

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 Влияние применяемых технологических процессов на себестоимость прототипа автомобиля на примере болида «Формула Студент»

Студент

Л.Н. Волкова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.А. Горохова

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

Тольятти 2022

Аннотация

Данная работа посвящена теме влияния применяемых технологических процессов на себестоимость прототипа автомобиля на примере болида «Формула Студент».

Целью работы является выявление и описание технико-экономических решений, которые позволили бы снизить себестоимость автомобильного прототипа. Цель обусловила постановку ряда задач, а именно: описать опыт участия в проекте Formula SAE, перечислить существующие методы снижения себестоимости, проанализировать технологичность конструкции, рассчитать материальные затраты и произвести расчет производственных затрат.

В ходе работы были описаны методы снижения себестоимости прототипа автомобиля класса «Формула Студент» за счет выбора наиболее экономически эффективных и технологически обоснованных производственных процессов.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки в размере 53 страниц, содержащей 7 таблиц, 29 рисунков и графической части, содержащей 6 листов.

Abstract

Formula Student is a popular educational project due to its practical focus, both in terms of building a ready-to-race car and understanding the economic feasibility of the implied engineering solutions.

The purpose of this work is to consider the formation of the cost of a Formula Student car as well as to describe the most relevant methods for reducing it. A number of tasks were carried out, namely: to describe the FSAE project and the main requirements of the competition; to list the existing versions of the main load-bearing structures of racing cars participating in the project; to analyze the formation of the cost for a prototype with the materials, technical processes and equipment used; display a comparative description of the cost reduction methods.

Содержание

Введение	5
1 Состояние вопроса	6
1.1 Описание участия в Formula SAE.....	6
1.2 Описание существующих методов снижения себестоимости	8
2 Анализ исходных данных	13
2.1 Анализ технологичности конструкции	13
2.2 Расчет материальных затрат	29
2.3 Расчет производственных затрат	40
Заключение	50
Список используемой литературы и используемых источников	51

Введение

Formula Student остается актуальным проектом среди высших учебных заведений благодаря своей практической направленности – как с точки зрения проектирования и создания рабочего автомобильного прототипа, так и в отношении понимания студентами экономической обоснованности предлагаемых ими технологических решений.

Будучи участником проекта, студент получает возможность не только спроектировать прототип автомобиля, но и посмотреть на свою разработку с точки зрения влияния применяемых технологических процессов на себестоимость итогового прототипа. Получаемые в ходе работы над проектом компетенции играют важную роль в формировании целостного понимания принципов функционирования предприятия у будущего специалиста.

Целью данной работы стало рассмотрение вопросов формирования себестоимости автомобиля на примере гоночного болида класса Formula Student, а также описание методов ее снижения. Цель работы обусловила постановку ряда задач:

1. Дать описание проекта FSAE и основных требований соревнований.
2. Привести существующие варианты исполнений основных несущих конструкций гоночных автомобилей, участвующих в проекте.
3. Рассмотреть образование стоимости прототипа автомобиля с позиции используемых материалов, технических процессов и оборудования [16].
4. Вывести сравнительную характеристику себестоимости болидов с применением разных конструкторских решений.

Результаты работы могут быть использованы в рамках проекта Formula Student, в частности – в статических дисциплинах, относящихся к экономике предприятия: «Защита отчета о стоимости производства» и «Презентация бизнес-плана».

1 Состояние вопроса

1.1 Описание участия в Formula SAE

Международные соревнования Formula SAE были созданы Сообществом Автомобильных инженеров с целью предоставления студентам инженерных направлений обучения возможности самостоятельно спроектировать и разработать прототип гоночного автомобиля. Для успешного участия в соревнованиях студенческая команда должна следовать правилам, прописанным в официальном регламенте FS-Rules. Регламент охватывает все аспекты участия в соревнованиях, а также налагает существенные ограничения на проектируемую студентами конструкцию автомобиля, чтобы сделать участие в проекте максимально безопасным для всех команд.

Соревнования Formula Student состоят из нескольких основных частей, а именно [19]:

- технической инспекции,
- статических дисциплин,
- динамических дисциплин.

В ходе технической инспекции все узлы гоночного автомобиля проверяются на соответствие требованиям регламента. Успешное прохождение технической инспекции, которая включает механическую инспекцию, тест на опрокидывание, тест на шум (только для болидов на 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.

Соревнования FSAE предполагают прохождение нескольких динамических испытаний, каждое из которых направлено на проверку тех или иных характеристик спроектированного командой болида:

- «восьмерка» – трек представляет собой две соединенные окружности, на которых пилоту необходимо продемонстрировать маневренность и ускорение на поворотах;
- ускорение – на прямом участке дороги длиной 75 метров водитель гоночного болида должен показать как можно большее ускорение;
- автокросс – трек для данного испытания включает как прямые участки, так и различные повороты, шпильки и пр.;
- гонка на выносливость – в рамках соревнований считается одной из самых важных динамических дисциплин, в ходе которой проверяется надежность автомобиля;
- эффективность – является составляющей гонки на выносливость, используется для проверки эффективности расхода топлива или электрзаряда (в зависимости от класса автомобиля) во время заезда.

Другой неотъемлемой частью проекта Formula Student считаются три статические дисциплины: защита конструкции, презентация бизнес-плана и отчет о стоимости производства. Первая из них предназначена для проверки знаний в области инженерного проектирования, которые демонстрируют студенты, создававшие гоночный болид. Следующие статические испытания считаются экономическими и направлены на обоснование затрат на производство спроектированного автомобиля и демонстрацию возможных путей привлечения инвестиций.

Помимо того, что на соревнованиях экономические дисциплины оцениваются баллами наравне с динамическими, их интеграция в проект имеет и другое практическое значение: составляя необходимую документацию, студенты учатся уделять должное внимание не только технологичности проектируемой конструкции, но и оценивать финансовые вложения и затраты на ее производство. В частности, в условиях ограниченного бюджета участники команды вынуждены прибегать к поиску различных методов снижения себестоимости автомобильного прототипа.

1.2 Описание существующих методов снижения себестоимости

Себестоимость продукции является одной из важнейших экономических категорий. Ее уровень во многом определяет эффективность производственно-хозяйственной деятельности предприятия [3]. Себестоимость продукции в обобщенном виде представляет собой стоимостную оценку используемых в процессе производства и реализации природных, материальных, трудовых ресурсов, основных фондов и других затрат. Данный показатель отражает размер текущих затрат, имеющих производственный, накопительный характер, обеспечивающий процесс простого воспроизводства на предприятии [5].

В зависимости от состава затрат, включаемых в себестоимость промышленной продукции, выделяют следующие виды себестоимости продукции:

- технологическая себестоимость,
- цеховая себестоимость,
- производственная себестоимость,
- полная себестоимость.

Если же говорить о возможных методах снижения себестоимости единицы продукции, выделяются два их основных направления: по источникам и факторам [18]. Источники определяют, что будет изменяться, на какие составляющие затрат направлено управляющее воздействие, а факторы – как будут происходить эти изменения, в рамках каких механизмов будет это воздействие осуществляться.

При этом под источниками принято понимать затраты, за счет экономии которых могут быть снижены издержки производства. К ним относятся:

- улучшение использования предметов труда,
- улучшение использования средств труда,
- улучшение использования самого труда,

- улучшение использования организации производства, труда и управления.

Конечно, степень влияния того или иного фактора напрямую зависит от особенностей конкретного предприятия и от внедренной на нем производственной политики. Для наиболее эффективного снижения себестоимости продукции необходимо также комплексное понимание того, какие издержки занимают в затратах наиболее весомые позиции. Исходя из этого, можно определить приоритетные направления, в которых надо осуществлять мероприятия по уменьшению себестоимости [5].

Итак, выделим основные направления снижения себестоимости:

- технические процессы (внедрение новой техники, механизация и автоматизация производственных процессов, совершенствование технологии, внедрение прогрессивных видов материалов позволяют значительно снизить себестоимость продукции),
- расширение специализации предприятия (на специализированных предприятиях с массово-поточным производством себестоимость продукции значительно ниже, чем на предприятиях, вырабатывающих ту же продукцию в небольших количествах),
- повышение производительности труда (с ростом производительности труда сокращаются затраты труда в расчете на единицу продукции, а следовательно, уменьшается и удельный вес заработной платы в структуре себестоимости),
- сокращение расходов на участках производственно-хозяйственной деятельности предприятия (последовательное осуществление на предприятии режима экономии проявляется в уменьшении затрат материальных ресурсов на единицу продукции, сокращении расходов по обслуживанию производства и управлению, в ликвидации потерь от брака и других непроизводственных расходов),
- экономия затрат на используемые материалы и ресурсы

(материальные затраты в большинстве отраслей промышленности имеют большое значение в структуре себестоимости продукции).

Расчет себестоимости продукции условно можно подразделить на несколько этапов: расчет всей выпущенной продукции, расчет фактической себестоимости по каждому виду продукции, расчет себестоимости единицы продукции [5]. Поскольку в рамках данной работы рассматривается единичное производство прототипа автомобиля, это сводит количество операций по калькуляции себестоимости к минимуму.

Таким образом, можем заключить, что для разработки методики снижения себестоимости прототипа гоночного болида необходимо выявить наиболее существенные статьи расходов, а также определить возможные пути снижения затрат по следующим аспектам: применяемые технические процессы, материалы и ресурсы [9].

При этом необходимо учитывать существующие ограничения, налагаемые регламентом и самой спецификой соревнований Formula SAE [20]. Так, в пункте A 2.2 говорится, что автомобиль может принимать участие в соревнованиях только 1 год, а для того, чтобы он считался новым, необходимо внести значительные изменения в структуру шасси предыдущей модели болида:

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.

Данный пункт правил подразумевает, что от команды, создающей прототип гоночного автомобиля, требуется правильно распределить имеющееся время, средства и возможности. Помимо временных ограничений следует принимать во внимание такие показатели, как:

– бюджет команды (задачей студентов-участников команды является

- поиск и взаимодействие со спонсорами на предмет выделения средств для финансового обеспечения деятельности команд),
- количество участников и их компетенции (пунктом А 2.1.1 регламента устанавливается, что автомобили, участвующие в соревнованиях, «должны быть спроектированы членами студенческой команды без непосредственного участия профессиональных инженеров, гонщиков и подобных специалистов»),
 - имеющееся оборудование / возможности аутсорсинга (одной из главных проблем, которую решают студенты, участвующие в Formula SAE, является проблема выбора способа изготовления узлов машины),
 - концепция разрабатываемого автомобиля (на себестоимости прототипа может отразиться его изначальный концепт).

