

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)

13.03.03 Энергетическое машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Проектирование и эксплуатация автомобилей с гибридными силовыми установками

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему «Разработка технико-экономической документации для производства болида класса Formula Student»

Обучающийся

С.И. Сушинцева

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент А.В. Бобровский

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Тема представленной выпускной квалификационной работы – «Разработка технико-экономической документации для производства болида класса Formula Student».

Цель ВКР – составить описание организации мелкосерийного производства небольших гоночных автомобилей класса Formula Student.

Для достижения цели были определены следующие задачи: 1) описать студенческий инженерный проект, охарактеризовать в нем место технико-экономической документации; 2) описать конструкцию автомобиля, производство которого необходимо организовать; 3) провести сравнительный анализ подходов к созданию технико-экономической документации среди команд Formula Student; 4) предложить проект производственного плана; 5) рассчитать себестоимость изготовления прототипа; 6) рассчитать точку безубыточности.

В ходе работы были рассмотрены некоторые подходы к организации производства гоночных болидов и выявлены их преимущества и недостатки, на основе чего предложен план по организации изготовления болидов в рамках проекта «Формула Студент ТГУ». Был проведен расчет себестоимости болида, разработан производственный план, рассчитана точка безубыточности.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки в размере 46 страниц, включая 4 таблицы, 23 рисунка, а также графической части, содержащей 6 листов.

Abstract

The topic of the presented final qualifying work is “Development of technical and economic documentation for the production of a Formula Student class car.”

The purpose of the WRC is to describe the organization of small-scale production of small Formula Student racing cars.

To achieve the goal, the following tasks were identified: 1) describe the student engineering project, characterize the place of technical and economic documentation in it; 2) describe the design of the car, the production of which needs to be organized; 3) conduct a comparative analysis of approaches to creating technical and economic documentation among Formula Student teams; 4) propose a draft production plan; 5) calculate the cost of manufacturing the prototype; 6) calculate the break-even point.

During the work, some approaches to organizing the production of racing cars were examined and their advantages and disadvantages were identified, on the basis of which a plan was proposed for organizing the production of cars within the framework of the “Formula Student TSU” project. The cost of the car was calculated, a production plan was developed, and the break-even point was calculated.

The final qualifying work consists of an explanatory note of 46 pages, including 4 tables, 23 drawings, as well as a graphic part containing 6 sheets.

Содержание

Введение.....	5
1 Состояние вопроса	7
1.1 Formula SAE как инженерный проект.....	7
1.2 Понятие технико-экономического обоснования производства	9
2 Анализ исходных данных.....	18
2.1 Описание конструкции гоночного болида	18
2.2 Сравнительный анализ вариантов технико-экономического производства	
Formula Student	26
3 Техничко-экономическое обоснование	31
3.1 Организация производства.....	31
3.2 Расчет точки безубыточности.....	36
4 Безопасность и экологичность технического объекта	39
Заключение	43
Список используемой литературы и используемых источников.....	44

Введение

Formula SAE – студенческие инженерные соревнования, организованные SAE International (ранее Общество автомобильных инженеров). Впервые соревнования состоялись еще в 1979 году после того, как Марк Маршек, работавший тогда в Университете Хьюстона (Техас), связался с отделом по связям с образованием SAE.

На данный момент студенческий проект Formula Student продолжает функционировать и направлен на передачу знаний и навыков специалиста в области инженерии еще на стадии получения высшего образования. С годами проект приобрел значительную популярность как в странах Запада, так и на территории России.

Цель проекта заключается в том, чтобы подготовить студентов инженерных направлений подготовки к работе на предприятиях автопрома. Для этого на базе высшего учебного заведения проводится организация конструкторского бюро, на базе которого студенческой команде необходимо разработать (спроектировать) и собрать рабочий гоночный болид. Испытать разработку команде предоставляется в ходе одноименных инженерно-гоночных соревнований.

Принято считать, что главную роль в Formula Student играет именно инженерная часть, поскольку в ходе взаимодействия с экспертами из ведущих автомобильных компаний и инжиниринговых центров у студентов появляется возможность перенять ценный опыт и позже интегрировать его в свой проект.

«В Тольяттинском государственном университете Formula SAE реализуется в рамках проекта «Формула Студент ТГУ». Студенческая команда университета была образована в 2007 году под названием SPC Formula TSU, позже переименована в Togliatti Racing Team.

Со своим первым гоночным болидом Sprint 01, который был разработан и сконструирован за 9 месяцев, команда успешно выступила на предварительном этапе соревнований Formula Student Russia в 2008 году, где

презентовала бизнес-проект по реализации выпуска тысячи подобных гоночных болидов в России. Одна из целей заключалась в обосновании экономической выгоды производства. По итогам этапа, данная презентация была признана конкурентоспособной» [6].

За годы своего существования и активной деятельности команда стала шестикратным победителем российских соревнований Formula Student Russia.

В 2023 году студенческий инженерный коллектив Тольяттинского государственного университета принял участие в соревнованиях с болидом Scorpion G4. Были заняты следующие призовые места:

- общий зачет – 3 место – 513,5 баллов;
- презентация бизнес-плана – 1 место – 75 баллов;
- отчет о стоимости – 1 место – 95 баллов;
- защита конструкции – 1 место – 145 баллов
- восьмерка – 1 место – 75 баллов;
- автокросс – 2 место – 71,92 баллов;
- ускорение – 3 место – 41,5 баллов.

Таким образом, важной задачей внутри проекта является разработка технико-экономической документации, связанной с производством разрабатываемого автомобиля – как с точки зрения баллов, которые команда может получить в ходе соревнований, так и с точки зрения приобретаемых навыков организации производства в конкурентной среде.

1 Состояние вопроса

1.1 Formula SAE как инженерный проект

Ввиду дефицита инженерных кадров на рынке труда в России, высшие учебные заведения ставят своей целью обеспечение условий получения компетенций и навыков работы с современными инструментами и программами и обучающихся высших учебных заведений. Так, в Тольяттинском государственном университете, наравне с рядом других крупных вузов РФ, реализуется инженерно-гоночный проект Formula Student. Деятельность проекта оформлена в рамках СНО «Формула Студент ТГУ».

Проект Formula Student или Formula SAE является международным и был основан обществом автомобильных инженеров в 1978 году. Со временем приобрел значительную популярность как в странах Запада, так и на территории России.

Цель проекта заключается в том, чтобы подготовить студентов инженерных направлений подготовки к работе на отечественных предприятиях автомобильной промышленности. Для этого на базе высшего учебного заведения организуется конструкторское бюро, на базе которого студенческой команде необходимо разработать (спроектировать) и собрать рабочий гоночный болид. Испытать разработку команде предоставляется в ходе инженерно-гоночных соревнований.

Соревнования включают в себя динамические и статические дисциплины. К динамическим относятся гоночные заезды на специально оборудованной трассе. В статические дисциплины входят защита конструкции, отчета о себестоимости производства и презентация бизнес-плана. Данным испытаниям уделяется особое внимание, поскольку в ходе взаимодействия с экспертами из ведущих автомобильных компаний и инжиниринговых центров у студентов появляется возможность перенять ценный опыт и позже интегрировать его в свой проект.

В ходе работы студенты-участники знакомятся со спецификой работы с различными САD- и САЕ-программами (КОМПАС 3D, ANSYS, NX и др.), которые являются удобными инструментами современных инжиниринговых центров. Помимо основной образовательной траектории, включающей обязательное изучение теоретического материала, студент получает возможность на практике познакомиться с отдельными системами и узлами автомобиля: кузов и шасси, трансмиссия, подвеска, эргономика и т.д.

При этом, выбор конкретного узла автомобиля для дальнейшей работы в значительной степени ограничивает зону ответственности члена команды, позволяя начинающему специалисту более глубоко изучить данный раздел для дальнейшей разработки узла и его самостоятельного изготовления.

Помимо инженерных специальностей проект объединяет студентов других направлений подготовки, в том числе «Юриспруденция» (подготовка документации и оформление заявок на патентование, проведение патентного поиска), «Менеджмент» (внутренняя организация команды, взаимодействие со спонсорами и другими структурами университета), «Экономика» (расчет себестоимости и подготовка бизнес-плана) и т.д. Привлечение специалистов из разных сфер позволяет сделать команду аналогом полноценной компании по изготовлению автомобилей.

Результатом выступает создание конкурентоспособного автомобиля с минимальной себестоимостью. Болиды могут относиться к одному из трех классов: с бензиновым двигателем, с электрической силовой установкой или беспилотники.

Внешний вид автомобиля класса Formula Student показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Болид класса «Формула»

Помимо разработки деталей и узлов в рамках проекта осуществляется подготовка технико-экономической документации: бизнес-плана и списка статей затрат при изготовлении в формате Bill of Materials. Во время соревнований за защиту данных документов участники команд могут набрать до 75 и 100 баллов соответственно.

1.2 Понятие технико-экономического обоснования производства

Основной целью включения дисциплины «Защита отчета о себестоимости производства» в перечень дисциплин соревнований является определение знаний команды об используемых производственных процессах и затратах, связанных с производством автомобиля. Это включает в себя принятие компромиссных решений, оптимизацию конструкции, интеллектуальные технологии производства, снижение затрат, принятие решений относительно того, изготавливать самостоятельно детали и узлы или покупать, а также понимание различий между массовым выпуском и изготовлением прототипа, проектированием и серийным производством.

Другими факторами являются планирование финансов и ресурсов, влияние производства транспортных средств на окружающую среду и т. д.

Данная статическая дисциплина разделена на две части:

- список материалов и деталей (спецификация),
- обсуждение стоимости.

Список материалов и деталей (BOM и SBOM)

Спецификация представляет собой отсортированный список, включающий каждую деталь автомобиля, а также процессы, применяемые для их производства, крепежные элементы и инструменты, используемые для их сборки.

SBOM дополнительно включает затраты, связанные с каждым из пунктов, упомянутых выше. Общий список материалов разбит на сборки.

Согласно международному своду правил FSAE, вес болид можно условно разделить на восемь систем, а именно: тормоза, двигатель и трансмиссия, электрооборудование, трубы и пространственная рама, различная отделка, рулевое управление, подвеска, колеса и шины.

Системы далее разбиваются на сборки, сборки – на под сборки, под сборки – на отдельные детали.

