

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра Проектирование и эксплуатация автомобилей

(наименование)

23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и автомобильный сервис

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Технико-экономическое обоснование производства автомобилей
класса Formula Student

Обучающийся

А.Д. Еранцев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.В. Бобровский

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

В рамках данной бакалаврской работы рассматривается степень влияния технологических процессов на себестоимость прототипа автомобиля, в частности, на прототип гоночного болида класса Formula Student.

Целью работы является выявление и описание технических и экономических решений для снижения стоимости прототипов автомобилей. Для этого описан ряд задач, среди которых описание опыта участия в проекте Formula SAE, перечисление существующих методов снижения стоимости, анализ технологичности конструкции, расчет стоимости материалов и расчет стоимости изготовления.

В ходе работы были описаны возможные способы уменьшения стоимостных показателей автомобиля путем выбора оптимальных производственных процессов.

Выпускная квалификационная работа состоит из 52 страниц пояснительной записки, 2 таблиц, 34 рисунков и графической части, содержащей 6 листов.

Abstract

In this paper, the impact of the applied technological processes on the cost of car prototypes will be considered using the Formula Student car as an example.

The purpose of this work is to identify and describe technical and economic solutions to reduce the cost of car prototypes. To do this, a number of tasks are described, including a description of the experience of participating in the Formula SAE project, listing existing cost reduction methods, analyzing the manufacturability of the design, calculating the cost of materials and calculating the cost of manufacturing.

In the course of the work, ways were described to reduce the cost of a prototype car in the "Formula Student" class by choosing the most economical and technically sound production process.

The final qualifying work consists of 52 pages of an explanatory note, 2 tables, 34 figures and a graphic part containing 6 sheets.

Содержание

Введение	5
1 Состояние вопроса	6
1.1 Опыт участия в проекте Formula Student	6
1.2 Описание методов снижения себестоимости.....	8
2 Анализ исходных данных	13
2.1 Технологичность конструкции	13
2.2 Калькуляция материальных затрат.....	28
2.3 Расчет производственных затрат	40
Заключение	49
Список используемой литературы и используемых источников	50

Введение

«Formula Student занимает важное место среди высших учебных заведений в качестве практически направленного проекта, как с точки зрения проектирования и создания прототипов транспортных средств, так и точки зрения понимания экономической целесообразности предлагаемых студентами технологических решений» [2].

Будучи участниками проекта, студенты не только проектируют прототип транспортного средства, но и имеют возможность увидеть его развитие с точки зрения влияния используемых технологических процессов на стоимость конечного прототипа автомобиля. Компетенции, полученные в ходе проекта, имеют большое значение в развитии всестороннего понимания принципов функционирования компании со стороны будущего инженера.

Цель работы – рассмотрение аспектов формирования стоимости автомобиля на примере гоночного автомобиля класса «Формула Студент» и объяснить, а также разработка методов снижения этой стоимости. Цель работы обусловила постановку нескольких задач:

- описать проект FSAE, опыт участия в нем, а также охарактеризовать требования регламента;
- предоставить варианты выполнения конструкции болидов, которые создавались в рамках проекта;
- выявить зависимость себестоимости от используемых материалов, техпроцессов и наименований оборудования;
- сравнить конструктивные решения разных гоночных болидов по стоимости.

Полученные результаты могут быть использованы в статических дисциплинах проекта: «Защита себестоимости» и «Презентация бизнес-плана» [2].

1 Состояние вопроса

1.1 Концепция проекта Formula Student

«Международные соревнования Formula SAE были созданы Сообществом автомобильных инженеров для того, чтобы предоставить студентам инженерных специальностей возможность проектировать и разрабатывать собственные прототипы гоночных автомобилей. Для успешного участия в соревнованиях студенческие команды должны следовать правилам, изложенным в официальном регламенте FS-Rules. Правила охватывают все аспекты участия в соревнованиях и накладывают значительные ограничения на конструкцию разработанных студентами автомобилей, чтобы обеспечить безопасное участие всех команд.

Соревнования «Формула Студент» состоят из нескольких основных частей:

- тех. инспекция,
- статические дисциплины,
- динамические дисциплины.

В ходе технической инспекции проверяются все системы гоночного автомобиля на соответствие регламенту. Успешное прохождение технической инспекции, которая включает механическую инспекцию, тест на опрокидывание, тест на шум (только для болидов с ДВС), тест на торможение, проверку аккумулятора (только для электроболидов), электрическую инспекцию (только для электроболидов), испытание в условиях дождя (только для электроболидов), а также взвешивание, дает команде право участвовать в динамических испытаниях» [2].

«Соревнования FSAE включают в себя несколько динамических дисциплин для проверки характеристик автомобилей, разработанных командами.

- SkidPad состоит из двух соединенных кругов, на которых водитель

- должен продемонстрировать маневренность и ускорение на поворотах;
- Ускорение – на прямом участке длиной 75 метров водитель гоночного автомобиля должен продемонстрировать максимально возможное ускорение;
 - Автокросс – трасса для этого испытания включает прямой участок, а также различные повороты и шпильки;
 - Гонки на выносливость – считаются самой важной динамической дисциплиной на соревнованиях, в них проверяется надежность автомобиля;
 - Эффективность – часть гонок на выносливость, используется для проверки эффективности использования топлива или электрического заряда (в зависимости от класса автомобиля) во время гонки.

Также существуют три статические области, которые являются неотъемлемой частью проекта Formula Student: защита дизайна, презентация бизнес-плана и отчет о производственных затратах. Первый из них предназначен для проверки знаний в области инженерного проектирования, которые демонстрируют студенты, строящие гоночный автомобиль. Следующая статическая дисциплина – экономическая. Необходимо обосновать производственные затраты на разработанный автомобиль и продемонстрировать возможные способы привлечения инвестиций» [2].

Существует и практическая значимость статических дисциплин, позволяющая команде уделить все внимание оценке не только технологичности конструкции, но и финансовых вложений и стоимости изготовления при составлении необходимой документации. «Особенно в условиях ограниченного бюджета члены команды вынуждены изучать различные способы снижения стоимости автомобильных прототипов» [2].

1.2 Методы снижения себестоимости

«Себестоимость продукции является одной из важнейших статей экономики. От ее уровня во многом зависит эффективность производства и экономическая деятельность предприятия» [4]. Себестоимость продукции – это оценка стоимости природных ресурсов, материалов, труда и основных фондов, используемых в процессе производства и реализации продукции. «Этот показатель отражает сумму текущих затрат, которые носят производительный и накопительный характер, обеспечивая процесс простого воспроизводства на предприятии» [6].

«В зависимости от состава затрат, включаемых в себестоимость промышленной продукции, различают следующие виды производственных затрат:

- технологическая себестоимость,
- цеховые расходы,
- заводские производственные затраты,
- полная себестоимость.

Снижение себестоимости единицы продукции возможно в двух направлениях: по источникам и по факторам» [19]. «Источники определяют, что изменится и на какие компоненты себестоимости повлияет управление, а факторы определяют, как произойдут эти изменения и в рамках какого механизма это будет реализовано» [2].

«Источники определяются как затраты, которые могут быть сэкономлены для снижения себестоимости продукции. К ним относятся:

- улучшение затрат труда;
- улучшение использования средств труда;
- улучшение использования самой рабочей силы;
- улучшение использования организации производства, труда и управления.

Конечно, степень влияния того или иного фактора напрямую зависит

от особенностей конкретного предприятия и действующей на нем производственной политики. Кроме того, для наиболее эффективного снижения себестоимости продукции необходимо всестороннее понимание того, какие затраты занимают наиболее важное место в себестоимости. Исходя из этого, можно определить приоритеты, по которым следует проводить мероприятия по снижению затрат» [6].

Далее распишем известные варианты снижения стоимости.

Технологические процессы (внедрение новых машин, механизация и автоматизация производственных процессов, усовершенствования, прогрессивные виды материалов (например, аддитивные материалы) позволяют снизить издержки).

Расширение специализации (на специализированных предприятиях, выпускающих продукцию в больших объемах, издержки производства значительно ниже, чем на предприятиях, выпускающих ту же продукцию в меньших количествах).

Повышение производительности труда (повышение производительности труда снижает затраты труда на единицу продукции и тем самым уменьшает долю заработной платы в структуре производственных затрат).

Снижение затрат в производственно-хозяйственной деятельности предприятия (последовательное внедрение режима экономии на предприятии проявляется в виде снижения материальных затрат на единицу продукции, снижения затрат на обслуживание производства и административных расходов, а также устранения потерь и других непроизводительных затрат из-за выпуска бракованной продукции).

Снижение стоимости используемых материалов и ресурсов (во многих отраслях материальные затраты занимают очень важное место в составе стоимости продукции).

«Расчет себестоимости продукции можно условно разделить на несколько этапов: расчет общего объема производства, расчет фактических

производственных затрат по каждому виду продукции и расчет себестоимости единицы продукции» [6]. Поскольку в этой бакалаврской работе рассматривается производство одного опытного образца автомобиля, количество расчетов для калькуляции себестоимости продукции сведено к минимуму.

Таким образом, можно сделать вывод, что для разработки методологии снижения стоимости прототипов гоночных автомобилей необходимо определить наиболее важные статьи расходов и изучить возможности снижения затрат с точки зрения используемых технических процессов, материалов и ресурсов [10].

Необходимо учитывать ограничения, связанные с регламентом, и характер соревнований Formula SAE [21]. Например, пункт А 2.2 гласит, что автомобиль может участвовать в соревнованиях только в течение одного года, и что для того, чтобы быть признанным новым автомобилем, в конструкцию шасси предыдущей модели автомобиля должны быть внесены «значимые» нововведения.

A 2.2 First Year Vehicles

A 2.2.1 A vehicle may only be used for one year, counting from the first day onsite of its first competition.

A 2.2.2 To be classified as new, a vehicle must have at minimum, a newly manufactured chassis with significant changes in the primary structure to its predecessor [21].

Это подразумевает, что студенческой команде необходимо тщательно продумать план и правильно распределить имеющееся время, средства и оборудование. В дополнение к ограничениям по времени, необходимо учитывать следующие соображения:

- бюджет команды (работа студента в команде заключается в поиске и работе со спонсорами для выделения средств на деятельность команды);

- количество и возможности участников (правило А, пункт 2.1.1 гласит, что транспортные средства, которые будут участвовать в соревновании, «должны быть разработаны членами студенческой команды без непосредственного участия профессиональных инженеров, водителей и подобных экспертов»);
- доступное оборудование/возможности аутсорсинга (одной из основных проблем, с которыми сталкиваются студенты, участвующие в Formula SAE, является проблема выбора способа сборки компонентов автомобиля);
- концепция разрабатываемого автомобиля (стоимость прототипа может зависеть от первоначальной концепции) [2].

Так, в основу болидов Formula Student команды ТГУ Togliatti Racing Team традиционно входят такие принципы, как простота и надежность. В частности, простота позволяет сделать машину более ремонтпригодной, а благодаря надежности конструкции автомобиль может завершить гонку на выносливость или Endurance общей длиной 22 км, что является важным показателем работы команды.

Кроме того, имея качественное оборудование и опытных членов студенческой гоночной команды, необходимо принять множество решений о том, покупать ли некоторые детали собираемого автомобиля или собирать их самостоятельно. В случае выбора покупки необходимо учитывать время доставки деталей, что может повлиять на весь процесс сборки [2].

Учитывая эти факторы и стремясь достичь наилучших результатов, команда может применять различные методы для снижения стоимости изготовления автомобилей.

Однако в настоящее время не предполагается, что будет оцениваться самый экономичный метод производства; организаторы и судьи FSAE будут оценивать понимание каждой командой технического процесса и ее способность обосновать его применение. Таким образом, методы снижения стоимости прототипов могут быть использованы участниками по желанию. В

данном исследовании рассматриваются факторы, влияющие на стоимость автомобильных прототипов с точки зрения оптимального выбора материалов, производственных систем и методов сборки.

Выводы по разделу

В первом разделе бакалаврской работы была описана концепция студенческого проекта Formula SAE и одноименных соревнования, а также приведены известные экономистам методы снижения себестоимости единицы продукции. К ним мы отнесли изменение технологических процессов, повышение квалификации персонала предприятия, увеличение производительности, снижение затрат на производственных участках, выбор в пользу менее дорогостоящих материалов.

