоизоляционные композиционные материалы для колесных машин





# Контактная информация

---



E-mail:	kartashov@bmstu.ru
Рабочий телефон :	18-09
Мобильный телефон:	+7(926)275-0886

Спасибо за внимание!