

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕПЛАСТИКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КРЫЛА САМОЛЕТА НА ПРИМЕРЕ ПАССАЖИРСКОГО АВИАЛАЙНЕРА (SUKHOI SUPERJET 100)

Ананьев М.И – студент группы ПКМ-01, науч. рук. Головина Е.А – доцент, к.т.н.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Одной из самых больших проблем для авиапромышленности является масса самолета, ведь от нее самолета зависит максимальная подъемная масса, расход топлива а в следствии и дальность полета.

Одной из самых главных несущих частей самолета является его крыло, оно испытывает самые большие нагрузки действующие на самолет. Крылья самолетов отличаются большим разнообразием не только внешних форм, но и особенностей конструкции. Во всех случаях крыло должно быть достаточно прочным и жестким при минимальной массе.



Рисунок 1 – Пассажирский авиалайнер SUKHOI SUPERJET 100

Передавая подъемную силу на фюзеляж, крыло подвергается деформациям изгиба, кручения и сдвига которые должны восприниматься соответствующими силовыми элементами. Крылья различных типов обычно представляют собой наборы однотипных элементов, участвующих в восприятии внешних нагрузок и составляющих его конструктивно-силовую схему.

Аэродинамические характеристики самолёта зависят от многих параметров, а не только от миделевого сечения фюзеляжа, профиля или удлинения крыла. Большое значение имеет выбор такого параметра, как площадь крыла, а точнее - отношения веса самолёта к площади крыла, т.е. удельной нагрузки на крыло. Ведь крыло не только создаёт подъемную силу, необходимую для полёта, но и вносит основной вклад в создание силы сопротивления. Если мы сравним между собой самолеты различных размеров, то заметите, что более скоростным машинам свойственна более высокая нагрузка на крыло.

Дело в том, что большие крылья нужны только на этапах взлёта и посадки, для уменьшения взлётно-посадочных дистанций, а в крейсерском ГП можно было бы довольствоваться совсем крохотными крылышками. «Играя» удельной нагрузкой на крыло, можно влиять на многие лётно-технические характеристики самолёта.

Предлагаю сравнить ВС по этому параметру:

Ан-158 -  $G_{взл}/S_{кр} = 43700/87,3 = 500,6 \text{ кг/м}^2$   
 CRJ-900 -  $G_{взл}/S_{кр} = 36500/68,6 = 532,1 \text{ кг/м}^2$   
 EmB-190 -  $G_{взл}/S_{кр} = 50300/92,5 = 543,8 \text{ кг/м}^2$   
 SSJ-100 -  $G_{взл}/S_{кр} = 45880/77,0 = 595,8 \text{ кг/м}^2 = 5958 \text{ Н/м}^2$

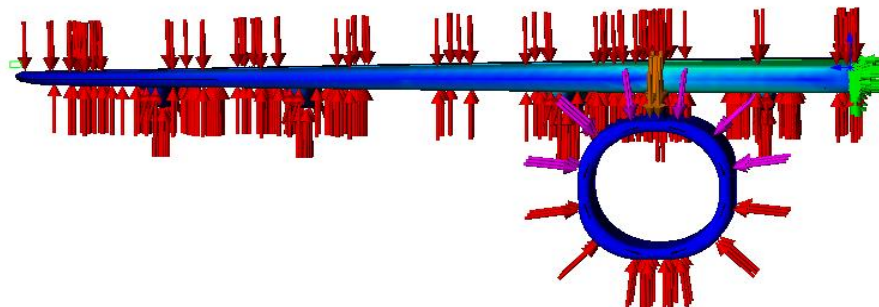


Рисунок 2 – Нагрузки действующие на крыло: SSJ-100 -  $G_{взл}/S_{кр} = 45880/77,0 = 595,8 \text{ кг/м}^2 = 5958 \text{ Н/м}^2$

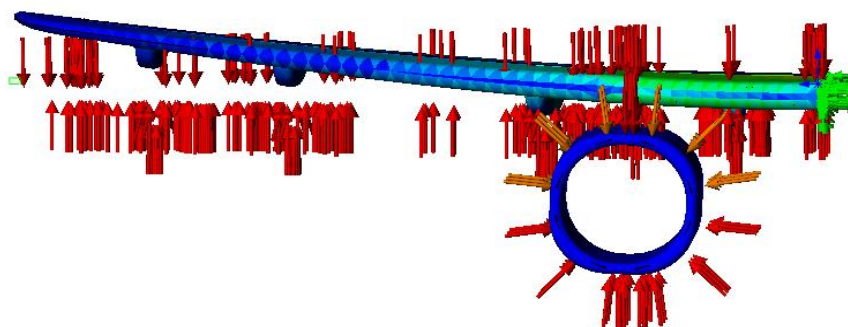
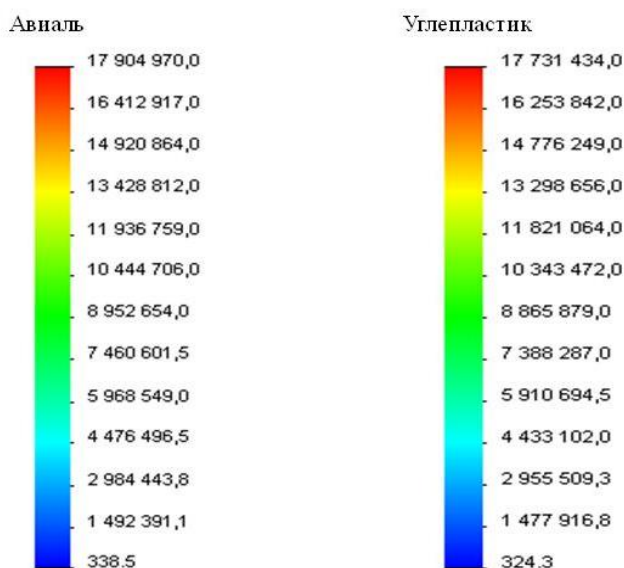


Рисунок 3 – Деформация крыла

Основным материалом при создании несущих конструкций используют специальный алюминиевый сплав под названием “Авиаль”.

В данной работе было спроектировано крыло из углепластика плотность которого практически в 2 раза ниже плотности алюминиевого сплава

Сравним как крылья, сделанные из (Авиаль) и (Углепластик) переносят напряжения.



Вывод: Исходя из данных полученных при проведении данной работы мы видим незначительную разницу в устойчивости к напряжениям, углепластик уступает всего на 269н/м<sup>2</sup>, при массе крыла всего в 3,5 т, а масса крыла из (Авиаль) практически в два раза больше. Это

#### **Список использованной литературы:**

1. Армированные пластики: современные конструкционные материалы, Э. С. Зеленский, А. М. Куперман, Ю. А. Горбаткина, В. Г. Иванова-Мумжиева, А. А. Берлин
2. Современные полимерные композиционные материалы А.А. Берлин, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, статья
3. Фудзии Т., Дзако М.–Механика разрушения композиционных материалов: Пер. с японск.– М.: Мир, 1982.–232с., ил.
4. <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D1%F2%E5%EA%EB%EE%EF%EB%E0%F1%F2%E8%EA>
5. <http://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%EE%EB%E8%EF%F0%EE%EF%E8%EB%E5%ED>

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ (АКРИЛА) ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАННЫ**

**Берда О.А. – студентка группы ПКМ-01, науч. рук. Головина Е.А. – доцент к.т.н.**

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Ванная комната в доме – это часто посещаемое помещение всей семьей. Она является таким местом, где можно расслабиться после трудового дня, отдохнуть и снять усталость. Более пятидесяти процентов ванной комнаты занимает ванна. Поэтому она должна быть не только красивой и практичной, но и долговечной. Самые распространенные ванны это чугунные, стальные и акриловые.

Чугунные ванны более долговечны в сравнении со стальными и акриловыми, но все же они не являются совершенными, и всему виной эмалевое покрытие, тогда как ванна акриловая или стальная практически не знают такой проблемы. Случается, что вся прочность чугунной ванны перечеркивается выходом из строя хрупкого эмалевого покрытия.

Стальные ванны весьма схожи своими характеристиками с чугунными, но есть весьма существенные отличия. Вес стальной ванны составляет примерно 30 килограмм, так как толщина стенок данной емкости всего 3 миллиметра.

Прочность стальной ванны такая же, как у чугунной. Срок службы стальной ванны, который заявляют изготовители - более 15 лет, а кроме того, такие ванны стоят очень дешево, особенно в сравнении с другими изделиями. Цена стальной ванны начинается с планки 2500 рублей.

К сожалению, со стальными ванными далеко не все так радужно. Вода в такой емкости остывает очень быстро, поэтому приходится постоянно доливать горячую, что не очень-то удобно. Кроме того, при набирании воды в стальную ванну металл издает громкие и весьма неприятные звуки, похожие на акустический эффект, который создается при падающих на металлочерепицу капель.

Самыми популярными на современном рынке считаются акриловые ванны. Они легкие, прочные, надежные, изготавливаются методом горячего формования с последующим нанесением стекловолокна, затем смолы, которая служит армированием. Металлический каркас и связующие ножки придают ванне максимальную устойчивость. Поверхность, защищенная от скольжения, обладает неповторимым блеском за счет непористого, ровного,

приятного на ощупь покрытия.

Любое дизайнерское решение будет удовлетворено, благодаря богатой цветовой палитре. Цвет не пожелтеет, останется первозданным на протяжении всего периода эксплуатации. Это происходит, благодаря особому способу нанесения: внутреннюю сторону емкости обрабатывают перламутровой основой с использованием особенного геля AkrilCoat.



Ванны практичны, обладают антибактериальными свойствами, которые придает запатентованный компонент, входящий в состав изделия.

Вода такого резервуара остывает медленно, а стенки и дно имеют комнатную температуру, что очень удобно для купания детей. При заполнении водой нет громкого шума, поскольку акрил является одним из звукопоглощающих материалов. Уход допускает использование геля или мыла без абразивных средств - тогда поверхность останется гладкой, чистой, блестящей.

Не стоит забывать и об осторожности. Такая поверхность может легко поцарапаться или треснуть от удара тяжелым предметом. Стоит быть аккуратнее, купая домашних животных, которые когтями могут повредить поверхность. Но даже, если ванна немного повреждена, ее очень легко восстановить. Царапины исчезнут, благодаря полироли, а большой скол можно залить жидким акрилом, хорошо отшлифовав нулевым номером наждачной бумаги. Правильный уход даст возможность ванне прослужить долгие годы, сохранив свой первозданный вид.

Я рассмотрела два материала для ванны – это сталь (AISI 316 нержавеющей сталь, лист (SS)) и акрил (Акрил (Средняя-высокая ударопрочность)). Чтобы сравнить их прочностные и деформативные характеристики и определить оптимальный материал для изготовления ванны, в программе SolidWorks была построена модель с указанием материала. Модель ванны была закреплена и нагружена (600 ньютонов) (рисунок 1) так, как это происходит в реальной жизни.

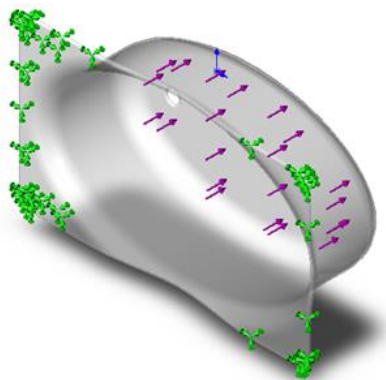


Рисунок 1 – Нагрузка и крепление ванны

Ниже, на рисунках 2-5 продемонстрировано распределение напряжений и смещений.



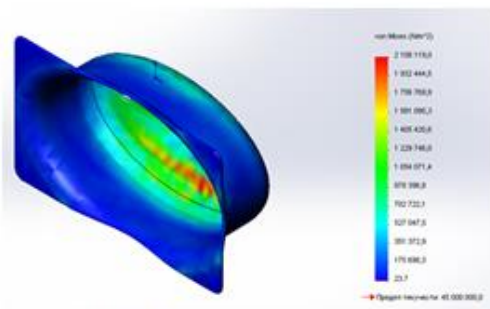


Рисунок 2 – Распределение напряжений на модели ванны из стали

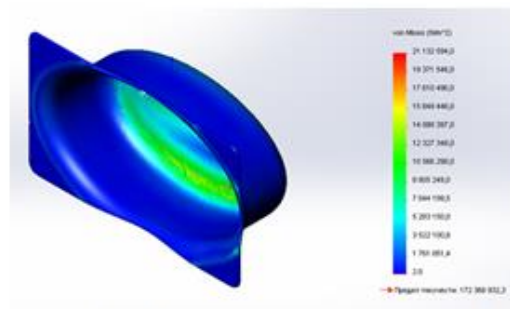


Рисунок 3 – Распределение напряжений на модели ванны из акрила

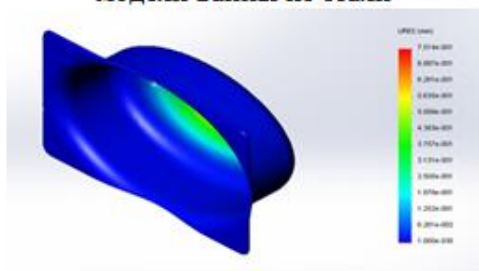


Рисунок 4 – Перемещение в модели ванны из стали

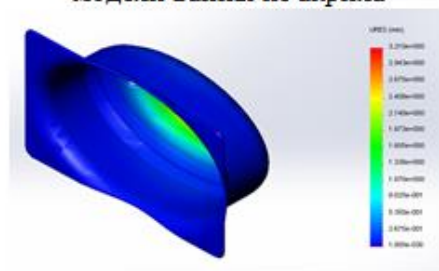


Рисунок 5 – Перемещение в модели ванны из акрила

Таблица 1 – Полученные данные

Материал	Масса, кг	Напряжение, МПа	Смещение, мм
Сталь	40,32	21,1	0,75
Акрил	11,98	2,11	2,23

Из таблицы видно, что ванна из стали тяжелее почти в 4 раза, смещение почти в 3 раза меньше, напряжение в 10 раз больше. По сравнению со сталью акрил сильно уступает в прочности, поэтому его всегда нужно дополнительно укреплять. Акриловая ванна благодаря небольшому весу хорошо транспортируема и легка в установке. Стальная ванна хорошо переносит высокие температуры по сравнению с акриловой, так как температура плавления у акрила 160 °С.

К недостаткам стальных ванн можно отнести достаточно скользкое дно, сложность реставрации и высокую теплопроводность, способствующую быстрой потере температуры воды.

Сталь – токопроводящий металл, поэтому установка такой ванны обязательно должна сопровождаться заземлением.

Акрил обладает низкой теплопроводностью, благодаря чему мгновенно нагревается и долго сохраняет комфортную температуру. Покрытие акриловых ванн устойчиво к истиранию, а в случаях повреждения – очень легко реставрируется собственными силами, обретая первоначальный вид. Акриловое покрытие практически не скользит, что сокращает риск получения травм. Такие ванны безопасны во всех отношениях и не нуждаются в заземлении.

Акриловые ванны покорили покупателей удивительным ассортиментом дизайна – любая форма, любой размер, любой цвет, куча различных дополнительных аксессуаров типа полочек и подлокотников. В случае чрезвычайно ограниченного функционального пространства в ванной комнате, акриловая ванна поможет выкрутиться и даже обустроить

комфортное место отдыха. Если помещение ванной комнаты большое, хозяин хочет сделать дизайн проект с размахом, то и здесь пригодится акриловая ванна, которая может быть сделана даже по индивидуальному проекту.

#### **Список использованной литературы:**

1. <http://snosn.com/2603-acr-bath.html>
2. [http://antimil.ya.ru/replies.xml?item\\_no=13472](http://antimil.ya.ru/replies.xml?item_no=13472)
3. <http://www.bistroy.ru/?c=article4>
4. <http://snosn.com/2430-steel-bath-des.html>
5. <http://eto-vannaya.ru/wanna/vybor-vanny/kakie-akrilovye-vanny-luchshe-220>

### **СРАВНЕНИЕ МАХОВИКА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МАХОВИКОМ ИЗ ТРАДИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Грецкая. И. Н – студентка группы ПКМ-01, науч. рук. Головина Е.А – доцент, к.т.н.**

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Впервые маховик был обнаружен в 1922 году в гончарной мастерской, проработавшей несколько веков. Массивный диск размером боле 30 дюймов (около 75 см) с центральным круговым отверстием насаживался на вертикальную стойку с подпятником, где свободно вращался с небольшим трением. Служил диск гончарным кругом, тем самым кругом, на котором древние гончары лепили свою продукцию, и который, правда, не из глины, а из дерева встречался во дворцах фараонов Египта около 1000 лет до этого.

Далее применение маховика начало развиваться в разных механизмах.

Во время промышленной революции, Джеймс Уатт применил маховик в паровой машине для выравнивания движения и преодоления мертвых положений поршня, и его современник Джеймс Пикард использовал маховик в сочетании с кривошипно-шатунным механизмом для преобразования возвратно-поступательного движения во вращательное.

Самое широкое применение маховик нашел в автомобилестроении. Маховик автомобиля находится на одной стороне коленчатого вала двигателя, крепится он очень прочно, несколькими болтами, представляет из себя, большой, доскообразный круг, с «венцом» сверху. «Венец маховика», это зубчатое колесо, которое одевается на маховик в разогретом состоянии, после того как венец маховика остынет, две детали становятся практически не разъемные. То есть маховик становится похож на одну большую шестерню.

Металл маховика очень прочный, но не ломкий, способен выдержать большие нагрузки.

Предназначения маховика:

1) Маховик присоединен к коленчатому валу, который заставляет поршни двигаться. Поршни начинают сдавливать топливо, подается искра и автомобиль заводится. То есть маховик является очень важной частью при пуске двигателя. Без него приходилось бы крутить двигатель вручную как раньше, «кривым стартером», как называли его водители прошлого века, загнутый ключ который вставлялся в двигатель и выполнял функцию маховика.

2) Маховик, борется со сторонней энергией двигателя, то есть он гасит колебания двигателя, которые пошли бы в кузов. Благодаря такой функции, двигатель работает ровно, без детонации (колебания двигателя).

Наиболее характерными требованиями, предъявляемыми к рассматриваемому

маховику, является точность посадочных отверстий и фасонных поверхностей под приводные ремни, высокая concentricность всех поверхностей, а также уравновешенность относительно оси вращения. Для больших маховиков заготовкой служит стальное или чугунное литье, реже поковка, а для относительно небольших размеров штампованная заготовка.

Маховик изготавливают из чугуна и динамически балансируют в сборе с коленчатым валом. На фланце маховик центрируется в строго определённом положении с помощью штифтов или болтов которыми он крепится к фланцу.

Помимо энергии, вращающийся маховик (как и любое вращающееся тело) обладает ещё и моментом импульса, с чем связано наблюдение гироскопического эффекта, заключающегося в прецессии оси вращения вокруг своего первоначального направления при появлении внешней силы, не совпадающей с направлением оси вращения.

На рисунке ниже представлен маховик, изготовленный из чугуна:



Рисунок 1 – Маховик, изготовленный из чугуна.

Общеизвестно, что энергия каждого килограмма маховика зависит от его формы и прочности. Малая прочность материала, из которого он обычно изготавливается, т.е. стальные поковки или отливки. А крупные отливки или поковки даже из лучших сортов стали не слишком прочны. В таких изделиях невозможно избежать мельчайших дефектов, сильно уменьшающих прочность всего маховика. Чем прочнее литой или кованный маховик, тем опаснее его разрыв, если он приключится, и тем больший запас прочности понадобится, чтобы уберечь маховик от разрыва.

Большой популярностью пользуются так называемые кольцевые супермаховики. Такой супермаховик представляет собой кольцо, навитое из высокопрочного волокна и помещенное в вакуумную камеру в форме бублика – тора. Поскольку кольцевой супермаховик лишен центра, в нем наиболее полно реализуются прочностные свойства волокон. Кольцевой супермаховик удерживается в камере в подвешенном состоянии с помощью магнитных опор, размещенных в нескольких местах по окружности. Само кольцо служит ротором мотора — генератора, а те места, в которых стоят обмотки магнитов, статором. Это упрощает отбор энергии и зарядку супермаховика.

Если сравнивать кольцевой супермаховик со стальным маховиком из самой прочной стали, плотность энергии кольцевого супермаховика в 2 – 3 раза больше и достигает 0,5МПа на килограмм массы. Потери на вращение у него в 50 – 100 раз меньше, чем у стального. Так как отсутствуют самые большие потери – потери на трение в подшипниках. Опыт показал, что для супермаховиков, кроме прочности и размеров решающее значение имеет их масса. Как ни парадоксально, но чем легче супермаховик, тем лучше. Плотность энергии маховика

определяется удельной прочностью, то есть отношением прочности к удельному весу материала. Поэтому в качестве материала маховика выберем борное волокно, как наиболее выгодное по показателю удельной прочности.

Чтобы сравнить их прочностные и деформативные характеристики и определить оптимальный материал для изготовления маховика, в программе Solid Works была спроектирована модель маховика. Эта модель была закреплена так, как это делается в реальных условиях (за центральное отверстие маховика) и нагружена так, что бы происходило прокручивание. Ниже, на рисунках 2-6 указано распределение напряжений и смещений в маховике, выполненном из обычной стали и из борного волокна.

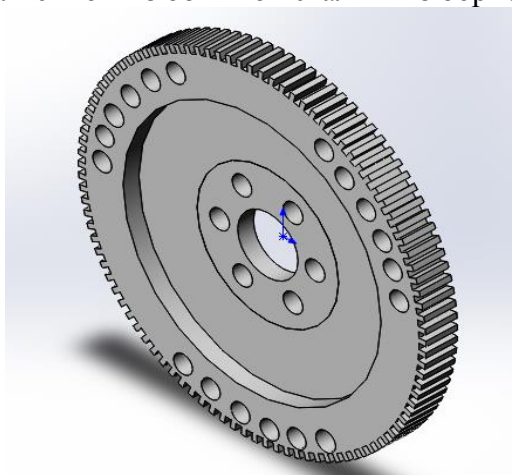


Рисунок 2 – Маховик, спроектированный в программе SolidWorks.