2 Анализ исходных данных

2.1 Анализ технологичности

Анализ технического проекта обеспечивает улучшение технико-экономических показателей разрабатываемого процесса. Поэтому анализ технологии является одним из важнейших этапов разработки технологии [13]. Анализируя технологичность конструкции, важно подумать, возможно ли снижение трудоемкости (и за счет чего) и может ли предприятие перейти на другие способы обработки, например, с использованием более производительных методов. «Поэтому повышение технологичности конструкции позволяет снизить стоимость ее изготовления без ущерба для ее служебного назначения» [3].

В данной главе бакалаврской работы будут рассмотрены два узла гоночного автомобиля класса Formula Student – подвеска и ступичный узел. Выбор именно этих систем объясняется следующим образом: согласно таблице распределения затрат (рисунок 1), эти системы представляют собой значительную часть бюджета, и вполне оправдано попытаться сократить расходы за счет снижения стоимости этих узлов.

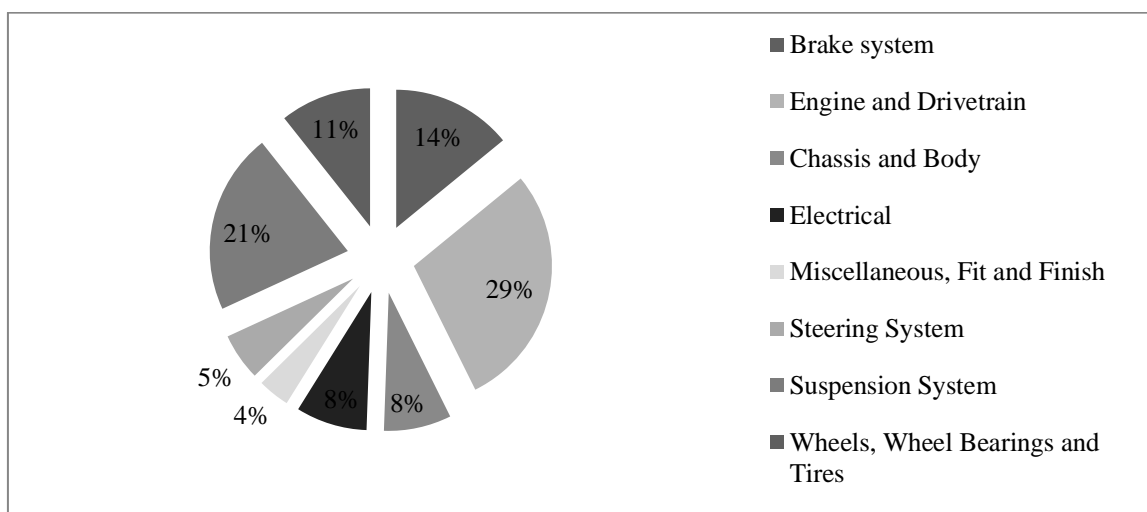


Рисунок 1 – Распределение расходов

«Представленные системы были выбраны на основе предложенных в регламенте FS-Rules» [20]. «Это обусловлено тем, что, во-первых, данные узлы наиболее подвержены изменениям и чаще всего изготавливаются студенческими командами самостоятельно, в отличие, например, от колес или двигателя» [2], что видно из таблицы 1.

Таблица 1 – Узлы автомобиля

Узел	Деталь	Изготовлено/куплено	Стоимость, тыс. руб.
1	2	3	4
Тормозная система	Тормозной диск 4 шт.	изготовлено	205,12
	Тормозной цилиндр 2 шт.	куплено	
	Стабилизатор 1 шт.	изготовлено	
	Бак тормозной жидкости 2 шт.	куплено	
	Тормозная жидкость	куплено	
	Тормозная колодка 8 шт.	куплено	
	Тормозной контур, 1 шт.	куплено	
	Суппорт, 4 шт.	куплено	
	Ограничитель давления, 1 шт.	куплено	
	Крепежные изделия	куплено	
	Обвес	Рама, 1 шт.	
Обвес, 1 шт.		изготовлено	
Пол, 1 шт.		изготовлено	
Педаля акселератора, 1 шт.		изготовлено	
Тормозная педаль, 1 шт.		изготовлено	
Рычаг переключения передат, 1 шт.		изготовлено	
Аттенюатор, 1 шт.		куплено	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4		
Подвеска	Амортизатор, 4 шт.	куплено	288,40		
	А-образный рычаг, 8 шт.	изготовлено			
	Пружина, 4 шт.	куплено			
	Кулак передний, 2 шт.	изготовлено			
	Кулак задний, 2 шт.	изготовлено			
	Стабилизатор подвески, 2 шт.	изготовлено			
	Коромысло, 4 шт.	изготовлено			
	Пулрод, 2 шт.	изготовлено			
	Пушрод, 2 шт.	изготовлено			
	Реактивная тяга подвески, 2 шт.	изготовлено			
	Двигатель и трансмиссия	Приводной вал, 2 шт.		изготовлено	126,91
		Цепь, 1 шт.		куплено	
Охлаждающая жидкость		куплено			
Трубопровод охлаждающей жидкости, 1 шт.		куплено			
Граната, 4 шт.		куплено			
Мотор, 2 шт.		куплено			
Расширительный бачок, 1 шт.		куплено			
Радиатор, 1 шт.		куплено			
Вентилятор радиатора, 2 шт.		куплено			
Звезда, 2 шт.		куплено			
Выпускной коллектор, 1 шт.		изготовлено			
Топливный фильтр, 1 шт.		куплено			
Топливная форсунка, 1 шт.		куплено			
Топливопровод, 1 шт.		куплено			
Топливный насос, 1 шт.		куплено			
Топливный бак, 1 шт.		изготовлено			
Впускной коллектор, 1 шт.		изготовлено			
Глушитель, 1 шт.		куплено			

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
	Дренажный бачок, 2 шт.	куплено	
	Рестриктор, 1 шт.	куплено	
Электрокомпоненты	Аккумулятор, 1 шт.	куплено	228,06
	BSPD, 1 шт.	куплено	
	ЭБУ, 1 шт.	куплено	
	Приборная панель, 1 шт.	куплено	
	Стоп-сигнал, 1 шт.	куплено	
	Главный переключатель, 1 шт.	куплено	
	Кнопка пуска, 1 шт.	куплено	
	Кнопка останова, 4 шт.	куплено	
	Реле регулятор напряжения, 1 шт.	куплено	
	Реле стартера, 1 шт.	куплено	
	Главное реле, 1 шт.	куплено	
	Реле давления топлива, 1 шт.	куплено	
	Реле вентилятора, 1 шт.	куплено	
	Датчик абсолютного давления, 1 шт.	куплено	
	Датчик дрессельной заслонки, 1 шт.	куплено	
	Датчик педали тормоза, 1 шт.	куплено	
	Датчик расхода воздуха, 1 шт.	куплено	
	Соединительный блок, 1 шт.	куплено	
	Рулевая система	Рулевая рейка, 1 шт.	
Рулевой вал, 1 шт.		изготовлено	
Рулевое колесо, 1 шт.		изготовлено	
Быстросъемная муфта, 1 шт.		куплено	
Рулевая тяга, 1 шт.		изготовлено	
Колеса, шины	Передняя ступица, 2 шт.	изготовлено	151,59

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
	Задняя ступица, 2 шт.	изготовлено	
	Шина, 4 шт.	куплено	
	Колесо, 4 шт.	куплено	
	Шпилька крепления колеса, 16 шт.	куплено	
	Подшипник колеса, 4 шт.	куплено	
	Шток клапана, 4 шт.	куплено	
Другое	Файервол, 1 шт.	изготовлено	47,88
	Подголовник, 1 шт.	изготовлено	
	Обивка главной дуги, 2 шт.	куплено	
	Сиденье, 1 шт.	изготовлено	
	Ремень безопасности, 1 шт.	куплено	

Из таблицы видно, что в подвеске, раме и обвесе преобладают те детали, которые были самостоятельно изготовлены студенческим коллективом, а не куплены у производителя. Более наглядно это отражено на рисунке 2:

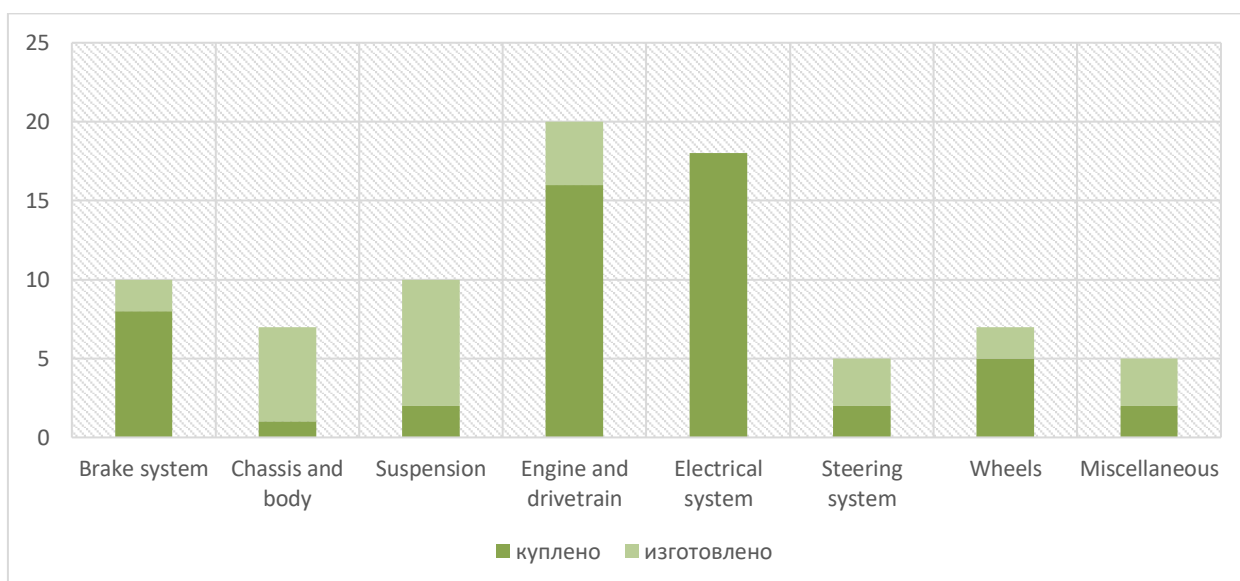


Рисунок 2 – Количественное соотношение изготовленных и купленных деталей по системам

С приведением к 100% (рисунок 3):

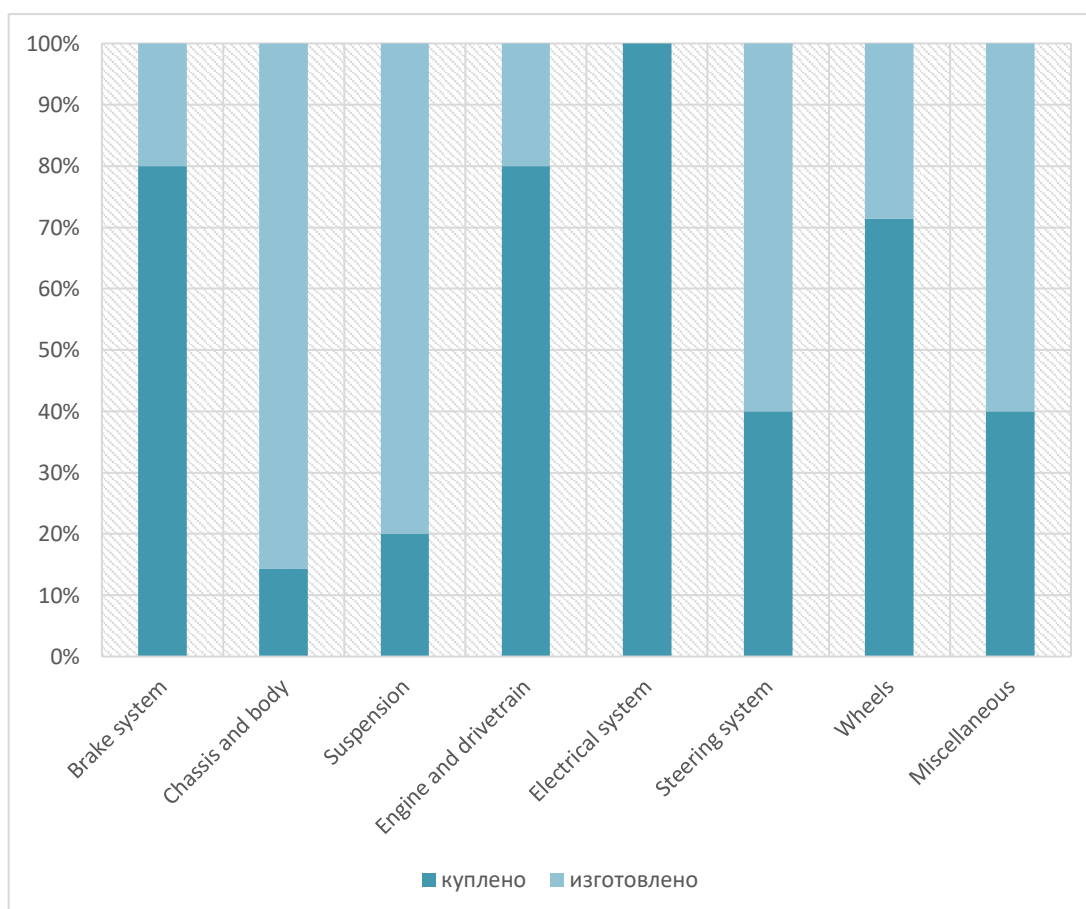


Рисунок 3 – Процентное соотношение изготовленных и купленных деталей по системам

«Рассмотрим подробнее некоторые из представленных узлов на основе анализа всей конструкции гоночного автомобиля Formula Student» [7].