Так, например, в основу концепции болида Formula Student в команде Тольяттинского государственного университета легли такие принципы, как простота и надежность. Кроме того, командой была определена главная цель, заключающаяся в общем снижении веса автомобиля. Подобные факторы также могут повлиять на количество расходов (одна из причин – сравнительная дороговизна более компактных и легких деталей).

Кроме того, с наличием качественного оборудования и опытных членов студенческой гоночной команды связаны многие решения относительно того, закупать некоторые детали для создаваемого болида или изготавливать самостоятельно. В случае с выбором в пользу закупок необходимо учитывать сроки доставки деталей, что может повлиять на весь процесс сборки.

Учитывая перечисленные факторы и ориентируясь на достижение максимального результата, команда может применять различные методы снижения себестоимости изготавливаемого болида.

Стоит, однако, отметить, что на данный момент в рамках соревнований не предусмотрена оценка применения наиболее экономичных

производственных решений. Организаторами и судьями FSAE оценивается понимание технических процессов и умение обосновать их применение. Таким образом, способы снижения себестоимости прототипа могут использоваться участниками опционально. В ходе данной работы факторы, влияющие на себестоимость автомобильного прототипа, будут рассмотрены с точки зрения выбора оптимальных материалов и способов изготовления систем и узлов.

Выводы по разделу

В первом разделе был описан опыт участия в проекте Formula SAE, а также приведены существующие методы снижения себестоимости на единицу продукции, которые охватывают: технические процессы, расширение специализации предприятия, повышение производительности труда, сокращение расходов на участках производственно-хозяйственной деятельности предприятия и экономию затрат на используемые материалы и ресурсы.

2 Анализ исходных данных

2.1 Анализ технологичности конструкции

Технологический анализ конструкции обеспечивает улучшение технико-экономических показателей разрабатываемого технологического процесса. Поэтому технологический анализ является одним из важнейших этапов технологической разработки [12]. Основные задачи, решаемые при анализе технологичности конструкции детали, сводятся к возможному уменьшению трудоемкости и металлоемкости, возможности обработки детали высокопроизводительными методами. Таким образом, улучшение технологичности конструкции позволяет снизить себестоимость ее изготовления без ущерба для служебного назначения [2].

В качестве конструкций для анализа рассмотрим основную несущую силовую конструкцию, подвеску болида и ступично-подшипниковый узел автомобиля класса Formula Student. Согласно графику распределения расходов (рисунок 1), на эти системы приходится значительная часть бюджета, что делает оправданной попытку снижения себестоимости путем снижения расходов на данные узлы.

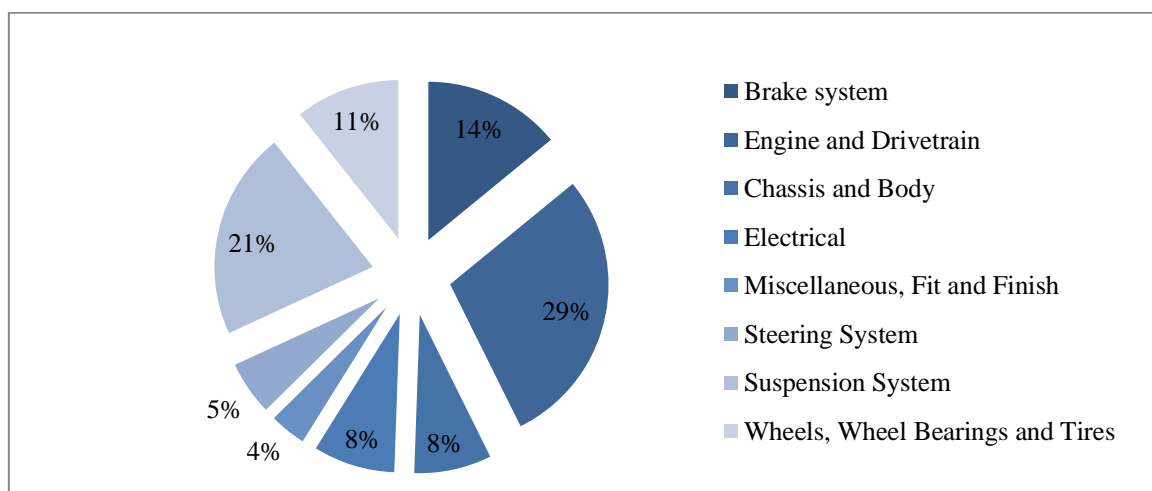


Рисунок 1 – Распределение расходов по системам

Представленные системы были выбраны на основе предложенных в регламенте FS-Rules [19]. 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, что видно из таблицы 1.

Таблица 1 – Узлы болида Formula Student

Название системы (узла)	Деталь	Изготовлено/куплено	Стоимость, тыс. руб.
1	2	3	4
Brake system	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	
Chassis and body	Рама, 1 шт.	изготовлено	61,25
	Обвес, 1 шт.	изготовлено	
	Пол, 1 шт.	изготовлено	
	Педаля акселератора, 1 шт.	изготовлено	
	Тормозная педаль, 1 шт.	изготовлено	
	Рычаг переключения передач, 1 шт.	изготовлено	
	Аттенюатор, 1 шт.	куплено	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Suspension	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	
	Engine and drivetrain	Приводной вал, 2 шт.	
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	
Electrical system	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	
Steering system	Рулевая рейка, 1 шт.	куплено	75,53
	Рулевой вал, 1 шт.	изготовлено	
	Рулевое колесо, 1 шт.	изготовлено	
	Быстросъемная муфта, 1 шт.	куплено	
	Рулевая тяга, 1 шт.	изготовлено	
Wheels	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	
Miscellaneous	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	

Как видно из таблицы, по соотношению изготовленных деталей и покупных в первую очередь стоит рассмотреть подвеску болида, а также раму и обвес, так как по сравнению с другими узлами в них большая часть элементов изготавливается самостоятельно. Это можно проиллюстрировать в виде диаграммы (рисунки 2 и 3):

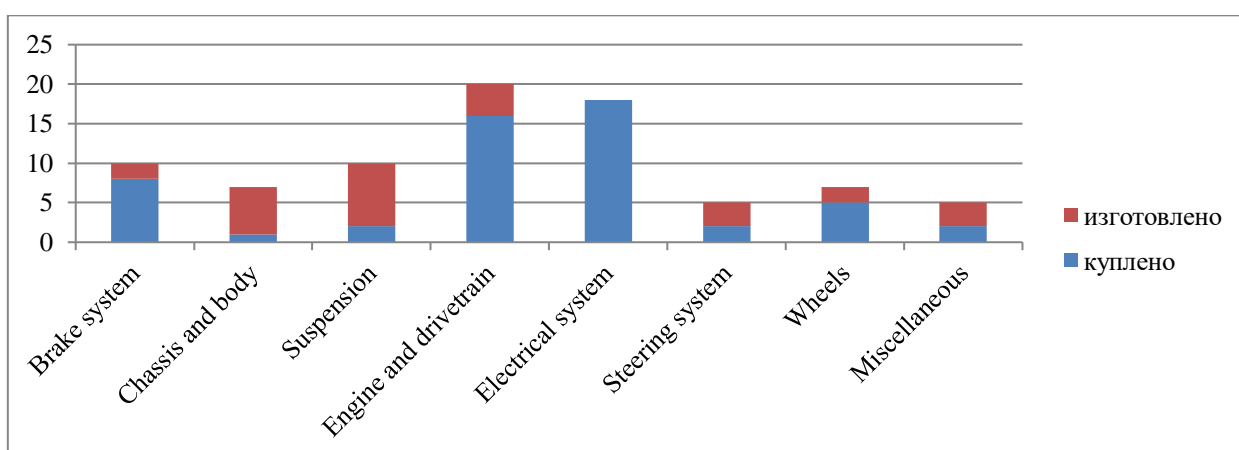


Рисунок 2 – Количественное соотношение изготовленных и купленных деталей по системам

С приведением к 100%:

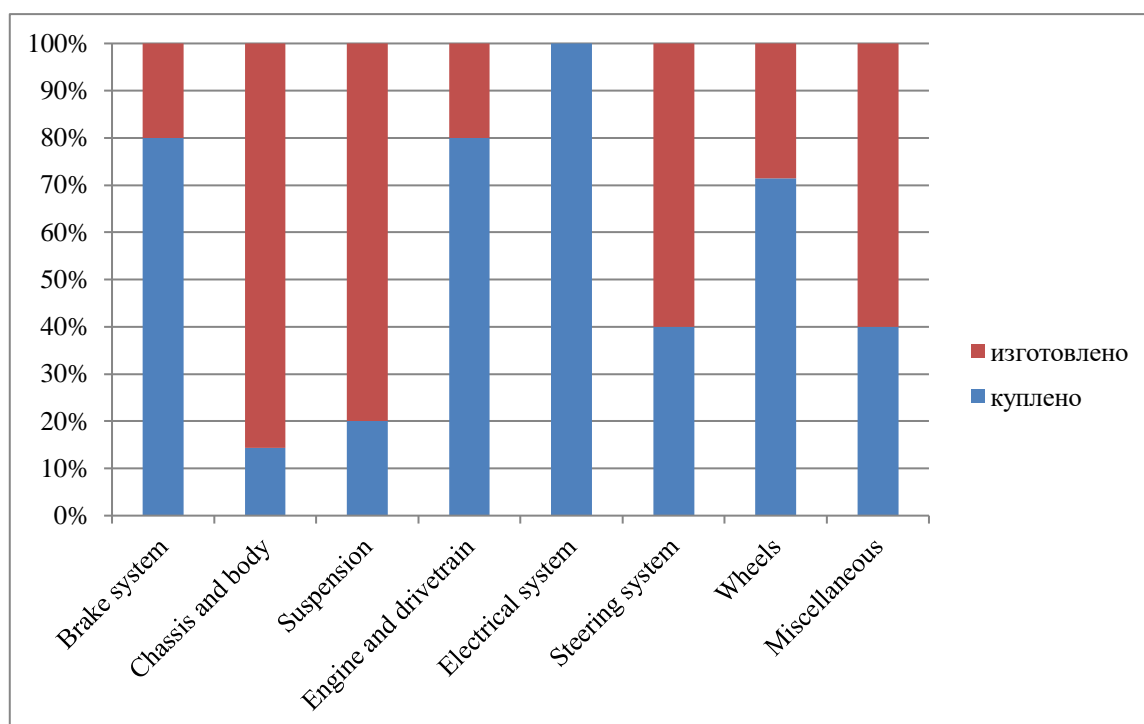


Рисунок 3 – Процентное соотношение изготовленных и купленных деталей по системам

Исходя из проделанного анализа всей конструкции гоночного автомобиля класса Formula Student, рассмотрим подробнее некоторые из представленных узлов [6].