Детали разделяются на материалы и процессы, используемые для их изготовления. Процессы дополнительно разбиты на крепежные элементы и инструменты, используемые для сборки деталей болида.

Структура BOM и SBOM показана на рисунке 2.

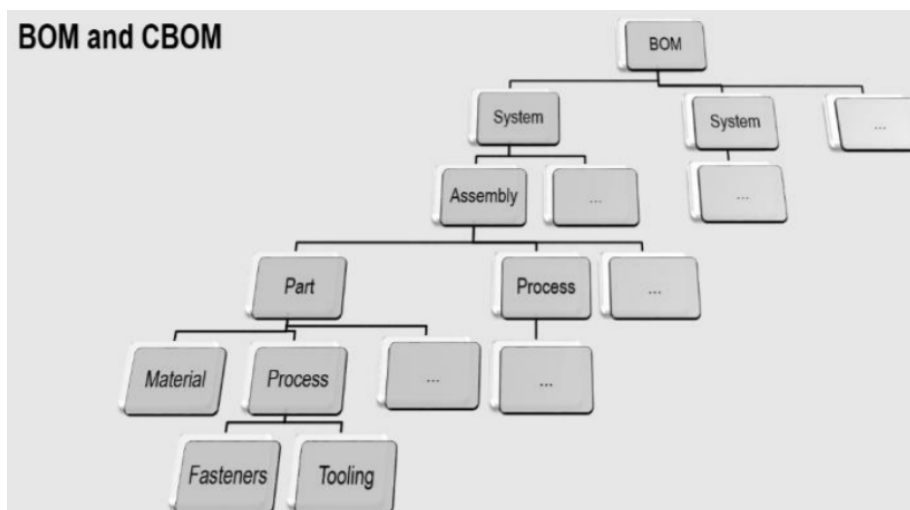


Рисунок 2 – Структура BOM и CBOM

Обсуждение затрат

Как говорилось выше, основным мотивом создания Formula Student является не только получение практических знаний о создании гоночного автомобиля, но и понимание промышленных методов и целей, которые необходимы для производства автомобиля по оптимальной цене.

В разделе обсуждения затрат оценивается понимание командой затрат, рассчитанных в CBOM, финансового планирования и управления ресурсами, понимание различий массового производства и производства прототипа, более разумных производственных технологий, которые можно использовать, влияния производства на окружающую среду и многих других связанных с этим факторов.

Финансовые инвестиции должны быть основаны на надлежащих исследованиях и не должны быть расплывчатыми. Необходимо тщательно проверить рынок и сравнить все возможные альтернативы любого материала/детали/процесса друг с другом и, наконец, выбрать наиболее экономически эффективный вариант для применения [4].

В рамках соревнований приветствуется постепенная оптимизация затрат с включением лучших вариантов в соответствии с намеченным бюджетом.

Выделяют несколько подходов, которые способствуют сокращению затрат.

Выбор сырья

Для любой детали, которая должна быть спроектирована командой, правильный выбор материала является основным шагом перед переходом к этапу проектирования. Необходимо выбирать и закупать альтернативы различным материалам, обычно используемым для производства детали, доступные по более низкой цене и обеспечивающие те же свойства. Это снизит первоначальную стоимость изделия. Выбор материала не должен производиться случайным образом.

Циклограммы (рисунок 3) могут быть построены с учетом различных свойств, включая стоимость материалов. Построение таких диаграмм позволяет наглядно определить и выбрать наилучший вариант.

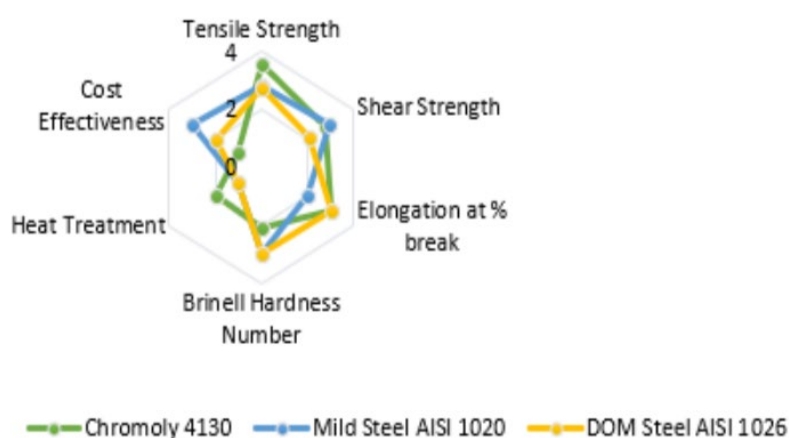


Рисунок 3 – Пример циклограммы сравнения нескольких видов материалов

Выбор процесса

Выбор правильного производственного процесса также приводит к снижению фактической стоимости прототипа автомобиля. Прежде чем завершить его, необходимо провести надлежащий анализ используемого

процесса. Выбор процессов с меньшими почасовыми ставками окажется более рентабельным для команды.

Например, если звездочку прототипа можно обработать с помощью гидроабразивной обработки, то для этого не следует выбирать фрезерование с ЧПУ, поскольку фрезерование с ЧПУ окажется более дорогостоящим, чем гидроабразивная обработка. Некоторые процессы также зависят от выбранного сырья.

На рисунке 4 показан пример сравнения двух подходов к изготовлению ведомой звездочки индийской команды Hermes Racing. В первом случае общая себестоимость изготовления будет составлять 5257,91, в то время как во втором случае – 4681,38.

DRIVEN SPROCKET WHEEL					
2016-17			2017-18		
Material Name- Mild Steel	Material Cost(per kg=₹145..36)	₹ 131.14	Material Name- Aluminium T7	Material Cost(per kg=₹747.34)	₹ 485.06
Machining Process- Laser cutting, Drilling, Grinding	Machining Cost	₹ 4,682.00	Machining Process- Waterjet Cut	Machining Cost	₹ 3,900.07
	Process Cost-			Process Cost-	
	Assemble	₹ 6.32	Assemble	₹ 6.32	
	Installation	₹ 6.32	Installation	₹ 6.32	
	Drilled Holes	₹ 22.12	Drilled Holes	₹ -	
	Fasteners Cost-		Fasteners Cost-		
	Fastners(*12)	₹ 379.20	Fastners(*8)	₹ 252.80	
	Tighten	₹ 30.81	Tighten	₹ 30.81	
	TOTAL	₹ 5,257.91	TOTAL	₹ 4,681.38	

Рисунок 4 – Разница в стоимости при выборе различных способов изготовления звездочки автомобилей команды Hermes Racing, Индия

Оптимизация конструкции

Оптимизация является ключом к снижению затрат, приводя к «удалению» дополнительного материала из итогового изделия. Как следствие, для изготовления детали потребуется меньше сырья с точки зрения веса. Кроме того, производство таких конструкций будет осуществляться с

меньшими затратами, поскольку общее время цикла обработки будет сокращено.

На рисунке 5 показан сравнительный анализ двух вариантов изготовления кулака Hermes Racing. В первом случае масса готового изделия составляет 2 кг, во втором – всего 0,584 кг.

UPRIGHT					
2016-17			2017-18		
Material Name- Aluminum Premium	Material Cost(per Kg=₹747.34)	₹ 1,617.13	Material Name- Aluminum T7	Material Cost(per kg=747.34)	₹ 1,121.80
Machining Process- CNC Milling	Machining Cost	₹ 11,376.00	Machining Process- CNC Milling	Machining Cost	₹ 6,658.91
	Process Cost-			Process Cost-	
	Assemble	₹ 6.32		Assemble	₹ 6.32
	Installation	₹ 6.32		Installation	₹ 6.32
	Drilled Holes(x6)	₹ 165.90			
	Fasteners Cost-			Fasteners Cost-	
	Fastners(*5)	₹ 158.00		Fastners(*9)	₹ 284.40
	Tighten	₹ 154.05		Tighten	₹ 277.29
	TOTAL	₹ 13,483.72		TOTAL	₹ 8,355.04
TOTAL WEIGHT OF A PIECE= 2 kg			TOTAL WEIGHT OF A PIECE= 0.584 kg		

Рисунок 5 – Оптимизация затрат за счет снижения веса поворотного кулака

Бережливое производство

Бережливое производство представляет собой ключевой элемент, необходимый для сокращения дополнительных затрат, которые могут включать ежедневные денежные вложения. Бережливое производство приводит к сокращению потерь и систематическому упорядочению различных вещей, включая инвентарь. Бережливое производство позволяет избежать ситуации, когда финансы производственной компании тратятся впустую при закупке дополнительных материалов.

Анализ «сделай/покупай»

Команда должна провести исследование производства или покупки запасных частей/узлов, чтобы выбрать наиболее экономически эффективный

способ. В основном это используется для дисциплины Business Logic Case. Анализ может оказаться экономичным методом достижения прибыли для предприятия, а также произвести хорошее впечатление на судей соревнований.

Пример данного анализа продемонстрирован на рисунке 6.

MAKE			
	CNC	Waterjet	Casting
Raw material required for 1 car(kg)	5.17	5.17	0.56
Cost of raw material required for 200 cars	₹ 8,28,580.00	₹ 8,19,940.00	₹ 88,753.13
Cost of machine	₹ 14,50,000.00	₹ 12,45,000.00	₹ 9,45,000.00
Total Labour/Overhead/Equipment	₹ 9,50,000.00	₹ 3,55,265.63	₹ 33,216.56
Total	₹ 32,28,580.00	₹ 24,20,205.63	₹ 10,66,969.69
BUY			
	CNC	Waterjet	Casting
Raw material required for 1 car	5.17	5.17	0.56
Cost of raw material required for 200 cars	₹ 8,28,580.00	₹ 8,19,940.00	₹ 88,753.13
Machining hr for 1 car	11	14	18
Machining cost for 200 cars	₹ 9,75,000.00	₹ 8,300.00	₹ 1,22,011.50
Cost of finishing		₹ 2,80,139.06	₹ 34,316.56
Total	₹ 18,03,580.00	₹ 11,08,379.06	₹ 2,45,081.19

Рисунок 6 – Пример осуществления анализа

Как видно из продемонстрированного примера, вариант самостоятельного изготовления обойдется команде гораздо дороже, чем вариант, при котором будет осуществляться централизованная закупка.