1. Несущая конструкция, шасси. В рамках инженерного проекта разрешается несколько типов шасси. Первый вариант – пространственная рама из стальных труб. К трубам предъявляются следующие ключевые требования:

«Т 3.2.2 Steel tubing has to be made from unalloyed carbon steel with a maximum content of 0.3 % carbon, 1.7 % manganese and 0.6 % of any other

Т 3.2.2 Стальные трубы должны быть изготовлены из нелегированной углеродистой стали с максимальным содержанием 0,3 % углерода,

element.

1,7 % марганца и 0,6 % остальных элементов.

T 3.3.1 Alternative materials may be used for all parts of the primary structure and the TSAC with the following exceptions:

- The main hoop and the main hoop bracing must be steel
- The front hoop must be metal
- Any welded structures of the primary structure must be steel
- However, the front hoop may be an aluminum welded structure

T 3.3.1 Можно использовать альтернативные материалы для труб пространственной рамы и для корпуса аккумулятора тяговой системы

- Главная дуга и ее распорки должны быть изготовлены из стали
 - Передняя дуга должна быть металлической
 - Любые сварные конструкции первичной структуры должны быть стальными
 - Передняя дуга может иметь алюминиевую сварную структуру»
- [21]

На рисунке 4 показан наиболее распространенный тип силовой структуры, используемый в гоночных автомобилях Formula Student. Этот вариант часто используется командами с ограниченным бюджетом или с небольшим штатом сотрудников. Этот тип силовой конструкции относительно прост и недорог в изготовлении.

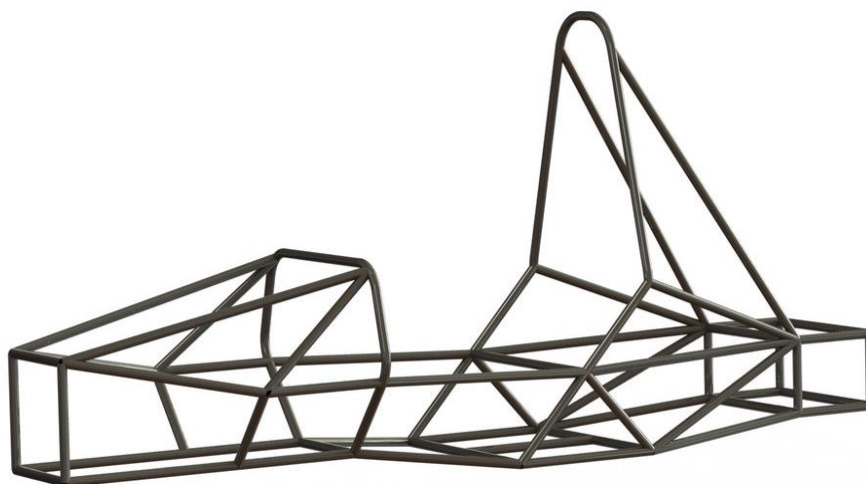


Рисунок 4 – Стальная рама

«Более дорогим решением является изготовление пространственной рамы из алюминия (рисунок 5). Именно поэтому данный вариант используется гораздо реже в практике FSAE. Кроме того, гибкость алюминия делает несущую конструкцию менее жесткой, что отрицательно сказывается на корректной работе подвески. Конечно, использование алюминия имеет свои преимущества. За счет легкости материала вес задней части автомобиля можно значительно уменьшить» [2].

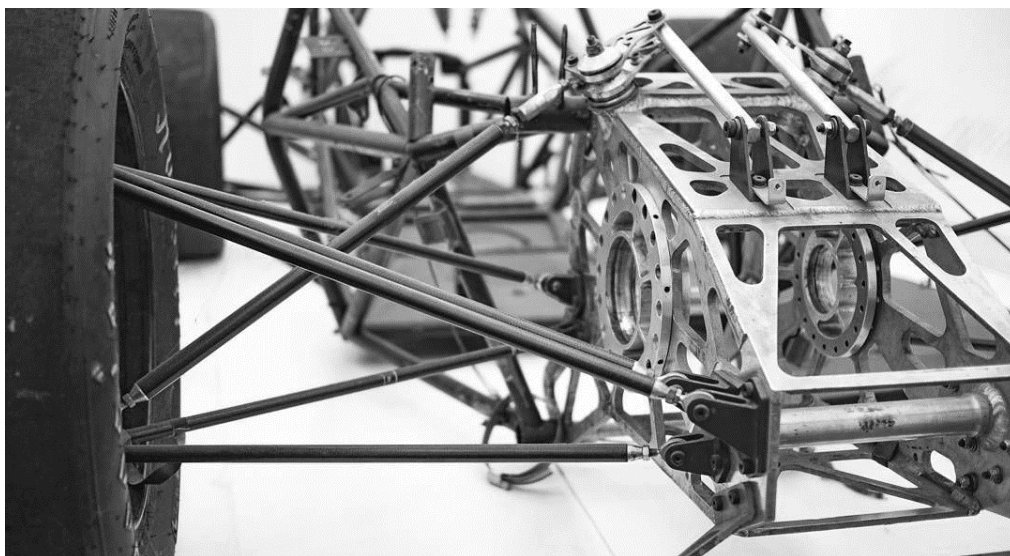


Рисунок 5 – Часть рамы из алюминия

Однако представленная система практически не подлежит ремонту и подлежит полной замене в случае деформации или разрушения алюминиевой конструкции.

«Наконец, самой дорогой и наиболее трудоемкой конструкцией является монокок, который по регламенту определяется как «композитное шасси». Несмотря на то, что монококи изготавливаются из дорогостоящих материалов на специальном оборудовании, они позволяют значительно снизить общий вес автомобиля, обеспечить достаточную жесткость конструкции и отличную ремонтпригодность, а также максимально оптимизировать геометрию подвески» [2] (рисунок 6).



Рисунок 6 – Силовая конструкция монокок

К изготовлению монокока также предъявляются некоторые требования, что отражено в FS-Rules:

«Т 3.9.5 Fully laminating the front hoop to the monocoque is acceptable. Fully laminating means that the hoop has to be encapsulated with laminate around its whole circumference. Т 3.9.5 Допускается полное ламинирование передней дуги и монокока. Полное ламинирование предполагает, что дуга должна быть покрыта ламинатом по всей окружности.

Т 3.14.4 The perimeter shear strength of the monocoque laminate in the front bulkhead support structure must be at least 4 kN. Т 3.14.4 Жесткость на сдвиг ламинированной конструкции по периметру несущей конструкции передней перегородки должна быть как минимум 4 кН» [21].

«Любая из трех перечисленных структур приемлема для использования группой FSAE.

2. Подвеска. Конструкция подвески болида Formula Student не регламентирована строго, что дает команде больше свободы в выборе конструкторских решений. Основные требования содержатся в пункте Т 2.4.1» [2].

Автомобиль должен быть оснащен полностью функциональной системой передней и задней подвески, включая амортизаторы. Доступный ход колеса составляет не менее 50 мм, а минимальный рывок – 25 мм, когда водитель сидит.

По большей части команды используют «стальные сварные рычаги подвески (рисунок 7). Это связано с надежностью, простотой и относительно низкой себестоимостью изготовления» [2].



Рисунок 7 – Стальной рычаг подвески

«Это решение является наиболее рациональным с точки зрения безопасности пилотов» [2] и т.п., особенно при полной массе автомобиля более 200 кг, так как при скоростных проездах по трассе соревнований FSAE сильно нагружаются рычаги подвески. Недостатком этого дизайна является то, что он тяжелый и, как отмечают некоторые команды, выглядит не очень эстетично.

На рисунке 8 показаны алюминиевая основа и рычаг подвески из углеродистой трубы. Такое решение целесообразно в условиях качественного изготовления и малого веса автомобиля, согласно инструкции по работе с композиционными материалами.



Рисунок 8 – Рычаг подвески из композитных материалов

«Карбоновые рычаги считаются менее надежными, чем стальные» [8], но «при правильном изготовлении это решение позволяет значительно снизить массу автомобиля. В то же время были случаи, когда автомобиль выбывал из гонки на соревнованиях именно из-за выхода из строя рычага из композитного материала. Поэтому мы считаем любое снижение веса за счет критических элементов, таких как рычаги подвески и тяги, неоправданным с точки зрения безопасности пилота и дальнейшей возможности участия в гонке» [2].

3. Опорные элементы подвески. К опорным элементам подвески относятся кулаки, выполняющие роль опор колес и распределяющие нагрузку от колес по подвеске. Так как кулак является достаточно сложным элементом, он не изготавливается из композиционных материалов, а используется другая технология изготовления.

Таким образом, на рисунке 9 показан «опорный элемент, состоящий из отдельных стальных деталей, сваренных вместе. Это самый надежный

вариант опорной конструкции. Такие кулаки можно изготовить практически в любых условиях, при этом они являются самыми ремонтпригодными» [2].

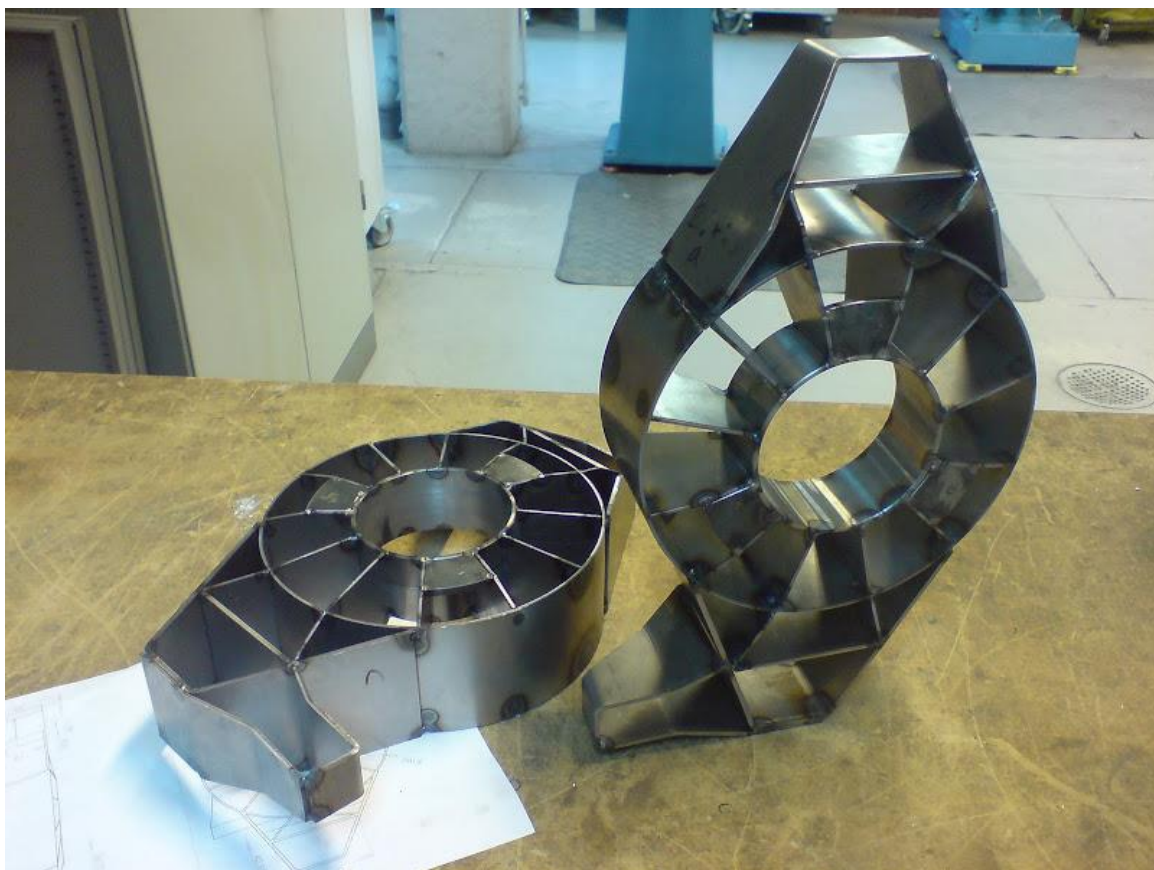


Рисунок 9 – Стальные сварные кулаки

Самым главным недостатком этой конструкции является дополнительный вес. Это означает большой общий вес автомобиля, и неподрессоренной массы, и не лучшим образом сказывается на устойчивости автомобиля. Тем не менее, использование сварных стальных опорных узлов – лучшее решение для команд с ограниченным бюджетом.