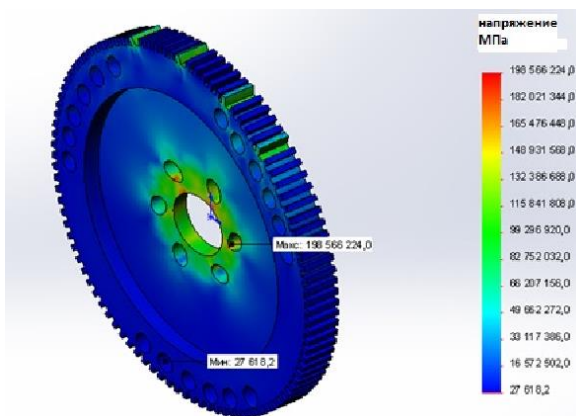


Рисунок 3 – Распределение напряжений из инструментальной стали

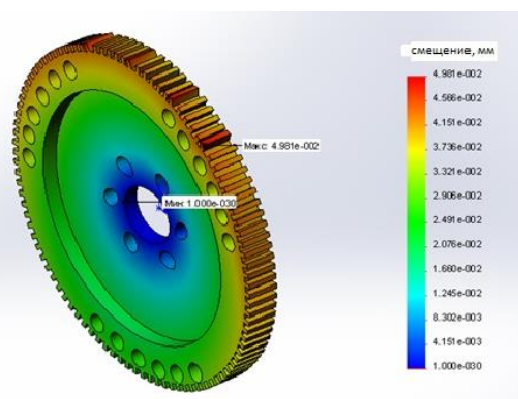


Рисунок 4 – Распределение перемещений из инструментальной стали

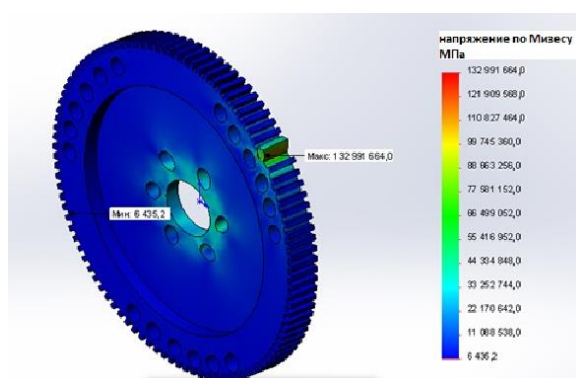


Рисунок 5 – Распределение напряжений в маховике из инструментальной стали

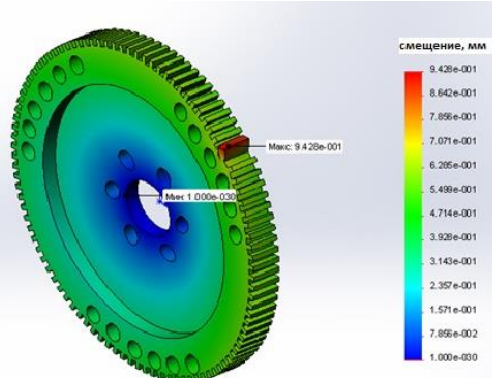


Рисунок 6 – Распределение перемещений в маховике из инструментальной стали.



Из данного исследования можно сделать вывод, что маховик изготовленный из борного волокна лучше претерпевает данные нагрузки, чем инструментальная сталь. Масса маховика изготовленного из борного волокна значительно легче, а соответственно и лучше в момент эксплуатации.

Если сравнивать маховик из борного волокна со стальным маховиком из самой прочной стали, то выявится следующее. Плотность энергии борного маховика в 2-3 раза больше и достигает 0,5 МДж на килограмм массы. Потери на вращение у него в 50-100 раз меньше, чем у стального, в связи, с чем его свободное вращение достигает 750, а в перспективе – 12 тысяч часов. То есть такой маховик будет вращаться без остановки 500 суток, или полтора года.

#### **Список использованной литературы:**

1. Чумак.Н.Г – Материалы и технология машиностроения: 1979
2. Базаров. Б.М – Основы технологии машиностроения
3. Колесов. Н.С – Материаловедение и технология конструкционных материалов: Пер. с японск.– М.: Мир, 1982.–232с., ил.
4. <http://avto-blogger.ru/chto-takoe-v-avtomobile/chto-takoe-maxovik.html>

### **СТРИНГЕРЫ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

**Еланцев Е.В. – студент группы ПКМ-01, науч. рук. Головина Е.А – доцент, к.т.н.**

Алтайский государственный университет им. И. И. Ползунова

Композиционные материалы (КМ) занимают далеко не последнее место в современной технике. Замена классических материалов композиционными, в определенных условиях, позволяет снизить массовые характеристики, повысить прочность и жесткость, продлить срок службы изделий [1]. Крупнейшей областью применения КМ является аэрокосмическая техника. Их используют для изготовления силовых конструкций летательных аппаратов (ЛА). Снижение материалоемкости позволяет снизить затраты горючего, увеличить дальность полета, снизить монтажные работы. По известным данным [1], «снижение массы изделия на 1 кг дает экономию (в долл. США): для самолетов 150, вертолетов 300, ракет и спутников 10000, сложных космических аппаратов до 50000».

При строительстве ЛА важным является обеспечение оптимального соотношения между весом, прочностью и жесткостью. Можно снизить массу крыла посредством замены металлических стрингеров на композитные. Главным недостатком металлических стрингеров является расходы на механическую обработку при изготовлении. Использование композитных стрингеров позволяет управлять структурой материала, размерами, не привязываясь к сортаменту [4].

Стрингер – это продольный подкрепляющий элемент обшивки крыла, воспринимающий местные нагрузки, а также продольные силы при общем изгибе [6]. Основная задача стрингера – это передача местных нагрузок на нервюру. Элемент крыла со стрингером изображен на рисунке 1 [4].



Рисунок 1 - Стрингер

Классическими материалами, из которых изготавливают стрингеры, являются сплавы алюминия, титана. С помощью программного комплекса SolidWorks были проведены модельные исследования стрингеров из сплава В-1469-Т1 и однонаправленного углепластика (УП) на основе эпоксидного связующего марки HMS(62%). Свойства этих материалов представлены в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Свойства материалов

Материал	Предел прочности при растяжении	Модуль упругости	Плотность	Разрывная деформация
В-1469-Т1	600 МПа	80 ГПа	2,7 г/см <sup>3</sup>	>8%

Материал	Предел прочности при растяжении	Модуль упругости	Плотность	Разрывная деформация
HMS(62%)	1137 МПа	207 ГПа	1,6 г/см <sup>3</sup>	<0,55%

### Модельные испытания

Применяемый материал считать линейным изотропным. Модель одной боковой гранью закреплена, нагрузки: сила тяжести, и распределенная нагрузка в 500 Н/м. Характеристики модели: длина 500 мм, толщина стенки 6 мм, ширина нижнего основания 15 мм. В результате эксперимента стрингер прогнулся, максимальный прогиб оказался на другом конце изделия, что соответствует реальным условиям эксплуатации стрингеров.

Анализ напряжений моделей представлен на рисунках 2, 3.

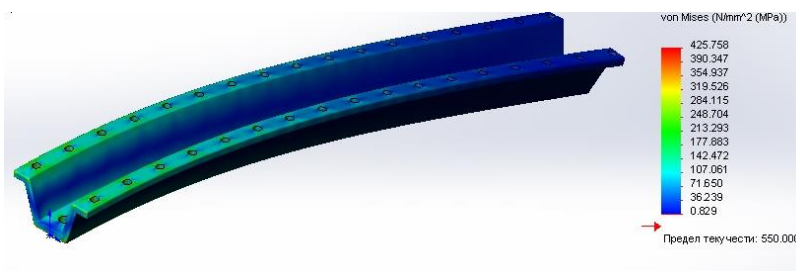


Рисунок 2 – Эпюра напряжений алюминиевого сплава

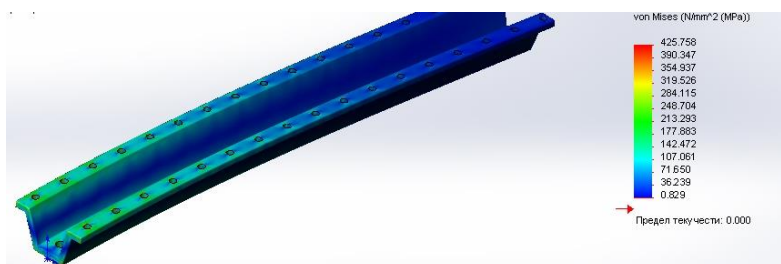


Рисунок 3 – Эпюра напряжений углепластика

По анализу максимального напряжения, сравнивая модели, можно сделать вывод, что модель из углепластика воспринимает большие напряжения, не деформируясь. Также максимальное напряжение возникает в местах заделки и в местах соединений. В реальных конструкциях стрингеры испытывают в этих местах еще осевые нагрузки, в результате которых происходит срез в поперечном направлении, поэтому использовать УП возможно, учитывая анализ сдвиговых напряжений и упрочнения в местах крепления. В таблице 3 приведены результаты испытаний.

Анализ перемещений изображен на рисунках 4, 5.

Полученная эпюра перемещений показывает, что модель из углепластика является более жесткой, ее максимальное перемещение составляет 3.7мм, что в 3 раза меньше перемещений другой модели. Повышенная жесткость обуславливает наименьшую деформацию, т. е. склонность к хрупкому разрушению.

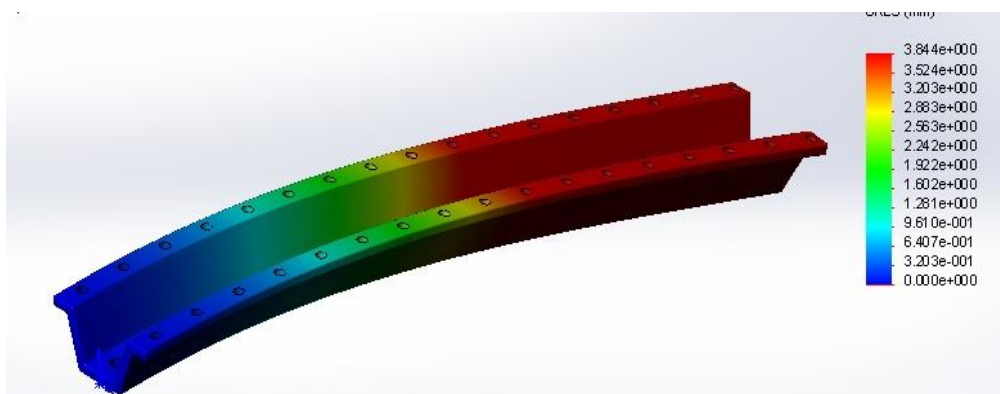


Рисунок 4 – Эпюра перемещений в модели из алюминия

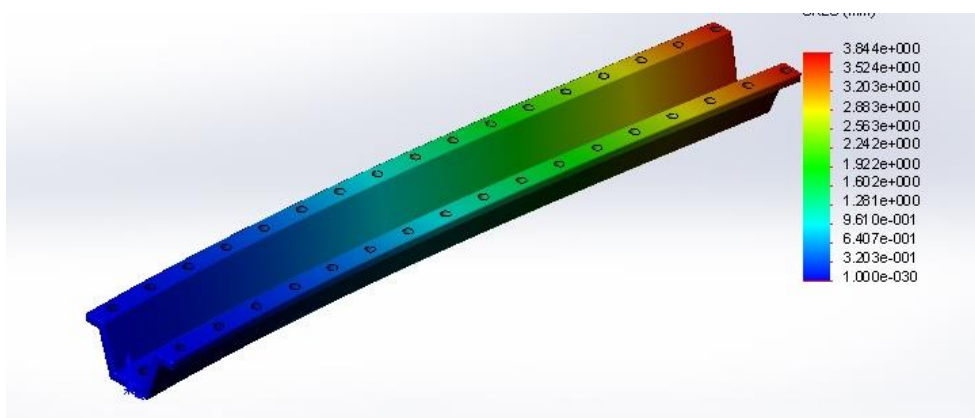


Рисунок 5 – Эпюра перемещений в модели из углепластика

Таблица 2 – Результаты исследования

Материал	Масса, кг	Макс. напряжение, МПа	Макс. Перемещение, мм
B-1469-T1	1,2	421	9,55
HMS(62%)	0,5	425	3,7

Основываясь на данных исследованиях, можно сделать вывод о том, что применение углепластиковых стрингеров дает выигрыш в массе в 2 раза и в жесткости. Это снизит экономические затраты при эксплуатации и продлит срок службы и устойчивость крыла с углепластиковыми стрингерами. Однако, следует отметить, что затраты не всегда могут быть окупаемы, вследствие изготовления профиля сложного сечения из УП. Таким образом необходимо проанализировать все аспекты и найти оптимальное решение, применимое к

конкретной конструкции.

### Список литературы

1. Зеленский Э.С. Армированные пластики – современные конструкционные материалы/ Э. С. Зеленский, А. М. Куперман, Ю. А. Горбаткина, В. Г. Иванова-Мумиева, А. А. Берлин//Рос.хим.ж.-2001.-т.XLV,№2. –С. 56-74.
2. Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. Кн. 2/Под ред. Дж. Любина. – М.: Машиностроение, 1988. – 584 с.
3. Литвинова Т.А. Проектирование стрингеров из композиционного материала/ Т.А. Литвинова//вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов.- 2010.- С. 23-29.
4. Корнеев В.М. Конструирование и основы эксплуатации летательных аппаратов. Конспект лекций/В.М. Корнеев. – Ульяновск: УВАУГА, 2006
5. Алюминиевые сплавы ([http://viam.ru/index.php?id\\_page=109\\$language=ru](http://viam.ru/index.php?id_page=109$language=ru))
6. Конструкция элементов крыла (стшеюЫыфгюкг.мшке\_дфи.лкшдщ.шд28.вб\_Зюрь)

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАНЕЛИ САМОЛЕТА МЕТОДОМ ИНФУЗИИ

**П. Ю. Зенков – студент группы ПКМ-91, науч. рук. Головина Е.А – доцент, к.т.н.**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Основная задача – внедрение в производство компании ОАО «Аэростайл» и оптимизация технологического процесса изготовления бортовой панели методом инфузии.

В настоящее время современные композиционные материалы (стекло-, угле-, и органопластики) нашли широкое применение в конструкциях летательных аппаратов. Особенно широкое применение новые материалы находят при изготовлении средненагруженных конструкций, хотя имеется и достаточное число примеров изготовления из них высоконагруженных конструкций, таких как крыло, стабилизатор, киль, шасси и другие части летательных средств [1,2].

За счет применения более легких, по сравнению с алюминием материалов, уменьшения конструктивных и технологических разъемов, замены механического крепежа на клеевые соединения и др., достигается снижение массы конструкции на 15...20 % и трудоемкости изготовления на 30...40 % [2].

Изготовление конструкций из КМ состоит из ряда специфических процессов. Эти процессы проектируются под конкретное оборудование и осуществляются в определенных производственных условиях по соответственно разработанной для каждого из них теорий. Например, формование изделия базируется на общих законах физики и химии полимеров. Применение усовершенствованных КМ требует нового подхода к вопросам конструирования и расчета, разработки технологии и оснастки. Особенно это проявляется с ростом габаритов конструкции. Так устранение многих технологических разъемов, дав выигрыш в массе, требует повышения жесткости всей конструкции, вследствие чего наряду с сотовым наполнителем вводят силовые балки и трубчатый наполнитель, в связи с чем сложность увязки элементов конструкции возрастает [3,4].

Проектированием интерьера занимаются два отдела КБ – кабинщики komponуют пульты, отдел авионики разрабатывает индикацию, при участии летчиков-испытателей. В

процессе проектирования интерьера основной задачей является разработка эргономичного и антропогенного дизайна салона, в качестве эталона может служить салон самолётов «Эрбас» (их кабины считаются очень продуманными и удобными).

Основной дизайнерской единицей является облицовочная панель. Панель облицовочная бортовая – это цельноформованная конструкция. Она представляет собой монолитную конструкцию, с возможным подкреплением по регулярному сечению элементами жесткости, в зависимости от степени нагрузки на панель и её размерами.

Боковые панели закрывают каркас самолёта, который расположен между боковыми консолями и боковыми стеклами и от потолочной панели за боковым стеклом до нижнего рельса форточек. Боковые панели могут содержать: роликовые шторы бокового стекла, светильники и декомпрессионные решетки в зоне перегородки кабины. Панели облицовочные представлены на рисунке 1 [4]..

Места установки и крепления приборной панели должны быть взаимно увязаны по конструктивным параметрам (габаритные и установочные размеры, тип резьбы (дюймовая или метрическая), шероховатость поверхности и т.д.) с ответными местами на конструкции носовой части фюзеляжа.

Общие требования к панели салона самолета, регламентируются авиационными правилами. Анализ авиационных правил, относящихся к сертификации авиационной техники и ее производства, действующих в различных государствах, показывает, что практически все эти правила основываются на соответствующих авиационных правилах США FAR (Federal Aviation Regular – Федеральные Авиационные правила), или Евросоюза JAR (Joint Aviation Requirements – Единые авиационные требования).



Рисунок 1 – Панель боковых пьедесталов

Для отделки интерьера гражданских самолетов должны применяться синтетические материалы, прежде всего различные мягкие и жесткие пластмассы. В авиастроение также допустимо использование натуральной кожи, ценных пород дерева, тканей из натуральных или комбинированных волокон, но все они должны пройти сертификацию в соответствии с АП-25 или зарубежным аналогом FAR-25. Общие требования к отделочным материалам, используемым в интерьере пассажирского салона:

- высокие эстетические качества, наилучшее соотношение качества и цены;
- малый вес конечных изделий, при условии высоких удельных прочностных характеристик;
- необходимые шумоизоляционные и шумопоглощающие свойства;
- поверхность материала не должна становиться липкой при повышенной



температуре;

- минимальное светоотражение поверхности (не должны возникать световые блики, прежде всего на деталях вблизи панели приборов);
- стойкость к загрязнениям и возможность легкого удаления грязи;
- износостойкость (особенно это относится к покрытию пола);
- ремонтпригодность;
- стойкость к перепадам температуры, возможным в эксплуатации, а также теплоизоляционные свойства, обеспечивающие поддержания температуры воздуха в салоне в соответствие со техническими требованиями;
- низкая воспламеняемость и малая скорость горения; при горении не должен выделяться ядовитый газ.

Одним из важных факторов определяющим безопасность использования того или иного материала является такой параметр, как длина обугливания – это расстояние от исходной кромки до самого дальнего видимого повреждения испытываемого образца в результате воздействия пламени, в том числе до участков, полностью или частично уничтоженных, обугленных или доведенных до хрупкого состояния, за исключением участков закопченных, обесцвеченных, покоробленных или запачканных, а также тех участков, на которых материал сморщился или оплавился от воздействия источника тепла [6].

Помимо требований, выдвигаемых к изделию, существует целый ряд факторов, которые должны учитываться в процессе производства: масса материала; цена материала, включающая стоимость его разработки; легкость в переработке; надежность. Значимость того или иного фактора зависит от области применения материала (таблица 1) [5].

Таблица 1 – Сравнительная характеристика материалов, применяемых в авиационных конструкциях [4].

Материалы	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Временное сопротивление $\sigma_v^+$ , МПа	Модуль упругости E, ГПа	Удельные характеристики	
				Удельная прочность $\sigma/\rho$ , м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>	Удельная жесткость $\sigma/E$
Алюминиевые сплавы: деформируемые; литейные;	2700 2700	400–550 200–500	72 72	14,8–20,4 7,4–18,5	2,65 2,65
Магниевые сплавы: деформируемые; литейные;	1800 1800	200–340 200–270	45 45	11,0–18,7 11,0–15,0	2,50 2,50
Титановые сплавы: деформируемые; литейные;	4500 4500	500–1300 630–860	120 120	11,0–29,0 14,0–19,0	2,68 2,68
Стали: углеродистые; легированные; высокопрочные;	7800 7800 7800	420–650 800–1600 1600–2400	210 210 210	5,4–8,3 5,4–20,6 20,6–30,6	2,70 2,70 2,70
Композиционные материалы	1400–2600	500–1300	35–250	40–60	2,50– 10,00
Стеклопластики	1900	1600	70	7,9	3,50
Углепластики	1400	1100	170	8,0	12,00

Уменьшение массы особенно важно при создании материалов для авиакосмической техники. Снижение массы и уменьшение размеров деталей при конструировании новых авиационных систем приводит, в конечном итоге, к снижению цены на изделие.

ПКМ на основе углеродных, стеклянных, органических и гибридных армирующих наполнителей по комплексу свойств превосходит металлические материалы. В числе основных преимуществ [7]:

- исключительно высокие удельные прочностные и жесткостные характеристики;
- управляемая в широких пределах анизотропия свойств, что позволяет ликвидировать неизбежную в тонкостенных металлических конструкциях избыточность конструктивной массы и создавать крупногабаритные изделия сложной формы с минимальным количеством деталей и крепежа;
- высокая стойкость к виброакустическим нагрузкам и атмосферным воздействиям;
- возможность обеспечения повышенных требований к качеству и форме внешней поверхности.

Материалом, удовлетворяющим прочностным (предел прочности при изгибе 200 МПа), и эксплуатационным требованиям (класс горючести материала не выше Г-2), и требованиям минимального веса является стеклопластик на основе стеклоткани Т-10-14 и эпоксидного связующего ЭДТ-69 Нм (таблица 2).

Связующее ЭДТ-69Нм относится к эпоксидным связующим (таблица 3) и предназначено для пропитки стеклянных, углеродных и органических наполнителей. Данное связующее рекомендовано для изготовления, как силовых конструкций, так и деталей интерьера. Оно обладает достаточной прочностью и адгезией к стеклянным волокнам. По сравнению с другими связующими оно обладает меньшей токсичностью и более технологично при изготовлении заготовок на его основе и дальнейшем получении стеклопластика [8].

Таблица 2 – Паспортные данные стеклопластика [8]

Показатель	Значение
Предел прочности при растяжении вдоль направления 0° (вдоль основы), $\sigma_v^0$ , Па;	$629 \cdot 10^6$
Предел прочности при растяжении вдоль направления 90° (вдоль утка или перпендикулярно направлению 0°), $E_v^0$ , Па;	$298 \cdot 10^8$
Предел прочности при сжатии вдоль направления 0°, $\sigma_{-v}^0$ , Па;	$551 \cdot 10^6$
Предел прочности при сжатии вдоль направления 90°, $\tau_v$ , Па	$69 \cdot 10^6$
Предел прочности при сдвиге вдоль направления 0°, $\mu_0$ , Па	0,144
Предел прочности при сдвиге вдоль направления 90°, $\mu_{90}$ , Па	0,125
Удельный вес $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	1890
Модуль упругости при растяжении вдоль направления 0, $E_{v2}^0$ , Па;	$220 \cdot 10^8$
Модуль упругости при сжатии вдоль направления 0, $E_{-v}^0$ , Па	$166 \cdot 10^8$
Модуль упругости при растяжении вдоль направления 90, $E_v^{90}$ , Па;	$190 \cdot 10^8$
Модуль упругости при сжатии вдоль направления 90, $E_{-v}^{90}$ , Па	$220 \cdot 10^8$
Предел прочности в направлении $\pm 45^\circ$ $\tau^{\pm 45}$ , Па	$25 \cdot 10^5$
Толщина монослоя, $\delta^1$ м;	$25 \cdot 10^{-5}$

Таблица 3– Рецептuru связующего ЭДТ-69Нм

Наименование компонентов	Роль компонента в связующим	Массовая доля компонентов связующего
Смола эпоксидная ЭД-22	Основной олигомер	100
Триэтаноламинотитанат	Отвердитель	10
Триэтиламин	Катализатор	0,25
Аэросил	Тиксотропный агент	2,5
ДЭГ-1	Пластификатор	10
Эпоксикон 800 (110А)	Коллер	5

Наиболее эффективным и оптимальным методом получения (рисунок 2) приборной панели является метод инфузии, который позволяет повысить качество производимых панелей, а также сократить трудоемкость технологического процесса по сравнению с ручной выкладкой препрега [9].

Метод вакуумной инфузии основан на применении вакуума для пропитки армирующего материала связующим. Суть метода заключается в следующем: материалы будущего композита выкладываются в сухом виде в оснастку, затем накладывается вакуум, до ввода смолы. Как только достигается полный вакуум, смола засасывается в ламинат по специальным трубкам. Данный метод широко применяется для малосерийного производства деталей, как небольших, с площадью поверхности в несколько квадратных метров, так и крупных, таких как корпуса судов и обтекатели самолетов.