Использование меньшего количества крепежных деталей

Уменьшение количества крепежных деталей позволит уменьшить затраты, вложенные в их покупку. Меньше креплений приводит к более простой конструкции и легкой доступности при установке на автомобиль.

Также это позволяет сэкономить время на сборочно-разборочные работы.

Анализ и проверка

Детали, разработанные самой командой, должны пройти надлежащий структурный/термический/динамический анализ с использованием программного обеспечения CAE и должны быть полностью проверены, прежде чем подготовить их к механической обработке/производству. Это устранит вероятность ошибок (если таковые имеются) до того, как изделие будет обработано/изготовлено.

Виртуальная сборка всего автомобиля

После того, как этап проектирования завершен, один из инженеров команды должен произвести полную виртуальную сборку автомобиля с помощью любого программного обеспечения САПР. Это даст команде доказательство того, что все спроектированные детали могут быть изготовлены, в сборках не возникает никаких помех, а значит, можно приступить к дальнейшему производству.

Отсутствие этого шага может привести к ошибкам в обработке/производстве, что в дальнейшем приведет к лишним тратам на изготовление деталей неправильных размеров.

Термическая обработка

Производимые детали должны подвергаться термической обработке для защиты от разрушения. Это поможет изготавливаемым компонентам прослужить дольше, предотвращая затраты на их регулярную обработку.

Несмотря на то что термическая обработка иногда может оказаться более дорогостоящим процессом для команд, можно использовать предварительно подвергнутое термической обработке сырье, поскольку оно чаще всего доступно на рынке.

Техника сварки

Если команда выполняет газовую сварку с металлическими вставками (MIG), баллон с углекислым газом, используемый для сварки, можно смешать с 20% аргона, что снижает стоимость газового баллона. Таким образом, затраты оптимизируются.

Кроме того, это является экологически безопасным шагом, который может предотвратить выброс токсичных сварочных дымов, возникающих из-за углекислого газа.

Простота и снижение веса

Упрощение конструкции и облегчение веса деталей поможет снизить дополнительные затраты, которые могут потребоваться для их сборки или крепления.

Затраты на настройку

Возможное сокращение затрат должно быть достигнуто в процессе настройки автомобиля. Это оказывается экономически эффективным с точки зрения отчета о затратах команды.

Обеспечение допусков

Для деталей должны быть предусмотрены допуски на размеры и производство, чтобы предотвратить любой ущерб из-за ошибок, приводящих к порче детали/сборки.

Мониторинг накладных расходов

Повседневные накладные расходы команды, участвующей в таких мероприятиях, как транспортировка, закупки, контроль запасов, должны эффективно контролироваться на предмет денежных потерь. Это поможет сократить накладные расходы, которые можно использовать для других производственных целей.

Таким образом, оптимизация затрат помогает студентам принимать компромиссные решения, что помогает в развитии их способностей к принятию решений наряду с навыками эффективного проектирования.

Выводы по разделу

В первом разделе была описана специфика инженерного проекта «Формула Студент», описаны шаги по уменьшению себестоимости изготовления гоночного болида.

2 Анализ исходных данных

2.1 Описание конструкции гоночного болида

«Основные требования к конфигурации болида проекта Formula Student, согласно техническому регламенту, следующие:

- болид должен быть одноместным;
- болид должен иметь четыре открытых колеса, вынесенных за пределы кокпита;
- кокпит болида должен быть открытым;
- колеса с каждой стороны болида не должны находиться на одной прямой» [7].

Гоночный болид 2023 года был разработан на основе концепции эффективности, малого веса и контроля. Для снижения веса была обновлена вся силовая установка, что позволило снизить массу на 15,7 кг, а неподрессоренную массу уменьшить на 1,5 кг на каждое колесо.

Экономичность связана с затратами на разработку автомобиля и его изготовление, а также с экономией топлива за счет регулировки ЭБУ на динамометрическом стенде и регулировки в ходе испытаний на отведенном для этого полигоне. Для повышения устойчивости автомобиля на трассе была полностью изменена подвеска, что повлекло за собой последующие изменения в конструкции рамы.

Рендер модели болида показан на рисунке 7.



Рисунок 7 – Рендер модели гоночного болида 2023 года разработки

Двигатель

Двигатель от мотоцикла KTM 450 EXC-F (2017) был выбран с целью добиться легкости автомобиля и его маневренности. Данный двигатель имеет более высокую топливную экономичность по сравнению с 4-цилиндровыми двигателями, а также меньшую массу: сухая масса составляет 29,2 кг, что в среднем на 5 кг легче аналогов. Объем двигателя составляет 450 куб. см, диаметр и ход поршня 95 x 63,4 мм, R/S = 1,49.

Вместе с четырьмя клапанами на цилиндр это обеспечивает высокую эффективность на высоких оборотах (более 6000 об/мин). Выбранный двигатель имеет наименьший диаметр дроссельной заслонки среди всех мотоциклов своего класса – 42 мм, за счет чего имеет наименьшие потери воздуха, поступающего в камеру сгорания через рестриктор. Тип клапанного механизма – SOHC.

После изготовления систем впуска и выпуска и настройки ЭБУ общая мощность двигателя составляет 48 л.с. при 8600 об/мин, крутящий момент составляет 29 Н/м при 8500 об/мин.

Система впуска

Система впуска рассчитана на геометрию двигателя R/S = 1,49, чтобы минимизировать потери давления внутри ресивера из-за рестриктора AtPower. Расчеты проводились в симуляторе двигателя Engine Analyser Pro с моделированием входящего потока в Solid Works Simulation Flow. Система впуска имеет объем 2,8 литра при общей длине раннера 250 мм и диаметре 42 мм.

Модель ресивера показана на рисунке 8.

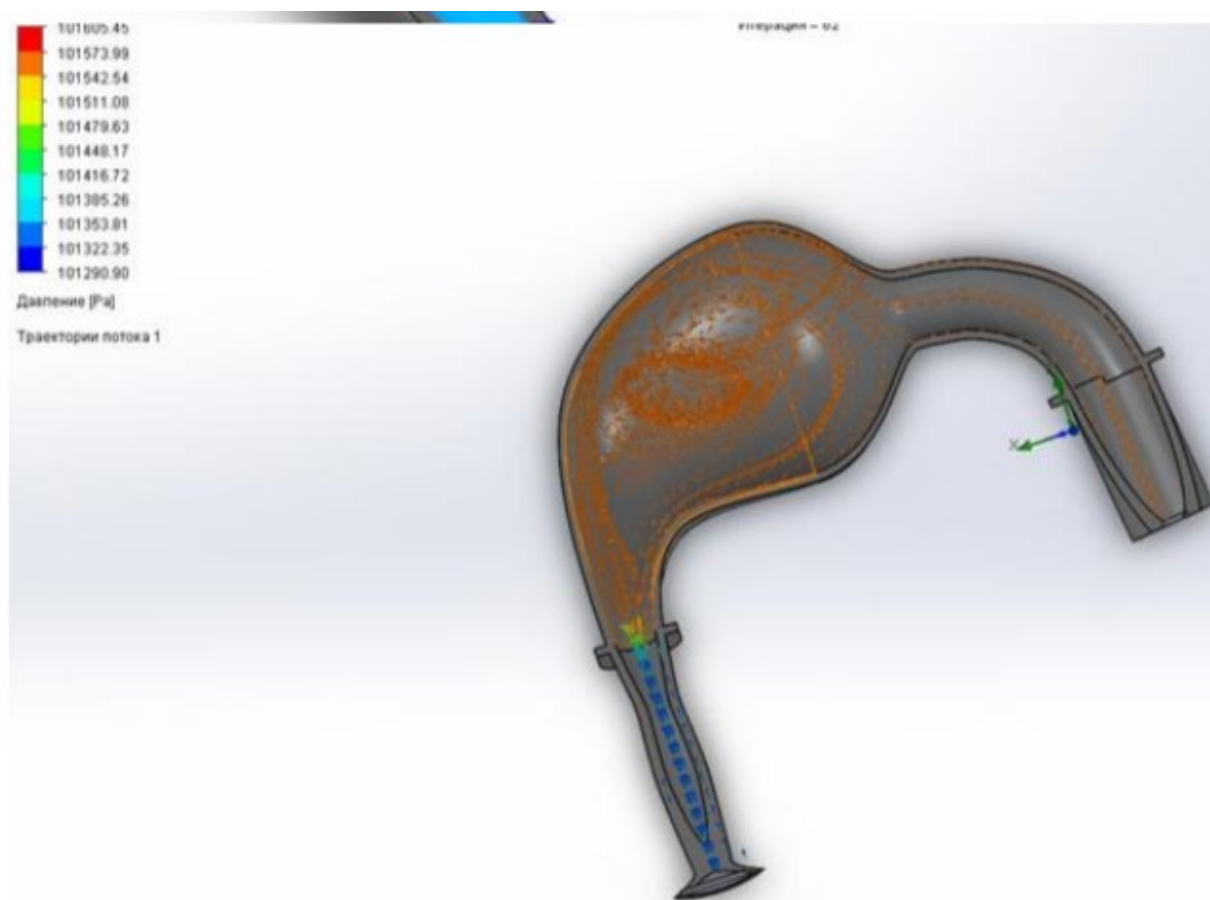


Рисунок 8 – Модель ресивера болида

Ресивер изготовлен из композитного материала – углепластика Twill 2x2 плотностью 200 и 400 г/м², корпус впрыска топлива – из AISI 1015. Общий вес впускной системы с крепежом составляет 1,8 кг.

Скорость топливоздушнoй смеси перед впускными клапанами составляет от 90 до 140 м/с в зависимости от скорости вращения коленчатого вала. Увеличение давления перед корпусом дроссельной заслонки и впускным каналом составляет 5% от окружающего атмосферного давления, что положительно влияет на внешнюю скоростную характеристику двигателя.

Внутри системы впуска имеется датчик MAP и датчик температуры воздуха. Для корректировки топливной карты и угла опережения зажигания в зависимости от температуры и давления окружающей среды датчик располагается в точке максимального давления во впускной системе. Система впуска размещена параллельно земле, чтобы понизить центр тяжести.