Другой вариант, сварные алюминиевые опорные элементы рисунок 10, менее распространен в сообществе Formula Student из-за «меньшей прочности сварных соединений и общей конструкции. Более того, в выездной ситуации ремонт таких кулаков представляется весьма затруднительным, к тому же ремонтные работы неизбежно снижают прочность сварных алюминиевых кулаков» [15].



Рисунок 10 – Сварные алюминиевые кулаки

Преимуществом этого варианта является его вес. Не стоит забывать, что при разработке гоночного автомобиля его конечная масса остается важным показателем.

Распространенным является фрезерованный кулак (рисунок 11).

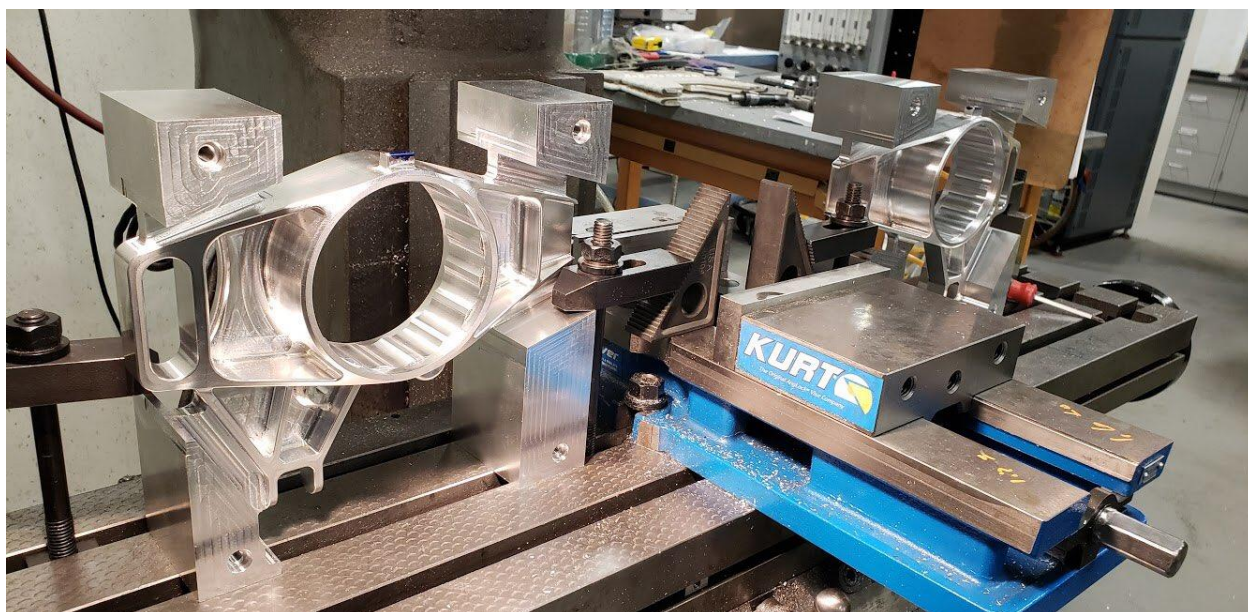


Рисунок 11 – Цельноалюминиевые фрезерованные кулаки

Говоря о недостатках таких кулаков, можно назвать:

- высокую стоимость материалов (чаще всего используется алюминий В95Т),
- высокие производственные затраты на станках с ЧПУ,
- плохую ремонтпригодность.

Поскольку предел текучести алюминия ниже, чем у стали, этот коэффициент необходимо точно рассчитать. Поворотные кулаки подвески содержат основную геометрию подвески и не должны деформироваться. Деформация влияет на управляемость.

Последним рассматриваемым вариантом был «титановый кулак, напечатанный на 3D-принтере металлом рисунок 12. Это, пожалуй, самое дорогое и трудоемкое решение» [12]. Такой вариант изготовления опорных элементов чаще встречается у команд, занимающих высокие позиции в мировом рейтинге соревнований Formula Student.



Рисунок 12 – Титановые кулаки, распечатанные на 3D-принтере по металлу

Однако такие кулаки сделаны из титана, поэтому они самые прочные и легкие. Оптимизация топологии детали также выполняется во время проектирования. Это удаляет лишний металл из формы кулака. «После оптимизации топологии деталь запускается на 3D-печать и подвергается постобработке на фрезерном станке. К недостаткам титановых печатных кулаков относятся:

- долгое время изготовления;
- высокая стоимость материалов, печати и обработки на станках с ЧПУ;
- не подходит для ремонта.

В зависимости от выбранного конструкторского решения команда может индивидуально скорректировать стоимость строящегося прототипа автомобиля» [2].

2.2 Калькуляция затрат

«Рассматривая предложенные варианты по материалам, используемым для основных систем гоночного автомобиля и принимая во внимание тот факт, что потребности в основных материалах определяются исходя из плановой нормы расхода на единицу продукции, в результате были использованы следующие формулы для наших расчетов» [2]:

$$M = G \times C_m \times (1 + k_{т.з.}) - G_{от} \times C_{от}, \quad (1)$$

где G – расход материала на единицу изделия, кг;

C_m – цена единицы измерения массы материала, руб./кг;

$k_{т.з.}$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные затраты (0,05–0,15);

$G_{от}$ – масса реализуемых отходов, кг;

$C_{от}$ – цена отходов за единицу измерения, руб./кг.

В пространственной раме, изображенной на рисунке 13, были использованы стальные трубы с внешним диаметром от 16 до 25 мм с разной толщиной стенки:

- стальная труба 25 x 2,5 – 4000 мм – 6890 г,
- стальная труба 25 x 1,8 – 18320 мм – 17150 г,
- стальная труба 25 x 1,5 – 2900 мм – 2550 г,
- стальная труба 20 x 2 – 610 мм – 490 г,
- стальная труба 16 x 2 – 1180 мм – 795 г.

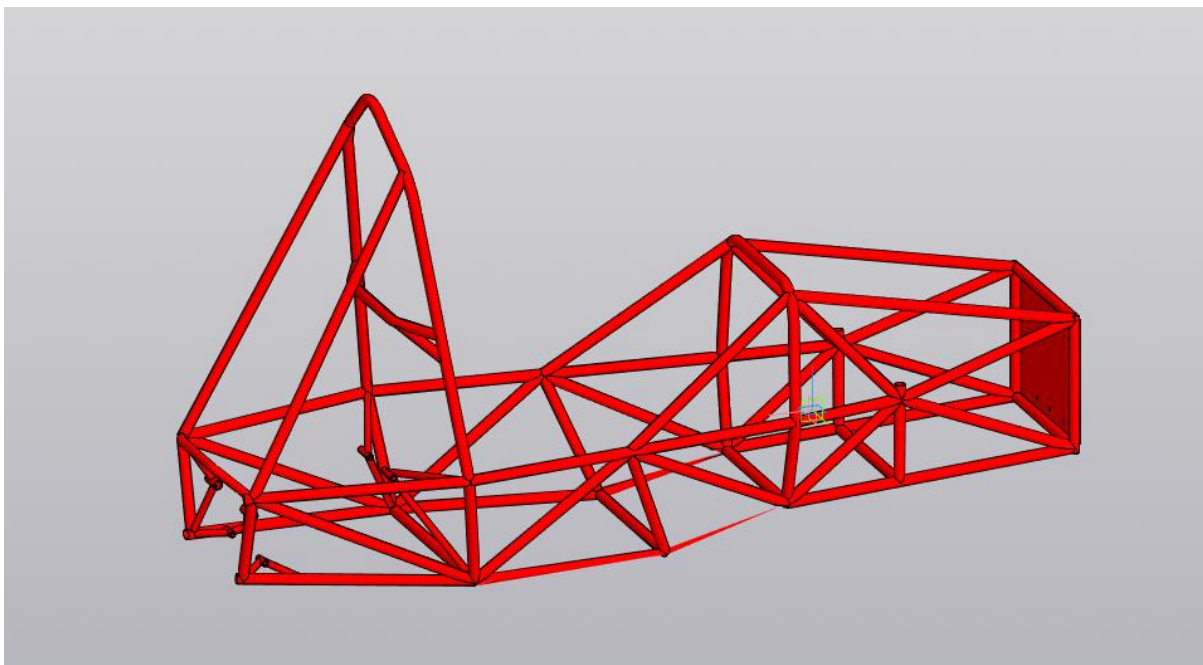


Рисунок 13 – Пространственная рама гоночного автомобиля

Каркас изготовлен в полном соответствии с правилами соревнований. Фрагмент показан на рисунке 14. Большинство бригад используют минимально допустимую инерцию трубы во время сборки, чтобы пространственная рама не была слишком тяжелой.

T3 General Chassis Design

Item or application	Minimum wall thickness	Minimum cross sectional area	Minimum area moment of inertia
Main and front hoops, shoulder harness mounting bar	2.0 mm	175 mm ²	11 320 mm ⁴
Side impact structure, front bulkhead, roll hoop bracing, driver's restraint harness attachment (except as noted above)	1.2 mm	119 mm ²	8509 mm ⁴
Front bulkhead support, main hoop bracing supports	1.2 mm	91 mm ²	6695 mm ⁴

Рисунок 14 – Требования к шасси

Общая масса труб пространственной рамы составляет 27875 граммов.

Цены на трубы разного диаметра и толщины стенки перечислены на рисунке 15:

Наименование	Цена, руб./т	Стоимость, руб.
труба 25x2.5 (сталь 20)	484000	3388
труба 25x1.8 (сталь 20)	515000	8773,62
труба 25x1.5 (сталь 20)	568800	1484,56
труба 20x2 (сталь 20)	510468	204
трубы 16x2 (сталь 20)	685000	822
Итого:		14672,18

Рисунок 15 – Стоимость материалов для изготовления пространственной рамы

«Помимо стальных труб для изготовления пространственной рамы требуется металлический кондуктор (стапель) для точной сварки без увода металла» [9]. Стапель изображен на рисунке 16.