Преимущества метода [9]:

- значительное снижение эмиссии стирола при работе со смолами;
- возможность изготовления крупногабаритных изделий;
- снижение количества отходов;
- низкая стоимость материалов и оборудования;
- улучшение соотношения армирующего материала и смолы (повышение прочности и лёгкости изделия).

За счёт снижения доли смолы в ламинате, достигается снижение температуры экзотермического пика, а, следовательно, поверхность изделия меньше подвержена деформации. Метод позволяет прогнозировать и точно вычислять какое количество смолы будет использовано. В то время, как при ручном формовании количество использованной смолы зависит от человеческого фактора [9].



Рисунок 2 – Технологическая схема процесса инфузии

Это очень важно, в особенности, при формировании крупных деталей. Общий расход и отходы смолы значительно ниже, и как следствие изделие дешевле.

### **Литература:**

- 1. Чернин И. З., Смехов Ф. М., Жердев Ю. В. Эпоксидные полимеры и композиции.** – М. : Химия, 1982. – 232 с.
- 2. Современные композиционные материалы/ под редакцией В. А. Алексева** – М.: мир, 1970. – 672 с.
- 3. Калинин В. А., Макаров М. С. Намотанные стеклопластики.** – М.: Химия, 1986. – 272 с.: ил.
- 4. Барашков Н. Н. Полимерные композиты: получение, свойства, применение** – М.: Наука, 1984. – 128 с.
- 5. Композиционные материалы: учебное пособие. Часть I/Л. М. Аникеева, В. Б. Маркин** – АГТУ им. И. И. Ползунова. – Барнаул: из-во АлтГТУ, 1997. – 130 с.
- 6. Связующие для стеклопластиков/ под ред. Н. В. Королькова.** – М.: Химия, 1975. – 160 с.
- 7. Стеклопластики/ под ред. Ф. Моргана.** – М.: Издательство иностранной литературы, 1961. – 305 с.
- 8. Зеленский Э. С., Куперман А. М. и др. Армирование пластики – современные конструкционные материалы.**//Российский химический журнал (Журнал российского химического общества им. Д. И. Менделеева), том XIV – 2001. - №2, с. 56-73.
- 9. Технические свойства полимерных материалов: уч-справ. пос./ В. К. Крыжановский, В. В. Бурлов, А. Д.Паниматченко, Ю. В. Крыжановская.** – СПб., изд-во Профессия, 2003. – 240 с.

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ РУЛОННОГО КРОВЕЛЬНОГО И ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО БИТУМНО-ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ**

**Капитоненко Е. Л.** – студент группы ПКМ-91, науч. рук. **Головина Е.А** – доцент, к.т.н.

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул*

### **Введение**

Кровля является верхним покровом крыши, предохраняющим здания и сооружения от проникания атмосферных осадков.

В крыше как в никаком другом элементе здания существует жёсткая взаимосвязь "конструкция – материал". Архитектурное решение крыши очерчивает круг возможных материалов для устройства кровельного покрытия; конструкция и материал в свою очередь определяют технологические и эксплуатационные свойства кровельного покрытия: трудоёмкость устройства, долговечность и простоту ремонта, а также его декоративные качества [1].

Кровли должны быть водонепроницаемыми, водостойкими, морозоустойчивыми, непродуваемыми, термостойкими и настолько прочными, чтобы противостоят нагрузкам от снега и механическому воздействию при очистке и ремонте

Во многих случаях применяются рулонные кровельные гидроизоляционные материалы, которые определяют долговечность зданий и сооружений.

К преимуществам всех рулонных материалов можно отнести то, что они быстро

монтируются, легко транспортируются, обладают сравнительно небольшим весом и создают изоляционный слой с необходимой гарантированной толщиной, а также дают возможность придания эстетического вида кровле.

К недостаткам рулонных кровельных материалов относится большое количество нахлестов и швов при монтаже кровельного ковра, невысокая устойчивость к снеговым и ветровым нагрузкам в случае некачественного монтажа, а также недолговечность традиционных материалов и основ.

#### **Требования к рулонному кровельному материалу**

Основными требованиями, предъявляемыми к материалам для устройства кровли являются: надежность, долговечность, влагонепроницаемость, гибкость, бесшумность, устойчивость к перепадам температуры и легкость в монтаже.

Традиционно в строительстве применяются рулонные кровельные материалы, имеющие основу. К кровельным материалам, имеющим основание, относятся: пергамин, рубероид, рубероид наплавляемый, гидроизол, стеклорубероид, и другие менее распространенные материалы.

Основанием этих строительных материалов служат такие материалы, как строительный картон, бумага, алюминиевая фольга, стеклоткань, полиэстер, стеклохолст [2].

В зависимости от вида вяжущего рулонные кровельные материалы подразделяются на битумные и битумно-полимерные.

#### **Битумные рулонные материалы**

Битумные рулонные материалы использовались в нашей стране на протяжении многих десятков лет, причем наиболее широкое распространение получили материалы на основе картона, пропитанного битумом. Их популярность обусловлена невысокой стоимостью и универсальностью как на кровлях, так и для устройства гидроизоляции [3].

Основной недостаток битумных рулонных материалов – высокая степень водопоглощения и невозможность получения абсолютно герметичного стыка полотнищ, поэтому битумные кровли делаются многослойными (3–4 слоя).

Вода, проникающая в сам материал через негерметичные стыки верхнего слоя, накапливается в пустотах между слоями и при замерзании расширяет имеющиеся микротрещины, нарушая герметичность кровли.

В соответствии с российскими строительными нормами кровля должна служить до первого ремонта не менее 5 лет. Реальный срок службы кровли до первого ремонта не превышает, как правило, 2–3 лет [2].

Еще не так давно самым доступным и дешевым материалом был рубероид. Однако, как показала практика, механические свойства рубероида совершенно не соответствуют российским климатическим условиям: он трескается при сгибании уже при +5 °С, а его теплостойкость не превышает +50 °С.

Другим видом воздействия является ультрафиолетовое излучение и озон, которые активизируют процессы старения, приводят к коксованию и растрескиванию поверхности материала. Через трещины попадает влага, под воздействием которой разрушается картонная основа рубероида. В результате через 3–5 лет вместо защитного покрытия образуется пропитанная водой смесь из битума и целлюлозы [2].

#### **Битумно-полимерные кровельные рулонные материалы**

Новым этапом развития рулонных кровельных материалов стало применение в составполимеров, в качестве модификаторов. При производстве этих кровельных материалов применяются модификаторы битума (специальные полимеры и каучуки), которые позволяют в значительной степени нивелировать недостатки присущие традиционным битумным материалам [3].

Полимерные добавки позволяют расширить интервал рабочих температур битума (снижая температуру хрупкости и повышая температуру размягчения) и обеспечивают



сохранение эластичности вяжущего длительное время (т.е. повышают долговечность материала).

В настоящее время для модификации битума используют, в основном, термоэластопласт атактический полипропилен (АПП) – побочный продукт при производстве полипропилена, по внешнему виду и свойствам напоминающий невулканизированный каучук, и синтетические каучуки, в частности, стирол-бутадиен-стирольный (СБС).

По сравнению с обычным окисленным битумом битумы, модифицированные АПП, характеризуются высокой теплостойкостью, хорошей гибкостью на холоде (до  $-20^{\circ}\text{C}$ ) и высокой устойчивостью к атмосферным воздействиям. Битумы, модифицированные СБС, характеризуются ещё более высокой гибкостью на холоде (до  $-30^{\circ}\text{C}$ ), но они более чувствительны к ультрафиолетовому облучению, в связи с чем требуют применения защиты от солнечного света. Материалы на основе таких модифицированных битумов имеют расширенный диапазон эксплуатационных температур, повышенную долговечность и позволяют производить работы по устройству кровли из рулонных материалов при отрицательных температурах.

Положительный эффект от модификации битумного связующего в полной мере может быть реализован только в случае замены слабой и недолговечной картонной основы на более прочные и стойкие основы. Такие основы можно получить, используя стеклянные или синтетические в виде тканей, холста и нетканого полотна, а также путём дисперсного армирования короткими отрезками волокон. Ткани и нетканые волокнистые основы на базе таких волокон отличаются высокой прочностью, водо- и биостойкостью, что увеличивает долговечность и надёжность рулонных материалов на их основе.

При модификация битумов эластомерами улучшаются следующие свойства:

1) расширяется интервал эластично-пластического состояния за счет увеличения температура размягчения и снижения температуры хрупкости, увеличивается морозостойкость;

2) возникает способность к обратимым эластическим деформациям;

3) заметно повышается сопротивление деформации под действием напряжений при различных температурах;

4) уменьшается зависимость пенетрации от температуры;

5) повышается прочность и жесткость;

6) повышается растяжимость, в том числе и при низкой температуре;

7) появляется легкость монтажа на поверхности зданий и сооружений.

#### **АПП – модифицированный битум**

АПП модифицированный битум не имеет главных недостатков битумных материалов: низкой гибкости на холоде и склонности к старению. Атактический полипропилен является побочным продуктом получения изотактического полипропилена и в отличие от последнего содержит звенья различной конфигурации. Молекулы изотактического полипропилена содержат звенья, отвечающие только одной из этих конфигураций.

Атактический полипропилен – эластичный материал, похожий на каучук. Как у любого побочного продукта, свойства АПП варьируются в широком диапазоне. Поэтому он нашел применение в качестве использования в качестве добавки к битумным связующим. Сохраняя присущие битумам высокие показатели адгезии и водонепроницаемости, АПП сообщает материалам высокую стойкость к ультрафиолетовому излучению и высокую теплостойкость (выше  $120^{\circ}\text{C}$ ), таблица 1. [3].

АПП относится к пластомерам, поэтому АПП модифицированные материалы имеют эластичность и гибкость на холоде (до  $-15^{\circ}\text{C}$ ) ниже, чем у СБС материалов. Сгибание их при укладке на сильном морозе может привести к образованию сетки мелких трещин.

#### **СБС – модифицированный битум**

СБС модификатор – высокоэластичный полимер, который придает битумам хорошую

гибкость при низких температурах. СБС покрытия обладают отличной адгезией и высокой устойчивостью к резким перепадам температур (с переходом через 0 °С). Кроме того, СБС материалы являются высокоэластичными, морозостойкими, а также легко повторяют форму той поверхности, на которую они укладываются.

Таблица 1 – Характеристика битума, без модификации и модифицированного атактическим полипропиленом

Показатели без модификации/ с модификацией	Количество АПП в битуме %				
	2,5	1,8	2,2	2,0	2,0
Пенетрация, 0,1 мм при 25 °С	75/60	67/64	61/81	95/76	85/72
	17/28	20/25	12/25	20/24	16/32
Температура, °С					
размягчения	43/50	41/45	44/51	44/47	44/46
хрупкости	-15/-30	-16/-24	-9/-19	-16/-23	-9/-20
Индекс пенетрации	-2,2/0,1	-1 , 9/-0 , 8	-1,6/0,9	-1,3/-0,9	-1,5/-1,6

СБС – модифицированная кровля больше подходит для сибирских климатических условий, так как устойчива к суточным перепадам температуры через с положительной на отрицательную. Часто в зимний период в нашей стране днём бывает плюсовая температура, а к ночному времени далеко за минус.

Наиболее важным эффектом введения СБС–модификатора является уменьшение температуры хрупкости, изменение которой в зависимости от соотношения компонентов представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Температура хрупкости, °С

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-14	-15	-16	-17	-18	-20	-24	-28	-31	-35	-40

Температура хрупкости – это температура, при которой материал разрушается под действием кратковременно приложенной нагрузки. На практике температуру хрупкости определяют на брусе радиусом 10 мм [4].

По результатам эксперимента был построен график представленный на рисунке 1.

Температура хрупкости остается практически нечувствительной к содержанию вплоть до 5% полимера. Промежуток между 3-5% полимера может рассматриваться как переходный к структуре полимер-битум, когда в отличие от первого типа (битум-полимер) средой становится полимер. При значительном содержании полимера начинается резкое снижение температуры хрупкости БМП (на 8,5 °С при содержании в битуме 7% полимера и на 17,5 °С при 10% полимера).

#### **Бронирующая посыпка**

В материалах на основе стеклоткани и полиэстера для защиты от солнечного излучения применяются бронирующие посыпки из цветной пластмассовой или специально приготовленной и окрашенной минеральной (сланцевой, керамической) крошки. Такие бронирующие посыпки более надёжны, чем традиционные песок, слюда и придают декоративность материалу [4].

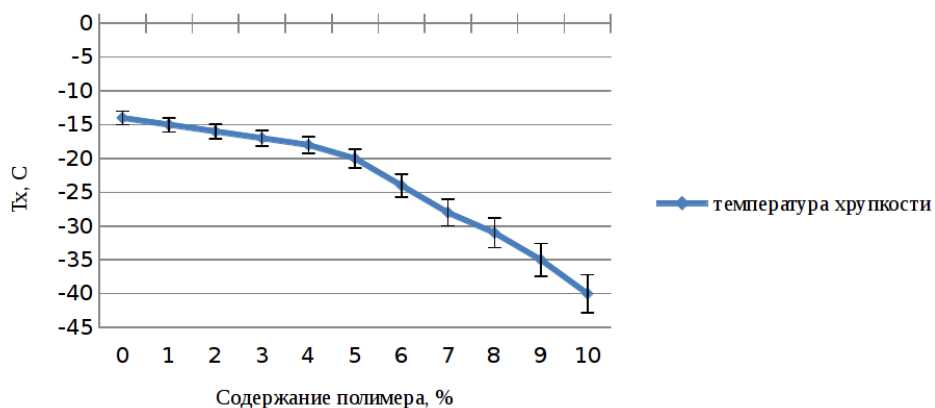


Рисунок 1 – Зависимость температуры хрупкости от содержания СБС модификатора

### Технологический процесс производства

Рулонный кровельный материал изготавливается путем протягивания стекловолоконной основы через пропиточные ванны, заполненные расплавленным модифицированным битумом и систему отжимных и тянущих валков. Модифицированный битум представляет собой расплав углеводородов разогретых до 160-180 °С с сеткообразующим СБС каучуком.

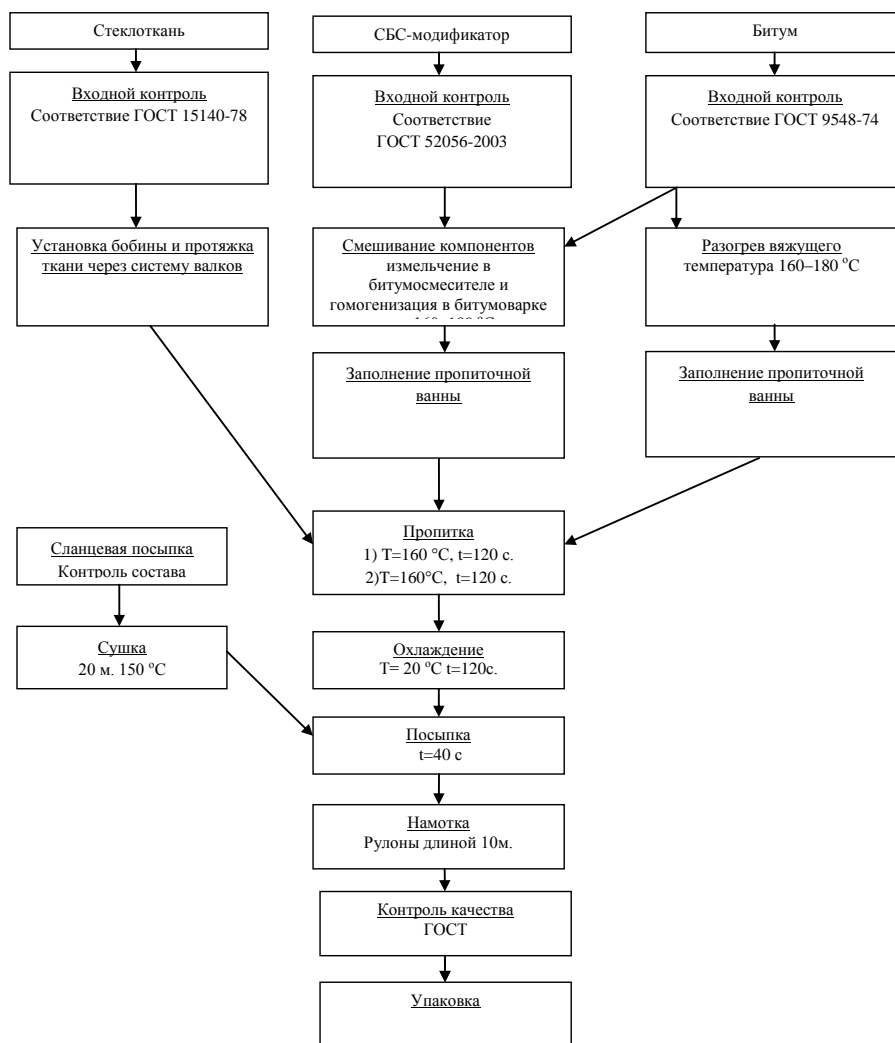


Рисунок 2 – Технологический процесс производства

Для производства материала используются следующее основное оборудование и оснастка: битумосмеситель, битумоварка, пескосушилка, пропиточная линия, стол намотки.

Компонентами готового материала являются:

- 1) стеклоткань;
- 2) битум;
- 4) СБС каучук;
- 5) минеральная посыпка.

Технологический процесс производства представлен на рисунке 2.

#### **Выводы**

Проведено исследование рулонных кровельных материалов на основе СБС и АПП модифицированных битумов и разработан технологический процесс производства рулонного кровельного материала с применением СБС модификатора.

СБС модификатор позволяет улучшить морозостойкость материала до минус 40 °С, в результате двухстадийной пропитки происходит образование прочного, надежного, относительно недорогого кровельного материала, устойчивого к резким перепадам температур.

С целью улучшения устойчивости к солнечной радиации наносится сланцевая посыпка, также она препятствует адгезии слоев в рулоне.

#### **Литература**

1. **Мельников, И. С. Кровельные материалы** [Текст] / И.С. Мельников. – Москва: Наука, 2003. – 105 с.
2. **Поконова, Ю. В. Нефтяные битумы** [Текст] / Ю.В. Поконова. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская издательская компания, 2005. – 154 с.
3. **Красовский, П.С. Практикум по строительным материалам** [Текст] / П.С. Красовский. – Хабаровск: – Издательство ДВГУПС, 2012. – 152 с.
4. **Гохман, Л.М. Битумы, Полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетоны** [Текст] / Л.М. Гохман. – Москва: – Издательство Экон, 2008. – 81 с.

## **БАМПЕР АВТОМОБИЛЯ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА**

**Кухарикова М.А.** – студентка группы ПКМ-01, науч. рук. **Головина Е.А** – доцент, к.т.н.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Бампер – это энергопоглощающее устройство автомобиля в виде бруса, расположенного спереди, призванного предохранить его от больших повреждений при незначительных дорожно-транспортных происшествиях.

Бампер – важная деталь в автомобиле, которая гарантирует определённую безопасность водителю и пассажирам. Традиционно бамперы бывают металлическими и пластиковыми. И современным автомобилям они кроме защитной функции дают ещё и элемент эстетики, так как делают формы кузова автомобиля более плавными и изящными.

Развитие автомобилестроения в мире протекает по трем ключевым категориям дизайн, комфорт и безопасность. Именно по этим направлениям развивается автопромышленность. Как театр начинается с вешалки, так автомобиль начинается с бампера. Бампер первое в интерьере автомобиля, на что обращают внимание. Поэтому производители идут любые ухищрения, и новые разработки что бы придать бамперу авто персональный вид.

Бампер передний и задний – лицевая часть кузова авто. Его функция – предохранение машины, водителя, от повреждений. В настоящее время на смену металлическим бамперам пришли пластиковые. Этому есть несколько причин. Во-первых дутые пластмассовые бампера смотрятся более эстетично. Во-вторых - они менее травмоопасны чем металлические и позволяют при ДТП нанести меньший вред здоровью пешеходов и других людей, находящихся вне автомобиля (велосипедисты, мотоциклисты).

На современных российских автомобилях так же устанавливают пластиковые бамперы. Наши автопроизводители пошли по пути зарубежных коллег и уже более 15 лет ставят на свои машины именно пластиковые бамперы.

Испытания показали ряд преимуществ пластиковых бамперов над металлическими. Во-первых, пластиковые бамперы дешевле металлических и удешевляют стоимость машины. Во-вторых, пластиковые бамперы легче металлических, что делает легче сам автомобиль и позволяет экономить горючее. Но главное, что пластиковые бамперы для автомобилей хоть и более хрупкие, но являются более предпочтительными с точки зрения безопасности. Ведь при большинстве ДТП, бампер - это первая кузовная деталь, которая берет на себя удар. Если бампер металлический, то он передаёт инерцию удара на кузов автомобиля и на водителя. В отличие металлического, пластмассовый бампер выступает в роли буфера безопасности. При ударе он не оказывает сопротивление, а складывается, гася энергию удара. Такой бампер при ДТП серьёзно ломается, в отличие от металлического, но он реально спасает жизни водителя, пассажиров и пешеходов, а так же, защищает остальные детали машины.

Хоть пластиковый бампер значительно более хрупок, чем металлический, но часто он выдерживает удар и не ломается, а лишь вминается внутрь.

Но главным недостатком пластмассового бампера является его низкая удароустойчивость. Для решения данной проблемы проводятся исследования в области производства бамперов из других материалов. Одним из альтернативных материалов для создания бампера может служить углепластик.

Углепластик сравнительно новый класс ПКМ получил в последние годы наиболее интенсивное развитие благодаря своим уникальным свойствам, а именно: высоким значениям прочности и жесткости, низкой плотности, химической инертности, тепло- и электропроводности, высокой усталостной прочности, низкой ползучести, низким значениям коэффициента линейного термического расширения, высокой радиационной стойкости.

Углеродные волокна карбона на растяжение также хороши, как сталь, но вот при сжатии демонстрируют меньшую прочность. Решением данной проблемы стало их сплетение в углепластиковое волокно.

При этом углепластик легче, чем сталь на 40%, легче алюминия на 20% и, конечно же, легче чем пластик.

Углепластик, собранный из углерода и кевлара, хоть и немного тяжелее, чем резина с углеродом, имеет намного большую прочность, а при ударах трескается, крошится, но не разбивается на части. Это очень важно при изготовлении бампера, так как при ДТП он воспринимает ударные нагрузки, и в целях безопасности должен не терять целостности.

Для сравнения свойств и характеристик металлических бамперов и бамперов, изготовленных из углепластика, воспользуемся программой SolidWorks. С помощью данной программы был спроектирован бампер по определенным размерам (рисунок 1).