Выхлопная система

Выхлопная система спроектирована и собрана на основе компонентов производства STT Group. В качестве материала используется нержавеющая сталь. Длина выпускного коллектора – 530 мм. Деталь изготовлена из трубы 43 x 1,5 мм. Резонатор состоит из трех камер:

- 1 – резонатор длиной 292 мм и объемом 2,2 литра;
- 2 – глушитель объемом 1,5 л с вваренной изогнутой пластиной для направления потоков газа в следующий резонатор;
- 3 – резонатор объемом 2,2 литра.

В резонаторах используются перфорированные трубы из нержавеющей стали внутренним диаметром 33 мм. Наполнители в резонаторах намотаны в два слоя: первый слой – металлическая стружка для снижения высоких звуковых частот, второй – стекловата для снижения низких звуковых частот. Вес выхлопной системы составляет 6,5 кг.

Толщина стенок корпуса резонатора 3 мм. Марка стали выбрана для условий работы свыше 800 градусов и максимальной устойчивости к вибрациям.

Внешний вид выхлопной системы можно увидеть на рисунке 9.

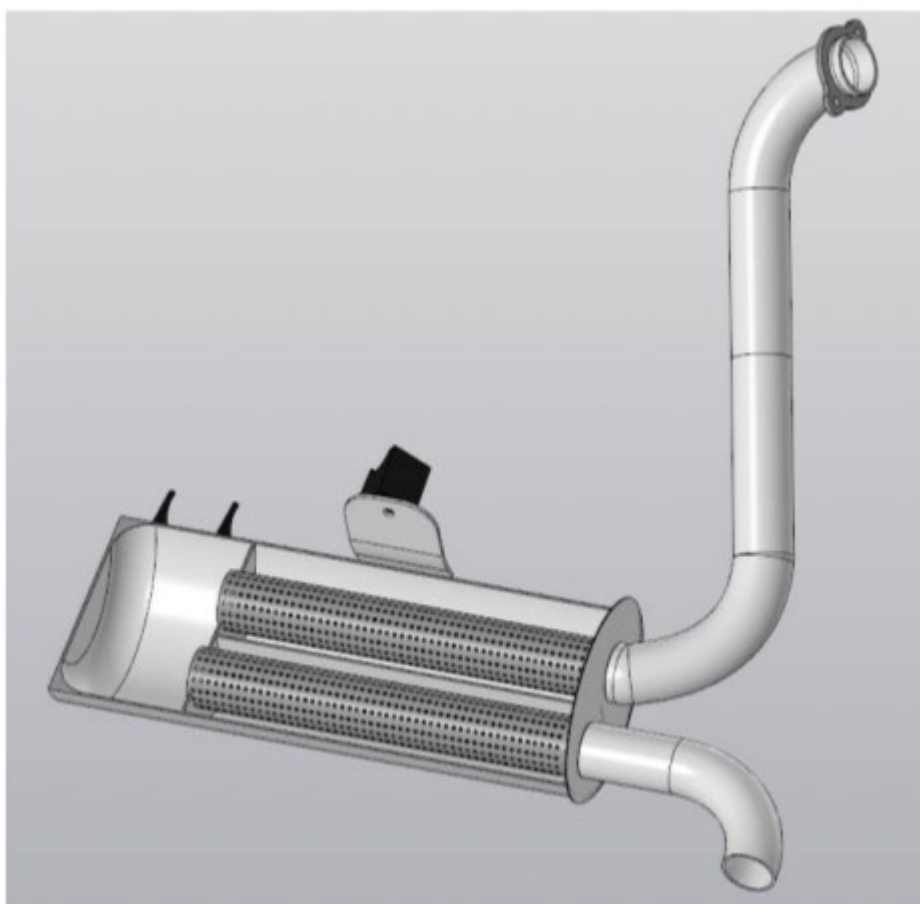


Рисунок 9 – Выхлопная система

Рама

Болид собран на базе рамы из AISI 1020, так как она примерно в 10 раз дешевле по стоимости изготовления чем монокок.

Задняя часть автомобиля претерпела серьезные изменения по сравнению с предыдущей моделью автомобиля в связи с изменением двигателя. Так, была добавлена дополнительная несущая конструкция, в результате чего рама стала длиннее на 221 мм.

Вес рамы увеличен на 5 кг по сравнению с предыдущей версией. Задняя часть автомобиля построена вокруг двигателя и опор подвески.

Основные изменения:

- точки крепления двигателя сдвинулись на 51 мм ближе к фаярволу, так как двигатель КТМ 450 меньше, чем КТМ 690, который использовался на предыдущем автомобиле;
- в отличие от подвески предыдущего автомобиля, нынешняя задняя подвеска имеет А-образные рычаги (взамен реактивных рычагов регулировки автомобиля), а одна из точек крепления передней подвески опустилась на 63 мм;
- основная дуга стала выше на 16 мм из-за изменения состава пилотов команды.

На рисунке 10 показано наглядное сравнение предыдущей рамы болида с нынешней версией.



Рисунок 10 – Сравнение вариантов рамы болида

Эргономика

Педаальный узел изготовлен из алюминиевых пластин толщиной от 2 до 4 мм и имеет съемные ручки из пластика ABS/PETG для педалей акселератора и сцепления, а также алюминия для педали тормоза. Такая конструкция позволяет осуществлять замену в случае поломки или эксплуатации автомобиля пилотом более низкого роста без полной разборки.

Угол поворота рулевого колеса увеличен на 8 градусов по сравнению с предыдущим автомобилем и теперь равен 16 градусам, что привело к увеличению пространства в кабине для пилота, более плавной работе рулевого управления за счет уменьшения угла поворота рулевого колеса.

Приборная панель, в отличие от предыдущей машины, была заменена на полностью электронную, которая оказалась в 20 раз дешевле (новая – 30 долларов США, старая – 600 долларов США). Изменилось также расположение кнопок и переключателей на приборной панели. Выключатели вентилятора и зажигания расположены рядом для возможности включения и выключения одним движением, на каждом из выключателей имеется маркировка, исключающая ошибки при выборе выключателя.

Нижнее крепление водительского сиденья вынесено за пределы зоны сидения, что повысило комфорт при вождении.

Аэродинамика

Было проведено несколько симуляций движения автомобиля по кругу, с аэродинамическим обвесом и без него. Результаты показали, что даже на низких скоростях аэродинамические элементы позволяют машине проходить круг быстрее.

Для заднего и переднего крыла за основу были взяты профили NASA M26 AIRFOIL (m26-il) и GOE 137 (MVA H.15) соответственно. Профили были выбраны исходя из их аэродинамической эффективности (C_l/C_d) на скоростях до 80 км/ч. Для обеспечения высокой прочности и жесткости конструкции внутренний каркас был выполнен в виде сэндвич-панелей.

На рисунках 11 и 12 показан внешний вид основных аэродинамических элементов.

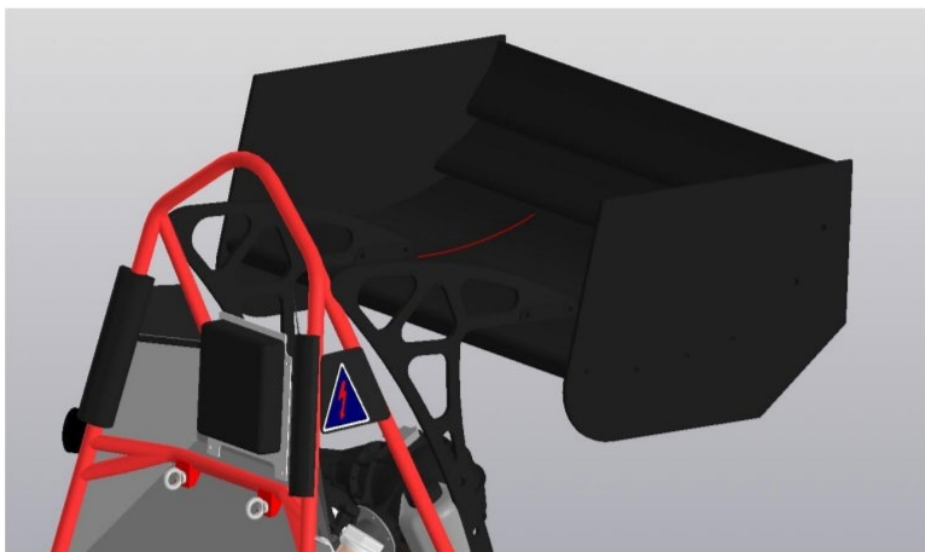


Рисунок 11 – Заднее антикрыло

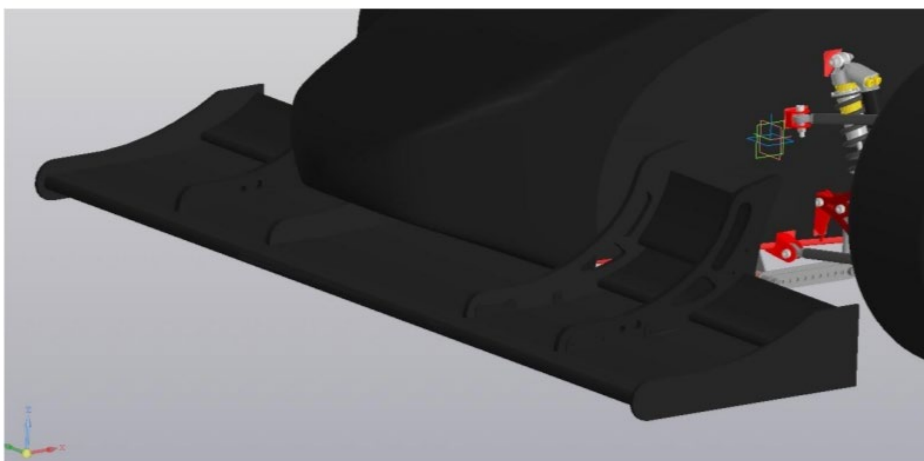


Рисунок 12 – Переднее антикрыло

Диффузоры, работающие в паре с боковыми подножками, обеспечивают улучшенную аэродинамическую эффективность, управляемость, а также улучшают охлаждение двигателя.

2.2 Сравнительный анализ вариантов технико-экономического производства Formula Student

Большинство команд «Формула Студент» выделяют общие требования к технико-экономической документации по гоночному автомобилю.