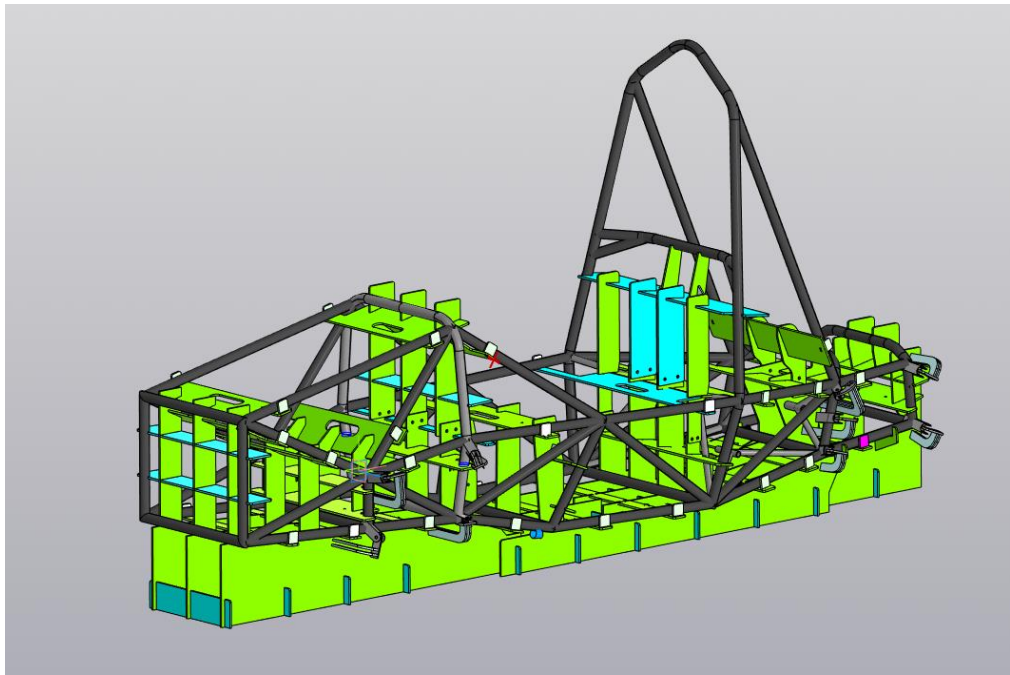


Рисунок 16 – Стальной кондуктор для пространственной рамы FSAE

Стапель необходим для точного изготовления пространственной рамы с соблюдением основных правил соревнований «Формула Студент» и для сохранения симметрии конструкции, так как без стапеля может получиться неправильная форма.

«Стапель изготовлен из стального листа толщиной 5 мм для уменьшения деформации под нагрузкой рисунок 17. Пластины вырезаются на лазерном станке, а затем собираются в единый стапель с точками сварки между ними» [11].

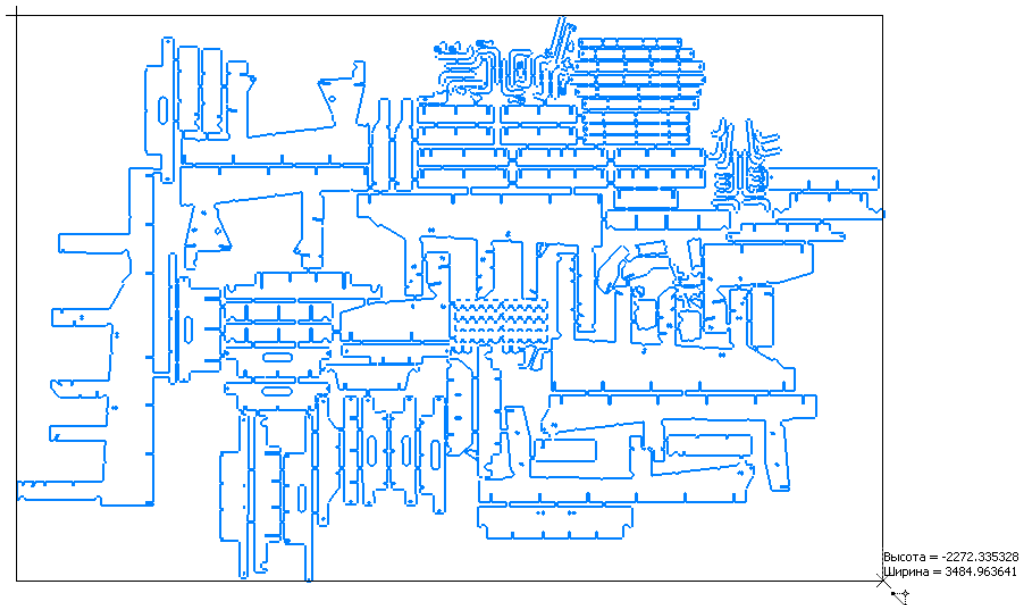


Рисунок 17 – Эскиз деталей для изготовления стапеля на лазерном станке

Как видно на эскизе выше, для изготовления стапельной части требуется стальной лист толщиной 5 мм с размерами 2272x3485 мм (7,91 м²). Для изготовления используются листы размером 2500x3500 мм (8,75 м²), так как металлические листы нестандартных размеров в производстве не используются. Стоимость одного квадратного метра листа 5 мм составляет 4000 рублей. Стоимость необходимого металлического листа составит:

$$Cost = S \times c, \quad (2)$$

где S – площадь металлического листа, м²;

c – цена листа за 1 м², руб.

«В большинстве случаев монокок болида класса Formula Student состоит из нескольких слоев разнонаправленной углеродной ткани и одного слоя наполнителя. Вместе перечисленные элементы образуют единый композитный сэндвич» [2] – основу для аэродинамического обвеса гоночного болида. «Слои обычно склеиваются поэтапно с использованием специализированной эпоксидной смолы, для равномерного распределения

которой используется такой метод, как вакуумная инфузия, проводимая с использованием инфузионной установки. Это позволяет удалить излишки смолы и равномерно пропитать эпоксидной смолой каждый из слоев сэндвича» [14].

«Таким образом, для изготовления монокока потребуется минимум шесть слоев карбона, один слой наполнителя, достаточное количество эпоксидного клея, а также специальный пакет и соединительная лента, которые обеспечат создание вакуума» [2].

Как показано на рисунке 18, средний монокок имеет площадь поверхности около 3 м². Это количество материала, необходимое для формирования одного слоя монокока.

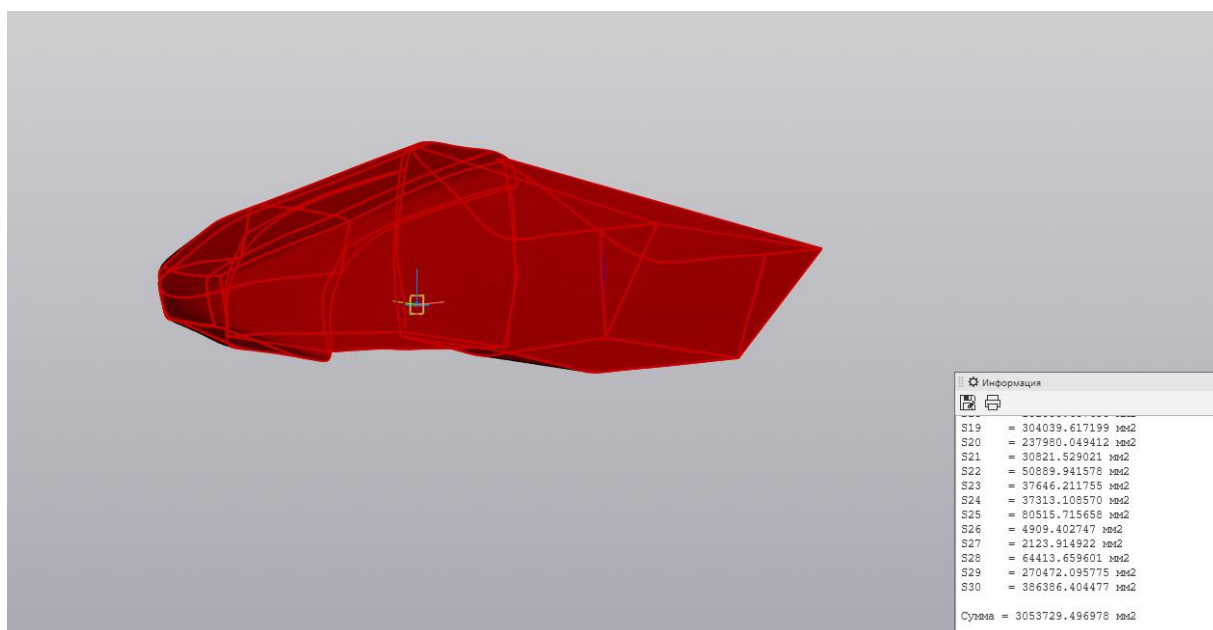


Рисунок 18 – Площадь поверхности монокока

Для расчета стоимости были учтены плановые нормы расхода на одну деталь, включая углеродную ткань, наполнитель, эпоксидную смолу ЭДП, укрывную пленку и соединительную ленту. Результаты расчетов стоимости, а также количество необходимых материалов указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Стоимость материала для изготовления монокока

Материал	Количество	Единицы измерения	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Углеродная ткань твил	18	м ²	4300	77400
Наполнитель – алюминиевые соты	3	м ²	4050	12150
Эпоксидная смола ЭДП	30	кг	1700	51000
Пленка укрывная 3x10м	1	шт.	1115	1115
Лента соединительная 45 м	1	шт.	1100	1100
Итого:				142765

Помимо материалов для изготовления монокока необходимо изготовить матрицу для формовки. Более дешевым как с точки зрения материалов, так и с точки зрения изготовления является позитивная матрица на рисунке 19.



Рисунок 19 – Матрицы для позитивного формования

Формование в позитивной матрице подразумевает слой на матрицу, а затем удаляет матрицу из внутренней части готового продукта. Такие матрицы намного дешевле для производителей и такой способ формования более удобен в процессе изготовления изделий. Однако этот метод формования обеспечивает гладкую поверхность только внутри изделия, поэтому изделие необходимо подвергать последующей обработке.

Если у вас уже есть деталь для формовки, матрицу чаще всего делают из стеклопластика. Существует второй способ – выточить матрицу из деревянной пластины. Стандартные размеры деревянного бруса, подходящего под размеры монокока, составляют 2000x800x40 мм. Так как размеры монокока составляют примерно 2000x700x750 мм, бруски необходимо предварительно залить эпоксидной смолой, чтобы фрезеровать матрицу. Это показано на рисунке 20.

Материал	Цена, руб.	Количество	Единицы измерения	Стоимость, руб.
Сосновый брус 30x900x1900 мм	5731	19	шт.	108889
Эпоксидная смола	1700	10	кг	17000
Итого:				125889

Рисунок 20 – Стоимость материалов для изготовления формовочной матрицы для монокока

«Далее рассмотрим опорный элемент подвески – кулак. Для сравнения были выбраны стальной сварной кулак и цельноалюминиевый фрезерованный кулак.

Сварной стальной кулак состоит из стальной гильзы подшипникового узла, креплений тормозного суппорта» [2], креплений рулевой тяги или рулевого рычага и креплений рычагов подвески. Размер гильзы зависит от размера используемого подшипника и ступицы. Крепления суппорта изготовлены из стальных стержней и стальных пластин толщиной 2 мм. Все остальные элементы также изготовлены из стального листа толщиной 2 мм, кроме консольного крепления, которое изготовлено из стального листа толщиной 3 мм. Подробный эскиз показан на рисунке 21.

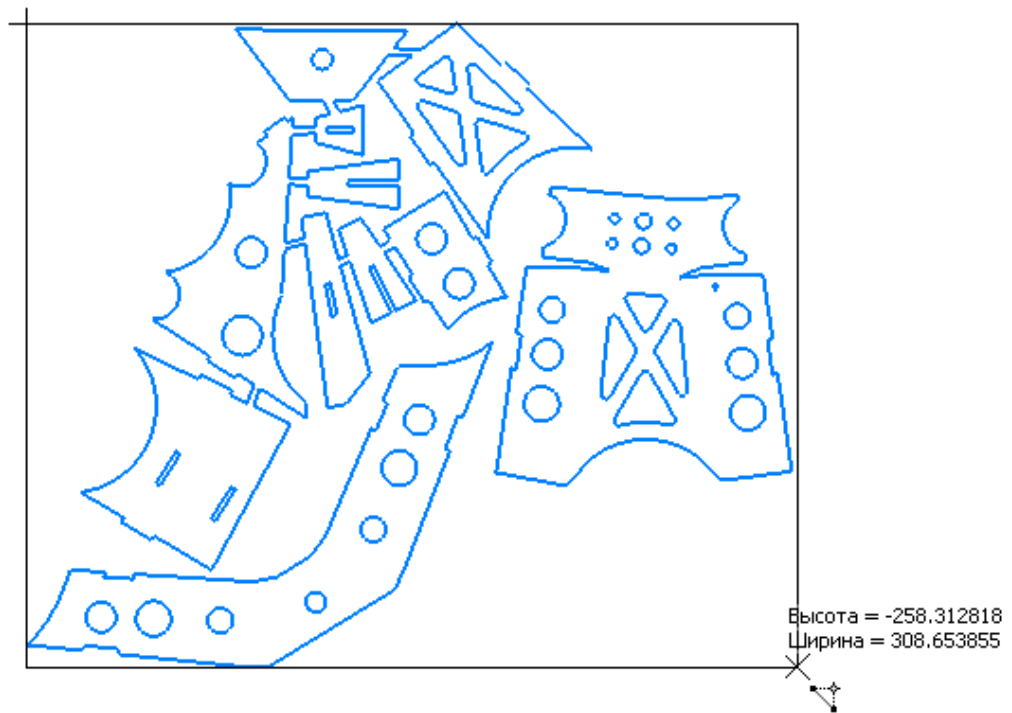


Рисунок 21 – Эскиз деталей для изготовления деталей стального кулака на лазерном станке

«Стальной лист размером 260 х 310 мм купить нельзя, поэтому приходится заказывать погонный метр со стальным листом 1000 х 260 мм. Тонна стального листа толщиной 2 мм стоит 108895 рублей. Цена таких металлических пластин рассчитывается следующим образом» [2]:

$$V = \frac{a \times b \times h}{100}, \quad (3)$$

где V – объем, м³;

a – длина листа, мм;

b – ширина листа, мм;

h – высота листа, мм.

$$m = V \times \rho, \quad (4)$$

где m – масса, кг;

ρ – плотность материала, кг/м³.