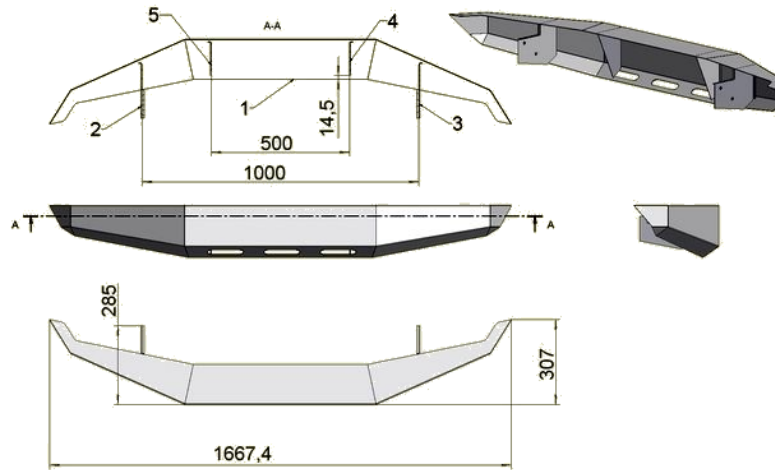


Рисунок 1 – Чертеж бампера с основными размерами

Закрепление производится четырьмя болтами, в месте специального крепления. Нагружение производилось, как если бы произошел удар о стену при скорости движения 80 км/час. На рисунках 2, 3, 4, 5 отображены напряжения и смещения, возникающие в металлическом бампере и бампере из углепластика.

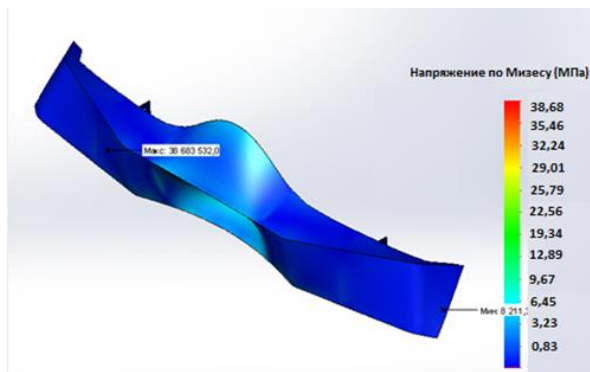


Рисунок 2 – Распределение напряжений в металлическом бампере

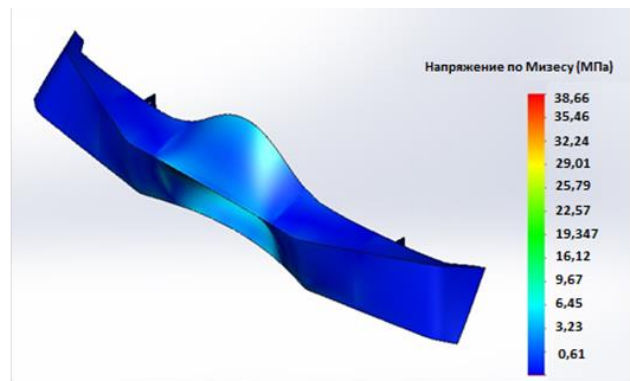


Рисунок 3 – Распределение напряжений в бампере из углепластика

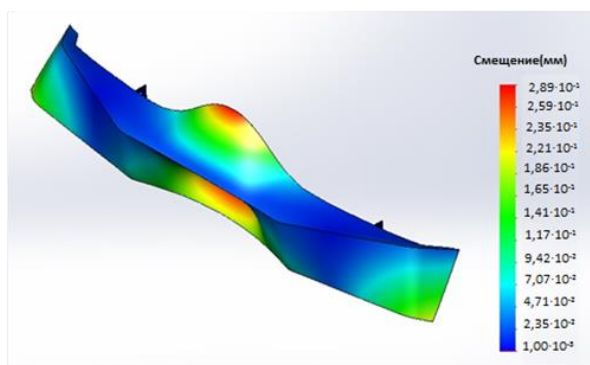


Рисунок 4 – Смещения в металлическом бампере

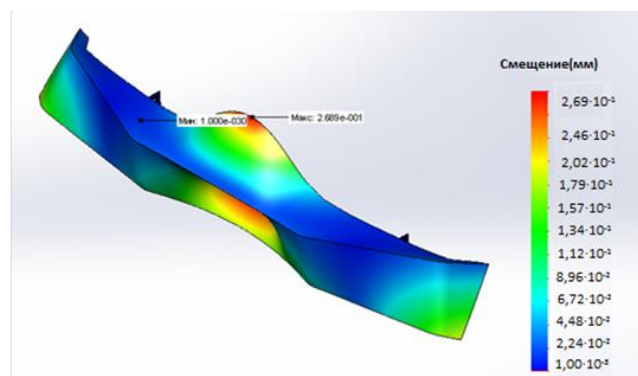


Рисунок 5 – Смещения в бампере из углепластика

Рассмотрев напряженно-деформированное состояние бампера, можно сделать вывод о том, что напряжения и металлическим и углепластиковом бампере не превышают

критических, и практически не отличаются друг от друга. Смещения также имеют небольшую разницу. Значительная разница наблюдается по такому параметру, как масса конструкции. Масса металлического бампера составляет 17,63 кг, в то время как масса бампера из углепластика всего 3,51 кг. Этот факт составляет большое преимущество углепластика, так как масса играет немаловажную роль при производстве автомобилей, так как лишняя масса «замедляет» скорость.

Также, сравнивая металлический и углепластиковый бампер, необходимо обратить внимание на то, как материал воспринимает ударные нагрузки и как при этом разрушается. Как уже было сказано, металлический бампер не гасит удар, а передает его на кузов и водителя, в то время как углепластиковый выступает в роли буфера, что при аварии спасает жизни водителей, пассажиров и пешеходов.

К недостаткам бампера из углепластика можно отнести, во-первых, высокую стоимость материала, во-вторых, сложность в ремонте, или даже невозможность восстановления в некоторых случаях. Однако углепластик в состоянии выносить очень высокие нагрузки, поэтому вероятность получения повреждений невысока.

Делая вывод, необходимо отметить, что главным преимуществом бампера из углепластика является превосходство по массе (он легче металлического в пять раз), что уменьшает вес конструкции автомобиля в целом. Также углепластик намного лучше воспринимает и гасит ударные нагрузки, что особо важно при дорожно-транспортных происшествиях, неотъемлемо случающихся на дороге. Недостаток углепластика в высокой цене компенсируется его легкостью и безопасностью.

#### **Список использованной литературы:**

1. Композиционные материалы [Текст]: справочник/В.В.Васильев, В.Д.Протасов, В.В.Болотин и др.; Под общ. ред. В.В.Васильева, Ю.М. Тарнапольского. - М.Машиностроение, 1990. - 512 с.
2. Справочник по композиционным материалам [Текст]: в 2-х кн. Кн. 2./ Под ред. Дж. Любина. Пер. с англ. А. Б. Геллера и др. Под ред. Б. Э. Геллера. – М.: Машиностроение, 1988. – 584 с.
3. Механика разрушения композиционных материалов [Текст]: Фудзии Т., Дзако М.– Пер. с японск.– М.: Мир, 1982.–232с., ил.
4. [http://www.vorcuta.ru/auto-articles\\_bamper.htm](http://www.vorcuta.ru/auto-articles_bamper.htm)
5. [http://amastercar.ru/articles/body\\_of\\_car\\_5.shtml](http://amastercar.ru/articles/body_of_car_5.shtml)
6. <http://www.drive2.ru/l/1619758/>

## **ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕПЛАСТИКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛАНЖЕРОНА КРЫЛА САМОЛЕТА**

**Пойдин Е.Е.– студент группы ПКМ-01, науч. рук. Головина Е.А – доцент, к.т.н.**

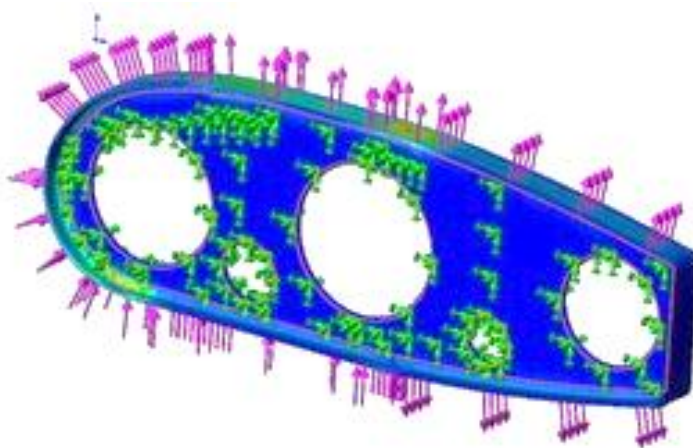
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Лонжероны, как основные силовые элементы крыла и оперения, в значительной степени определяют прочность, жесткость и ресурс крыла самолета в целом. Многообразие расчетных схем и вариантов конструктивного выполнения лонжеронов существующих самолетов отражает различие условий нагружения и работы этих силовых элементов.

Основным фактором, который определяет схему, применяемые материалы, конструктивное выполнение и форму поясов, тип стенки и степень ее подкрепления лонжеронов минимальной массы, является интенсивность воспринимаемой лонжероном

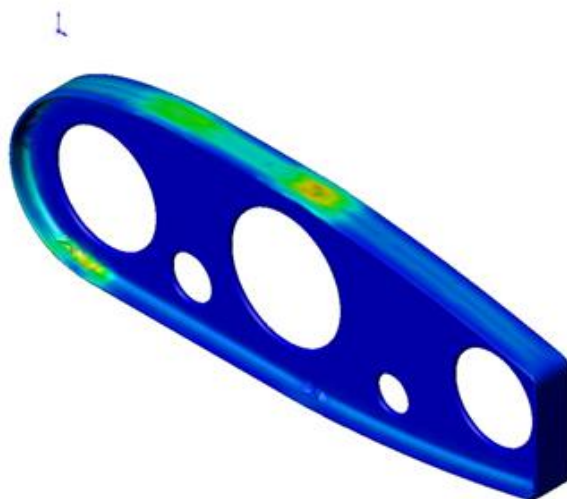
нагрузки.

Лонжерон крыла современного пассажирского и транспортного самолета представляет собой, как правило, сборную тонкостенную балку, регулярная часть которой состоит из поясов и стенки. Стенка может быть подкреплена стойками. К зонам нерегулярностей относятся стыковые узлы, зоны навески двигателей и элементов управления, агрегатов различных систем, вырезы в стенках.



Основным материалом при создании несущих конструкций используют специальный алюминиевый сплав под названием “Авиаль”. В данной работе было спроектировано лонжерон из углепластика, плотность которого практически в 2 раза ниже плотности алюминиевого сплава. Масса лонжерона сделанного из углепластика составляет 116,5 кг, в то время как масса лонжерона изготовленного из алюминиевого сплава составляет 235 кг.

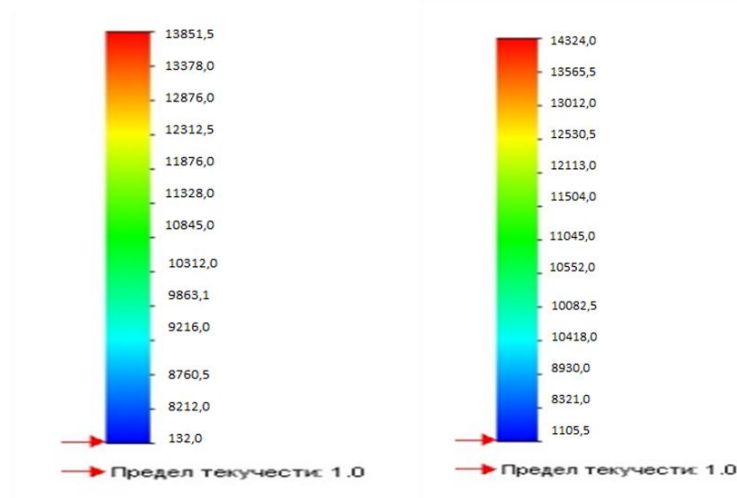
Сравним как лонжероны, сделанные из (Авиаль) и (Углепластика) переносят напряжения



Вывод: Исходя из результатов полученных при проведении данной работы мы видим незначительную разницу между в устойчивости к напряжениям, углепластик уступает около 200-300 н/м<sup>2</sup>, хотя масса лонжерона изготовленного из «Авиаль» в двое больше лонжерона изготовленного из углепластика.

Напряжения на лонжерон в Н/м<sup>2</sup>

Углепластик Авиаль



**Литература:**

1. Василевский Е.Т. Современные методы исследования напряжённо-деформируемого состояния планера самолёта / Е.Т. Василевский, О.В. Шутовский
2. Егер С.М. Проектирование самолетов: учеб. для студентов авиационных ВУЗов / С.М. Егер. – М.: Машиностроение,
3. Евсеев Л.А. Расчет на прочность крыла большого удлинения: учеб. пособие / Л.А. Евсеев. – Х.: ХАИ

**ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕПЛАСТИКОВЫХ ШПАЛ ДЛЯ СТАЦИОННЫХ И ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЕЙ**

Просяник В.С. – студентка группы ПКМ-01, науч. рук. Головина Е.А – доцент, к.т.н.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

С 1970-х в нашей стране приобрели популярность шпалы из напряжённого железобетона, наиболее удачным их использование оказалось строительство бесстыкового пути.

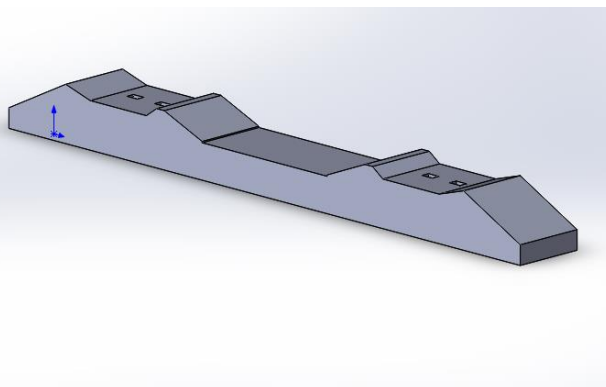
Железобетонные шпалы представляют собой железобетонные балки переменного сечения. На таких балках имеются площадки для установки рельсов, а также отверстия под болты рельсошпальной скрепления (при забивании в отверстия деревянных пробок используются также костыльные и шурупные соединения).

Технология изготовления железобетонных шпал следующая: в специальную форму помещаются струны арматуры, которым придаётся натяжение (в зависимости от назначения шпалы, обычно 180 атм.), форма заполняется бетоном и уплотняется вибрацией. Затем форма разбирается, отправляется в пропарочную камеру, где бетон затвердевает, после чего напряжение со струн передают на бетон и форма переворачивается (кантуется). Такой способ изготовления шпал придаёт им упругости и предохраняет шпалу от раскола под подвижным составом.

Достоинства железобетонных шпал в том, что практически неограниченный срок

службы вследствие высокой механической прочности и неподверженности гниению, это обуславливает возможность повторного использования шпал, а также использования на грузонапряжённых участках пути.

Недостатками железобетонных шпал являются: недостаточная жёсткость, большая стоимость и вес, а так же возможность усталостного разрушения бетона.



Материалом для изготовления шпал является тяжелый бетон по ГОСТ 26633 класса по прочности на сжатие В40 и имеющий следующие характеристики:

- фактическая прочность бетона (в проектном возрасте, передаточная и отпускная) должна соответствовать требованиям ГОСТ 13015.0.
- нормируемую передаточную прочность бетона следует принимать равной 32 МПа (326 кгс/см<sup>2</sup>).
- отпускную прочность бетона принимают равной передаточной прочности бетона.
- марка бетона по морозостойкости должна быть не ниже F200.
- для бетона шпал следует применять щебень из природного камня или щебень из гравия фракции 5-20 мм по ГОСТ 10268.

- в качестве арматуры шпал следует применять стальную проволоку периодического профиля класса Вр диаметром 3 мм по ГОСТ 7348 и ТУ 14-4-1471-87. Вес-270 кг

Если рассмотреть современные материалы, то альтернативой железобетона является пластик. Чтобы сравнить их прочностные и деформативные характеристики и определить оптимальный материал для изготовления шпал, в программе SolidWorks была спроектирована конструкция пути.

Конструкция шпалы рассчитана на рельс двухосного вагона с давлением на колесо 6 тс (60 кН) и четырехосного с давлением на колесо 5,5 тс (55 кН).

В расчетах шпалы на прочность принято максимальное вероятное значение давления рельса на шпалу, равное наибольшему эксплуатационному плюс 2,5 среднеквадратических отклонения. Наибольшее эксплуатационное значение указанного давления имеет место при стечении следующих обстоятельств: рельс с износом, смежные шпалы в процессе эксплуатации выведены из строя, вагон движется со скоростью 80 км/ч. В этих условиях нагрузка на прочность шпалы составляет 7 тс (70 кН).

При расчетах шпалы на трещиностойкость принято наибольшее эксплуатационное значение давления, наиболее часто повторяемого в эксплуатационных условиях, равное 5,6 тс (56 кН).

Шпалы рассчитаны также на нагрузку безрельсовым транспортом, передаваемую через конструкцию дорожного покрытия на среднюю часть шпалы при применении в закрытых путях.



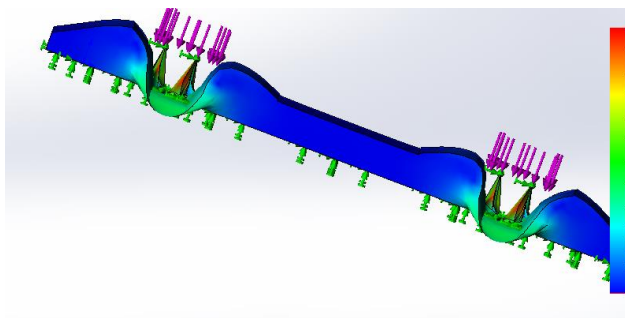


Рисунок 1 - Распределение напряжений шпалы из железобетона

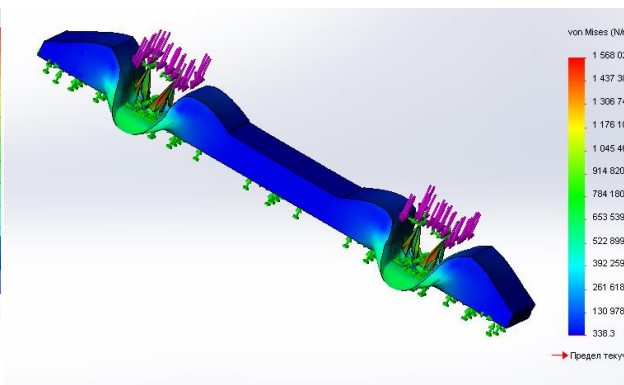


Рисунок 2 - Распределение напряжений шпалы из пластика

На некоторых скоростных железных дорогах Японии уже с 1990-х годов начали укладывать пластиковые шпалы.

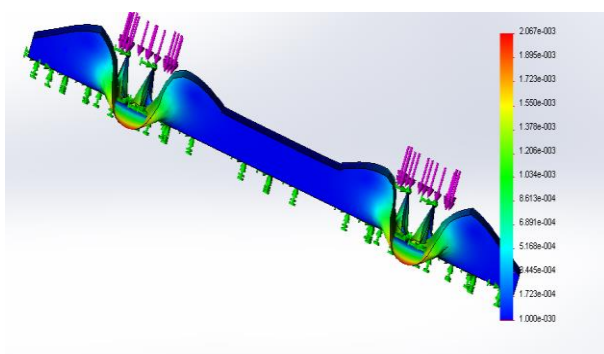


Рисунок 3 – Перемещения в шпале, выполненной из железобетона

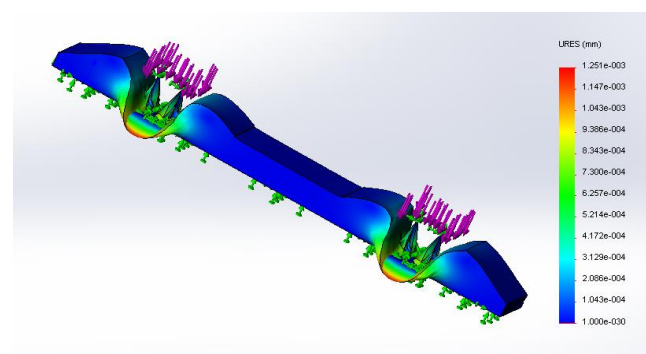


Рисунок 3 – Перемещения в шпале, выполненной из пластика

Анализ напряженно-деформированного состояния шпалы можно представить в виде таблицы:

Материал	Масса, кг	Напряжение, ГПа		Смещение, мм	
		$\sigma_{\min}$	$\sigma_{\max}$	$\Delta l_{\min}$	$\Delta l_{\max}$
Железобетон	270 кг	0,1	1,6	1	1
Пластик	67 кг	0,003	1,56	2	1,2

Данная модель шпал отличается рельефной нижней поверхностью, которая обеспечивает повышенное сопротивление поперечному сдвигу в кривых. Срок службы таких шпал рассчитан на 40 лет что позволит снизить экологическую нагрузку на окружающую среду от железобетонных и деревянных шпал, пропитанных креозотом. Пластиковые шпалы увеличивают не только срок службы шпал, но сохраняют лесонасаждения, поскольку 1 км железнодорожного полотна из пластиковых шпал позволяет сберечь до 470 деревьев, обеспечивают повторное использование пластмассы пластиковых шпал после их переработки, а так же использовать для установки шпал отечественное оборудование, применяемое для установки деревянных шпал.

Таким образом основными достоинствами пластиковых шпал в сравнении с деревянными и железобетонными являются:

- долговечность (пластмассовые шпалы практически не изнашиваются);
- низкая стоимость в расчете на весь срок службы;
- экологически безвредны для окружающей среды;



- возможность вторичной переработки и утилизации;
- вес: 67 кг 1 шт.

### **Список используемой литературы:**

1. Армированные пластики: современные конструкционные материалы, Э. С. Зеленский, А. М. Куперман, Ю. А. Горбаткина, В. Г. Иванова-Мумжиева, А. А. Берлин
2. ГОСТ 21174-75 Шпалы железобетонные предварительно напряженные для трамвайных путей широкой колеи
3. <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D8%EF%E0%EB%FB>

## **СРАВНЕНИЕ РАДИАТОРА ИЗ ЧУГУНА С РАДИАТОРОМ ИЗ СТАЛИ**

**Стругова А.А. – студентка группы ПКМ-01, науч. рук. Головина Е.А – доцент, к.т.н.**

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Трудно найти человека, для которого радиаторы отопления чугунные были бы чем-то незнакомым. Прошлый век был пиком их популярности. На чугунные батареи отопления возлагалась особая роль - и это был не просто обогрев помещений, а еще и разморозка мяса, сушка постиранного белья, прохудившихся ботинок, пр. Настоящий многофункциональный тепловой агрегат.

То, что первому чугунному радиатору уже давно перевалило за сотню лет известно немногим. Он пережил две революции и мировые войны - и до сих пор успешно выполняет свою функцию. Изобрел устройство русский немец с итальянскими корнями Франц Сан-Галли. Местом рождения чугунного радиатора стал Санкт-Петербург.

В 1855 году Франц Карлович представил миру революционную на тот момент отопительную систему, подразумевающую использование радиатора. Производство чугунных радиаторов стремительно набирало обороты, параллельно обогащая самого инженера. Считается, что активно использовать чугунных агрегаты россияне стали в 1888 году.

Чугунные радиаторы начала двадцатого века уже походили на современные, активно украшались литьем.

В последние годы, мода на чугун вернулась вновь. Ведь лучшие его качества неизменны — это надежность, долговечность, коррозионная устойчивость. Секционные радиаторы изготавливают методом литья. Тепловой поток, который обеспечивает одна секция при дельте температур между теплоносителем и окружающим воздухом в 70 °С – 160 Ватт. Максимальное рабочее давление изделия - 0,9 МПа, что соответствует 9 атмосферам.