1. Несущая силовая конструкция. В соревнованиях Formula Student допускается использование нескольких видов несущей системы. Первый разрешенный регламентом вариант – пространственная рама из стальных труб. При этом к трубам предъявляются следующие основные требования:

T 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 element.

T 3.2.2 Стальные трубы должны быть изготовлены из нелегированной углеродистой стали с максимальным содержанием 0,3 % углерода, 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 Допускается использование альтернативных материалов для труб основной структуры и для тяговой системы контейнера аккумулятора за исключением следующих элементов:

- Главная дуга и ее распорки должны быть стальными
- Передняя дуга должна быть металлической
- Любые сварные конструкции первичной структуры должны быть стальными
- Передняя дуга может иметь алюминиевую сварную структуру

На рисунке 4 изображен самый распространенный вид силовой конструкции, используемой на болидах соревнований Formula Student. К такому варианту зачастую прибегают команды с ограниченным бюджетом или малочисленным составом, так как данный вид силовой конструкции относительно прост в изготовлении и не влечет большие затраты.

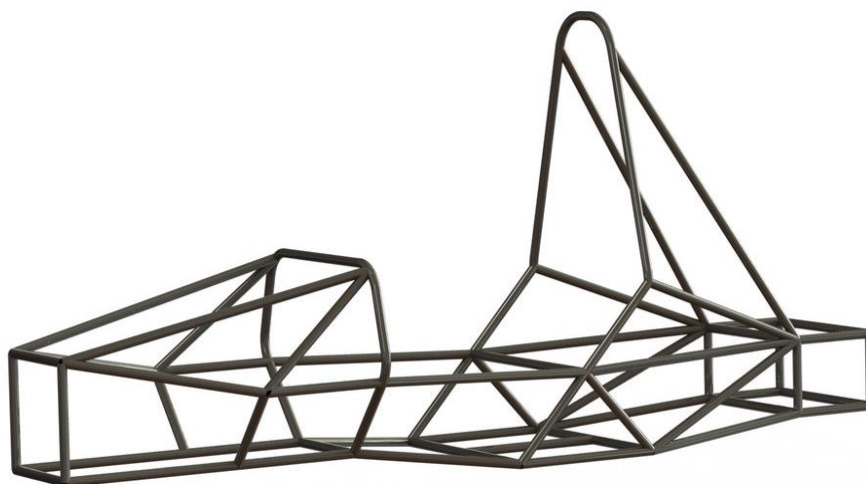


Рисунок 4 – Цельная стальная пространственная рама

Более затратным является решение с изготовлением пространственной рамы из алюминия (рисунок 5), из-за чего в практике FSAE данный вариант применяется реже. Кроме того, ввиду податливости алюминия несущая конструкция получается менее жесткой, что плохо сказывается на правильности работы подвески. Конечно, использование алюминия имеет и свои плюсы: легкость материала позволяет значительно снизить вес задней части автомобиля.

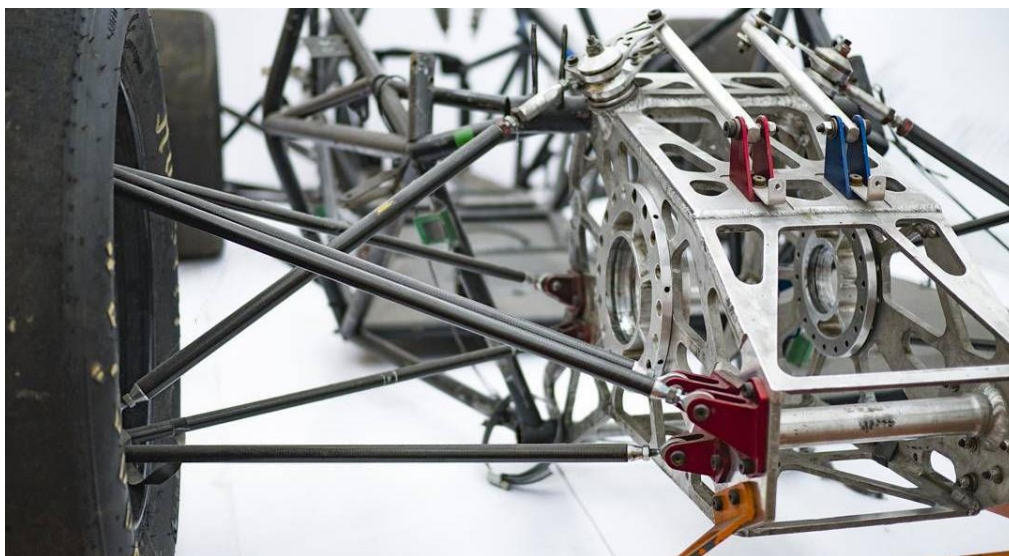


Рисунок 5 – Часть пространственной рамы изготовлена из алюминия

Однако данная система является практически неремонтопригодной, и при деформации или разрушении алюминиевой конструкции требуется полная ее замена.

Наконец, самой дорогостоящей и самой трудозатратной конструкцией является монокок, который регламентом определяется как «шасси из композитных материалов». Несмотря на то, что монокок изготавливается из дорогих материалов с применением особого оборудования, он позволяет существенно снизить общий вес автомобиля, обеспечивает достаточную жесткость конструкции и хорошую ремонтпригодность, а также делает возможной максимальную оптимизацию геометрии подвески (рисунок 6).



Рисунок 6 – Силовая конструкция монокок

К изготовлению монокока также предъявляются некоторые требования, прописанные в регламенте:

<p>T 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.</p>	<p>T 3.9.5 Допускается полное ламинирование передней дуги и монокока. Полное ламинирование предполагает, что дуга должна быть покрыта ламинатом по всей окружности.</p>
<p>T 3.14.4 The perimeter shear strength of the monocoque laminate in the front bulkhead support structure must be at least 4 kN.</p>	<p>T 3.14.4 Прочность на сдвиг монокока по периметру несущей конструкции передней перегородки должна быть не менее 4 кН.</p>

Любая из трех перечисленных конструкций допустима к использованию командами FSAE.

2. Подвеска. Конструкция подвески болида класса Formula Student строго не регламентирована, поэтому команды обладают большей свободой в выборе конструкторских решений. Основные требования содержатся в пункте T 2.4.1:

The vehicle must be equipped with fully operational front and rear suspension systems including shock absorbers and a usable wheel travel of at least 50 mm and a minimum jounce of 25 mm with driver seated.

Чаще всего команды прибегают к использованию стальных сварных рычагов подвески (рисунок 7), что связано с их надежностью, простотой и сравнительно небольшой стоимостью изготовления.

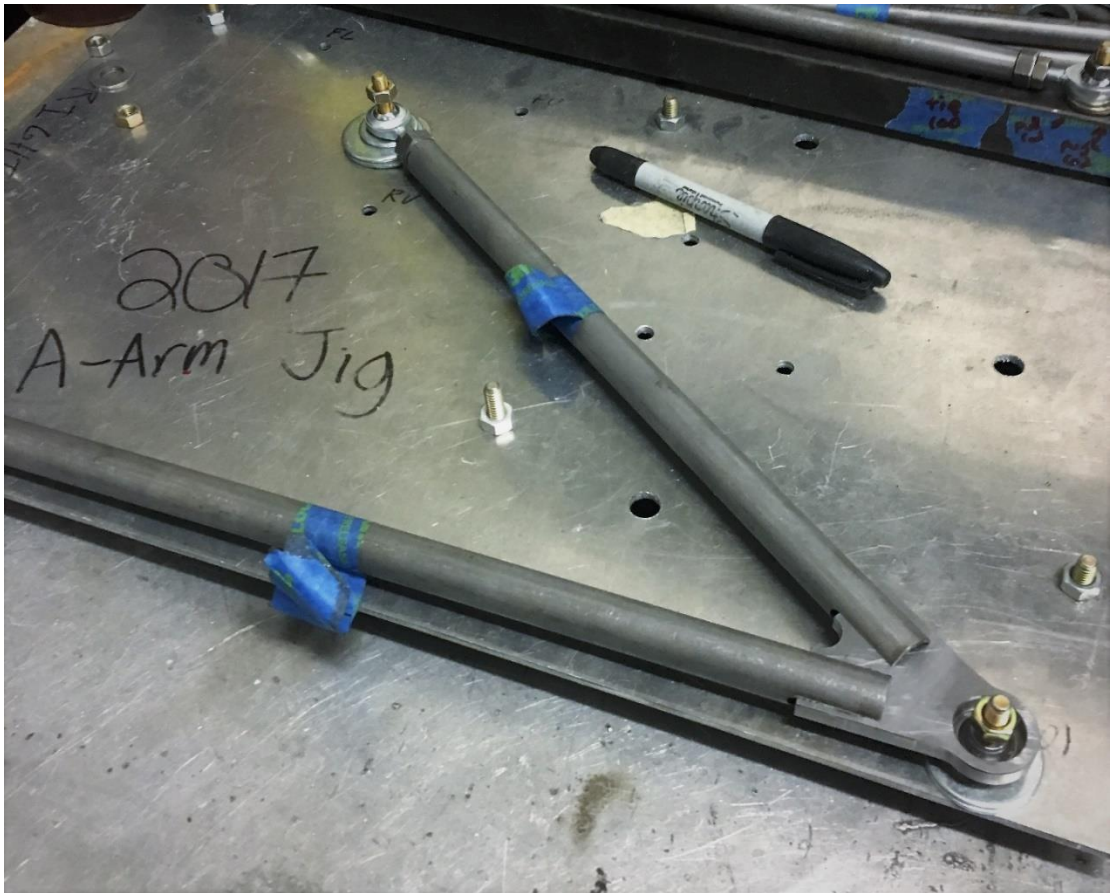


Рисунок 7 – Стальной рычаг подвески болида

Данное решение является наиболее рациональным с точки зрения безопасности пилота и окружающих, особенно, если общий вес болида превышает 200 кг, так как рычаги подвески испытывают большие нагрузки при скоростном прохождении трасс соревнований FSAE. Недостатками такого исполнения являются большой вес и, как отмечают некоторые команды, не очень эстетичный вид.