Следовательно, цена 4 кг стального листа составляет 435,58 рублей.

«Кроме того, втулка поворотного кулака, то есть труба для изготовления гильзы для подшипников с размерами 70 x 7 мм и высотой 100 мм, стоит 854 рубля. Стальной сварной шарнир показан на рисунке 22» [2].

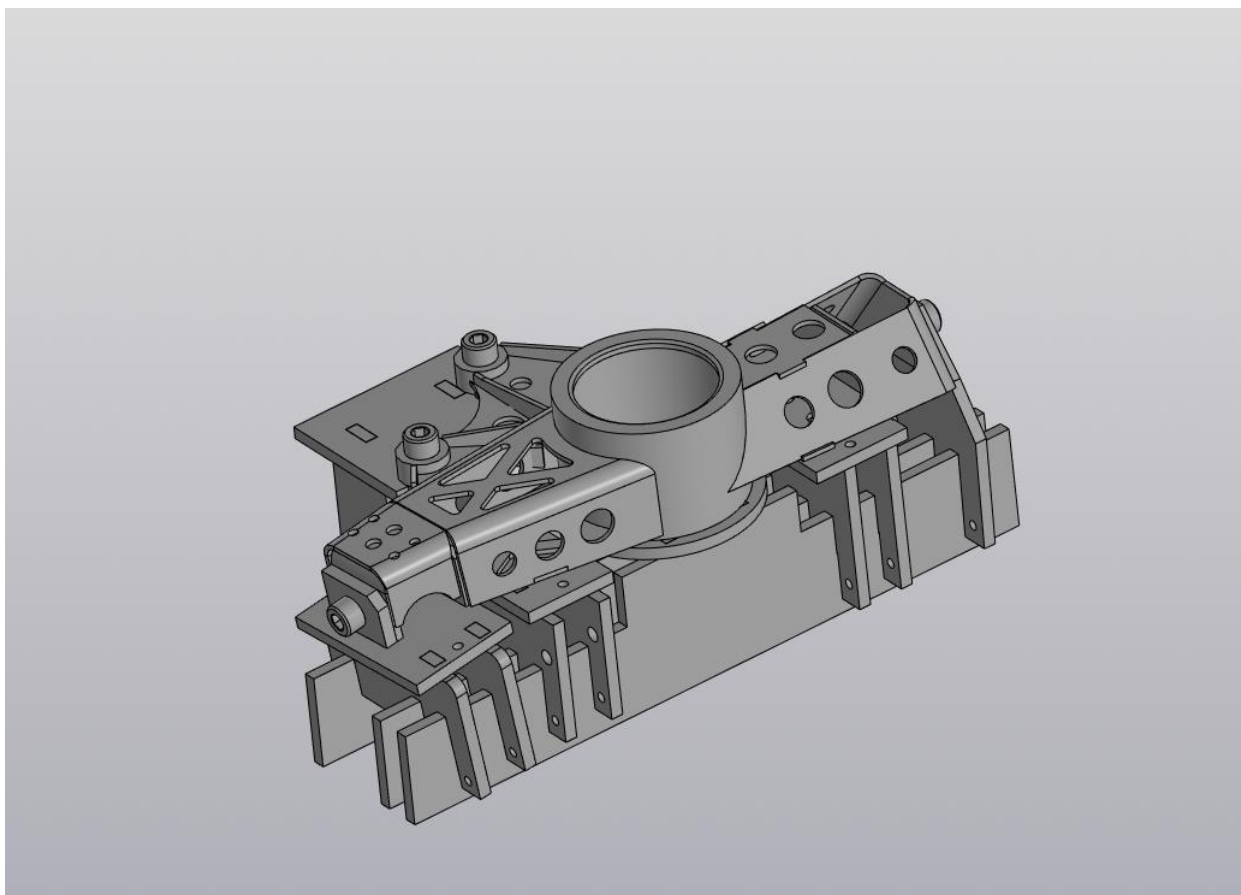


Рисунок 22 – Стальной сварной поворотный кулак в стапеле

«Кроме материалов для изготовления кулаков необходимо разработать и изготовить приспособления для точной сварки деталей. Поскольку поворотный кулак является важным узлом, необходимо обеспечить правильную геометрию опорных элементов. Правильное действие подвески зависит от того, насколько хорошо сделаны кулаки. Несущие элементы и стапели пространственной рамы изготовлены из стального листа толщиной 5 мм» [2]. Подробный эскиз показан на рисунке 23.

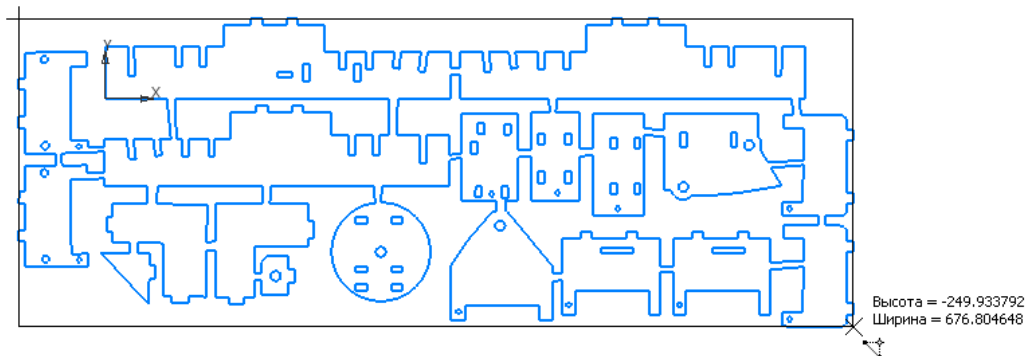


Рисунок 23 – Эскиз деталей для изготовления стапеля для стального сварного кулака

«Стоимость листа 250x678 мм для изготовления стапеля составит 678 рублей, если посчитать стоимость металлического листа за квадратный метр.

Полностью алюминиевый поворотный кулак изготовлен из цельного алюминиевого бруса. Материалы фрезеруются строго по чертежам» [2] или 3D моделям. Рассматриваются только бруссы из алюминия, так как такой вариант опорных элементов не требует специального оборудования для изготовления. Важнейшие детали, такие как поворотные кулаки, требуют материалов, отвечающих требованиям прочности. Нагружение опорных элементов наглядно показано на рисунке 24.

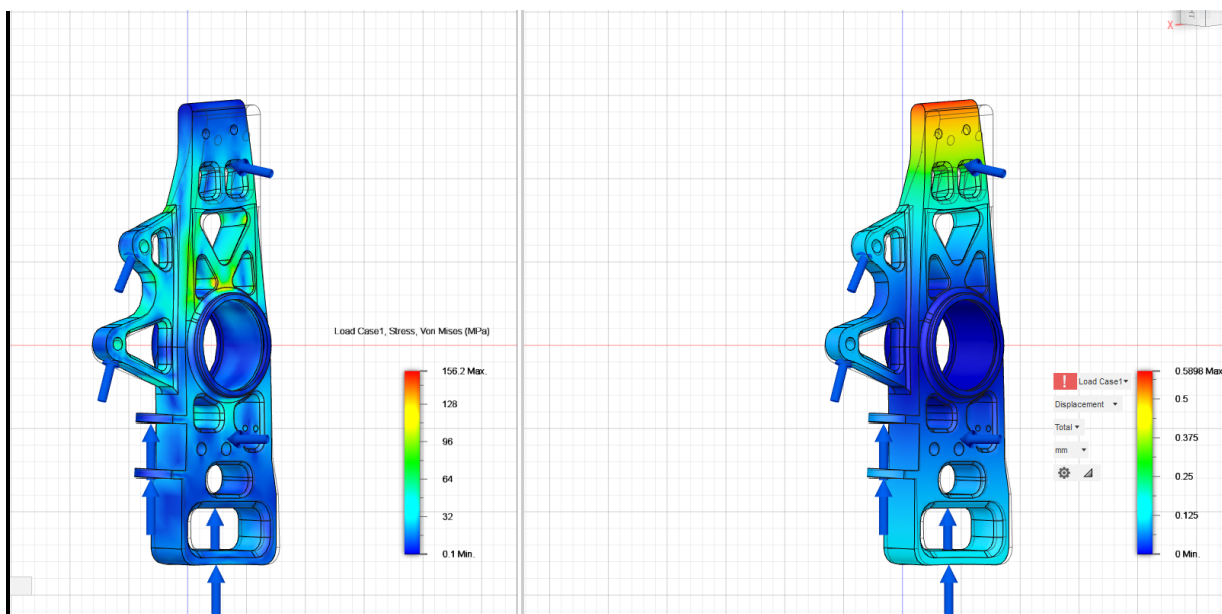


Рисунок 24 – Нагружение опорного элемента, подбор материала

«Таким образом, был подобран алюминиевый сплав В95Т. Для изготовления одного кулака необходим алюминиевый брус 300x200x70 мм. Данный брус весит 13,44 кг, при цене за 1 кг 1073 рубля, стоимость составит 14421 рублей.

Если принять затраты на изготовление алюминиевого кулака в качестве базовых расходов, а затраты на изготовление стального сварного кулака – в качестве плановых расходов» [2], то:

$$PtЗ = (Нб \times Цб - Нп \times Цп) \times Пп, \quad (5)$$

где $PtЗ$ – сумма изменения затрат, руб.;

$Нб$ и $Нп$ – норма расхода материальных ресурсов в базовом и плановом периоде в соответствии с их качеством, кг;

$Цб$ и $Цп$ – цена единицы материальных ресурсов в базовом и плановом периоде, руб.;

$Пп$ – объем продукции в плановом периоде, для которой предназначены указанные материальные ресурсы, ед.

При этом расчет нормы расхода материала осуществляется по

формуле:

$$H = q_{дет} + S_{qт}, \quad (6)$$

где $q_{дет}$ – масса готовой детали по чертежу, кг;

$S_{qт}$ – масса технологических отходов и потерь, кг.

Так, для цельноалюминиевого кулака норма расхода материала составит:

$$Hб = 0,77 + 12,67 = 13,44 \text{ кг}, \quad (7)$$

для стального кулака:

$$Hн = 0,99 + 5,1 = 6,09 \text{ кг} \quad (8)$$

Таким образом, сумма изменения затрат по формуле (5) составит:

$$PtЗ = (13,44 \times 1073 - 6,09 \times 20,6) \times 1 = 14295,66 \text{ руб.}$$

«По проведенным расчетам можно сделать вывод, что использование стальных кулаков является более дешевым вариантом с точки зрения материальных затрат по сравнению с изготовлением алюминиевых кулаков» [2].

2.3 Расчет производственных затрат

«Как мы знаем, далее материалы должны быть преобразованы в конечный продукт (деталь, сборку) путем применения технологических операций» [16]. «Изготовление рамы требует таких операций, как: гибка, резка, сварка, покраска, лазерная резка» [5]. Результаты расчетов представлены на рисунке 25.