Чугунный сплав характеризуется однородностью состава.

Предназначаются они для использования в системах автономного и централизованного отопления. Производители неустанно расширяют цветовую палитру приборов. Серебро и золото, медь и бронза, фиолетовый и зеленый тона - сегодня это уже не диковинка.

В последние годы необычайно популярными стали репродукции старинных моделей - это радиаторы, дизайн которых повторяет давние образцы. Их украшают художественным литьем, комплектуют соответствующей арматурой. Подобные чугунные радиаторы отопления могут элегантно и изысканно облагородить ваш интерьер.



Преимущества чугунных батарей заключаются в следующем:

- Устойчивость к коррозии. Чугун - материал практически не корродирующий. Такие радиаторы спокойно выдерживают температуру равную 150 градусам: собственно, благодаря чему и существует возможность применять их в паровых отопительных системах.
- Невосприимчивость к плохому качеству теплоносителя. Ни камешки, ни частицы ржавчины, ни даже сильно щелочная среда с «зашкаливающим» рН не способны вызвать существенных повреждений внутренностей радиатора.
- Большая толщина стенок (5 - 6 мм). Это один из основополагающих факторов долговечности прибора. Радиаторы из чугуна идеально подходят для открытых систем отопления (высокое содержание кислорода) и для систем, которые периодически опорожняются. Стальные радиаторы, к примеру, в таких условиях проржавеют буквально через два сезона. Да и лопнуть они могут в самый неподходящий момент.
- Отменная теплоаккумулирующая способность. Через час после выключения остаточная теплоотдача чугунного радиатора равна 30%. Для сравнения: у стальных данный показатель значительно меньше, а именно - в два раза (15%). Это говорит о том, что чугунные батареи хороши для системы с нерегулярным нагревом.
- Большое внутреннее сечение. Чистка чугунных радиаторов требуется крайне редко.

Но всё же существуют один недостаток, это внушительный вес - Чугунные батареи необычайно тяжелые. По этому показателю они сильно проигрывают биметаллическим, стальным и алюминиевым конкурентам.

Чтобы сравнить прочностные и деформативные характеристики у чугуна и стали, и определить оптимальный материал для изготовления радиатора, в программе SolidWorks эта модель была закреплена так, как это делается в реальных условиях (за стенки верхних и нижних отверстий) и нагружена так, что бы происходило давление внутри радиатора. Ниже, на рисунках 1-4 указано распределение напряжений и смещений радиатора, выполненном из легированной стали и из серого чугуна.

Из данных исследования можно сделать вывод что радиатор из чугуна лучше претерпевает данные нагрузки, чем радиатор из легированной стали.

У радиатора из серого чугуна будет более длительный срок службы, около 50 лет при этом не требует дополнительных затрат на ремонт, поскольку чугун наиболее устойчив к высокому давлению и к воздействию различных примесей, которые входят в состав воды.

Так же если сравнивать минимальный запас прочности обнаруженный при анализе данных, у чугуна он равен 35 690 МПа, при 2460 МПа у легированной стали, что говорит так же о том что чугун более подходит для данного образца.

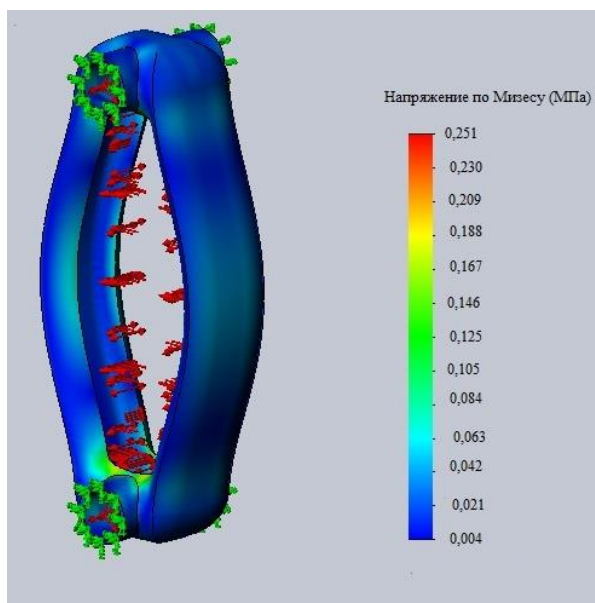


Рисунок 1 – Распределение напряжений в радиаторе из легированной стали.

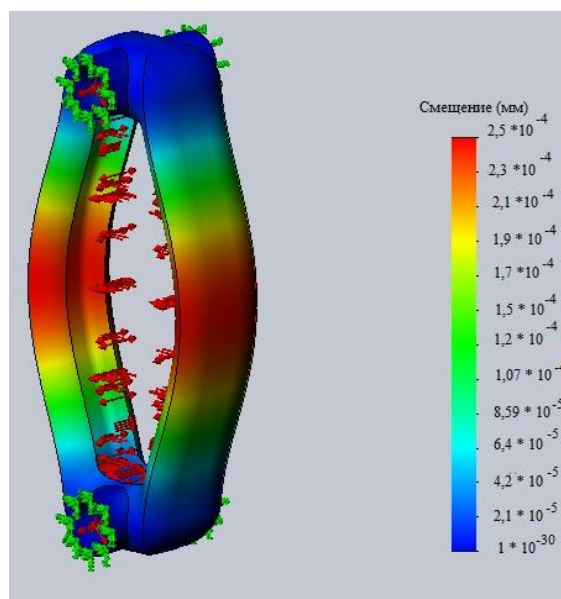


Рисунок 2 – Распределение перемещений в радиаторе из легированной стали.

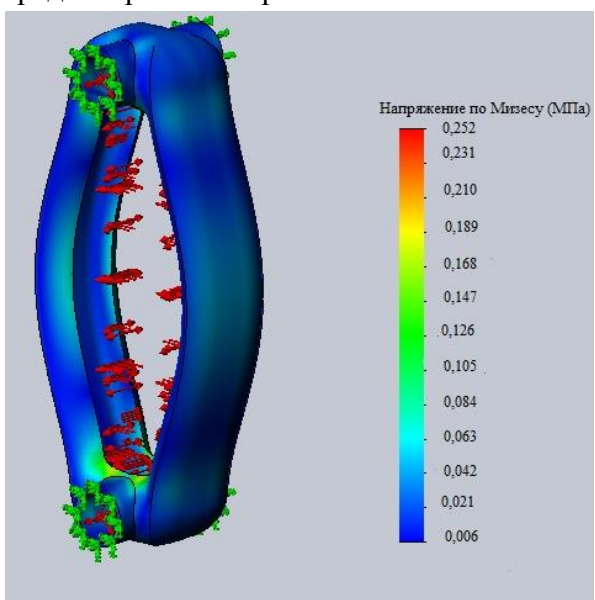


Рисунок 3 – Распределение напряжений в радиаторе из серого чугуна.

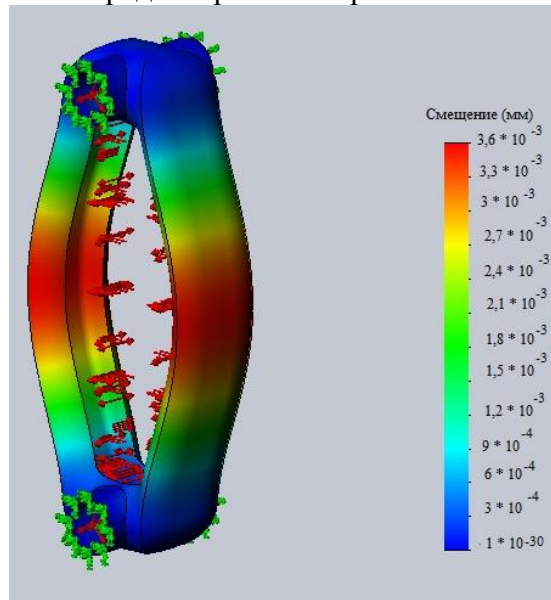


Рисунок 4 – Распределение перемещений в радиаторе из серого чугуна.

Сам чугун довольно инертен в тепловом отношении, что конечно является причиной увеличения времени разогрева, но с другой стороны, благодаря инертности чугунные батареи могут удерживать и передавать тепло воздушному пространству комнаты на протяжении значительного времени после аварийного отключения. В аналогичной ситуации стальные батареи намного быстрее перестают греть.

Немалую роль играет и стоимость чугунных радиаторов отопления, которая ниже стоимости батарей из других современных металлических сплавов. Ведь чаще всего бывает необходимо купить не один радиатор, а оснастить целый дом, иногда даже многоэтажный. Экономия в этом случае может быть ощутима.

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВАСОТОВЫХ ПАНЕЛЕЙ В ИНТЕРЬЕРЕ САМОЛЕТА

Соломенникова Т.И. - студентка группы ПКМ-91, науч. рук. Головина Е.А – доцент,  
к.т.н.

«Алтайский государственный технический университет им И.И Ползунова», г. Барнаул

Интерьер салона самолета обеспечивает безопасное и комфортное размещение экипажа в кабине самолета, а также закрывает каркас фюзеляжа и трассы различных систем.

Правильный выбор материала элементов интерьера самолета может существенно улучшить весовые и прочностные характеристики самолета, а так же снизить материальные затраты на его производство и эксплуатацию. При выборе материала учитываются его свойства:

- пределы прочности;
- теплопроводность;
- звукоизоляционные свойства;
- стоимость и дефицитность сырья;
- степень освоения в производстве;
- технологические свойства;

В современных авиационных конструкциях находят наибольшее применение высокопрочные алюминиевые, магниевые и титановые сплавы, стали, в том числе высокопрочные легированные и коррозионностойкие, а так же композиционные материалы.

Для изготовления панелей, используемых для внутренней обшивки пассажирских самолетов, применяются слоистые композиты, на основе сотовых наполнителей.

В интерьере современных пассажирских самолетов около 80% конструкций самолета выполнены из трехслойных сотовых панелей, что объясняется их довольно высокой удельной прочностью и жесткостью, по сравнению с традиционными монолитными. Это позволяет уменьшить толщину оболочек, панелей и число ребер жесткости, уменьшить массу конструкции.

Применение сотовых конструкции обусловлено их существенными преимуществами. Среди них принято выделять следующие: большая удельная прочность; высокая жесткость и устойчивость при продольном сжатии; хорошие характеристики по усталостной прочности, особенно в зонах с повышенными акустическими нагрузками; высокое качество внешней поверхности. Кроме того, сотовые конструкции обладают другими специфическими свойствами: повышенной теплопроводностью, повышенной звукоизолирующей способностью, длительной акустической стойкостью, имеют низкую массу при использовании в качестве теплоизоляции гиперзвуковых летательных аппаратов.

Выигрыш в массе при замене монолитных конструкций на сотовые с применением полимерных композиционных материалов составляет 20-40%

Структура многослойных конструкций состоит из следующих элементов: двух тонких прочных облицовочных пластин-обшивок, толстой легкой сердцевины – заполнителя, разделяющего несущие пластины и распределяющего нагрузку между ними, клеевых слоев, связывающих пластины с заполнителем и передающих нагрузку от заполнителя к облицовкам и обратно. Главными функциями несущих облицовочных материалов (листов) для сэндвичевых конструкций являются обеспечение их жесткости относительно изгиба и сдвига в плоскости пластин, а также передача нагрузок в той же плоскости. В самолетостроении чаще всего используются стекловолокнистые препреги. Стеклопластики являются одним из наиболее распространенных композиционных материалов, сочетающих высокую прочность, небольшую плотность, хорошие диэлектрические свойства и приемлемую цену.

Основной функцией заполнителя в сэндвичевых конструкциях является придание устойчивости несущим поверхностям и обеспечение передачи сдвиговых нагрузок по толщине композита. Наиболее прочным и устойчивым к повреждениям является

заполнитель на основе арамидной бумаги, который обладает уникальной способностью сохранять эксплуатационные качества при перегрузках и локальных областях без необратимых повреждений.

Причиной возникновения дефектов при изготовлении является несоблюдение технологии подготовки сырья, неудовлетворительное состояние технологического оборудования, нарушение технологии изготовления и последующей термообработки изделия. Неравномерность обогрева или охлаждения изготовленного изделия приводит к образованию поверхностных вздутий, расслоений, трещин, короблений и избыточной пористости материала.

При изготовлении конструкции из композиционного материала совершенство технологии определяется выбором оптимальных параметров технологического процесса, техническим уровнем используемого оборудования и оснастки, наличием надежных методов неразрушающего и разрушающего контроля, как самой конструкции, так и полуфабрикатов для их производства. Надежность любой конструкции определяется правильным выбором проектных данных и стабильностью технологических параметров в процессе изготовления.

На предприятии по изготовлению деталей интерьера самолета задались вопросом разработать методы контроля качества сотовых панелей, из которых изготавливается большинство деталей интерьера самолета.

Панель изготавливается методом прессования. Уже на этапе подготовки производства необходимо контролировать компоненты, оснастку, климат производственного помещения. Компоненты должны соответствовать техническим требованиям, поверхность оснастки должна быть без повреждений и загрязнений. Также необходимо контролировать температуру и влажность производственного участка.

При изготовлении детали контролируется количество слоев препрега; направление основы ткани; направление растяжки сот. И такие технологические параметры как температура прессования, давление, продолжительность режима.

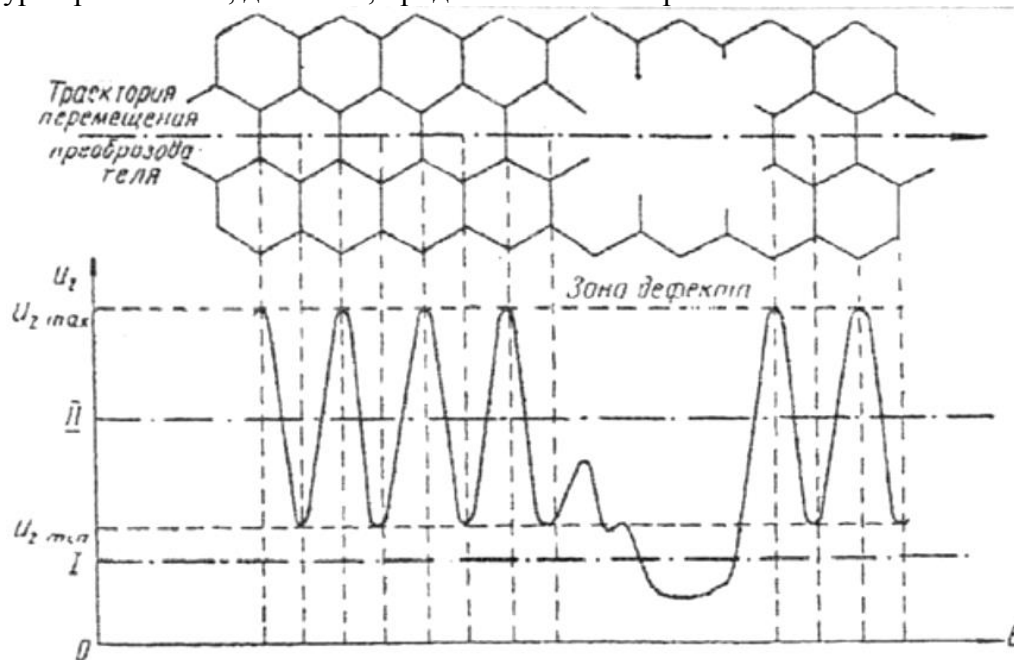


Рисунок 1 – Изменение уровня сигнала при перемещении преобразователя по обшивке конструкции с сотовым заполнителем. I и II – уровни сигналов, соответствующих записям результатов контроля двух различных типов

Готовую деталь проверяют визуально на отсутствие повреждений на обшивках, качество поверхности детали. Проверяют на соответствие размеров детали размерам по чертежу. Проверяют коробление панели путём прижатия панели в 3-х точках к контрольной плите и измерения величины неприлегания панели к плите в четвёртой точке. Качество склейки сотовой детали проверяют методом простукивания. Метод простукивания не совершенный, и не позволяет оценить полную картину дефектов, а только позволяет определить места расслоений. Для более точного определения места и размеров отслоений и непроклея, предлагается применить акустический метод контроля, а именно импедансный.

Акустический импедансный метод дефектоскопии основан на различии механических импедансов бездефектного и дефектного участков конструкции.

При проверке трехслойных конструкций, например, с двумя обшивками и заполнителем между ними, регистрируются в основном только дефекты соединения внутреннего элемента с той обшивкой, со стороны которой выполняется контроль. В некоторых случаях регистрируются и дефекты соединения между противоположной обшивкой и заполнителем. Для полной проверки конструкции обычно необходим контроль ее сначала с одной стороны обшивки, затем – с другой.

Для контроля используется прибор «Дефектоскоп ДАМИ-С», он позволяет автоматически настроить преобразователь на объект контроля с учетом плотности и структуры материала. На рисунке 1 показан принцип регистрации дефектов на экране дефектоскопа

Если сигнализатор дефектов срабатывает при уровне сигнала ниже отмеченного цифрой I, то регистрируются только дефектные зоны. При уровне II срабатывания сигнализатора сотовые ячейки регистрируются как дефекты.

Разброс показаний в доброкачественных зонах тем больше, чем меньше жесткость обшивки и крупнее ячейки заполнителя. Для контроля толщин обшивок могут быть использованы ультразвуковые или вихретоковые (для металлических обшивок) толщиномеры.

Импедансный метод позволяет обнаруживать зоны пониженной прочности склеивания обшивки с сотовым заполнителем. В большинстве случаев снижение прочности склеивания в сотовых панелях обусловлено плохой подгонкой размеров соединяемых элементов.

В комплексе действий, направленных на обеспечение надежности и долговечности разрабатываемых конструкций из композиционных материалов, использование высокоэффективных методов неразрушающего контроля имеет решающее значение, поскольку малейшая ошибка в определении характера дефекта или его пропуск могут привести к труднопредсказуемым последствиям. Несмотря на существующие разнообразные методы и средства неразрушающего контроля, до сих пор они не могут удовлетворять в отдельности потребности современного производства.

### **Технологический процесс изготовления сотовой панели**

Сотовые панели изготавливают методом прессования. Контроль качества технологического процесса очень важный этап для формирования качественной продукции. Его можно разделить на три этапа: входной контроль компонентов композиции, контроль технологических параметров процесса и контроль качества готовой продукции.

Технологический процесс представлен на схеме 1.

Полимерные композиционные материалы, имея весьма широкие перспективы использования в различных отраслях техники, требуют особого подхода, новых решений при разработке и создании методов и средств их дефектоскопии. Они позволяют исключить брак на ранних стадиях изготовления изделий и контролировать правильность параметров технологии, оценивать их надежность, технологичность, конструктивную отработку.



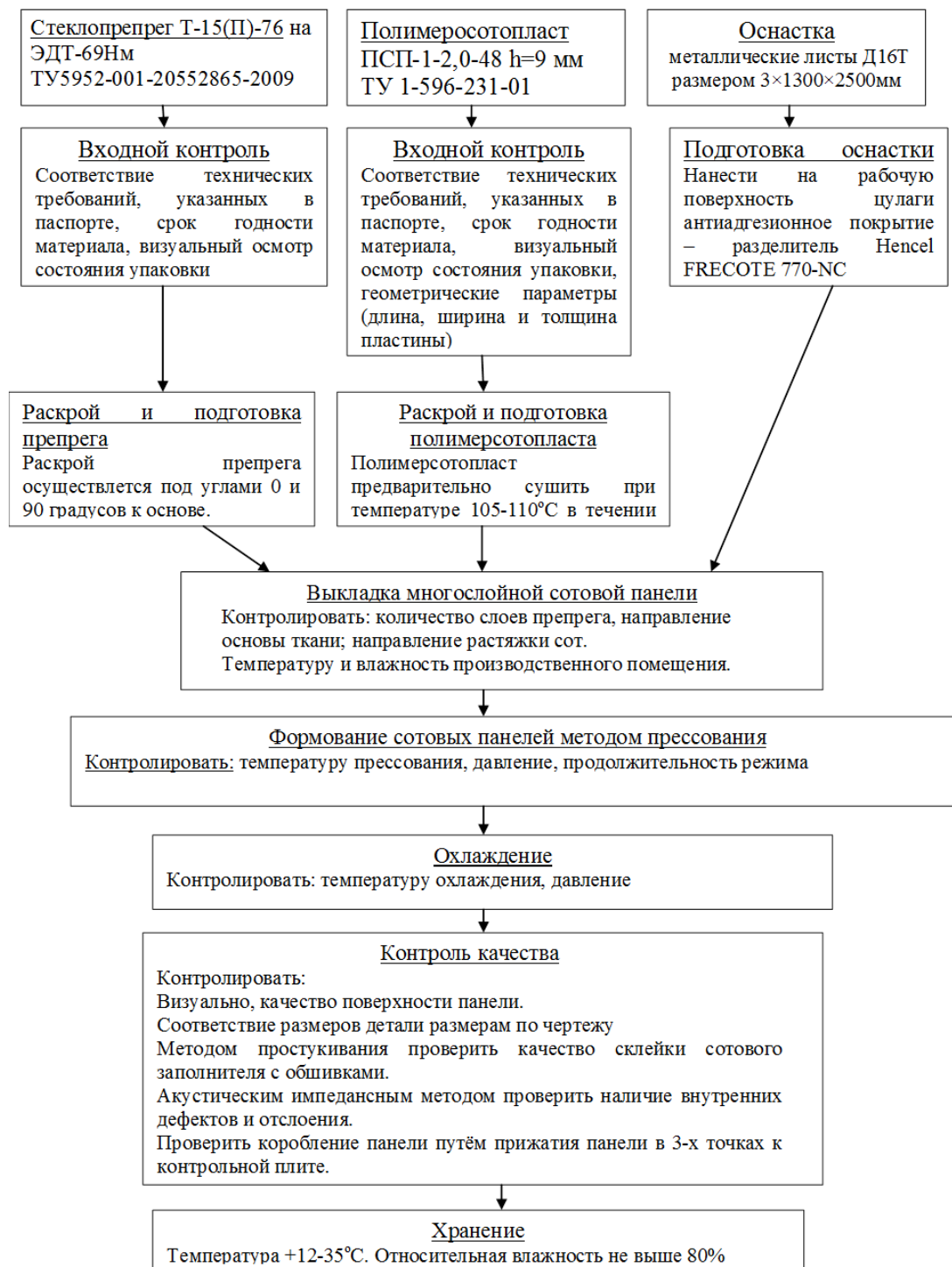


Рисунок 2 – Технологический процесс производства панелей с сотовым заполнителем

### Список литературы.

1. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ.ред. В.В. Клюева. Т. 3: Ультразвуковой контроль: Изд. 2-е. М.: Машиностроение. 2008. С. 129–130, 138, 303–327.
2. Контроль многослойных конструкций и изделий из слоистых пластиков акустическим импедансным методом: ПИ 1.2.522–99. М.: ФГУП «ВИАМ», 1999. 35с.
3. Ланге Ю.В. Акустические низкочастотные методы и средства неразрушающего контроля многослойных конструкций. М.: Машиностроение. 1991. 272 с.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БИОПОЛИМЕРА ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНЫХ ТКАНЕЙ

Татаринцева С. В. - студентка группы ПКМ-91, науч. рук. Головина Е.А – доцент, к.т.н.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

### Введение

Новым этапом в развитии полимероведения является разработка биосовместимых материалов для эндопротезирования и ортопедии. Полимеры медицинского назначения помимо функциональных свойств должны быть биологически безопасны для внутренней среды организма. Традиционно для изготовления различных эндопротезов и имплантатов применяются металлы и их сплавы, керамические материалы, широкое использование которых обусловлено высокими механическими свойствами, эластичностью и возможностью подвергаться механической обработке. Однако указанные материалы обладают рядом недостатков, в первую очередь связанных с их воздействием на живую ткань организма. Эти причины вызвали необходимость поиска материалов, которые сочетали бы в себе высокие физико-химические и механические свойства с биологической совместимостью и биологической активностью по отношению к живой ткани. Решение такой задачи имеет междисциплинарный характер и занимает совершенно новую научную сферу, которую принято называть биоматериаловедение. Основной задачей биоматериаловедения является поиск материалов, которые можно использовать в качестве имплантатов в человеческое тело.