На рисунке 8 изображен рычаг подвески с алюминиевым основанием и карбоновыми трубами. Данное решение является рациональным при условии качественного изготовления при соблюдении инструкций по работе с композитами, а также при условии малого веса болида.



Рисунок 8 – Рычаг подвески болида, выполненный из композитных материалов

Карбоновые рычаги считаются менее надежными по сравнению со стальными рычагами [7], однако при правильном изготовлении такое решение позволяет значительно снизить вес автомобиля. При этом известны случаи, когда причиной схода автомобиля с дистанции на соревнованиях была именно поломка рычага из композитных материалов. Таким образом, будем считать снижение веса за счет таких ответственных элементов, как рычаги и тяги подвески, неоправданным по причинам безопасности пилота и в связи с дальнейшей возможности участия в заездах.

3. Опорные элементы подвески. К опорным элементам подвески относят кулаки, которые несут функцию опоры колеса, а также распределяют нагрузку с колес на всю подвеску. Поскольку кулаки представляют собой достаточно сложный элемент, их не изготавливают из композитных материалов, применяя вместо этого другие способы изготовления.

Так, на рисунке 9 изображен опорный элемент, состоящий из отдельных стальных частей, сваренных между собой, что является наиболее

надежным исполнением опорной конструкции. Такие кулаки можно изготовить практически в любых условиях, при этом они обладают наилучшей ремонтопригодностью.



Рисунок 9 – Стальные сварные кулаки подвески

Самым главным недостатком такого исполнения можно назвать увеличение веса: как общего веса автомобиля, так и неподрессоренной массы, что не лучшим образом скажется на устойчивости автомобиля. Однако использование стальных сварных кулаков является наилучшим решением для команд с небольшим бюджетом.

Другой вариант – сварные алюминиевые опорные элементы (изображены на рисунке 10) – встречается в сообществе Formula Student гораздо реже, что связано с низкой прочностью сварных соединений и всей конструкции в целом. Кроме того, в условиях выездных соревнований

починка таких кулаков видится нам достаточно сложной, при этом любые ремонтные работы неизбежно понижают прочность сварного алюминиевого кулака [14].



Рисунок 10 – Сварные алюминиевые кулаки подвески

Преимуществом данного варианта перед стальными сварными кулаками является их вес.

Одним из наиболее распространенных решений выступают цельноалюминиевые фрезерованные кулаки (рисунок 11), которые получают достаточно прочными и легкими.



Рисунок 11 – Цельноалюминиевые фрезерованные кулаки подвески

Говоря о недостатках таких кулаков, можно назвать следующее:

- высокая стоимость материала (чаще всего используется алюминий В95Т),
- высокая стоимость изготовления на ЧПУ станках,
- плохая ремонтпригодность.

Необходимо точно рассчитать данный элемент, потому что предел текучести алюминия меньше, чем стали. Нельзя допустить деформации кулака подвески, так как в него заложена основная геометрия подвески, и любая деформация скажется на управляемости.

Последний из рассматриваемых вариантов – это титановые кулаки, распечатанные на 3Д-принтере по металлу (рисунок 12), что можно охарактеризовать как наиболее дорогостоящее и трудозатратное решение [11]. Такой вариант изготовления опорных элементов в большей степени распространен среди команд, занимающих высокие позиции в мировом рейтинге соревнований Formula Student.



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

Подобные кулаки, однако, получаются наиболее прочными и легкими, так как изготавливаются из титана, а также при проектировании производится топологическая оптимизация детали, благодаря чему из формы кулака удаляются излишки металла. После топологической оптимизации деталь запускается на 3Д-печать и далее проходит постобработку на фрезерном станке. Среди недостатков титановых печатных кулаков выделяют:

- большое количество времени на производство;
- высокая стоимость материала, печати и обработки на ЧПУ станках;
- непригодность к ремонту.

В зависимости от выбранных конструкторских решений команда может самостоятельно регулировать стоимость прототипа создаваемого автомобиля.

2.2 Расчет материальных затрат

Рассмотрим предложенные варианты основных систем гоночного автомобиля с точки зрения используемого в них материала и сравним полученные стоимостные характеристики с учетом того, что потребность в основных материалах определяется исходя из плановых норм расхода на единицу продукции. Для расчетов использовалась формула:

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

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:

- труба 25x2.5 (сталь 20) – 5100 мм – 7000 г,
- труба 25x1.8 (сталь 20) – 18200 мм – 17035 г,
- труба 25x1.5 (сталь 20) – 3000 мм – 2610 г,
- труба 20x2 (сталь 20) – 500 мм – 400 г,
- трубы 16x2 (сталь 20) – 1200 мм – 829 г.

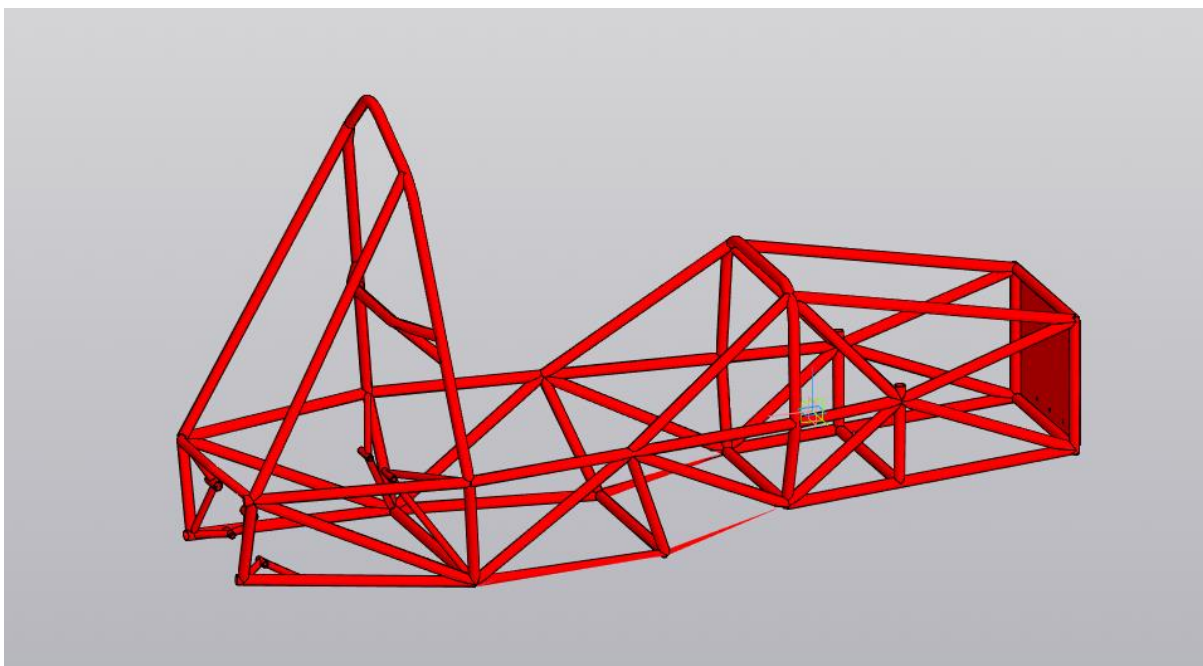


Рисунок 13 – Пространственная рама болида Formula Student

Рама создавалась с полным соблюдением регламента соревнований, выдержка из которого представлена на рисунке 14. Для того чтобы пространственная рама не становилась чрезмерно тяжелой, чаще всего команды используют минимально допустимые по моменту инерции трубы во время сборки.

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 – Выдержка из регламента соревнований

Общая масса труб пространственной рамы составляет 27874 г.

Цены на трубы разного диаметра и толщины стенки перечислены в таблице 2:

Таблица 2 – Стоимость материалов для изготовления пространственной рамы

Наименование	Цена, руб./г	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

Помимо стальных труб для изготовления пространственной рамы требуется металлический кондуктор (стапель) для точной сварки без увода металла [8]. Стапель изображен на рисунке 15.

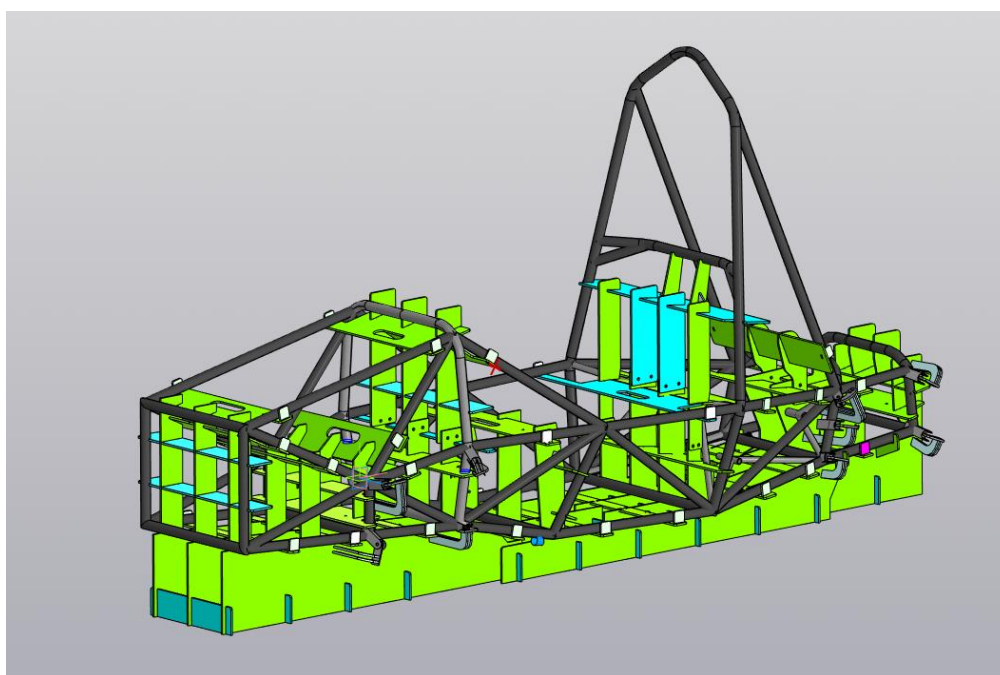


Рисунок 15 – Стальной кондуктор для пространственной рамы FSAE

Стапель необходим для точного изготовления пространственной рамы,

которая будет соответствовать основному регламенту соревнований Formula Student, а также для сохранения симметричности конструкции, так как при сварке без специального кондуктора конструкция может принять неправильную форму.