Название операции	Техническое задание	Количество, ед.	Единицы измерения	Трудоемкость на ед., мин	Трудоемкость на операцию, ч
Резка труб	Нарезать трубы в соответствии с развертками по чертежу	102	рез	3	5,1
Лазерная резка	Для быстрой и удобной сборки стапеля рамы необходимо в чертеже указать допуск 0,1 мм в местах соединения деталей	130.386	м	2	4,3
Гибка труб	Погнуть трубы с дорном необходимого диаметра, Разность диаметров трубы в местегиба не должна превышать 1 мм для сохранения момента инерции трубы	19	гиб	10	3,2
Сварка	Сварные швы не должны подвергаться механической обработке	260	см	4	17,3
Покраска	Поверхность обработать при помощи пескоструя	2,198	кв.м	30	1,1

Рисунок 25 – Затраты на изготовление пространственных рам

Таким образом, общие трудозатраты на изготовление пространственной рамы включают пять операций и составляют 31 час.

Длины реза для стапеля указаны на рисунке 26:

Информация	
L851	= 25.000000 мм
L852	= 56.545226 мм
L853	= 19.982575 мм
L854	= 65.000000 мм
L855	= 65.000000 мм
L856	= 65.000000 мм
L857	= 35.150000 мм
L858	= 35.150000 мм
L859	= 35.150000 мм
L860	= 35.150000 мм
L861	= 35.150000 мм
L862	= 35.150000 мм
Сумма = 130386.388665 мм	

Рисунок 26 – Длина реза лазерного станка для стапеля пространственной рамы

«Зная трудоемкость операций, можем рассчитать затраты на каждую из них:

$$Z_o = Ч_{ст\ ср} \times t_{техн} \times (1+\alpha) \times (1+\beta), \quad (9)$$

где Z_o – заработная плата основных производственных рабочих, руб./ч;

$Ч_{ст\ ср}$ – средняя тарифная ставка основных производственных рабочих для данного технологического процесса, руб./ч;

$t_{техн}$ – трудоемкость технологического процесса, ч;

α – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату;

β – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды (34,2%).

Например, операция по резке труб потребует» [2]:

$$Z_o = 55,3 \times 5,1 \times (1+0,15) \times (1+0,342) = 435,27 \text{ руб.}$$

С учетом всех технических операций общая стоимость изготовления пространственной рамы составит 2237,95 руб.

После выполнения всех операций общий вес пространственной рамы составляет 27,765 кг. Средний вес рамы Formula Student составляет от 26 до 32 кг в зависимости от конфигурации рамы и требуемой жесткости на кручение (рисунок 27).

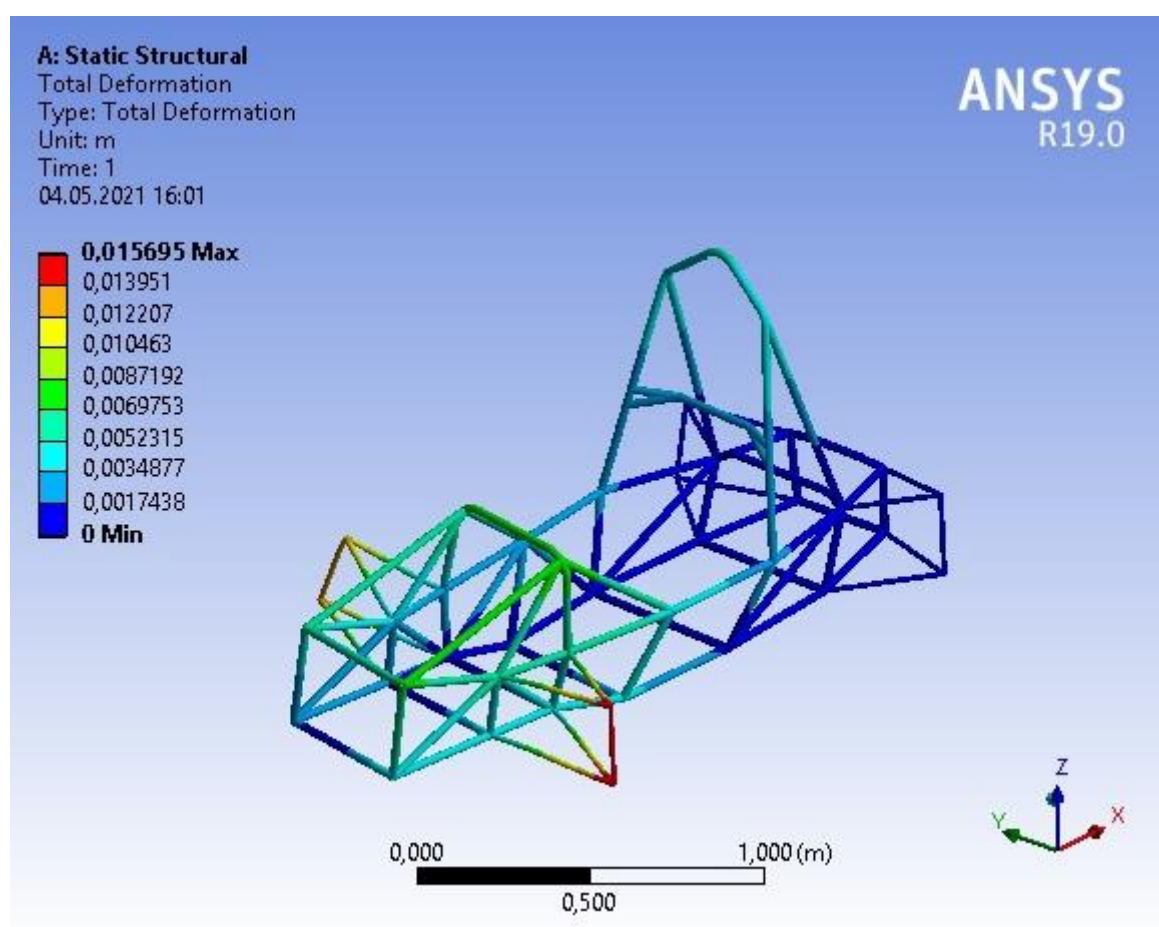


Рисунок 27 – Симуляция проверки жесткости рамы на скручивание

Рама имеет массу 27,765 кг и жесткость 2249 Нм/град. Такая жесткость рамы не только снижает податливость подвески, но и повышает безопасность пилота.

«Процесс изготовления монокока включает в себя меньше технических операций, чем процесс изготовления пространственного каркаса, но по

трудоемкости монокок считается более сложным изделием» [3]. «Основными операциями по изготовлению монокока можно назвать: Фрезерование и подготовка матрицы к формованию, формование слоев углеродного волокна и наполнителя, создание вакуумного мешка и обеспечение необходимого давления 100 мБар» [17]. Затраты на эти операции показаны на рисунке 28.

Название операции	Техническое задание	Количество, ед.	Единицы измерения	Трудоемкость на ед., мин	Трудоемкость на операцию, ч
1	2	3	4	5	6
Фрезерование матрицы	Использовать смешанные траектории обработки. Для уменьшения ворса применять встречную обработку. Сколы и неровности недопустимы.	125	ч	60	125
Подготовка матрицы, оклейка виниловой пленкой	Поверхность матрицы должна быть ровной, не допускается воздух под виниловой пленкой.	3	м ²	120	6
Формование	Формование производить с помощью вакуумной установки с минимальным давлением 100 мБар для максимально равномерного распределения эпоксидного клея по всем слоям.	21	м ²	240	84

Рисунок 28 – Производственные затраты при изготовлении монокока

Средний вес монококов команд, участвующих в соревнованиях Formula Student, составляет 21–25 кг, а жесткость на кручение – 1550–1950 Нм/град.

Далее рассмотрим систему подвески с точки зрения применяемых технических процессов. Это показано на рисунке 29.

Название операции	Техническое задание	Количество, ед.	Единицы измерения	Трудоемкость на ед., мин	Трудоемкость на операцию, ч
1	2	3	4	5	6
Лазерная резка	Указать допуск 0,1 мм в местах соединения деталей.	6,956	м	2	0,23
Расточка обоймы	Обеспечить посадку с натягом для подшипников под запрессовку.	1	ч	60	1
Сварка	После сварки изделие зачистить от окалины.	41	см	4	2,73
Покраска	Поверхность обработать при помощи пескоструя	0,2	м ²	30	0,1

Рисунок 29 – Производственные затраты при изготовлении стального кулака

Общие затраты по времени составят 4,06 часа, длины реза на лазерном станке для изготовления кулака указаны на рисунке 30.

Информация		
L312	=	22.000000 мм
L313	=	21.038754 мм
L314	=	12.000000 мм
L315	=	12.000000 мм
L316	=	12.743813 мм
L317	=	16.000095 мм
L318	=	50.113207 мм
L319	=	16.123764 мм
L320	=	18.538762 мм
L321	=	13.236977 мм
L322	=	20.750000 мм
L323	=	14.527930 мм
Сумма		= 6956.908164 мм

Рисунок 30 – Длина реза лазерного станка для кулака

Таким образом, изготовленный стальной сварной кулак имеет массу 990 г и полностью ремонтпригодный, но после ремонта срок его службы сокращается. Вид детали изображен на рисунке 31.

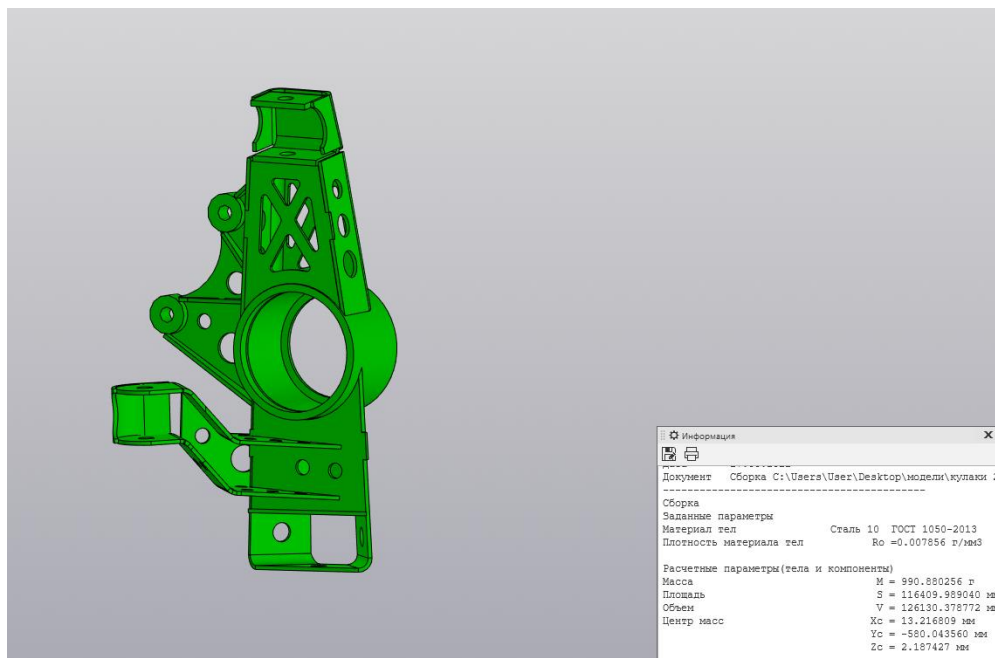


Рисунок 31 – Масса стального кулака

«Цельноалюминиевый кулак изготавливают на фрезерном станке с

ЧПУ» [18]. На изготовление этого фрезерованного кулака массой 750 г (рисунок 32) требуется чуть более 40 часов. Однако такие конструкции практически неремонтопригодны.