### Какой должна быть биокерамика

Костная ткань человека, также как и животных способна к регенерации и через некоторое время после операции прорастает в поры имплантата, повышая жесткость фиксации в несколько раз. Она имеет довольно сложное строение и разнообразный тканевый состав. Выдающиеся механические характеристики компактного вещества обеспечиваются особым пространственным расположением образующих его структурных компонентов – костных пластинок толщиной 3–10 мкм [3]. Таким образом, претерпевая влияние со стороны живого организма, полимер должен быть максимально приближен к естественным условиям живого организма. В связи с этим к биоматериалам предъявляются следующие требования:

1) Химические свойства: отсутствие нежелательных химических реакций с тканями и межтканевыми жидкостями, отсутствие коррозии, или растворение с контролируемой скоростью

2) Механические свойства: прочность, трещиностойкость, сопротивление замедленному разрушению, износостойкость

Немаловажно, что механические характеристики материала должны быть близкими к таковым для кости. Поскольку, например, различие в упругости может привести к утрате имплантата вследствие резорбции находящегося с ним в контакте костного вещества.

3) Биологические свойства: отсутствие реакций со стороны иммунной системы (биосовместимость), срастание с костной тканью, стимулирование остеосинтеза (процесса образования костной ткани).

Для быстрого прорастания костной ткани в имплантант необходимо наличие в нем сквозных пор размером 100-150 мкм [2].

Помимо этого имплантант должен быть стоек в химической среде и не раствориться в ней.

Таким образом, имплантируемый материал должен быть биологически совместимым с тканью и вызывать адекватный отклик со стороны организма, не быть токсичным, не вызывать отрицательных иммунных и других реакций со стороны организма, не отторгаться организмом как инородное тело и, желательно быть биологически активным, то есть

образовывать непосредственную связь с биологической системой с образованием на нем или замещением его костной тканью и индуцировать процессы образования костной ткани, а также должен сохранять свои функциональные качества в течение определенного периода времени, не изменяя существенно свою структуру и механические свойства

### Влияние биоимплантантов на организм

Важно при разработке биоимплантанта учитывать то, что введение биоимплантанта в живой организм оказывает на него воздействия различного характера. Схема влияния биоматериалов на организм представлена на рисунке 1.

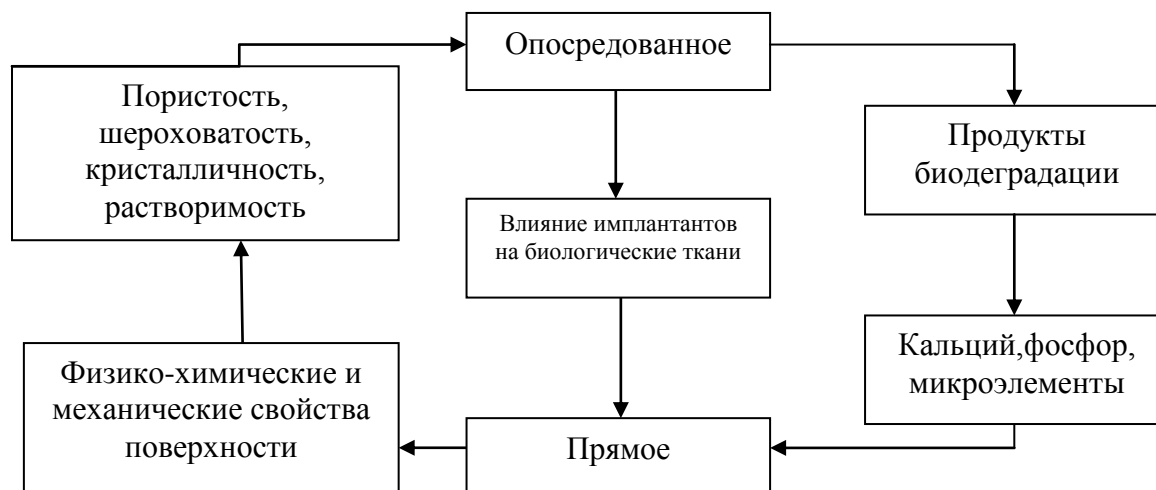


Рисунок 1 – Схема влияния биоматериалов на организм

Разнообразие биоматериалов не велико, это могут быть:

- поликристаллы (двуокись алюминия или гидроксиапатит);
- стекло (например, стекло марки Bioglass);
- стеклокерамика (например, А/В стеклокерамика);
- композиты (например, полиэтилен – гидроксиапатит) [4].

В данной работе интересно рассмотреть фосфатно-кальциевую керамику, которая относится к биосовместимым материалам. Одним из ее важных качеств является то, что она полностью усваивается живым организмом, т.е. со временем фосфатно-кальциевая керамика должна полностью раствориться и замениться новой костной тканью. В принципе это и есть идеальный тип искусственного имплантата, поскольку в этом случае проблемы прочности и биосовместимости не возникают вообще. Трудность состоит в том, что при “рассасывании” в кровь, лимфу и тканевые жидкости переходят большие количества ионов кальция и фосфора. Неизвестно, каким образом это может повлиять на организм в целом.

### Биокерамика на основе фосфатов кальция

В результате расчета методом конечных элементов получается что материал должен обладать характеристиками, представленными в таблице 1 представлены физико-механические свойства, которыми должен обладать материал, предназначенный для изготовления костного имплантанта [1].

Таблица 1 – Физико-механические свойства материала

Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,8-2
Прочность к сжатию, МПа	8
Модуль Юнга, ГПа	17
Модуль упругости, МПа	1725

## Технологический процесс изготовления биоимплантатов

Задачей первой стадии является формирование пористой структуры, которая играет роль носителя механических свойств материала; второй стадии – связывание элементов между собой, что обеспечивается равномерным переносом связующего вещества, обеспечиваемым действием силы адгезии на как можно большую часть скелета. Технологический процесс представлена на рисунке 2.

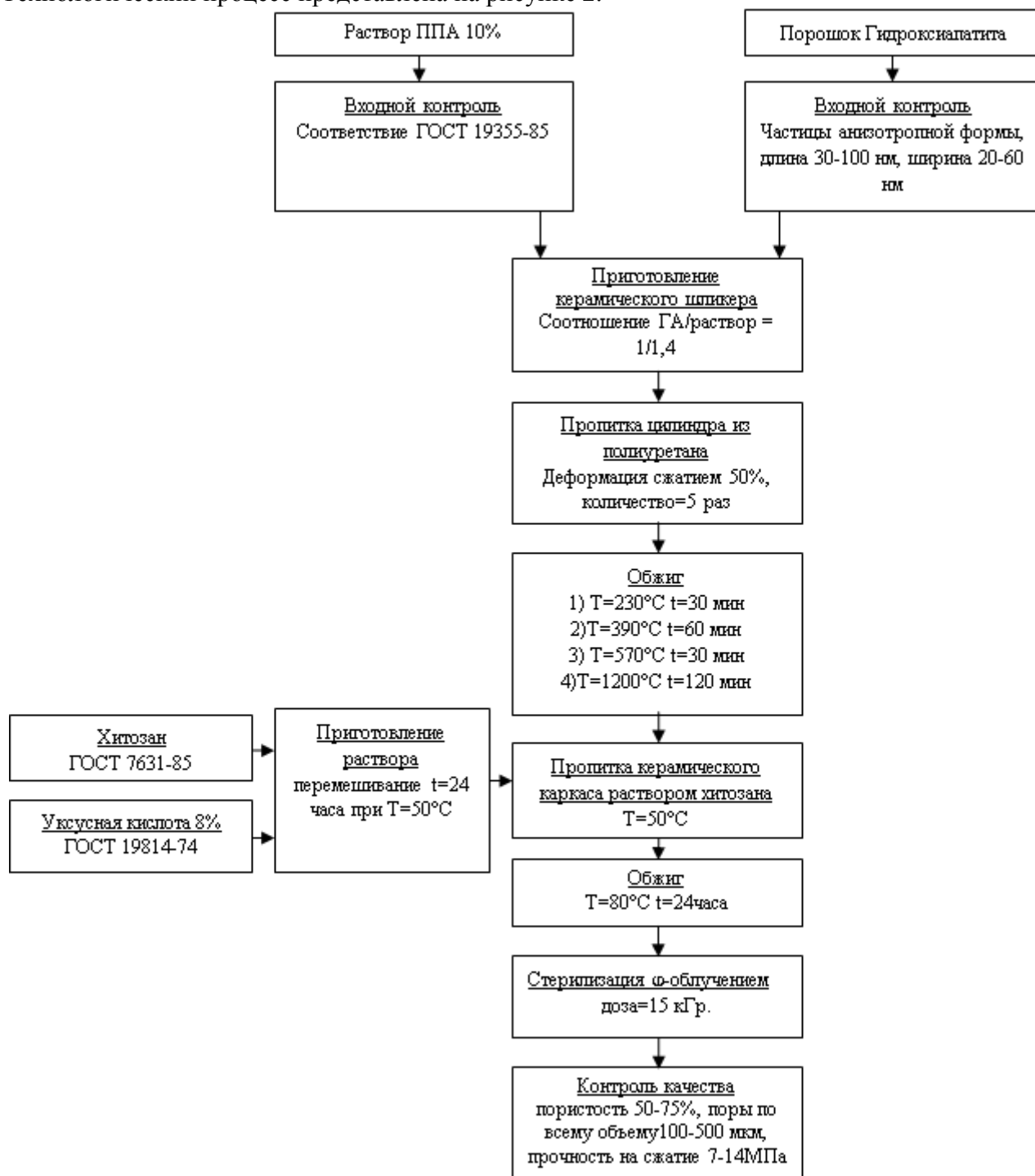


Рисунок 2 – Технологический процесс изготовления биоимплантата на основе фосфатов кальция

Изготовление биокомпозита на основе ортофосфатов кальция начинается с приготовления керамического шликера. Непосредственно перед изготовлением порошки

гидроксиапатита и трикальцийфосфата проходят входной контроль. После этого проводится пропитка полимерной пористой основы из полиуретана в керамической системе. Затем производится многостадийный обжиг заготовки в термошкафу с целью выжигания полимерного каркаса и упрочнений керамической структуры. Следующей операцией следует приготовление раствора хитозана. После этого производится пропитка керамического каркаса раствором хитозана, обжиг и промывка в этаноле. Полученное изделие отмывается от остатков уксусной кислоты и подвергается воздушной сушке. Затем проводится механическая обработка с целью придания изделию нужной формы, и проводится стерилизация под воздействием излучения. Завершающим этапом является контроль качества полученного изделия. Данная технология позволяет получить материал с пористостью до 80% и взаимосвязанными порами размером до 500 мкм, необходимыми для тканевой инженерии. Все работы проводятся при температуре в производственном помещении 20-30 °С и относительной влажности 75%.

#### **Выводы**

Разработан биополимерный имплантант на основе фосфатов кальция, изделие имеет взаимосвязанные поры от 50 до 75%, размер пор от 100 до 500 мкм.

Пропитка хитозаном позволяет увеличить прочность материала в 8 раз с 1,3 МПа до 9 МПа, в результате пропитки происходит заживление дефектов и снижение концентраторов напряжений.

Биокерамика на основе ортофосфатов кальция перспективна в использовании в качестве имплантантов для заживления костных дефектов, пористая структура позволяет клеткам кости прорасти в имплантант. В следствии того, что в основе имплантанта лежит материал гидроксиапатит, находящийся в костях организма, отпадает необходимость замены имплантанта на новый. Таким образом, увеличивается биологическая пригодность материала.

#### **Литература**

1. **Адамович, И. С. Исследование напряженного состояния большеберцовой кости человека при кручении методом конечных элементов** [Текст] / И.С. Адамович // Механика композитных материалов, №3, 1991. – 499 – 504 с.
2. **Хлусов, И. А Основы биомеханики биосовместимых материалов и биологических тканей** [Текст]: учебное пособие / И.А. Хлусов, В.Ф. Пичугин, М.А. Рябцева. – Томск: Томский политехнический университет, 2007. – 149 с.
3. **Баринов, С.М. Биокерамика на основе фосфатов кальция** [Текст] / С.М. Баринов, В.С. Комлев. – М.: – Наука, 2005. – 400 с.
4. **Вересов, А.Г. Достижения в области кальций-фосфатных биоматериалов** [Текст] / В.И. Путляев, Ю.Д. Третьяков // Российский химический журнал. 2000. – №6 (ч.2). 32 – 46 с.

## **УГЛЕПЛАСТИК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФЮЗЕЛЯЖА САМОЛЕТА НА ПРИМЕРЕ ПАССАЖИРСКОГО АВИАЛАЙНЕРА (SUKHOI SUPERJET 100)**

**Фисенко И.Ю.** – студент группы ПКМ-01, науч. рук. Головина Е.А – доцент, к.т.н.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Фюзеляж - корпус летательного аппарата. Связывает между собой крылья, оперение и (иногда) шасси. Фюзеляж самолёта предназначен для размещения экипажа, оборудования и целевой нагрузки. В фюзеляже может размещаться топливо, шасси, двигатели. Конструкция

самолёта типа летающее крыло, в утолщённой части которого размещается всё, что обычно размещают в фюзеляже, рассматривается отдельно.

### **Нагрузки, действующие на фюзеляж**

В полёте и при посадке на фюзеляж действуют следующие нагрузки:

- силы, передающиеся на фюзеляж от присоединённых к нему частей самолёта - крыла, оперения, шасси, силовой установки и др.,
- массовые инерционные силы агрегатов, грузов, оборудования, расположенных в фюзеляже, и инерционные силы от собственной массы конструкции фюзеляжа,
- аэродинамические силы, распределённые по поверхности фюзеляжа,
- силы избыточного давления в герметических кабинах, отсеках оборудования, каналах воздухозаборников.

Перечисленные нагрузки с учётом принципа Д'Аламбера полностью уравновешены на фюзеляже.

С точки зрения строительной механики фюзеляж можно рассматривать как коробчатую балку, закреплённую на крыле и нагруженную перечисленными выше нагрузками. В любом сечении такой балки действуют вертикальные и горизонтальные составляющие перерезывающих сил, изгибающих моментов, а также крутящий момент. В герметичных отсеках к этим нагрузкам добавляются усилия от избыточного внутреннего давления.

### **Конструктивно-силовые схемы фюзеляжа**

Наиболее рациональной конструкцией, способной воспринимать все перечисленные выше нагрузки при минимальной собственной массе, является тонкостенная пространственная оболочка, подкреплённая изнутри силовым каркасом. Рациональность такой оболочки обеспечивается полноценным использованием её работающей обшивки как при восприятии местной аэродинамической нагрузки, внутреннего избыточного давления, так и в общей силовой работе, которая состоит в том, что обшивка воспринимает всю перерезывающую силу, весь крутящий момент и участвует в восприятии изгибающих моментов. Каркасированная оболочка наилучшим образом удовлетворяет и требованиям удобства компоновки, обеспечения технологической простоты, а также живучести и эксплуатационной технологичности. С точки зрения силовой работы такая оболочка рассматривается как тонкостенная коробчатая балка, вследствие чего силовую схему подобных фюзеляжей принято называть балочной.

Используемые ранее фюзеляжи ферменной конструкции неизбежно проигрывают балочным по массе конструкции в связи с тем, что обшивка ферменных фюзеляжей полностью исключена из общей силовой работы, воспринимая только местную воздушную нагрузку и являясь, таким образом, дополнительным конструктивным элементом, увеличивающим массу конструкции. Пространственная ферма затрудняет и компоновку грузов в фюзеляже. Всё это привело к тому, что ферменные фюзеляжи в настоящее время полностью вытеснены балочными и их применение оправдано лишь на лёгких тихоходных самолётах «малой» авиации. Поэтому в дальнейшем ферменные фюзеляжи не рассматриваются.

Балочные фюзеляжи делятся на три основных разновидности:

- лонжеронный
- стрингерный
- обшивочный

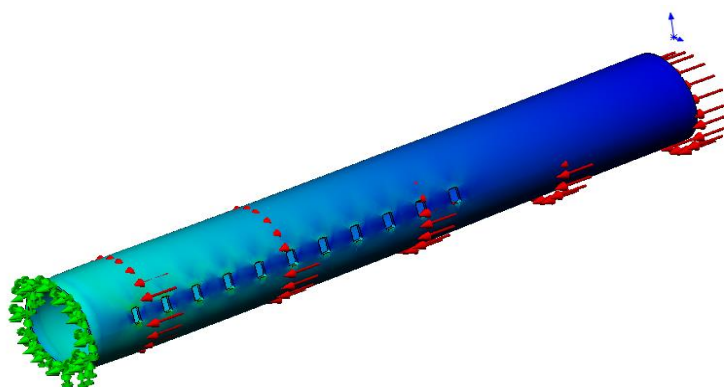
Продольный набор балочного фюзеляжа состоит из лонжеронов и стрингеров. Лонжерон отличается от стрингера формой и большей площадью поперечного сечения. Обшивочный фюзеляж продольного набора не имеет. Поперечный набор фюзеляжа состоит из шпангоутов, обеспечивающих сохранение при деформациях заданной формы поперечного сечения оболочки и передачу на обшивку распределённых и сосредоточенных нагрузок. В



местах приложения к фюзеляжу больших сосредоточенных сил устанавливаются усиленные шпангоуты.

В балочных фюзеляжах перерезывающая сила любого направления полностью воспринимается обшивкой, в которой возникает поток касательных усилий. Закон распределения этих усилий по контуру оболочки зависит от направления внешней нагрузки и от формы поперечного сечения фюзеляжа.

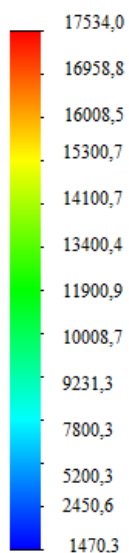
Крутящий момент также полностью воспринимается обшивкой. Поток касательных усилий в этом случае равномерно распределён по периметру оболочки, имеющей, как правило, однозамкнутый контур поперечного сечения. Восприятие изгибающих моментов фюзеляжа определяется типом балочного фюзеляжа. В местах вырезов в оболочке устанавливаются силовые окантовки, обеспечивающие передачу всех усилий в зоне выреза.



Сравним как фюзеляж из УП и Авиаль работают при нагрузках

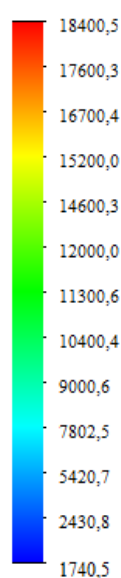
УП

von Mises (N/m<sup>2</sup>)



АВИАЛЬ

von Mises (N/m<sup>2</sup>)



Вывод: Исходя из результатов полученных при проведении данной работы мы видим незначительную разницу между в устойчивости к напряжениям, углепластик уступает около 900-1000 н/м<sup>2</sup>, хотя масса фюзеляжа изготовленного из «Авиаль» в двое больше фюзеляжа изготовленного из углепластика.

## БОБ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА

Фукс Ю.В. – студентка гр. ПКМ-01, Головина Е. А. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Производство спортивного инвентаря является одним из крупнейших секторов потребления конструкционных материалов и представляет высокий спрос на рынке. Из множества факторов, определяющих выбор материала, являются: масса, технологичность, а также надежность используемого материала. Рост экономичности производства, повышение требований к качеству и безопасности используемых материалов требует создания новых композиционных материалов. Композиты надежно обосновались в спорте: для высоких достижений нужны высокая прочность и малый вес. В настоящее время композиты нашли применение в производстве таких изделий как: оборудование для горнолыжного спорта, хоккейных клюшек и коньков, байдарки, каноэ, шлемы, детали кузовов гоночных автомобилей и мотоциклов. А также производство новых композиционных материалов как углепластики, стеклопластики, органопластики нашли свое применение в одном из быстроразвивающихся виде спорта – бобслей.

Бобслей — зимний олимпийский вид спорта, представляющий собой скоростной спуск с гор по специально оборудованным ледовым трассам на управляемых санях – бобах. Первые в мире особые сани были сконструированы в 1904 году и сделаны из дерева. Однако быстро были заменены стальными санями, которые стали называть «бобами» из-за способа, которым команды качались назад и вперед для увеличения скорости на прямых. Одной из главных задач является изготовление бобов-двоек, имеющих корпус на основе углеволокна, для предотвращения откола одной из частей обтекателя, повышения прочности, истирания поверхности обтекателя (рисунок 1).

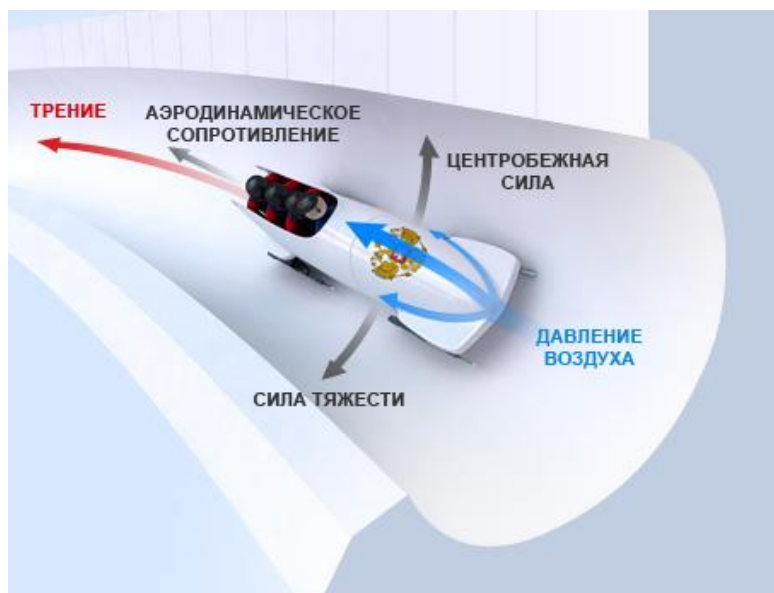


Рисунок 1 – Распределение физических характеристик, влияющих на движение бобслея

Основные компоненты конструкции бобов-двоек

- стальной рамы;
- корпуса из углеволокна, называемого также обтекателем, который закрыт впереди и открыт сзади;

- подвижной пары передних коньков;
- неподвижной пары задних коньков;
- складных ручек разгона для пилота и членов экипажа;
- неподвижных ручек разгона для тормозящего (брейкмана);
- зазубренного металлического тормоза на рукоятке, которым можно пользоваться только после пересечения бобом финишной прямой;
- системы управления.