Стапель изготавливается из стальных пластин толщиной 5 мм для снижения деформаций при нагрузках (рисунок 16). Пластины режутся на лазерном станке, после чего собираются в единый стапель и прихватываются на сварные точки между собой [10].

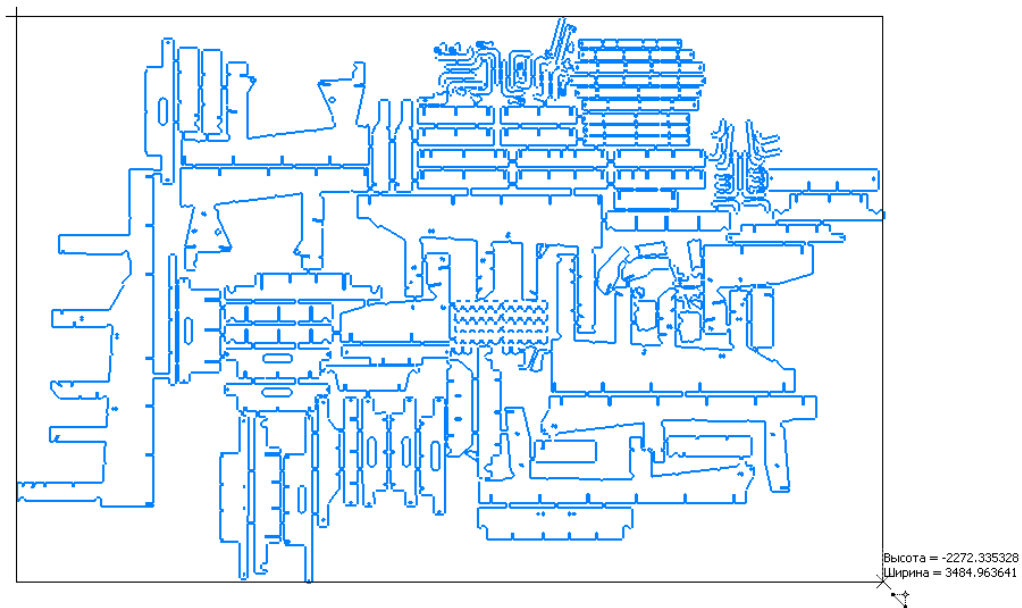


Рисунок 16 – Эскиз деталей для изготовления стапеля на лазерном станке

Как можно увидеть на эскизе, представленном выше, для изготовления деталей стапеля требуется пятимиллиметровый лист стали с габаритами 2272x3485 мм (7,91 м²). Так как на производстве не используют листы металла нестандартных размеров, то для изготовления используют лист 2500x3500 мм (8,75 м²). Стоимость квадратного метра пятимиллиметрового листа составляет 4000 рублей. Стоимость необходимого металлического листа составит:

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

где S – площадь металлического листа, m^2 ;

c – цена листа за $1 m^2$, руб.

Чаще всего монококи болидов Formula Student состоят из нескольких слоев разнонаправленной углеродной ткани, а также из одного слоя наполнителя, все это образует композитный сэндвич. Слои поэтапно склеиваются при помощи эпоксидной смолы, а для равномерного ее распределения используют установку для вакуумной инфузии, что позволяет избавиться от излишков смолы и пропитать равномерно каждый слой сэндвича [13]. Таким образом, для изготовления монокока понадобится минимум шесть слоев углеродной ткани, один полный слой наполнителя, достаточное количество эпоксидного клея, а также специальные пакеты и соединительная лента для создания вакуума.

Площадь поверхности среднестатистического монокока составляет $3 m^2$, что видно из рисунка 17. Такое количество материала потребуется для формования одного слоя монокока.

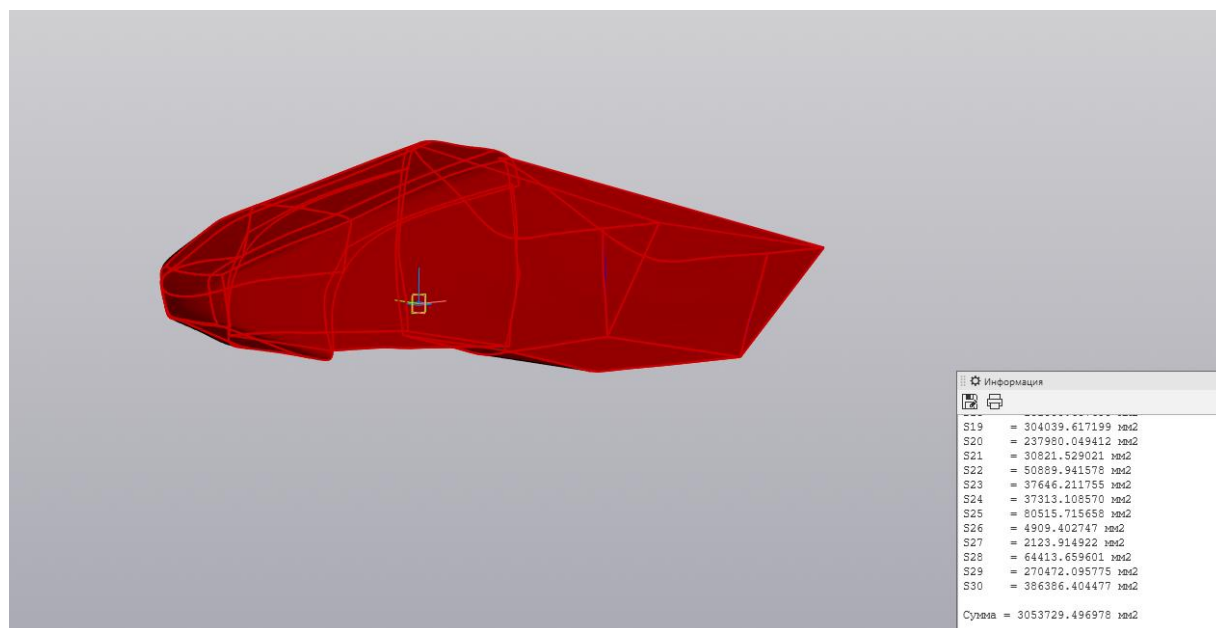


Рисунок 17 – Площадь поверхности монокока

Для расчета стоимости были учтены плановые нормы расхода на одну деталь, что указано в таблице 3.

Таблица 3 – 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 формовочную матрицу. Более дешевым как с точки зрения материалов, так и с точки зрения изготовления является вариант матрицы для позитивного формования, изображенные на рисунке 18.



Рисунок 18 – Матрицы для позитивного формования

Позитивное формование подразумевает укладку слоев поверх матрицы, а после, матрицу извлекают изнутри готового изделия. Такая матрица

производителю обходится в разы дешевле, а также данный способ формования более удобен в процессе производства изделия. Однако, при таком способе формования изделие должно подвергнуться постобработке, так как ровная поверхность получается только на внутренней части изделия.

Матрица чаще всего изготавливается из стекловолокна, при условии, что уже имеется деталь, которую нужно формовать. Или же второй способ – фрезеровать матрицу из деревянного бруса. Стандартные размеры деревянного бруса, который подходит под габариты монокока – 2000x800x40 мм. Габариты монокока примерно составляют 2000x700x750 мм, поэтому для фрезерования матрицы необходимо предварительно склеить брусья между собой при помощи эпоксидной смолы, что отображено в таблице 4.

Таблица 4 – Стоимость материалов для изготовления формовочной матрицы для монокока

Материал	Цена, руб.	Количество	Единицы измерения	Стоимость, руб.
Сосновый брус 40x800x2000 мм	5731	19	шт.	108889
Эпоксидная смола ЭДП	1700	10	кг	17000
Итого:				125889

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

Сварной стальной кулак состоит из стальной обоймы подшипникового узла, крепления под тормозной суппорт, крепления тяги схождения или же рулевой сошки, а также креплений рычагов подвески. Размер обоймы зависит от размера подшипников и ступицы, которые будут использоваться. Крепления под суппорт выполняются из стального прутка и стальных пластин толщиной 2 мм. Все остальные элементы также изготавливаются из

стального листа толщиной 2 мм, кроме консольных креплений, которые изготавливаются из стального листа 3 мм. Эскиз деталей изображен на рисунке 19.