Так, например, отчет о затратах должен отражать затраты на реальный, единичный прототип транспортного средства, представленный на соревнованиях [21].

Кроме того, «необходимо перечислить и оценить каждую деталь прототипа автомобиля. Сюда входят любые системы сбора данных и радиоприемники, если они установлены на транспортном средстве в любой момент во время соревнований. Исключение составляет лишь то, что согласно п. 4.3.7 правил не требуется включать в стоимость» [11].

Расходы рассчитываются в порядке, установленном пунктом 4.3.6 правил соревнований, и должны быть основаны на фактической технологии производства, использованной при изготовлении прототипа [23].

В отчетную стоимость прототипа транспортного средства не входят затраты на НИОКР, оснастку (например, приспособления, формы, модели и штампы), капитальные затраты (например, завод, оборудование) и инструменты. Также, в более ранних версиях регламента расчетная стоимость прототипа автомобиля не должна превышать 25000 долларов США.

Чтобы облегчить оценку отчета о затратах, SAE установило стандарт бухгалтерского учета, которому должна следовать каждая команда [25]. Стандарт включает три основных документа: спецификацию материалов (BOM), описание процессов и крепежных деталей.

Спецификация предоставляется для каждой из восьми систем автомобиля: тормозная система, двигатель и трансмиссия, рама и кузов, инструменты и проводка, отделка, система рулевого управления, подвеска и амортизаторы, а также колеса и шины, разное. В спецификации указывается

стоимость каждого компонента, относящегося к системе. Компонент помечается как приобретенный или изготовленный.

Все трудозатраты, затраченные на сборку компонентов, указываются в соответствующей спецификации [22]. Каждый товарный раздел содержит три основных финансовых документа, в которых описана стоимость производства.

Рисунок 13 иллюстрирует процесс создания спецификации командой Массачусетского Института Технологий (MIT). Представленная блок-схема была экстраполирована, чтобы включить все восемь систем и все компоненты. Несмотря на допущенное упрощение, схема, разработанная командой, отражает основной процесс, используемый при учете затрат [24].

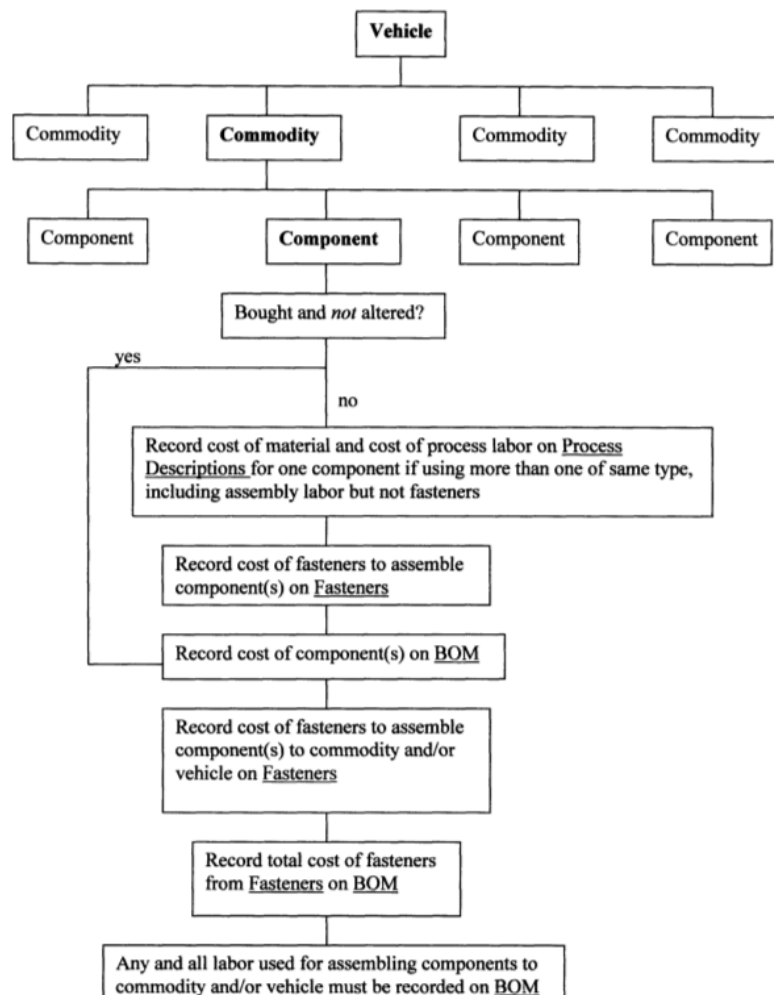


Рисунок 13 – Алгоритм разработки технико-экономической документации

Инженерная команда Массачусетского Института Технологий пишет о том, что стоимость автомобиля 2005 года выпуска выросла на 21% с 17268 до 20814 долларов США. Если предположить, что самый дешевый автомобиль стоил одинаково в 2004 и 2005 годах, то показатель «самой низкой стоимости» MIT определенно снизился с 2004 по 2005 год. Общий балл в дисциплине «защита отчета о стоимости» увеличился на 12%.

Для каждой команды, работающей над созданием отчета о стоимости производства гоночного болида, распределение статей затрат по системам автомобиля индивидуально.

Так, для команды из университета Акрона общая себестоимость изготовления автомобиля составила 13873 доллара США (рисунок 14).

Area Totals	Materials	Processes	Fasteners	Tooling	Total
Brake System	\$ 763.30	\$ 153.98	\$ 6.25	\$ 0.14	\$ 923.67
Engine & Drivetrain	\$ 1,789.39	\$ 598.74	\$ 27.58	\$ 1.32	\$ 2,417.03
Frame & Body	\$ 2,357.51	\$ 981.97	\$ 5.97	\$ 59.74	\$ 3,405.19
Instruments & Wiring	\$ 2,874.33	\$ 294.53	\$ 3.57	\$ 0.02	\$ 3,172.45
Miscellaneous, Fit & Finish	\$ 184.51	\$ 37.80	\$ 0.80	\$ 0.30	\$ 223.41
Steering System	\$ 86.99	\$ 81.12	\$ 8.76	\$ 0.45	\$ 177.32
Suspension & Shocks	\$ 1,141.50	\$ 412.63	\$ 29.52	\$ 1.36	\$ 1,585.01
Wheels & Tires	\$ 1,575.40	\$ 370.98	\$ 22.74	\$ -	\$ 1,969.12
Total Vehicle	\$ 10,772.93	\$ 2,931.75	\$ 105.19	\$ 63.33	\$ 13,873.20

Рисунок 14 – Общая стоимость изготовления болида команды университета Акрона

Более наглядно распределение финансовых затрат по системам представлено на рисунке 15.

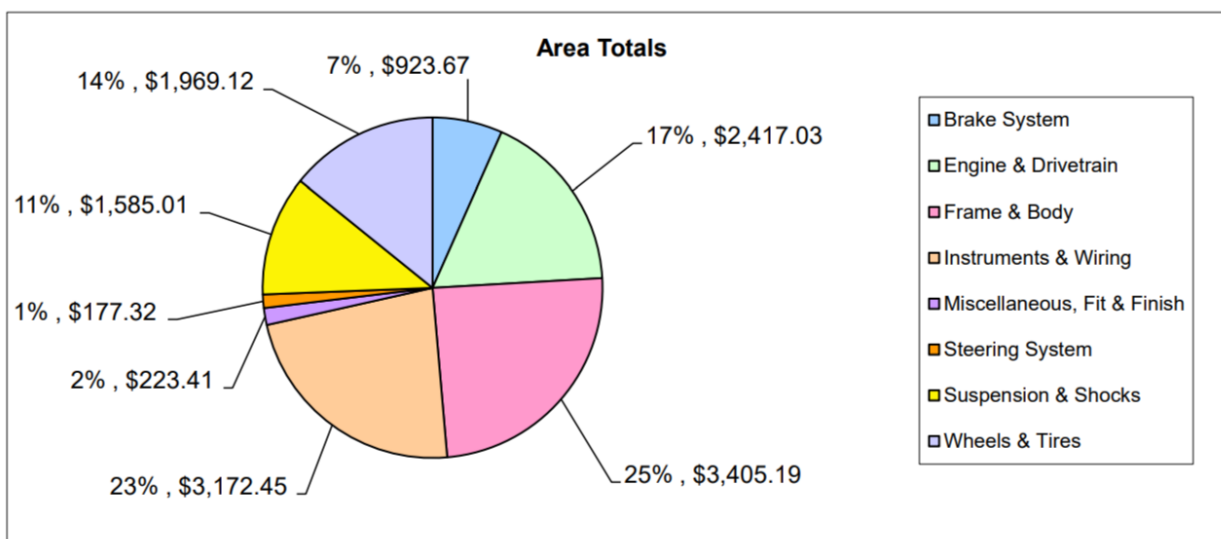


Рисунок 15 – Распределение финансовых затрат по системам команды университета Акрона

С другой стороны, для команды «Формула Студент» университета Далхаузи [19] общая себестоимость автомобиля составила 12198 долларов США (рисунок 16).

Area Totals:	Materials	Processes	Fasteners	Tooling	Total
Brake System	\$ 687.87	\$ 96.07	\$ 2.00	\$ -	\$ 785.94
Engine & Drivetrain	\$ 2,504.79	\$ 888.59	\$ 53.89	\$ 29.83	\$ 3,477.10
Frame & Body	\$ 950.50	\$ 476.60	\$ 22.32	\$ 27.85	\$ 1,477.27
Electrical	\$ 1,276.18	\$ 91.40	\$ 1.04	\$ 0.33	\$ 1,368.95
Miscellaneous, Fit & Finish	\$ 192.48	\$ 149.00	\$ 6.14	\$ 2.33	\$ 349.95
Steering System	\$ 124.24	\$ 136.10	\$ 2.07	\$ 2.52	\$ 264.93
Suspension System	\$ 1,703.19	\$ 663.54	\$ 8.50	\$ 21.72	\$ 2,396.95
Wheels & Tires	\$ 1,372.92	\$ 701.04	\$ 3.84	\$ -	\$ 2,077.80
Total Vehicle	\$ 8,812.16	\$ 3,202.34	\$ 99.80	\$ 84.58	\$ 12,198.88

Рисунок 16 – Общая стоимость изготовления болида команды университета Далхаузи

Распределение затрат по системам для данной команды представлено на рисунке 17.