Спускаясь по трассе, бобслей развивает скорость около 130 км/ч. При катании по неподготовленной трассе часто бобслей может получить такие повреждения как:

- механические, удары при катании на неподготовленных склонах;
- появление трещин;
- откол частей доски;
- раздробленность скользящей части;
- истирание скользящей поверхности;

Происходит это из-за ударов о лед. Корпус из углеволокна не должен быть прозрачным или настолько хрупким, чтобы сломаться из-за нагрузки, получаемой на определенном участке трассы. Чтобы предотвратить такие повреждения целесообразно изготовить бобслей из углепластика, т.к. углепластик обладает высокими прочностными характеристиками и достаточно легкий. Одной из важных характеристик при проектировании бобслея также является ускорение, которое зависит от сопротивления воздуха, трения и инерции (рисунок 2). Ускорение вследствие силы тяжести - одно и то же для всех участвующих в заезде бобов. Это постоянная физическая величина, равная  $9,8 \text{ м}^2/\text{с}$ . Тяга, трение и инерция, с другой стороны, меняются в зависимости от конструкции боба и могут повлиять на фактическую величину его ускорения. Каким бы сильным, быстрым и опытным ни был экипаж, он не сможет компенсировать следующие неучтенные в конструкции боба факторы. Таким образом одной из главных задач при проектировании бобслея из углепластика является сконструированный бобслей, который использует для ускорения физические силы и уменьшает действие сил, замедляющих движение.

Углепластики имеют малый удельный вес, превосходят по прочности сталь. Плотность стеклопластика:  $1450 \text{ кг/м}^3$ , модуль упругости  $180 \text{ ГПа}$ , предел прочности при растяжении  $1020 \text{ МПа}$ .

Исходя из вышеперечисленных моментов, целесообразно рассмотреть возможность проектирования обтекателя бобслея из углепластика.

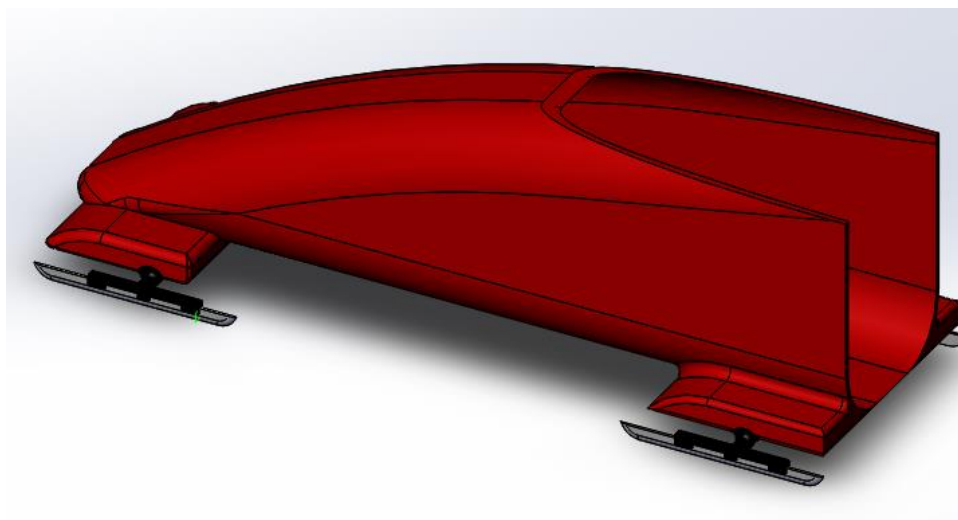


Рисунок 2 – Бобслей из углепластика

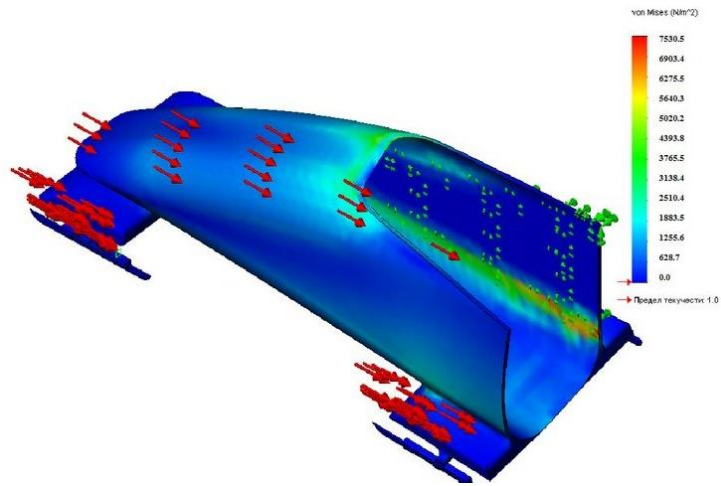


Рисунок 3 - Распределение напряжений в корпусе бобслея изготовленного из углепластика

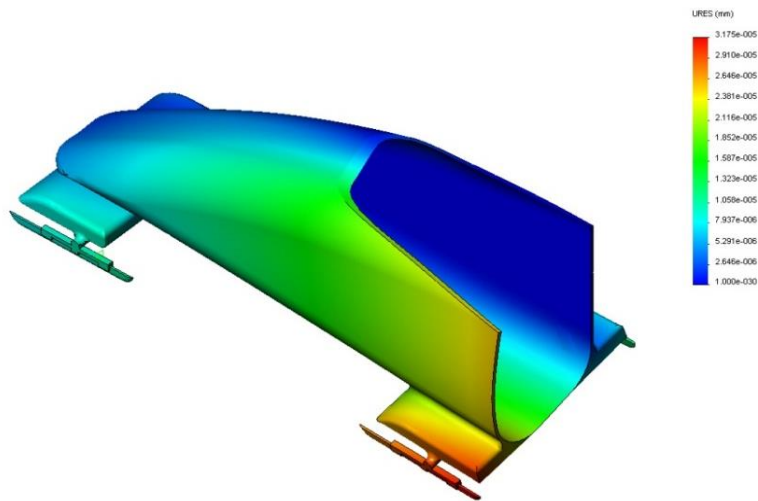


Рисунок 4 – Перемещения в обтекателе бобслея

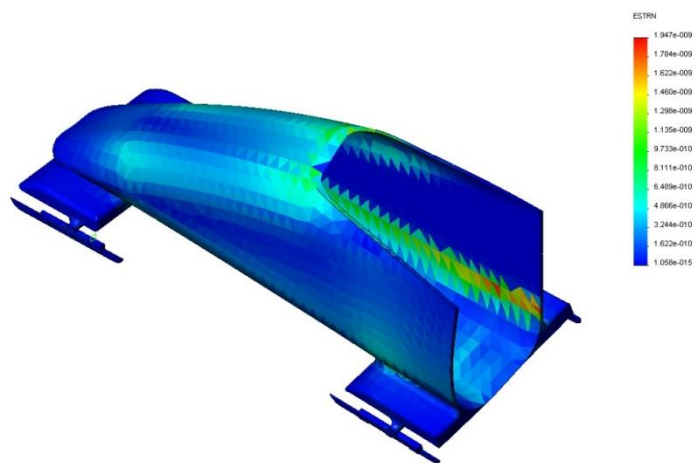


Рисунок 5 – Деформация в обтекателе бобслея

Анализ напряженного состояния и распределения полей деформации обтекателя,

изготовленной из стали и из углепластика показал эффективность замены традиционного материала на композиционный.

Углепластиковый обтекатель обеспечит в несколько раз лучшую защиту боба от механических повреждений, чем обтекатель, сделанный из стали или стеклопластика.

Применение углепластиковых деталей в конструкции боба приводит к увеличению жесткости изделия, делает его в несколько раз более прочным и увеличивает срок службы готового изделия. А также свойства углепластика полностью подходят для решения одной из главных задач проектирования боба, увеличение ускорения, вследствие эксплуатационных свойств углепластика. Такие бобслеи можно использовать для профессионального катания в экстремальных условиях, так как они могут гарантировать целостность изделия.

Таким образом, применение композитов в составе конструкции боба позволяет значительно повысить его эксплуатационные характеристики

## **СРАВНЕНИЕ МОНОРЕЛЬСА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МОНОРЕЛЬСОМ ИЗ ТРАДИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Холявка М.В – студентка группы ПКМ-01, науч. рук. Головина Е.А – доцент, к.т.н.**

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Если ваш приятель улетает из Москвы и вы хотите проводить его, то следует поразмыслить над бюджетом времени и выкроить из него часа три, не меньше. Куда бы ни держал путь ваш друг - в Иркутск или Тбилиси, в Прагу или Лондон, - в любом случае расчет будет прост: час езды до аэропорта, час - обратно, ну, и час в аэропорту. Это при условии, если вы живете в центре города... А ведь людей доставляют в аэропорты не медленный трамвай, а самые современные автомобили, автобусы, электропоезда. Быстрее нельзя!

Но так уж и в самом деле нельзя? Троллейбус движется в городе со скоростью двадцать километров в час, автобус несколько быстрее, электропоезд еще быстрее, автомобиль на загородном шоссе может безопасно развить скорость до девяноста километров в час. Много это или мало? Мало, потому что, оказывается, можно создать городской транспорт, который позволит развивать скорость до ста двадцати километров в час и перевозить сразу не 6-8 человек, как в маршрутном такси, а 400-450.

Этот новый вид московского транспорта носит звучное имя - монорельс.

Представьте себе уходящий вдаль ряд высоких Т-образных опор из армированного железобетона. Они выстроились друг за другом через каждые двадцать метров и несут на своих плечах два рельса, которые напоминают обычную двутавровую балку, только очень большую и не стальную, а железобетонную. Вот это сооружение и называется электрической монорельсовой дорогой.

На первых порах скептики, наверное, не будут доверять новому транспорту: «Как это так - целый вагон, а всего на одном только рельсе? Так и упасть недолго...» Но, конечно, сомнения рассеются быстро. Вагоны монорельсовой дороги сконструированы так, что они прочно и цепко сидят на рельсе. Именно сидят. На каждом вагоне спереди и сзади будут установлены особые колесные пары, которые прижмутся к бокам рельса и покатятся по его боковой поверхности.

Высокая скорость, немногочисленность остановок позволят «выпускать» на линию по 40-45 поездов в час в каждом направлении. Это значит, что ждать поезда придется не более 75 секунд. Красивые, легкие, обтекаемой формы вагоны, созданные по типу фюзеляжей

современных самолетов, рассчитаны на 120-150 человек. Поезда, состоящие из трех вагонов, первоначально будут водить машинисты, но в будущем на дороге установят автоматы. По такой монорельсовой дороге за один час в одном направлении можно перевезти около пятнадцати тысяч человек, в то время как пропускная способность автобусных линий - не более четырех-пяти тысяч.

В транспортной мастерской Института генерального плана разработаны предложения по трассам ко всем «воздушным воротам» Москвы. Монорельсовые дороги свяжут столицу с существующими аэропортами в Шереметьеве и Внукове, а также с новым, строящимся в районе Домодедова. Кроме того, линия монорельсовой трассы пройдет в район излюбленного москвичами Клязьминского водохранилища, где на лесных берегах, создается зона отдыха. Монорельсовые трассы будут брать начало в периферийных районах города: в экспериментальном квартале Юго-Запада - на Внуково, в Химках - на Шереметьево, у Рижского вокзала - на Клязьминское водохранилище. А до этих районов пассажиров доставят уже действующие или строящиеся линии метро [2].

Пройдет несколько лет, и ваш путь в аэропорт с чемоданом либо за город с лыжами или складной лодкой будет занимать не более двадцати минут. Шуршащие эскалаторы поднимут вас на перрон воздушной железной дороги, голубые вагоны остановятся на секунды, и поезд помчится над землей - быстрый, как в сказке.

История монорельсовых дорог началась, в отличие от общепринятого мнения, довольно давно. В Москве в 60-х годах даже были разработаны планы строительства линии монорельса от станции метро "Автозаводская" в район Коломенского. Однако исследования пассажиропотоков показали, что монорельсовая линия не справится с нагрузкой, и вместо монорельса было построено метро.

В конце 90-х годов Московское правительство в очередной раз обратилось к идее строительства в городе монорельсовой трассы. Причем пропагандировался монорельс как последнее слово техники, колоссальный прорыв в будущее и "волшебный" способ решения транспортных проблем. Разработка монорельсовой транспортной системы была поручена Московскому институту теплотехники и специально созданному ОАО "ММД" (Московские монорельсовые дороги). Для испытаний была закуплена технология швейцарской фирмы "Intamin".

Надо сказать, что существует две основных системы монорельсов - навесные и подвесные. В навесных системах подвижной состав движется по верхней поверхности балки, которая и является "рельсом". В подвесных же наоборот, вагоны движутся под направляющей балкой. У обеих систем есть свои достоинства и недостатки. К недостаткам навесных систем, в первую очередь, относятся трудности, возникающие в зимний период эксплуатации, когда балка покрывается снегом и обледеневает. Именно по этой причине при разработке монорельсовой линии в 60-х, была предложена "подвесная" схема.

Однако в наши дни, основными причинами строительства монорельса были не технические, транспортные или эксплуатационные, а политические. Взятый за основу навесной монорельс фирмы "Intamin" предназначен для парково-рекреационных целей, а отнюдь не транспортных. Даже по заявленным ОАО ММД цифрам, провозная способность линии (6 тыс. пассажиров/час) не идет ни в какое сравнение с провозной способностью метрополитена, и такие пассажиропотоки легко обслуживаются обычным трамваем. На самом же деле и эти цифры значительно завышены, так как предполагают, что вагончик, размером с микроавтобус "Газель", перевозит одновременно 34 пассажира, что явно не будет достигнуто. Более объективные оценки в 20 чел/вагон дают максимальную провозную способность в 3600 пассажиров в час. При этом стоимость строительства линии сравнима со стоимостью строительства линий легкого метро.

В принятом варианте часть места в вагонах занята колесной тележкой, из-за чего становится невозможным сквозной проход вдоль состава. К сожалению, выбор был сделан



по соображениям эффектности, а отнюдь не эффективности транспортной системы. Именно по этой причине и был отклонен первоначальный вариант трассы - вдоль Ярославского шоссе: стала очевидна невозможность использования монорельса для ежедневных массовых пассажирских перевозок. Для эксперимента была выбрана куда менее загруженная линия. Так же на выбор места повлияло желание правительства Москвы принимать международную выставку ЭКСПО 2010, основным центром которой должен был стать комплекс ВВЦ. Право на проведение выставки выиграл Шанхай, но монорельсовая линия к этому моменту уже строилась.

Как и ожидалось, у закупленного швейцарского состава не удалось добиться удовлетворительных эксплуатационных показателей в зимний период. Вагоны просто буксовали на обледенелой балке. Так как строительство линии уже было начато, и конструкция пути была рассчитана под "Intamin", для подвижного состава в спешном порядке был разработан линейный асинхронный привод. Работы по линейному электродвигателю были поручены инженерно-научному центру "ТЭМП" (транспорт электромагнитный пассажирский), разрабатывавшему в начале 90-х годов состав на магнитном подвесе для нереализованного проекта скоростной трассы "Шереметьево-Сити"<sup>[2]</sup>

Испытания нового привода, проведенные зимой 2002/2003 года, показали его работоспособность и ОАО ММД начало строительство шести шестивагонных составов. Стоимость одного состава составляет около миллиона долларов, что опять таки сравнимо со стоимостью трехвагонного состава 81-740/741 для линий легкого метро.

Монорельс представляет собой конструкцию из двутавра, в данной статье мы рассмотрим двутавр №16. Он традиционно изготавливается из горячекатаной стали по ГОСТ 8239-89.

С помощью программы SolidWorks спроектировали двутавр показанный на рисунке 1

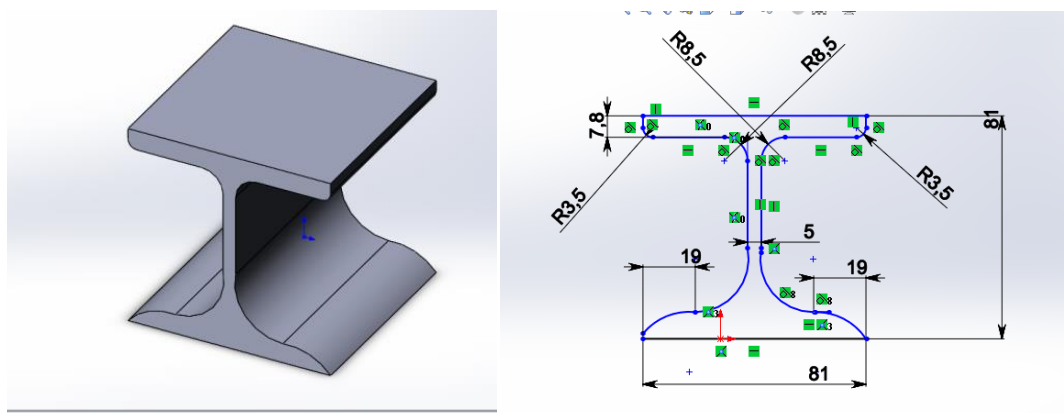


Рисунок 1 - Двутавр

Проведя исследования в программе, сравнили свойства из традиционного материала горячекатаной стали с композиционным- углепластик.

В соответствии с рисунком 3 закрепили деталь

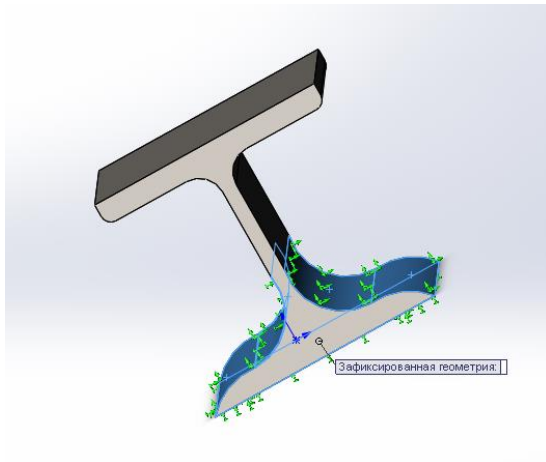


Рисунок 3 – закрепление детали

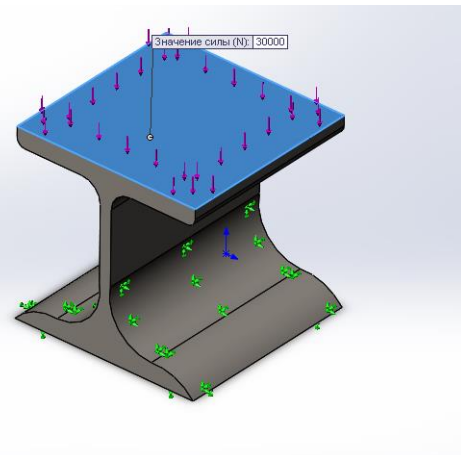


Рисунок 4 – нагрузка

В соответствии с рисунком 4 нагрузили деталь

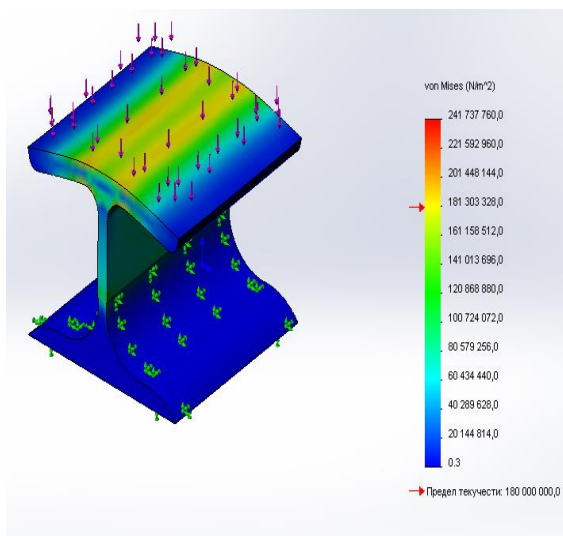


Рисунок 5-Результат исследования традиционного материала

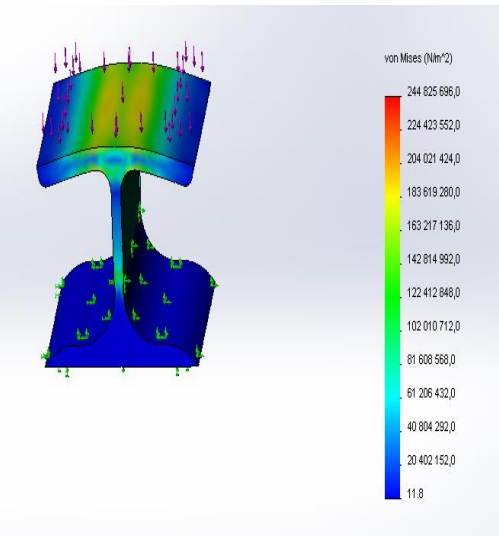


Рисунок 6- Результат исследования композиционного материала

В результате проведенных исследований выявили, что композиционный материал – углепластик лучше в эксплуатации двутавровой балки, чем традиционный материал горячекатаная сталь. Так как прочностные показатели углепластика выше, чем у стали и с экономической точки зрения более выгодный.

#### Список использованной литературы:

- 1) dr. E. F. J. Janetzky. Monorails. Издательство de Alk (Нидерланды), ISBN 90-6013-639-X (год издания не указан)
- 2) Ссылки  
 Монорельсовое общество  
 Критика монорельса  
 Сайт «Неизвестный отечественный монорельс»

## ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИКА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ САНЕЙ

Черных Е.С. – студентка группы ПКМ-01, науч. рук. Головина Е.А – доцент, к.т.н.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

На первый взгляд, кажется, что выбрать санки проще простого. Но огромный выбор на рынке детских и спортивных товаров часто ставит в тупик при их выборе. Для начала определимся, будут ли эти санки для простых прогулок или же для катания с горки. Рассмотрим санки для катания с горки ребенку школьного возраста. В первую очередь, главное помнить, что катание на санках – это развлечение, которое в определенных случаях может представлять угрозу. Поэтому при покупке главную роль должны играть безопасность и комфорт вашего ребенка.

Санки должны быть прочными и легкими, покрашены порошковой краской, и чтобы они непременно имели сертификат.

Для изготовления санок используются различные материалы и их комбинации. По материалу изготовления санки бывают нескольких видов: металлические, деревянные, плетеные, пластиковые, надувные. От материала изготовления будет зависеть долговечность санок и их вес, тщательность ухода, возможности использования и маневренность, которую дает каждая отдельная модель.

Рассмотрим из чего состоят сани, прочный и надежный каркас. Основа – прежде всего в любом транспортном средстве. Каркас должен быть удобным и крепким, иначе вся конструкция развалится в самый неподходящий момент.

Крепкие полозья, способные не только хорошо скользить. Полозьями должно легко управлять, ведь от этого зависит еще и безопасность едущего. Размер средства тоже имеет значение. Чересчур маленькие и короткие сани, так же, как и слишком большие и тяжелые будут менее маневренными.

Сравним металлические, деревянные и пластиковые сани.

**Металлические санки.** Санки достаточно прочные, надёжные, долговечные, тяжелые, но при этом достаточно мобильные. Такие модели не подходят для катания с гор, но возить в них ребенка по ровному снегу – сплошное удовольствие. Полозья изготавливаются из листовой стали. Остальные детали каркаса из алюминиевого сплава. Конструкция саней может быть трубчатой. Трубчатые элементы облегчают конструкцию, хорошо идут по льду и по мало заснеженной дороге, но широкие плоские полозья всё же намного проходимей. Стоят от 500 до 1000 руб.