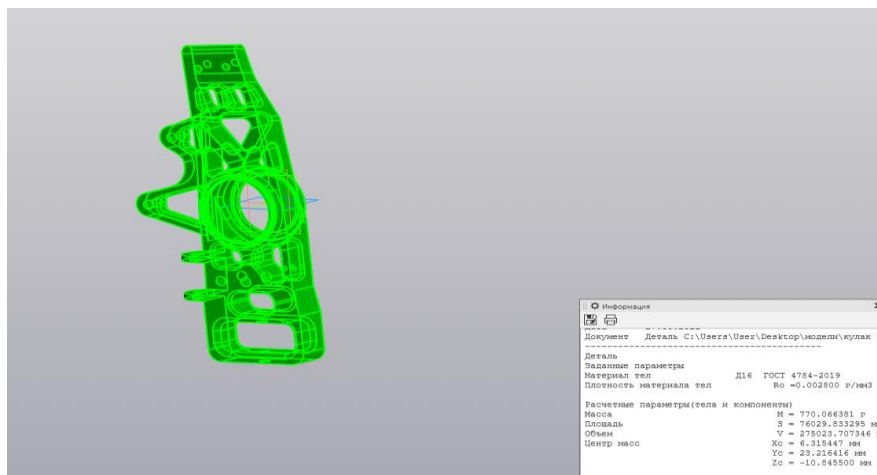


Рисунок 32 – Масса цельноалюминиевого кулака

С учетом «расчетных затрат на материалы и изготовление деталей» [1] и дополнительных параметров, таких как масса, ремонтпригодность и жесткость на кручение (для рам), создается сравнительная характеристика рассматриваемого варианта на основе циклограмм (рисунки 33 и 34):

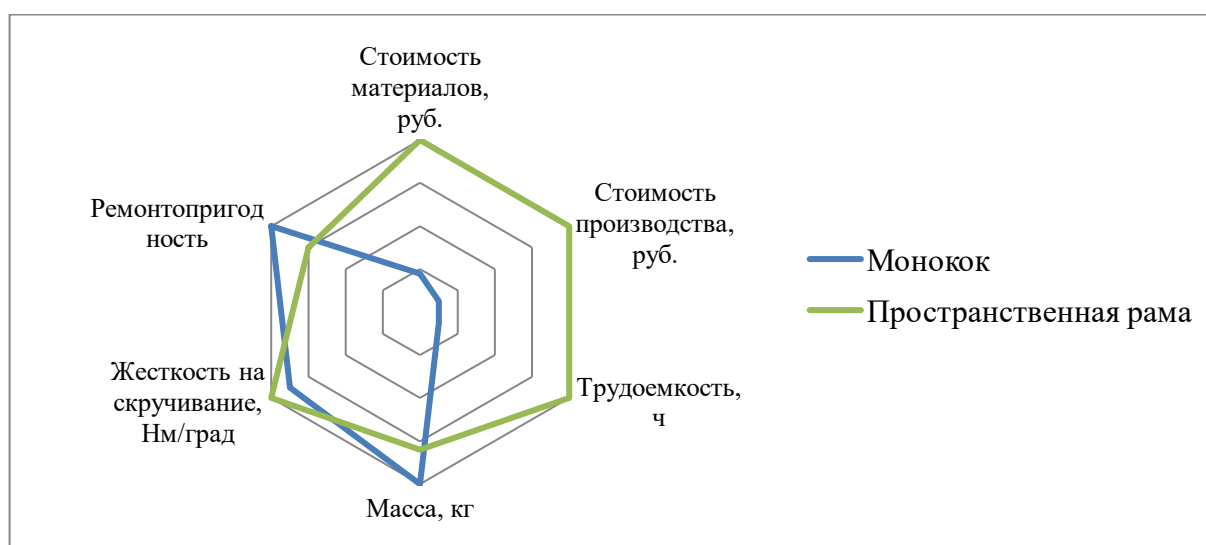


Рисунок 33 – Сравнение шасси

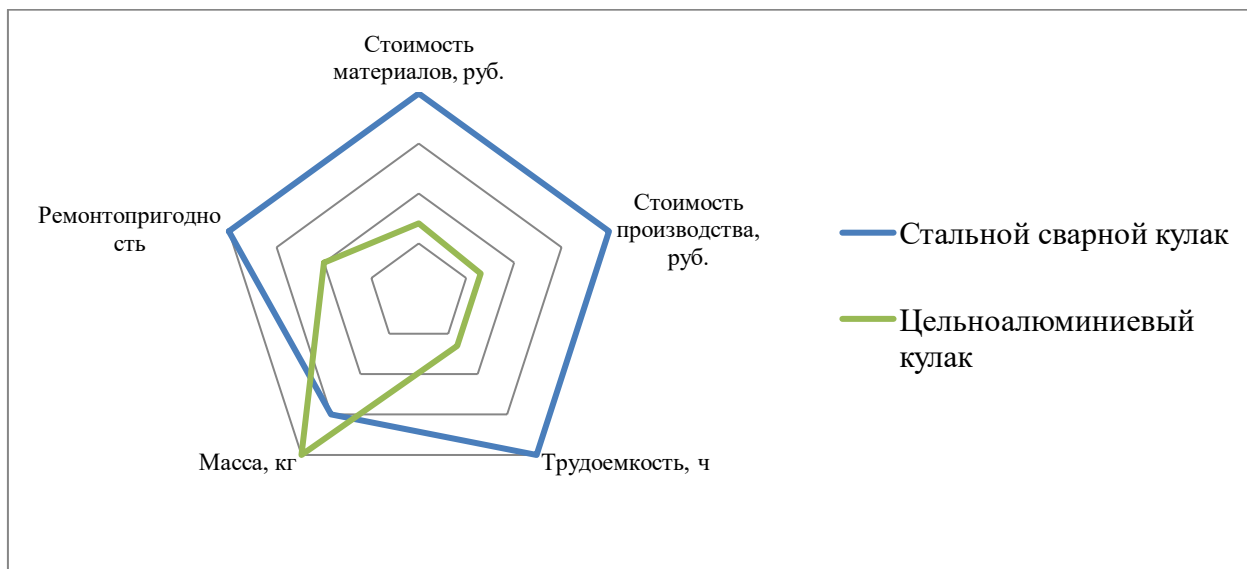


Рисунок 34 – Сравнение опорных элементов

«Из области циклограммы выбор в пользу проектирования и производства пространственных рам и стальных сварных кулаков является лучшим выбором для автомобилей студенческой формулы из-за их относительной дешевизны производства и относительно хороших технических характеристик» [2].

Выводы по разделу

Во втором разделе работы был проведен анализ конструкций «с точки зрения технологичности, различные системы болида были рассмотрены на предмет процентного соотношения изготавливаемых или закупаемых деталей. Основываясь на нашем анализе, мы решили более подробно рассмотреть систему рамы и обвеса, а также подвеску гоночного автомобиля. Потому что эти системы почти полностью производятся командой Formula Student, но при этом занимают значительное место в списке статей затрат. Для выбранных систем были выполнены расчеты стоимости материалов и производства» [2].

Заключение

«Одной из ключевых задач при проектировании новых конструкций и прототипов автомобилей является снижение себестоимости этих разработок. Среди прочего, на затраты влияют прикладные технологические процессы, рассматриваемые в рамках данной бакалаврской работы» [2].

«В качестве примера была рассмотрена последняя модель гоночного автомобиля, разработанная командой Тольяттинского государственного университета для участия в соревнованиях Formula Student.

На основе анализа главной системы гоночного автомобиля класса Formula Student были выявлены узлы, преобладающие по количеству изготавливаемых деталей. К таким системам относились подвеска и рама с обвесами. Было проанализировано несколько вариантов дизайна с использованием различных материалов и производственных процессов» [2].

Из проведенного анализа следует, что пространственная рама дешевле в производстве, чем монокок, но ее работоспособность и ремонтпригодность уступают. Кроме того, стальные сварные кулаки менее затратны в производстве, чем полностью алюминиевые кулаки, но они тяжелее.

«Принимая во внимание такие параметры, как: стоимость материалов, стоимость производства, трудоемкость, масса, жесткость на кручение и ремонтпригодность для системы рамы, а также параметры: стоимость материалов, стоимость производства, трудоемкость, масса и ремонтпригодность для подвески, нами был сделан выбор в пользу пространственной рамы и стальных сварных кулаков. Использование данных конструкций позволит снизить себестоимость прототипа гоночного болида за счет использования надежных материалов при сравнительной простоте изготовления» [2].

Список используемой литературы и используемых источников

1. Васильева Г.А., Кожевникова Т.И. Связь издержек, цен, объемов производства и их влияние на прибыль // Лесной вестник / Forestry bulletin. 2010. С. 77.
2. Волкова Е.И. Обоснование инвестиций в организацию производства спортивно-гоночных автомобилей класса «Формула Студент». 2017. 78 с.
3. Горбацевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие для вузов. – 5-е изд. – М.: ООО ИД «Альянс», 2007. – 256 с.
4. Догузов Г.Т. Анализ мирового рынка и производства легковых автомобилей в современных условиях // Московский экономический журнал. 2021. №7. С. 379–386.
5. Дмитриев В.А., Бабордина О.А., Ахматов В.А. Экономическое обоснование выбора технологического процесса механической обработки: метод. указ. к практич. занятиям, курсовому и дипломному проектированию. – Самара; Самар. гос. техн. ун-т, 2012. – 51 с.
6. Еллыев Ш.М., Хыдыров Н.К., Шамухамедов Г.Х., Широ́ва П.Д. Способы снижения себестоимости в современных условиях экономики // Science Time. 2015. С. 89–94.
7. Епишкин В.Е. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебно-методическое пособие для студентов направлений подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (профили «Автомобили и автомобильное хозяйство», «Автомобили и автомобильный сервис») / В.Е. Епишкин, И.В. Турбин. – Тольятти : ТГУ, 2018. – 199 с.
8. Клепиков, В.В. Основы технологии машиностроения: учебник / В. В. Клепиков [и др.]. – М. : ИНФРА-М, 2017. - 295 с.
9. Косов, Н.П. Технологическая оснастка: вопросы и ответы: Учебное пособие для вузов. / Н.П. Косов, А.Н. Исаев, А.Г. Схиртладзе. –

Электрон.дан. – М. : Машиностроение, 2007. – 304 с.

10. Курилова А.А. Экономические процессы внутреннего контроля как элемента финансового механизма управления на предприятии автомобильной промышленности // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2014. №2. С. 34–37.

11. Лебедев, В.А. Технология машиностроения: Проектирование технологий изготовления изделий : учеб. пособие для вузов / В. А. Лебедев, М. А. Тамаркин, Д. П. Гепта. – Гриф УМО. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2008. – 361с.

12. Малкин, В. С. Устройство и эксплуатация технологического оборудования предприятий автомобильного транспорта : электрон. учеб. пособие / В. С. Малкин. – Тольятти : ТГУ, 2016. - 451 с. : ил. - Библиогр.: с. 445. – Прил. : с. 446-451. – URL: <http://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2956> (дата обращения: 05.06.2021). – Режим доступа: Репозиторий ТГУ. – ISBN 978-5-8259-0951-6. – Текст : электронный.

13. Масуев, М. А. Проектирование предприятий автомобильного транспорта : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. "Автомобили и автомобильное хоз-во" направления "Эксплуатация наземного транспорта и транспорт. оборудования" / М. А. Масуев. – 2-е изд., стер. – Москва : Академия, 2009. – 220 с. : ил. – (Высшее профессиональное образование). – Библиогр.: с. 216-217. – ISBN 978-5-7695-6148-1. – Текст : непосредственный.

14. Маталин, А. А. Технология машиностроения : учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. 151001 напр. "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроит. производств" / А. А. Маталин. – Изд. 3-е, стер. ; Гриф УМО. – С.-П. [и др.] : Лань, 2010. - 512 с.

15. Плаксин, А. М. Технологический расчет производственных подразделений автотранспортного предприятия : учебное пособие / А. М. Плаксин, Э. Г. Мухамадиев. – Челябинск : ИАИ ЮУрГАУ, 2007. – 69 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/9545> (дата обращения: 03.05.2021). – ISBN

978-5-18856-442-1. – Режим доступа: Электронно-библиотечная система “Лань”. – Текст : электронный.

16. Расторгуев, Д. А. Разработка плана изготовления деталей машин : учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. «Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва». - ТГУ. – Т. : ТГУ, 2013. - 51 с.

17. Сергель, Н.Н. Технологическое оборудование машиностроительных предприятий [Электронный ресурс] : учеб.пособие / Н. Н. Сергель. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2013. - 732 с.

18. Ткачев А.Г., Шубин И.Н. Типовые технологические процессы изготовления деталей машин: Учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 112 с.

19. Шиловский, В. Н. Маркетинг и менеджмент технического сервиса машин и оборудования : учеб. пособие / В. Н. Шиловский, А. В. Питу-хин, В. М. Костюкевич. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 272 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - URL: <https://e.lanbook.com/book/56614> (дата обращения: 30.05.2021). - Режим доступа: Электронно-библиотечная система "Лань". - ISBN 978-5-8114-1835-0. - Текст : электронный.

20. Formula Student Germany [Электронный ресурс] // URL: <https://www.formulastudent.de/> (дата обращения: 10.05.2022).

21. Student Events of SAE [Электронный ресурс] // URL: <http://students.sae.org/cds/formulaseries/> (дата обращения: 14.04.2022).