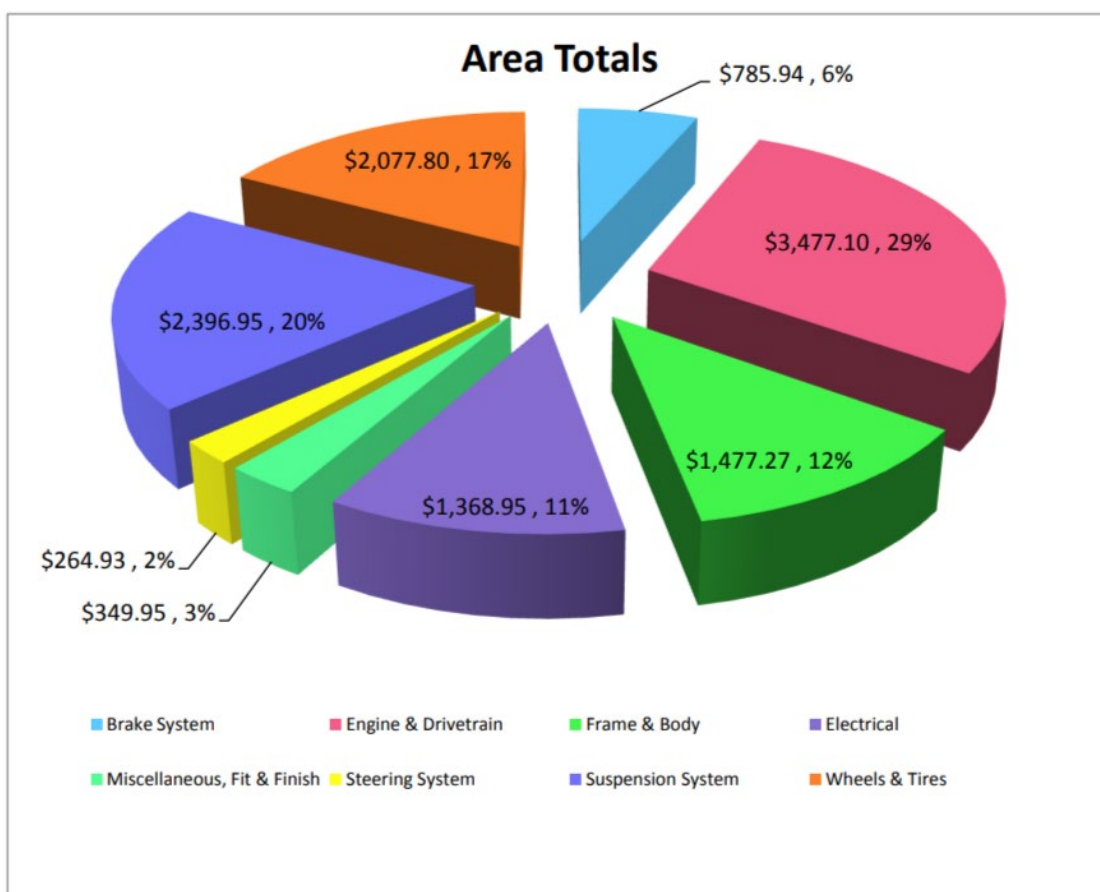


Рисунок 17 – Распределение финансовых затрат по системам команды университета Далхаузи

Выводы по разделу

В разделе были рассмотрены основные положения правил Formula Student, представлены примеры технико-экономической документации некоторых инженерных команд.

3 Технико-экономическое обоснование

3.1 Организация производства

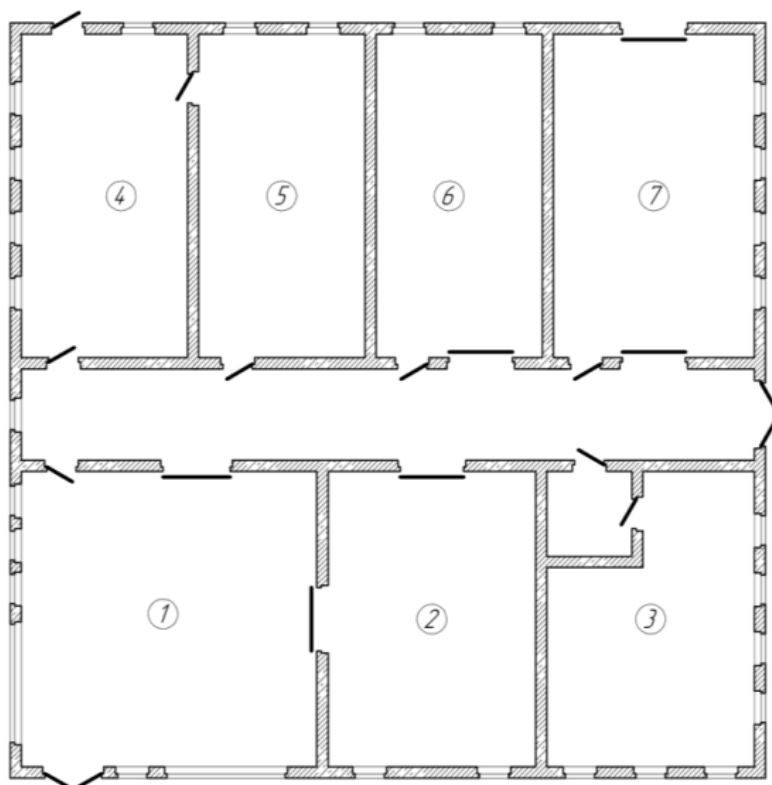
«В качестве исходных данных имеется производственное помещение, изображенное на рисунке 18. На базе данного помещения будет работать организация, занимающаяся производством гоночных болидов» [15], [18].



Рисунок 18 – Внешний вид организации

«Предприятие устроено таким образом, что его площади позволяют совмещать инженерные работы, монтаж и сборку, а также организационную работу в одном помещении. Это следует учитывать при создании структуры производства предприятия, поскольку такое устройство исключает временные и материальные затраты на взаимодействие разных звеньев производственного процесса» [2].

Внутреннее устройство предприятие представлено на рисунке 19.



Номер помещения	Наименование	Площадь, м ²	Кат. помещения
1	Участок сборки	63,09	В
2	Участок механических работ	44,31	В
3	Окрасочный участок	38,34	А
4	Офисное помещение	38,86	Д
5	Учебный класс	38,94	Д
6	Участок для работы с карбонам	38,86	В
7	Склад	46,99	В

Рисунок 19 – Внутренний вид производства

«Организационная структура машиностроительного предприятия определяется функциональным назначением системы, протекающими в ней процессами для достижения целей организации.

Организационная структура – это формальные правила, разработанные менеджерами с целью:

- разделения труда и распределения обязанностей среди отдельных сотрудников и групп;
- определения сферы контроля управления и соподчиненности в организации;
- координации всех функций, чтобы организация могла действовать как единое целое.

«Управленческая структура предприятия по производству болидов будет совмещать в себе три отдела:

- экономический отдел;
- инжиниринговый отдел;
- технический отдел.

Каждый из перечисленных отделов будет включать руководителя и подчиненных и выполнять функции, направленные на обеспечение непрерывной работы предприятия» [16].

3.2 Расчет себестоимости

«В структуру себестоимости производства гоночного болида вошли покупные детали и компоненты, расходные материалы и стоимость технологических процессов. Например, для расчета себестоимости произведения сварочных работ ключевые характеристики были сведены в таблицу 1» [9].

Таблица 1 – Характеристики оборудования для сварки

Время эксплуатации оборудования в год, ч	1976
Время, затрачиваемое на болид	$1976 \times 2,86\% = 56,51$ ч
Цена оборудования, руб.	16110
Себестоимость содержания оборудования в год, руб.	7500
Себестоимость содержания оборудования, учитывая только время, затрачиваемое на болид, руб.	214,5
Амортизационные отчисления	33,33%
Размер амортизационных отчислений, руб.	5369,46
Размер амортизационных отчислений, учитывая только время, затрачиваемое на болид, руб.	153,57
Ставка рабочего, использующего оборудование, руб.	395,5
Страховые отчисления	65%
Потребляемая мощность, кВт	4,0
Ставка платы за электроэнергию, руб.	6,3
Аренда площади в год, руб.	7500
Занимаемая площадь, м ²	0,141
Аренда площади в год с учетом только площади, занимаемой оборудованием, руб.	1057,50

«Чтобы начать расчет стоимости, были использованы общепринятые нормы времени на сварку и коэффициенты для определения времени на операцию.

Были получены следующие коэффициенты для процесса сварки:

Время основного процесса (T_m): 0,0658

Время расчета поштучно (T_{pcs}): 1,15

Расчет будет зависеть от продолжительности сварки и производиться по формулам (1) и (2)» [1], [17]:

$$C_1 = T_m \times n \quad (1)$$

$$C_2 = C_1 \times T_{pcs} \quad (2)$$

где C_1 – время основного процесса, мин;

C_2 – время расчета поштучно, мин;

T_m – коэффициент времени основного процесса;

T_{pcs} – коэффициент расчета поштучно;

n – количество минут.

Расчет общего времени для 1 см сварки будет выглядеть следующим образом:

$$0,0658 \times 10 \text{ мм} = 0,66 \text{ мин}$$

$$1,15 \times 0,66 = 0,76 \text{ мин}$$

«В соответствии с общим временем и приведенной выше информацией можно рассчитать затраты на рабочую силу, электроэнергию, техническое обслуживание, амортизацию и аренду» [12], [13].

$$0,76 \text{ мин} \times 6,58 \text{ руб./мин} = 5 \text{ руб.}$$

$$0,76 \text{ мин} \times 5 \text{ руб.} \times 6,3 \text{ руб./кВт} = 0,35 \text{ руб.}$$

$$\frac{0,76 \text{ мин} \times 230 \text{ руб.}}{61,3 \text{ ч} \times 60} = 0,05 \text{ руб.}$$

$$\frac{0,76 \times \left(\frac{225}{100} \times 1,03\right)}{61,3 \text{ ч} \times 60} = 0,035 \text{ руб.}$$

$$0,76 \times \frac{24,5}{61,3 \text{ ч} \times 60} = 0,0007 \text{ руб.}$$

Общая стоимость 1 см сварки будет равняться:

$$5 \text{ руб.} + 0,35 \text{ руб.} + 0,05 \text{ руб.} + 0,035 \text{ руб.} + 0,0007 \text{ руб.} = 5,4357 \text{ руб.}$$

«Исходя из проведенных расчетов, были описаны технологические процессы изготовления деталей и узлов гоночного болида.