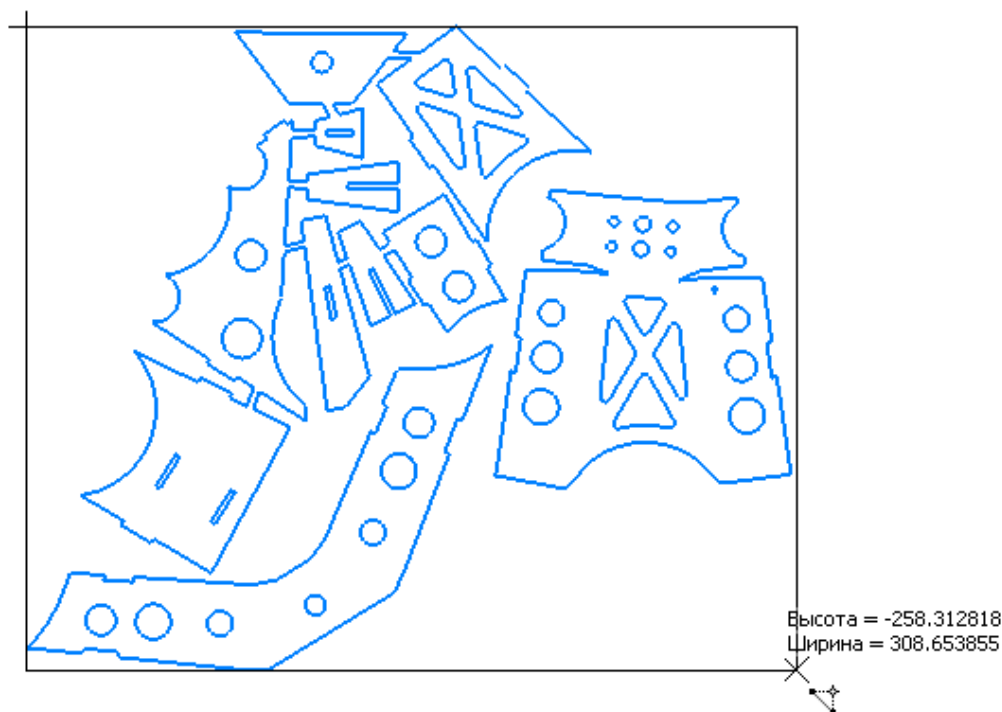


Рисунок 19 – Эскиз деталей для изготовления деталей стального кулака на лазерном станке

Так как стальной лист с габаритами 260x310 мм приобрести не удастся, то необходимо заказывать погонный метр стального листа 1000x260 мм. Стоимость одной тонны 2-х миллиметрового стального листа составляет 108895 руб. Цена такого металлического листа рассчитывается:

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

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.

Таким образом, цена за 4 кг стального листа составляет 435,58 рублей.

Кроме того, труба для изготовления гильзы кулака, а именно обоймы под подшипники с размерами 70х7 мм и высотой 100 мм составляет 854 рубля. Стальной сварной кулак показан на рисунке 20.

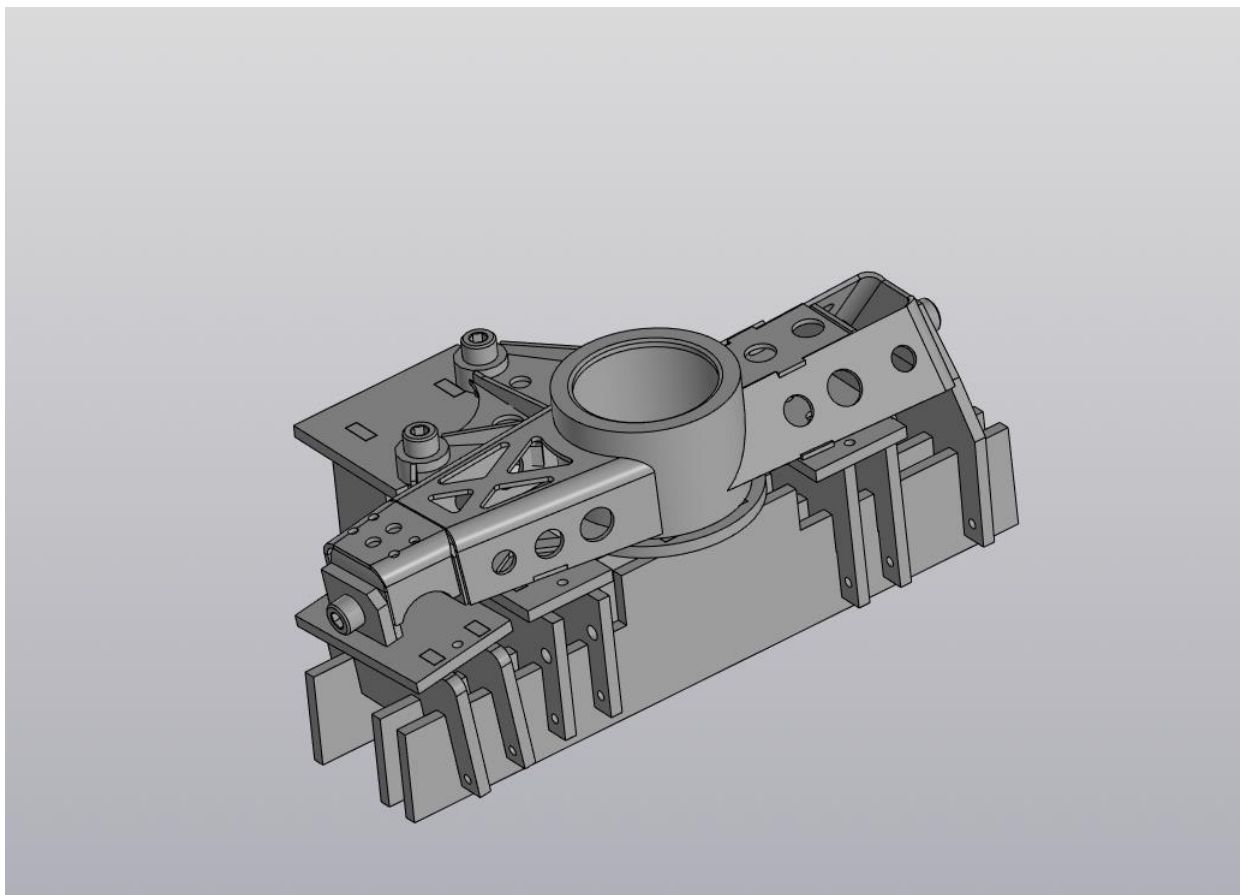


Рисунок 20 – Стальной сварной поворотный кулак в стапеле

Помимо материала для изготовления кулака, необходимо разработать и изготовить кондуктор для точной сварки деталей. Кулак подвески – ответственный узел, поэтому необходимо обеспечить правильную геометрию

опорного элемента. От того, насколько качественно будет изготовлен кулак, будет зависеть правильность работы подвески. Стапель для опорного элемента, как и для пространственной рамы, изготавливается из стальных пластин толщиной 5 мм, эскиз деталей представлен на рисунке 21.

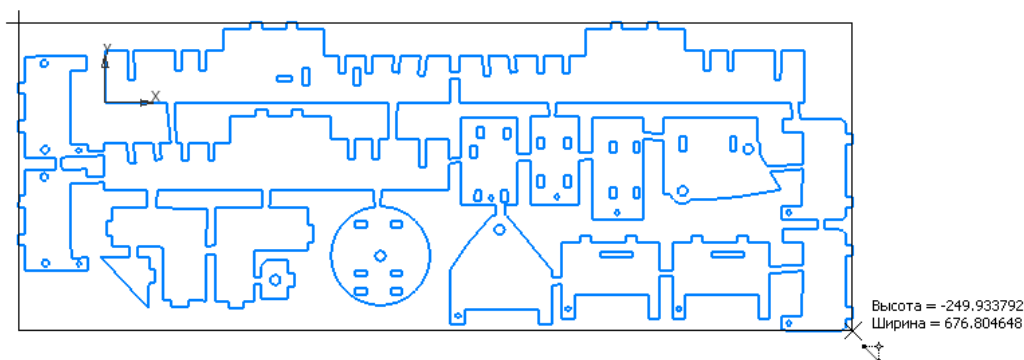


Рисунок 21 – Эскиз деталей для изготовления стапеля для стального сварного кулака

Стоимость листа 250x678 мм для изготовления стапеля составит 678 рублей при расчете стоимости металлического листа за 1 кв.м.

Цельноалюминиевый кулак подвески изготавливается из цельного алюминиевого бруса. Материал фрезеруется строго по чертежу или по 3D-модели. Для данного исполнения опорного элемента не требуется специальной оснастки, поэтому в расчет берется только брус алюминия. Для такой ответственной детали, как поворотный кулак нужен материал, который будет соответствовать требованиям по прочности. Нагружение опорного элемента наглядно представлено на рисунке 22.

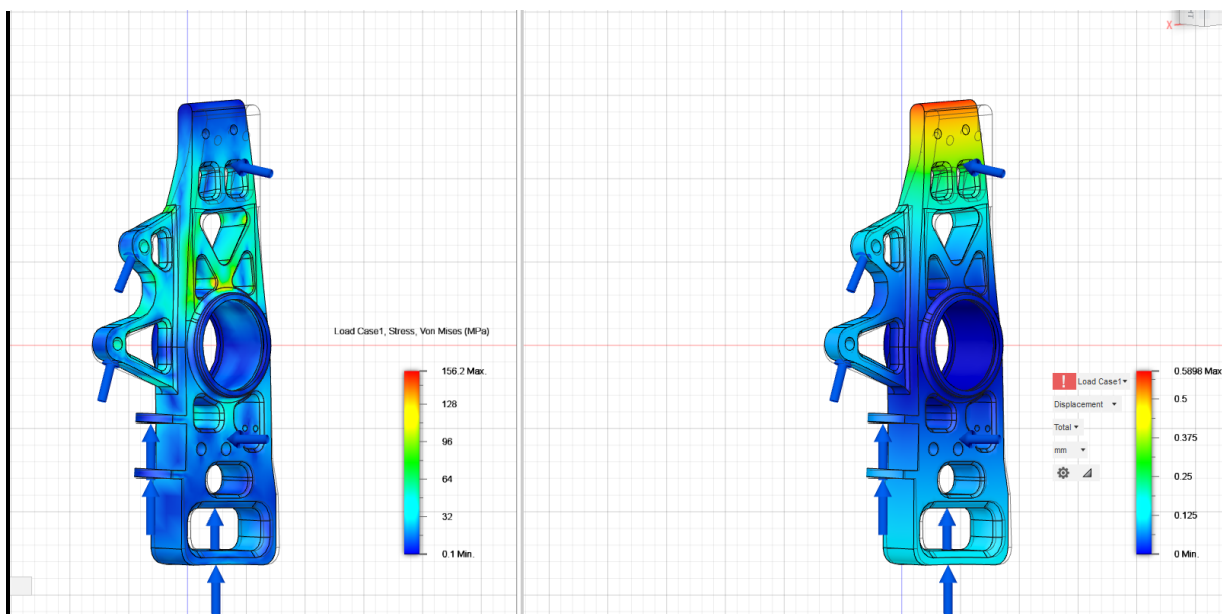


Рисунок 22 – Нагружение опорного элемента, подбор материала

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, то:

$$Pt3 = (Hб \times Цб - Hп \times Цп) \times Пп, \quad (5)$$

где $Pt3$ – сумма изменения затрат, руб.;

$Hб$ и $Hп$ – 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:

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

Проделанные расчеты позволяют сделать вывод о том, что использование стальных кулаков является менее затратным вариантом с точки зрения расходов на материалы по сравнению с изготовлением алюминиевых кулаков.