Минусы: Санки не складываются, тяжелые, везти их можно только за верёвку за собой, при этом маленький ребёнок остаётся вне поля зрения. На поворотах часто опрокидываются. Со временем краска на полозьях может осыпаться, а сам металл – начать ржаветь.

**Деревянные санки.** Очень красивые, комфортные и теплые, с хорошей проходимостью по любому снегу, особенно, если полозья оснащены металлическими накладками, но непрактичны в городских условиях. Во-первых, они массивны по весу и размеру, что неудобно для проезда в транспорте и для хранения в квартире. Во-вторых, реагенты, которыми посыпают проезжие части и тротуары, быстро разрушают дерево. В-третьих, деревянные санки легко пачкаются,

но тяжело отмываются. Уступают в прочности металлическим, зато им не страшны лютые морозы. Деревянные санки обойдутся в сумму от 1500 рублей и выше.

**Пластиковые санки.** Представляют собой новое поколение санок и в последнее время приобретают все большую популярность. Отлично подходят для катания с горки. Они изготавливаются из высококачественных, морозостойких материалов и являются очень

легкими и хорошо управляемыми, не требуют особого ухода. Не имеют острых углов, а значит, обладают высокой степенью безопасности. Стальные полозья позволяют им хорошо скользить. Очевидным плюсом таких моделей является яркий стильный дизайн, который придется по душе ребенку.

К минусам пластиковых саней можно отнести, что они не складываются и поэтому, возможно, не подойдут хозяевам малогабаритных квартир. Стоимость таких саней порядка 1000 рублей.

Сравнив данные виды саней, очевидно, что для катания с горки детям школьного возраста, больше всего подойдут сани, изготовленные из пластика. Чтобы окончательно в этом убедиться, я спроектировала сани в программе SolidWorks, закрепила, нагрузила и сравнила напряженно – деформированное состояние саней из стали и из пластика.

Ниже, на рисунках 1-4 указано распределение напряжений и смещений на санях, выполненных из пластика и из стали.

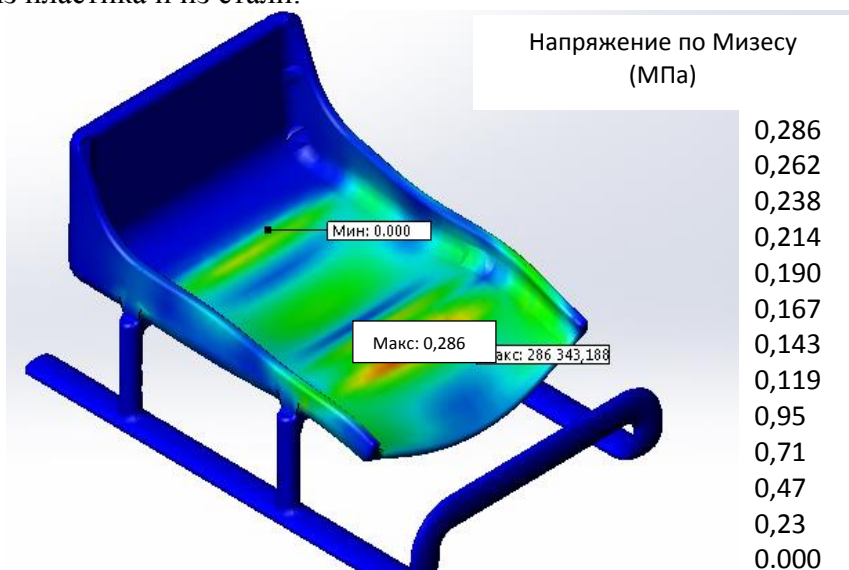


Рисунок 1 – Распределение напряжений саней, выполненных из стали

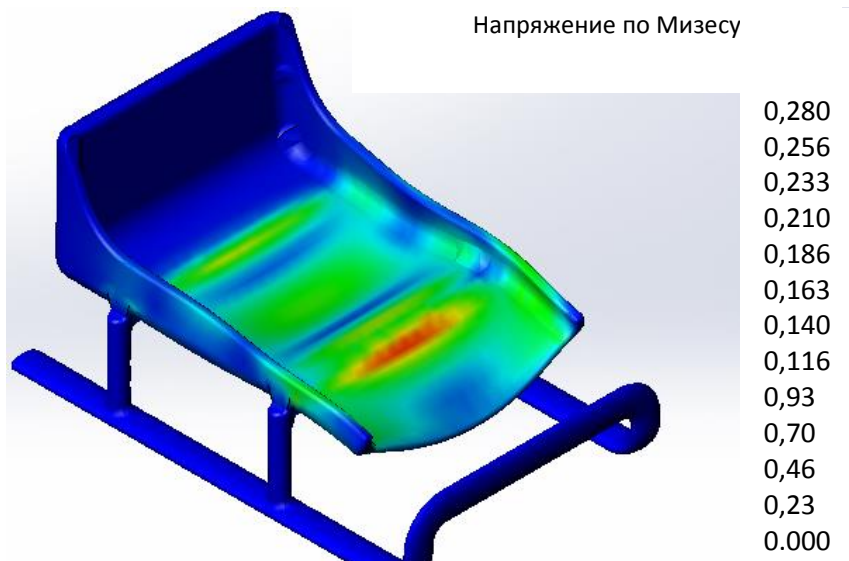


Рисунок 2 – Распределение напряжений саней, выполненных из пластика

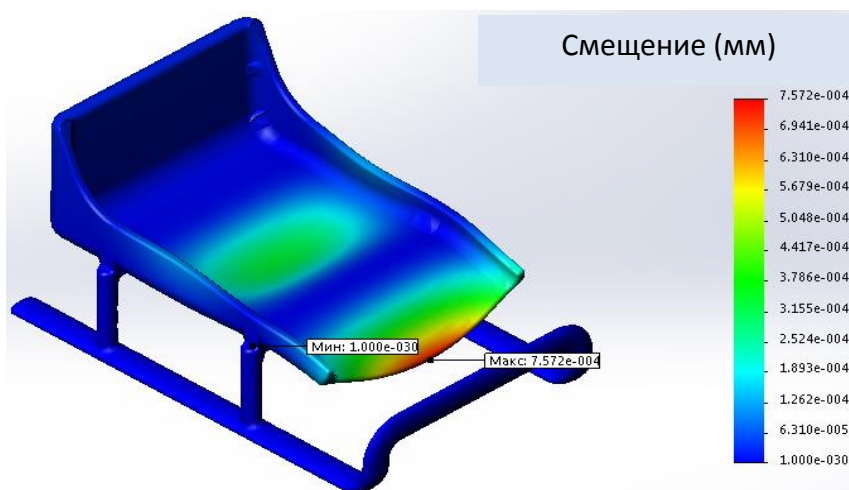


Рисунок 3 – Перемещения в санях, выполненных из стали

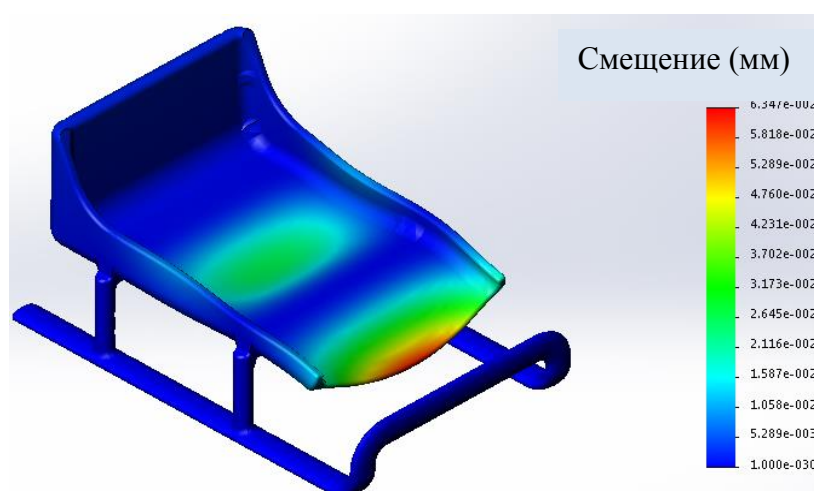


Рисунок 4 – Перемещения в санях, выполненных из пластика

Анализ напряженного состояния и распределения полей деформации саней, изготовленных из стали и из пластика показал эффективность замены традиционного материала на пластик.

Пластиковые сани испытывают меньшую нагрузку, чем санки, изготовленные из стали. Так же пластиковые санки имеют на порядок ниже вес, чем из стали. Смещение модели из пластика немного ниже, что характеризует сани из пластика как чуть прочнее, чем из стали.

Как показано на рисунке 5, (АБС) пластик окрашивается в различные цвета, это привлекает внимание детей и радует их.

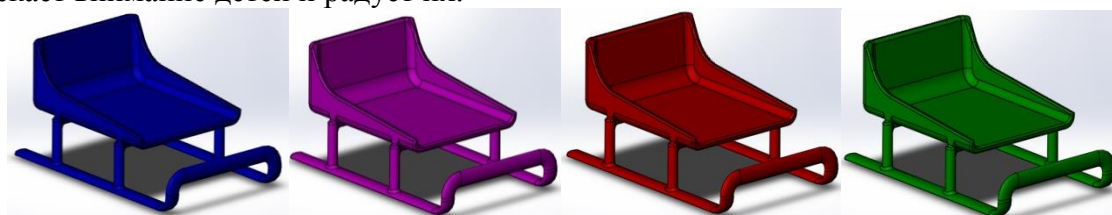


Рисунок 5 – возможности окраски пластиковых саней

(АБС) Пластик имеет ряд преимущественных свойств, это повышенная

ударопрочность и эластичность, не токсичность в нормальных условиях, долговечность в отсутствии прямых солнечных лучей и ультрафиолета, стойкость к щелочам и моющим средствам, влагостойкость, широкий диапазон эксплуатационных температур (от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+90^{\circ}\text{C}$ ). Это сравнительно недорогой материал.

Санки, изготовленные из пластика имеют небольшой вес, следовательно, ребенок сам сможет поднимать их в горку, они легки в управлении, удобны в эксплуатации, не имеют острых углов, безопасны и комфортны.

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОСНАСТКИ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА ДЛЯ ИНТЕРЬЕРА САМОЛЕТА**

**А.С. Швец – студентка группы ПКМ-91, науч. рук. Е.С. Ананьева – профессор, к.т.н.**

Алтайский государственный университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Применение оснастки для формования изделий из полимерных композиционных материалов позволит повысить надежность и долговечность готовых изделий в эксплуатации, а также снизить потребление электрической энергии при формовании.

**Изготовление оснастки** – ответственный этап производственного процесса и является самой сложной и ответственной работой, поскольку именно от ее качества зависит и качество будущего изделия. При некачественно изготовленной оснастке обязательно проявятся изъяны в изделии, что в конечном итоге приведет к финансовым издержкам, задержке производственного цикла, браку конечного изделия.

Основные требования к оснастке [1]:

1. оснастка должна иметь достаточную изгибную и крутильную жесткости, обеспечивающие получение деталей, удовлетворяющих требованиям к точности выполнения их форм и размеров. Разрушающее напряжение при изгибе не менее 800 МПа;

2. конструкция и материал оснастки должны обеспечивать многократное формование деталей из КМ при температуре  $170^{\circ}\text{C}$  и давлении 1 МПа;

3. рабочие поверхности оснастки должны обеспечить качество поверхности деталей в соответствии с техническими условиями на изделие;

4. коэффициент линейного теплового расширения (КЛТР) материала оснастки должен быть близок к КЛТР формующей детали, а в случае отличия должен учитываться при проектировании оснастки;

5. формообразующая обшивка оснастки должна сохранять герметичность при условиях формования деталей из КМ;

6. рабочие поверхности оснастки должны иметь антиадгезионные свойства за счет нанесения специальных покрытий;

7. оснастка должна иметь минимальную массу при обеспечении требуемой жесткости с целью сокращения времени прогрева (не более  $40\text{ кг/м}^2$  конструкции оснастки);

8. разметка на формах должна быть четко выполнена в соответствии с требованиями чертежей изделия, и обеспечить возможность переноса ее на деталь путем отпечатка.

Оснастка должна обеспечивать:

- постоянство и равномерность распределения давления по всей поверхности детали;

- равномерность прогрева детали;

- возможность монтажа ограничительной рамки и вакуумной диафрагмы при использовании формы для склейки трехслойных элементов конструкции.



Минимальное требование к рабочим помещениям при изготовлении оснастки – температура на любой стадии не должна опускаться ниже 18 °С. Такое же требование касается всех материалов, а также модели.

Для индивидуального и мелкосерийного производства формующий инструмент может быть изготовлен из дерева, гипса, металлических сплавов, стеклопластика, резины.

Оснастка из дерева, несмотря на ее очевидные преимущества и простоту, имеет ограниченное применение, обусловленное значительным влиянием температуры и влажности воздуха на форму и размеры формующих элементов.

Формы из гипса пригодны для методов формования при низком давлении, однако малая поверхностная твердость является причиной ограниченного срока службы этих форм [2].

Оснастка из резины используется ограниченно, в основном только для изготовления стеклопластиковых изделий методом формования с помощью эластичной диафрагмы, а также для получения резиновых чехлов и мешков.

Оснастка из металлических сплавов и металлов обладает наилучшими прочностными показателями по сравнению с другими материалами, однако технологический процесс изготовления металлических форм является весьма трудоемким и дорогостоящим.

Элементы форм из металлов изготавливаются в основном литьем с последующей механической обработкой. Такие формы целесообразно применять только при достаточно высоких давлениях формования [2].

Оснастка из стеклопластиков применяется в основном для изготовления крупногабаритных стеклопластиковых изделий методами формования без давления (рисунок 1).



Рисунок 1 – Оснастка из стеклопластика

Преимущества оснасток из стеклопластика [3]:

- высокая скорость изготовления;
- возможность изготавливать изделия самой сложной конфигурации;
- прочность, стойкость к износу;
- нейтральность в отношении большинства химических реагентов;
- легкий вес;
- долговечность, устойчивость к высушиванию на солнце;
- прекрасные электроизоляционные свойства;
- простота использования и ремонта.

На основании соответствия качества точности и относительного удлинения формы при термическом воздействии, для изготовления стеклопластиковых изделий, целесообразно



выбрать схожую по природе форму, так же изготовленную из стеклопластика.

К основным достоинствам стеклопластиков относятся: достаточно высокая механическая прочность; высокая усталостная прочность; низкая чувствительность к надрезам; высокое аэродинамическое качество поверхности; высокая коррозионная стойкость; радиопрозрачность материала; достаточная радиационная стойкость [4].

Стеклопластик обладает многими очень ценными свойствами, дающими ему право называться одним из материалов будущего: малый вес, удельный вес стеклопластиков колеблется от 400 до 1800 кг/м<sup>3</sup> и в среднем составляет 1100 кг/м<sup>3</sup>. Стеклопластики имеют достаточно высокую усталостную прочность, которая зависит от угла ориентации волокон по отношению к оси укладки и от природы связующего. Наилучшим связующим, повышающим усталостную прочность, является эпоксидная смола.

Знание требований к изделию позволяет выбрать приемлемую технологию производства оснастки, пусть не всю, но хотя бы доводочных операций.

Зная это и количество изделий, снимаемых с матрицы, уже можно более детально проработать конструкцию оснастки. Действительно, если количество снимаемых изделий мало, то нет смысла изготавливать оснастку с большим запасом прочности.

Изготавливать оснастку можно несколькими способами: методом контактного формования, но при этом будут низкие физико-механические свойства изделия из-за низкого давления уплотнения; методом RTM можно изготовить качественные с точными геометрическими параметрами изделие, но главный недостаток этого метода высокая цена и сложность процесса. Наиболее эффективным и оптимальным методом получения оснастки является метод инфузии [5].

При контактном формовании вложенный в матрицу пакет волокон вручную пропитывается смолой при помощи щётки, ролика или других средств. Для усовершенствования этого метода может быть применима вакуумная подпрессовка для откачивания лишней смолы и воздуха из ламината. Вакуумная подпрессовка значительно улучшает соотношение волокна и смолы. Результатом этого является более прочный и легкий продукт.

Процесс вакуумной инфузии смолы - это технология, при которой смола вводится в ламинат с помощью вакуума (рисунок 2). Сухой пакет материалов укладывается в матрицу. Прежде чем вводить смолу, конструкция герметично накрывается вакуумной плёнкой или помещается в вакуумный мешок. После этого к ней подсоединяется вакуумный насос. Как только достигнут вакуум, необходимый в зависимости от выбранного типа смолы и рекомендации производителя, смола с введенным в нее отвердителем, всасывается в ламинат через подсоединённую трубку, опущенную в ёмкость со смолой [5].



Рисунок 2 – Процесс вакуумной инфузии

Технологический процесс изготовления оснастки по трудоемкости составляет 42 часа, применение в изготовлении новой современной техники позволяет сократить процесс изготовления оснастки на 20 % (рисунок 3).

Соотношение волокна и смолы, достигнутое в процессе вакуумной инфузии, лучше, чем результаты типичной ручной пропитки, комбинированной с последующим вакуумным откачиванием, производимым после нанесения смолы. Сама по себе смола очень хрупкая, поэтому любой избыток смолы значительно ослабляет деталь. Результат откачивания зависит от разных переменных, включая давление, тип смолы и продолжительность процесса [6].

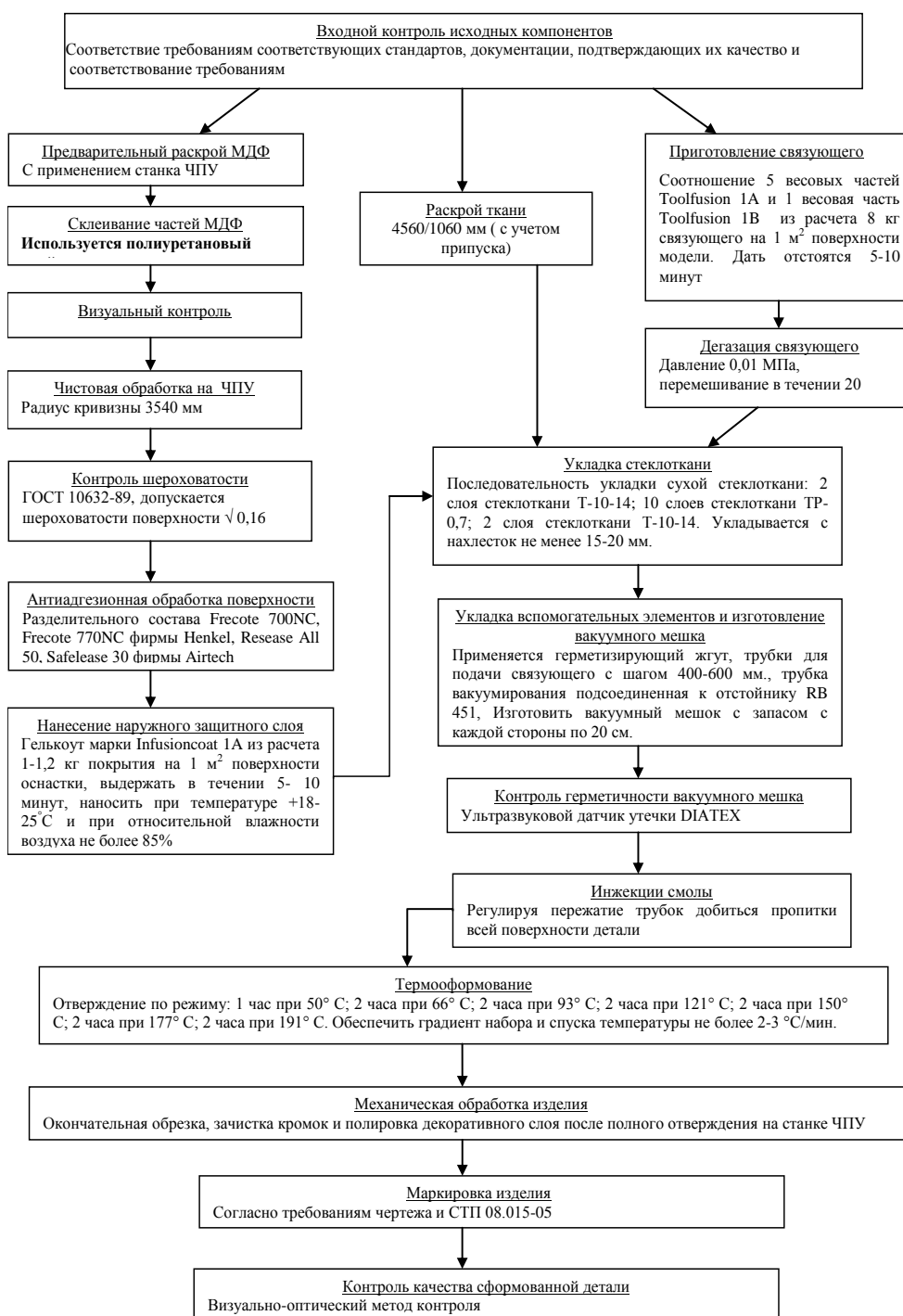


Рисунок 3 – Технологическая схема процесса инфузии

Данный метод позволяет изготовить изделие в черте города из-за почти нулевой эмиссии стирола; возможность изготовления габаритных изделий; чистота рабочего места; лучшее соотношение волокна и смолы (повышение прочности и лёгкости изделия), в отличие от традиционных способов нанесения смолы, процесс вакуумной инфузии исключает необходимость откачивания лишней смолы. Таким образом, при соблюдении технических параметров достигается повторяемость веса, а также соотношение волокна и смолы в изделии.

Данная технология широко применяется на практике не только в формостроении, но и при изготовлении непосредственно конечных изделий в кораблестроении, ветроэнергетике, автомобилестроении, в частности при тюнинге.

Варьируя определенными параметрами можно повысить качество точности и уменьшить шероховатость поверхности оснастки.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. **Глаголев, А.Н. Конструкция самолетов** [Текст] / А.Н. Глаголев, М.Я.Гольдинов, С.М. Григоренко. – М.: Машиностроение, 1975. – 480 с.
2. **Васильев, В. В.Композиционные материалы: справочник** [Текст] /В. В. Васильев, Д. В. Протасов, В. В. Болотин и др.; под ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского – М.: Машиностроение, 1990, 510 с.
3. **Справочник по композиционным материалам:** В 2-х кн. Кн. 1 [Текст] / Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. А.Б. Геллера, М.М. Гельмонта; Под ред. Б.Э. Геллера. – М.: Машиностроение, 1988. – 448 с.
4. **Мазо, А.И. Армированные полимерные материалы, их свойства и области применения** [Текст]/ А.И. Мазо, К. Е. Перепелкин// ДНТП. –1974. №3 – С. 38-50
5. **Киселев, Б.А. Стеклопластики.** [Текст]/ Б. А. Киселев – М.: Госхимиздат. 1961. 120 с.
- 6 . **Бабичев А. П Справочник инженера-технолога в машиностроении,** [текст] / Рысева Т. Н., Чукарина И. М, Мотренко П. Д.М.:Машиностроение,1990 – 382 с.