Распределение себестоимости по данным системам наглядно продемонстрировано на рисунке 20» [3].

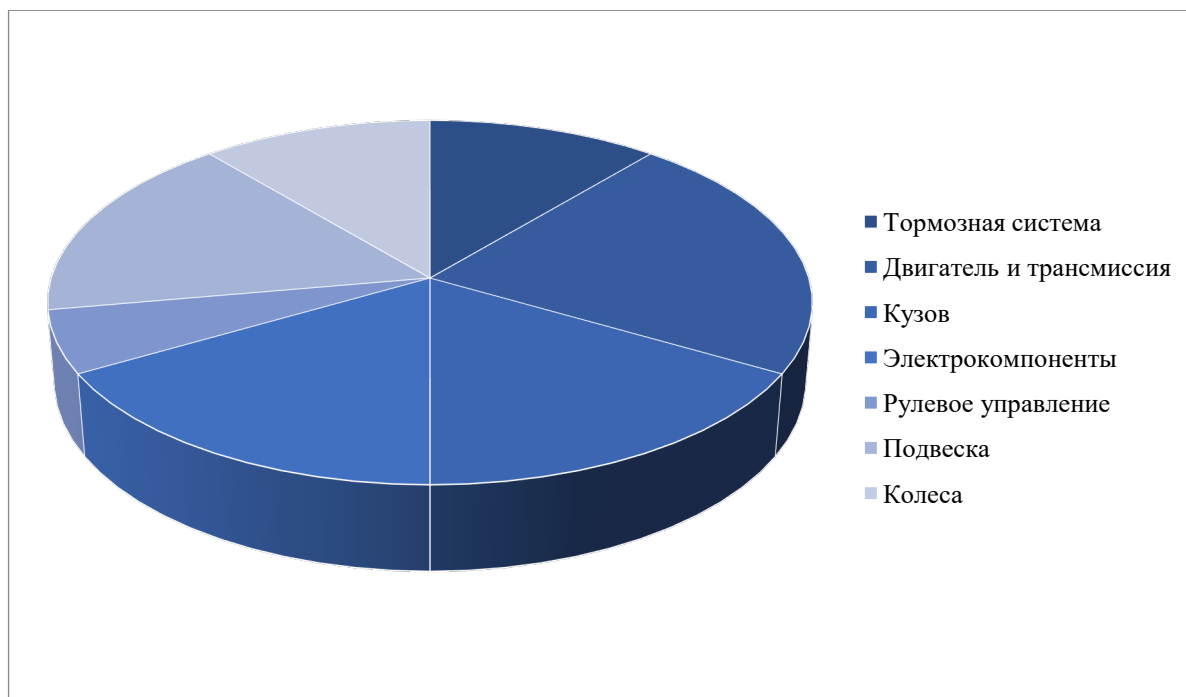


Рисунок 20 – Оценка издержек по системам

«Таким образом, по итогам калькуляции для всех систем, общие издержки при изготовлении прототипа гоночного автомобиля составят около 16054 долларов США или 1,5 млн рублей» [8].

3.2 Расчет точки безубыточности

«Данный расчет показывает, через какое время предприятие начинает приносить прибыль, или через какое время полученный доход начнет превышать затраты.

С помощью представленных значений создается таблица Excel, на основе которой строится график, показывающий, когда предприятие начинает приносить прибыль (таблица 2)» [20]. Принимаем, что постоянные затраты будут равняться 2030 тыс. рублей вне зависимости от объема выпуска предприятия. Также примем, что доход рассчитывается исходя из того, что продажная цена болида будет на 20% больше себестоимости его изготовления, т.е. будет составлять 1800 тыс. рублей.

Таблица 2 – Данные для расчета точки безубыточности

Кол-во, шт.	Постоянные затраты, тыс. руб.	Переменные затраты, тыс. руб.	Общие затраты, тыс. руб.	Доход, тыс. руб.	Прибыль, тыс. руб.
1	2030	1500	3530	1800	-1730
2	2030	3000	5030	3600	-1430
3	2030	4500	6530	5400	-1130
4	2030	6000	8030	7200	-830
5	2030	7500	9530	9000	-530
6	2030	9000	11030	10800	-230
7	2030	10500	12530	12600	70
8	2030	12000	14030	14400	370
9	2030	13500	15530	16200	670
10	2030	15000	17030	18000	970

«График точки безубыточности на рисунке 21 состоит из пяти линий: постоянных затрат, переменных, общих затрат, дохода и прибыли, полученной с продаж.

Пересечение линии общих затрат с доходом есть искомая точка безубыточности. Начиная с этого периода времени, предприятие начинает приносить чистую прибыль. В данном случае после продажи 7 автомобилей предприятие выходит на чистую прибыль» [20].

Также точку безубыточности можно увидеть в том месте графика, где прямая прибыли пересекает отметку, равную нулю.

Если учесть, что объем выпуска предприятия составит 10 болидов в год, то предприятие выйдет на безубыточное производство через 8,4 месяца работы.

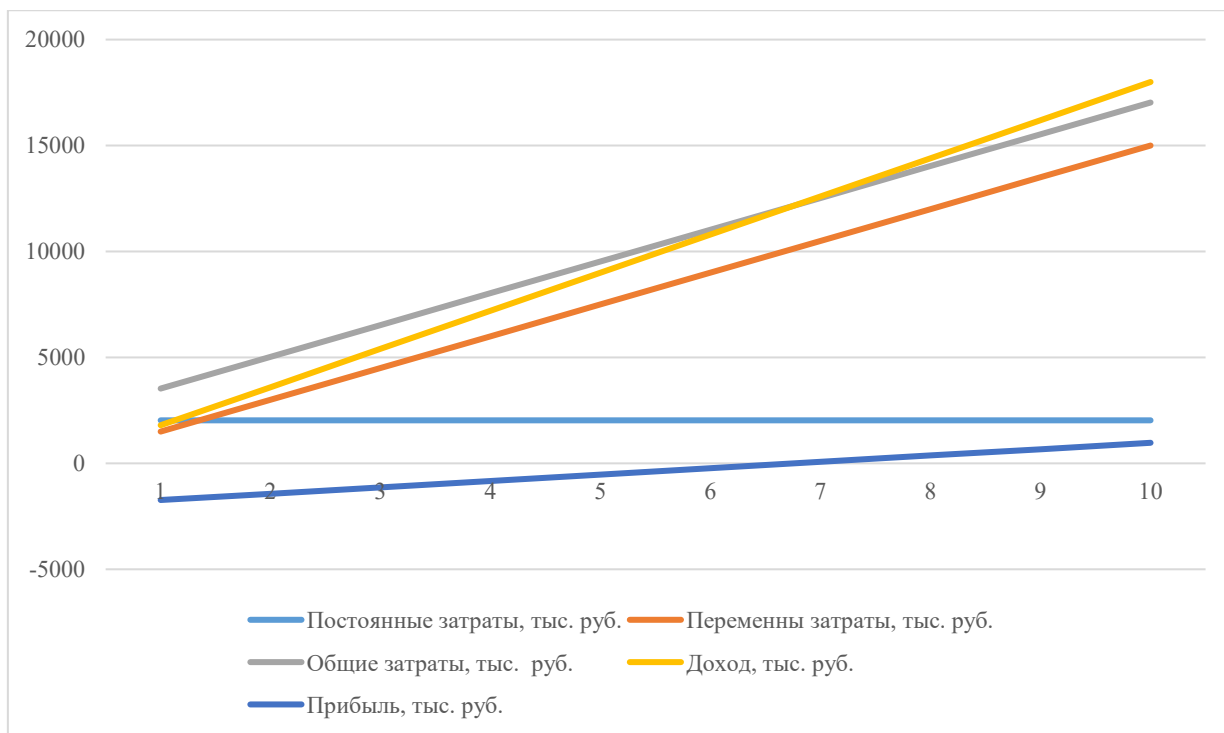


Рисунок 21 – График точки безубыточности

Выводы по разделу

Проведен расчет себестоимости изготовления болида класса «Формула Студент», рассчитана точка безубыточности. Согласно проведенным расчетам, предприятие, занимающееся изготовлением и сбытом гоночных болидов, выйдет на безубыточность после продажи 7 единиц техники или после 8,4 месяцев работы.

4 Безопасность и экологичность технического объекта

«Производство компонентов болида сопряжено с опасностью для изготовителя, поэтому весь процесс регламентируется положением по охране труда, который обеспечивает безопасность на рабочем месте. Разработка документации ведется с упором на зарубежный опыт в машиностроении, а также на законы, действующие в России. На предприятии систематизированы все необходимые данные для поддержания культуры безопасности, каждый работник проходит инструктаж, систематически проходит семинары по повышению квалификации, что является главными факторами для создания безопасных условий труда на производстве» [19].

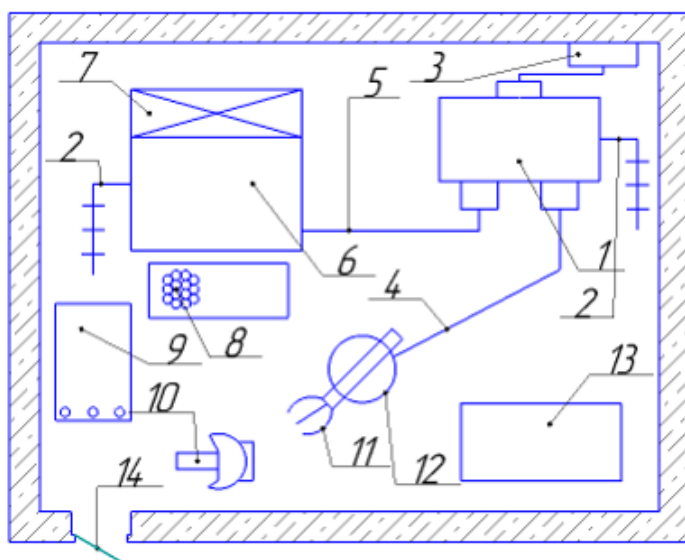
ОВПФ сварочных работ перечислены в таблице 3.