2.3 Расчет производственных затрат

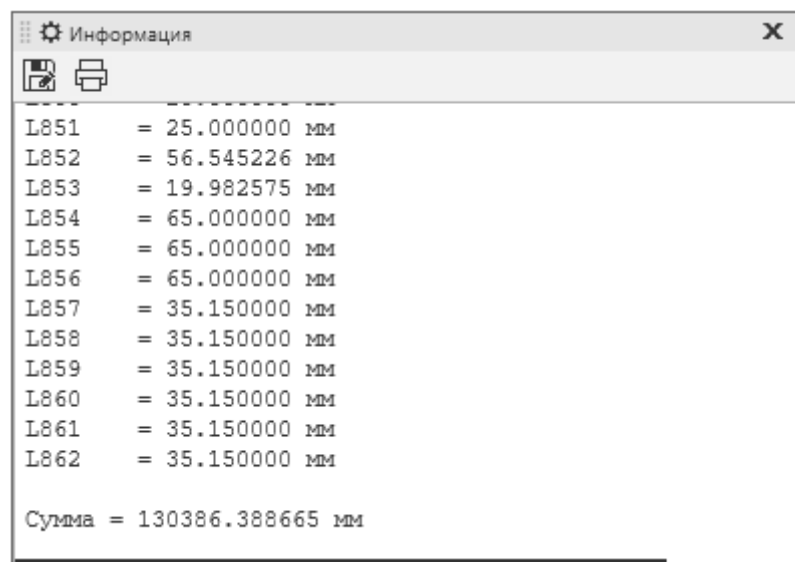
Материал необходимо преобразовать в готовую продукцию посредством применения технологических операций [15]. Изготовление рамы требует таких операций, как: гибка, резание, сварка, покраска и лазерная резка для стапеля рамы [4], что можно увидеть в таблице 5.

Таблица 5 – Производственные затраты при изготовлении пространственной рамы

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

Таким образом, общие трудозатраты на изготовление пространственной рамы будут включать пять основных операций и составят 31 час.

Длины реза для стапеля указаны на рисунке 23:



Item	Length (mm)
L851	25.000000
L852	56.545226
L853	19.982575
L854	65.000000
L855	65.000000
L856	65.000000
L857	35.150000
L858	35.150000
L859	35.150000
L860	35.150000
L861	35.150000
L862	35.150000
Сумма	130386.388665

Рисунок 23 – 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:

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

Итого общие затраты на производство пространственной рамы с учетом всех технологических операций составят 2237,95 рублей.

По завершении всех операций общий вес пространственной рамы составляет 27,874 кг. Средний вес пространственных рам на соревнованиях Formula Student составляет 26-32 кг в зависимости от конфигурации рамы и требуемой жесткости на скручивание (рисунок 24).

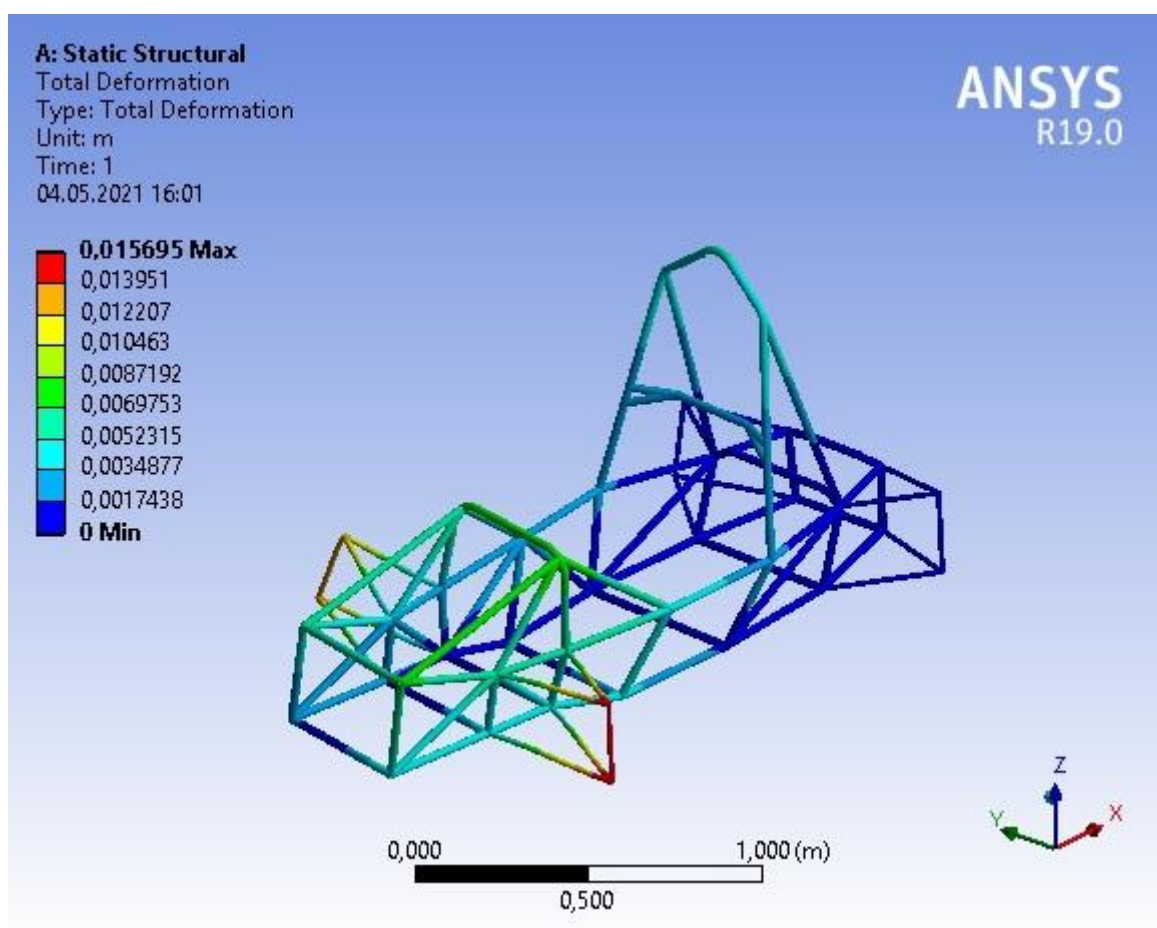


Рисунок 24 – Симуляция проверки жесткости рамы на скручивание

Полученная рама с массой 27,874 кг имеет жесткость 2250 Нм/град.

Такая жесткость рамы обеспечивает снижение податливостей подвески, а также безопасность пилота.

В процесс изготовления монокока входит меньшее количество технологических операций, чем в процесс изготовления пространственной рамы, однако по части трудоемкости монокок считается более сложным изделием [2]. Основными операциями для изготовления монокока можем назвать следующее: фрезерование и подготовка матрицы для формовки, формование слоев углеродного волокна и наполнителя, изготовление вакуумного пакета и обеспечение необходимого давления в 100 мБар. Приведем затраты на данные операции в таблице 6:

Таблица 6 – Производственные затраты при изготовлении монокока

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

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6
Формование	Формование производить с помощью вакуумной установки с минимальным давлением 100 мБар для максимально равномерного распределения эпоксидного клея по всем слоям углеродного волокна, а также для выведения излишков клея.	21	м ²	240	84

В среднем монококи команд, участвующих в соревнованиях Formula Student, имеют вес 22-24 кг, жесткость на скручивание составляет от 1600 до 2000 Нм/град.

Далее рассмотрим систему подвески с точки зрения применяемых технологических процессов, которые перечислены в таблице 7.

Таблица 7 – Производственные затраты при изготовлении стального сварного кулака

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

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6
Расточка обоймы	Обеспечить посадку с натягом для подшипников под запрессовку.	1	ч	60	1
Сварка	После сварки изделие зачистить от окалин.	41	см	4	2,73
Покраска	Поверхность обработать при помощи пескоструя	0,2	м ²	30	0,1

Общие затраты по времени составят 4,06 часа, длины реза на лазерном станке для изготовления кулака указаны на рисунке 25.

Код	Длина реза (мм)
L312	22.000000
L313	21.038754
L314	12.000000
L315	12.000000
L316	12.743813
L317	16.000095
L318	50.113207
L319	16.123764
L320	18.538762
L321	13.236977
L322	20.750000
L323	14.527930
Сумма	6956.908164

Рисунок 25 – Длина реза лазерного станка для кулака

Таким образом, изготовленный стальной сварной кулак весит 990 г и является полностью ремонтпригодным, однако после ремонта срок его службы значительно сокращается. Внешний вид детали изображен на рисунке 26.