Таблица 3 – ОВПФ сварочных работ

Направление работы	Сущность работы	Список необходимых инструментов	ОВПФ
Сварочные работы	Сварка деталей	Сварочная оснастка, источник сварочного тока, пинцы, ручной инструмент.	Физические: механизмы, изделия, острые кромки, повышенная запыленность и загазованность, высокая температура, ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, излишняя яркость сварочной дуги, опасность ожогов, возможность взрыва баллонов и систем, электромагнитные поля
—	—	—	Химические: аргон, вольфрам, хлориды железа, натрия и калия

«Для данного рабочего действуют требования по технике безопасности: необходимо подготовиться и произвести сборку перед сварочными операциями; проверить работоспособность и настроить рабочее оборудование перед началом работы; ознакомиться с инструктажем пожарной безопасности; пройти систематическую проверку знаний по технике безопасности и охране труда; регулярно проходить проверку здоровья и медицинские осмотры; соблюдать правила внутреннего распорядка предприятия; соблюдать пожарную безопасность и правила охраны труда на рабочем месте» [14].

На рисунке 22 показано рабочее место для проведения сварочных работ.



1 – сварочный аппарат; 2 – заземление; 3 – силовой провод питания; 4 – шланг для подачи проволоки и газа; 5 – обратный токоподводящий провод; 6 – верстак; 7 – вентиляция; 8 – резиновая изоляция рабочего; 9 – проволока; 10 – щиток; 11 – пистолет для подачи проволоки и газа; 12 – стул; 13 – ящик дляотходов; 14 – дверной проем.

Рисунок 22 – Рабочее место для проведения сварочных работ

«К основным задачам сварщика относится: производить сварку конструкций из любых материалов, которые обладают необходимыми свойствами; выполнять прихватки деталей; ликвидировать дефекты по средствам зачистки; резать простые детали с помощью дуговой сварки;

осуществлять контроль качества сварочного шва и его проникание в материал после сварки специальными инструментами» [1].

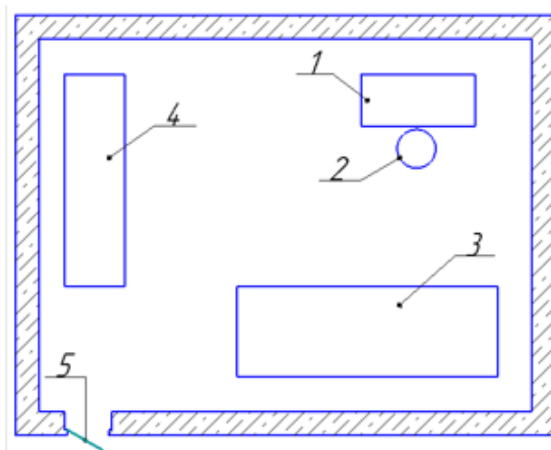
В таблице 4 перечислены ОВПФ сборочных работ.

Таблица 4 – ОВПФ сборочных работ

Направление работы	Сущность работы	Список необходимых инструментов	ОВПФ
Сборочные работы	Сборка узла с упором на чертежи и модели	стол для работы, тиски, инструмент (отвертки, шестигранные ключи, гаечные ключи), инструменты для измерения (линейка, штангенциркуль).	Физические: части разрушившегося изделия, острые края; повышенный уровень шума; абразивная пыль.
	Герметизация детали	герметик, обтирочная ветошь.	Химические: химическое воздействия попадания на кожу

«Для данного рабочего действуют требования по технике безопасности: ознакомление с инструктажами по технике безопасности; соблюдение промышленной санитарии и дисциплины на рабочем месте; использование оборудования по назначению; при обнаружении поломки – сообщать спецгруппе по ремонту оборудования» [10].

На рисунке 23 показано рабочее место для сборочных работ.



1 – рабочее место; 2- стул; 3 - верстак; 4 –инструментальный шкаф; 5 -дверной проем.

Рисунок 23 – Рабочее место для сборочных работ

«К задачам сборщика относятся: сборка деталей и узлов по чертежам, проверка точности установки деталей и узлов при помощи измерительных приборов, указание примечаний для дальнейшей работы с данной деталью или узлом» [5].

Выводы по разделу

В данном разделе были представлены правила безопасности, которые необходимы для соблюдения при изготовлении компонентов гоночного болида.

Заключение

Цель проекта Formula Student заключается в том, чтобы подготовить обучающихся высших учебных заведений к работе на предприятиях автопрома. Для этого в рамках студенческой команды, участвующей в инженерно-гоночном проекте, студенты не только проектируют и собирают рабочий прототип гоночного болида, но и проводят его испытания в ходе соревнований, а также составляют сопутствующую технико-экономическую документацию.

В ходе данной работы был описан процесс подготовки технико-экономической документации для болида с двигателем внутреннего сгорания, разработанного в рамках проекта «Формула Студент ТГУ» на базе кафедры «Проектирование и эксплуатация» Тольяттинского государственного университета.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

- представить описание инженерного проекта Formula Student,
- проанализировать подходы к расчету себестоимости болида и снижению затрат,
- рассчитать себестоимость автомобиля 2023 года,
- рассчитать точку безубыточности.

Согласно произведенным расчетам, стоимость изготовления гоночного автомобиля составит около 1,5 млн рублей при постоянных затратах, равных порядка 2 млн рублей. Также, проведенные расчеты показали, что предприятие, занимающееся изготовлением и сбытом гоночных болидов, выйдет на точку безубыточности после продажи 7 единиц техники или после 8,4 месяцев работы.

Полученные в ходе выполнения ВКР расчеты могут быть использованы при подготовке технико-экономической документации для дисциплины «защита отчета о стоимости производства» для участия в соревнованиях «Формула Студент».

Список используемой литературы и используемых источников

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя в 3-х т. Т.3. - 8-е изд. Перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестоковой. [Текст] / В.И. Анурьев. -М.: Машиностроение, 2001 . - 864 с.
2. Баранчикова С.Г. Экономическая эффективность технических решений : учебное пособие / С.Г. Баранчикова [и др.] ; под общ. ред. проф. И. В. Ершовой. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 140 с.
3. Белов М. Ю., Аникеева А. В. Проблемы организации метрологического обеспечения технологических процессов машиностроительного производства // Современные материалы, техника и технологии. 2019. №6 (27). С. 32–38.
4. Головин Д. В. Оценка погрешностей при производстве рамы болида «Формула Студент» // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №8 (50). С. 33–35.
5. Дубровская Е. С. Научно-технические разработки в отрасли машиностроения России // Московский экономический журнал. 2022. №12. С. 445–450.
6. Завозина О. Ю. Оценка эффективности организации машиностроительного производства на основе единого критерия качества // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия «Машиностроение». 2021. №1. С. 114–132.
7. Игнатьева С. Н. Эффективность процесса производства // Экономика и социум. 2017. №1 (32). С. 747–754.
8. Каблашова И. В., Цуканова А. А. Обеспечение качества организации производственных и трудовых процессов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. С. 3–5.
9. Каблашова И. В., Цуканова А. А. Факторы обеспечения качества организации производственных процессов в условиях инноваций // Организатор производства. 2012. №3. С. 1–4.

10. Касперович С.А. Организация производства и управление предприятием : учеб. пособие для студентов технических специальностей / С. А. Касперович, Г. О. Коновальчик. – Минск : БГТУ, 2012. – 344 с.

11. Клепиков В.В. Основы технологии машиностроения [Электронный ресурс] : учебник / В. В. Клепиков [и др.]. - Москва : ИНФРАМ, 2017. - 295 с.

12. Коротинский В.А. Использование солнечной энергии в системах теплоснабжения. Курсовое проектирование : учебно-методическое пособие / сост. : В. А. Коротинский, В. Ф. Клинцева, А. В. Ожелевский. – Минск : БГАТУ, 2017. – 104 с.

13. Косилова А.Г. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х томах Т2 (Под ред. А.Г. Косиловой 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985, 496 с., ил.).

14. Моисеенко В.А. Техничко-экономическое обоснование организации производства болида класса «Формула Студент». 2020. 57 с.

15. Раймпель Й. Шасси автомобиля: конструкции подвесок. М. :Машиностроение, 1989. 326 с.

16. Решетов А. В. Описательный анализ поворотных кулаков автомобиля / Сборник трудов 4-го Всероссийского форума «Студенческие инженерные проекты». М. : МАДИ, 2016. С.32-34.

17. Саплинова В. В., Каськов С. А. Система подвески гоночного болида класса Formula Student и её безопасность / Сборник статей Международной научно-практической конференции «Новые задачи технических наук и пути их решения». Самара : Аэтерна, 2017. С. 206-209.

18. Скоробогатов А. С. Методика определения уровня конструкторско-технологической подготовки производства машиностроительных предприятий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. 2020. №2. С. 195–206.

19. Хрякин К. С. Проблемы эффективной работы аэродинамических элементов гоночных автомобилей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. С. 3–4.

20. Чертыковцев В. К. Интенсивность логистических процессов производства // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2021. №3. С. 192–199.

21. Formula SAE URL: <http://www.fsaeonline.com/> (дата обращения: 22.05.2022)

22. Formula Student Germany [Электронный ресурс] URL: <https://www.formulastudent.de/fsg/> (дата обращения: 23.02.2022)

23. FSAE rules [Электронный ресурс] URL: <https://www.formulastudent.de/fsg/rules/> (дата обращения: 29.01.2023)

24. FLUID DYNAMIC STUDY OF INTAKE MANIFOLDS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES IN PRESENCE OF ACOUSTIC RESONATORS [Электронный ресурс] URL: <http://planetsoarer.com/resonator/ResonatorsAcoustic.htm> (дата обращения 12.05.22)

25. Design and Manufacture of an SLS Printed Intake Using ETC for FSAE [Электронный ресурс] URL: <https://static1.squarespace.com/static/5e2a78aea2dc434ac475b5a4/t/5f58cb32d268323d2d0737a1/1599654752236/MMS+Final+Year+Thesis+Collection+-+Design+and+Manufacture+of+an+SLS+Printed+Intake+using+ETC+for+FSAE+%28Samuel+Wilson+-+2019%29.pdf> (дата обращения 27.01.22)