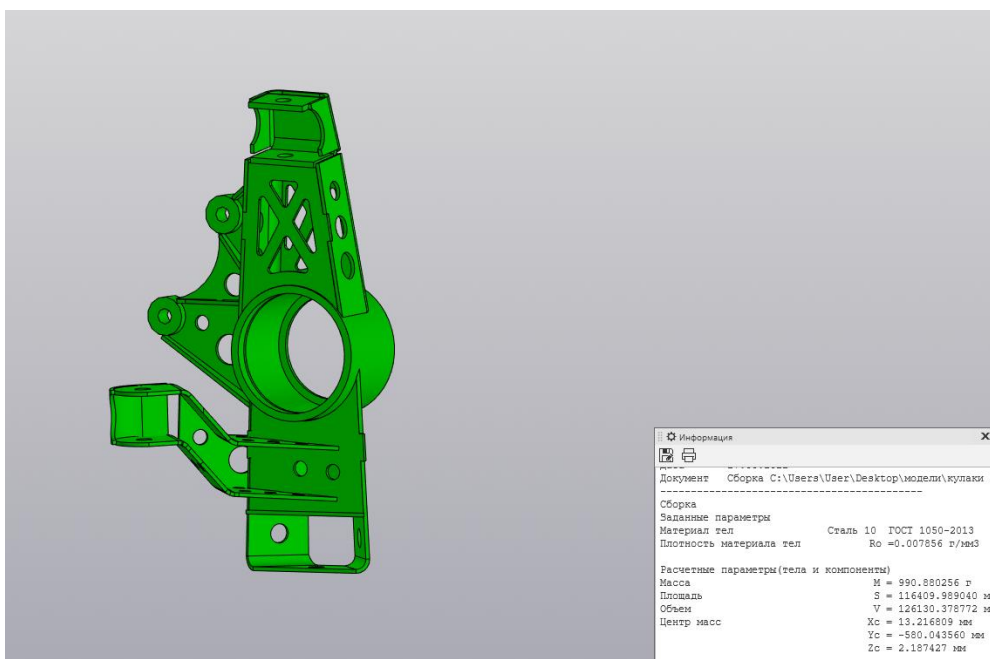


Рисунок 26 – Масса готового стального сварного кулака

Цельноалюминиевый кулак изготавливается полностью на фрезерном станке с числовым программным управлением [17]. На изготовление данного алюминиевого фрезерованного кулака массой 770 г (рисунок 27) потребовалось 42 часа. Значительным недостатком такой конструкции, однако, является плохая ремонтпригодность.

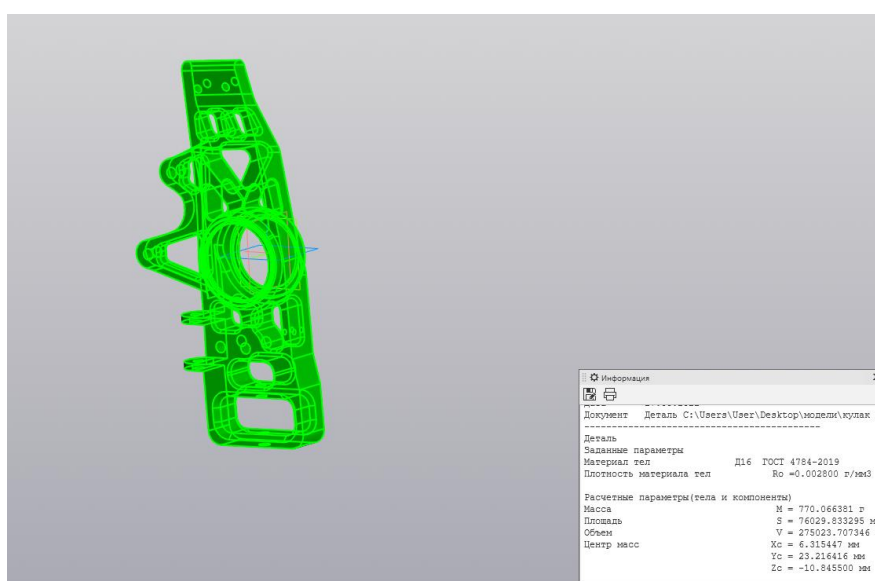


Рисунок 27 – Масса готового цельноалюминиевого кулака

Принимая во внимание рассчитанные затраты на материалы и изготовление деталей [1], а также такие дополнительные параметры, как масса, ремонтпригодность и жесткость на кручение (для рамы) составим сравнительную характеристику рассматриваемых вариантов на основе циклограмм с заданными параметрами (рисунки 28 и 29):

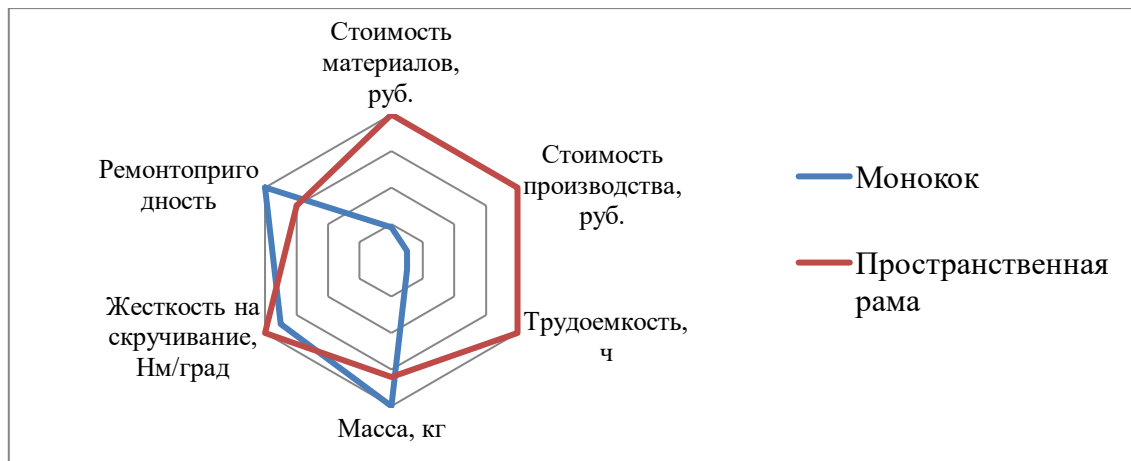


Рисунок 28 – Сравнительная оценка шасси

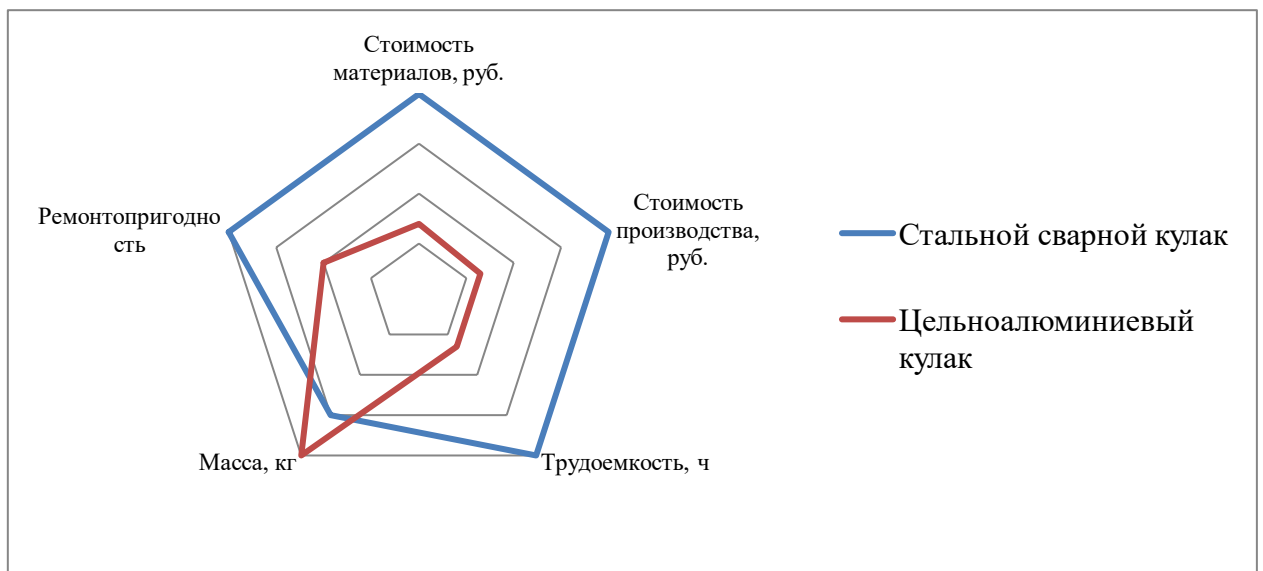


Рисунок 29 – Сравнительная оценка опорного элемента
Таким образом, площади циклограмм позволяют заключить, что выбор

в пользу проектирования и изготовления пространственной рамы и стальных сварных кулаков является наиболее оптимальным для болида класса Formula Student в силу относительной дешевизны производства и сравнительно хороших технических характеристик.

Выводы по разделу

Во втором разделе работы была проанализирована конструкция с точки зрения ее технологичности, различные системы болида были рассмотрены на предмет процентного соотношения изготавливаемых или закупаемых деталей. На основе проведенного анализа было решено подробнее разобрать систему рамы и обвеса и подвеску гоночного автомобиля, поскольку данные системы практически полностью изготавливаются командами Formula Student самостоятельно, при этом занимают значительное место в списке статей расходов. По выбранным системам был проведен расчет материальных и производственных затрат.

Заключение

Одной из важных задач при проектировании новых конструкций и автомобильных прототипов остается стремление к снижению себестоимости производства этих разработок. Помимо прочего, на себестоимость влияют применяемые технологические процессы, что и послужило объектом исследования в рамках данной бакалаврской работы.

В качестве примера была рассмотрена последняя модель гоночного болида, спроектированного командой Тольяттинского государственного университета для участия в FSAE.

На основе анализа основных систем гоночного болида класса Formula Student были выделены узлы, в которых преобладает количество изготавливаемых деталей. К таким системам были отнесены подвеска и рама болида с обвесом. Нами было проанализировано несколько вариантов конструкций с использованием разных материалов и технологических процессов изготовления.

В результате мы пришли к выводу, что пространственная рама является менее дорогостоящей в изготовлении, чем монокок, однако уступает ему по легкости конструкции и ремонтпригодности. Кроме того, изготовление стальных сварных кулаков требует меньшего количества затрат по сравнению с цельноалюминиевыми, но отличаются большей массой.

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.

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. 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.
3. Догузов Г.Т. Анализ мирового рынка и производства легковых автомобилей в современных условиях // Московский экономический журнал. 2021. №7. С. 379–386.
4. 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.
5. Еллыев Ш.М., Хыдыров Н.К., Шамухамедов Г.Х., Широга П.Д. Способы снижения себестоимости в современных условиях экономики // Science Time. 2015. С. 89–94.
6. 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.
7. Клепиков, В.В. Основы технологии машиностроения: учебник / В. В. Клепиков [и др.]. – М. : ИНФРА-М, 2017. - 295 с.
8. 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.
9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

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

17. 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.

18. 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.

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

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