

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 «Разработка впускной и выпускной систем автомобиля гоночного класса»

Обучающийся

Р.О. Жиляев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

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

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

Тольятти 2025

Аннотация

Разработка впускной и выпускной систем автомобиля гоночного класса. Выпускная квалификационная работа. Тольяттинский Государственный Университет, 2025.

Целью данной работы является разработка впускной и выпускной системы для гоночного болида класса «Формула Студент», при условии, что обе системы будут разработаны в соответствии с основным регламентом соревнований, а также будут превосходить по производительности конструкции конкурентов.

Были определены задачи:

- 1) Описание проекта и соревнований «Формула Студент»;
- 2) Проанализировать регламент соревнований, определить пункты регламента, относящиеся к системе впуска и выпуска;
- 3) Описать теоретические факторы и аспекты, влияющие на производительность систем впуска и выпуска;
- 4) провести сравнительный анализ зарубежных конструкций;
- 5) определить начальные параметры, выполнить необходимые расчеты.

В ходе исследования были проанализированы конструкции выпускных и впускных систем, применяемых в соревнованиях «Формула Студент».

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки в размере 54 страниц, содержащей 3 таблицы, 24 рисунка и графической части, содержащей 6 листов.

Abstract

Development of intake and exhaust systems for a racing car. Graduation qualification work. Togliatti State University, 2025.

The purpose of this work is to develop an intake and exhaust system for a Formula Student racing car, provided that both systems are developed in accordance with the main competition regulations and also outperform competitors' designs.

The following tasks were defined:

- 1) Description of the Formula Student project and competitions;
- 2) Analyze the competition regulations, identify the points of the regulations related to the intake and exhaust system;
- 3) Describe the theoretical factors and aspects affecting the performance of intake and exhaust systems;
- 4) conduct a comparative analysis of foreign designs;
- 5) determine the initial parameters, perform the necessary calculations.

The study analyzed the designs of the exhaust and intake systems used in the Formula Student competitions.

The final qualifying work consists of an explanatory note of 54 pages, containing 3 tables, 24 figures and a graphic section containing 6 sheets.

Содержание

Введение.....	5
1 Состояние вопроса	7
1.1 Описание студенческих инженерно-спортивных соревнований «Формула Студент»	7
1.2 Анализ требований регламента соревнований «Формула Студент» к разработке впускной и выпускной системы.....	9
1.3 Основные теоретические сведения о выпускной системе автомобиля.....	16
2 Анализ существующих инженерных решений зарубежных команд соревнований «Формула Студент»	27
3 Проектирование впускной и выпускной системы гоночного автомобиля..	35
4 Безопасность и экологичность технического объекта	46
Заключение	52
Список используемой литературы и используемых источников.....	53

Введение

В условиях стремительного технологического прогресса и цифровизации экономики наблюдается растущий спрос на специалистов, обладающих глубокими знаниями и практическими навыками. Проект «Формула Студент» способен стать эффективным механизмом для формирования таких профессионалов, готовых решать актуальные задачи современности.

Внедрение современных образовательных подходов, таких как проектное обучение, стажировки на предприятиях и участие в реальных проектах, позволит студентам не только усвоить теоретические основы, но и развить практические навыки, необходимые для успешной работы в инженерной сфере. Сотрудничество с компаниями и организациями предоставит студентам возможность получить актуальный опыт и знания, соответствующие требованиям рынка труда, а также наладить связи между учебными заведениями и работодателями. Это, в свою очередь, значительно повысит шансы выпускников на трудоустройство.

Ключевым аспектом подготовки инженеров является развитие навыков командной работы, критического мышления и креативности. Важно отметить, что инженерные специальности постоянно меняются, и образовательные программы должны адаптироваться к новым вызовам. Проект «Формула Студент» может предусматривать регулярное обновление учебных планов с учетом современных тенденций и технологий.

Кроме того, проект может вдохновить студентов на создание собственных стартапов и инновационных проектов. Это не только развивает их предпринимательские способности, но и способствует созданию новых рабочих мест и укреплению экономики. Таким образом, «Формула Студент» представляет собой необходимый шаг в подготовке высококвалифицированных инженеров, способных успешно адаптироваться к быстро меняющемуся миру.

«Основная задача каждой команды в соревнованиях «Формула Студент» заключается в создании гоночного болида, который должен соответствовать строгим регламентам соревнований и привести команду к победе. Цель данной работы – разработка максимально эффективной выпускной и впускной системы для болида класса Формула Студент» [6].

Для достижения поставленных целей необходимо решить ряд задач:

- для обеспечения соответствия гоночного болида регламенту требуется провести детальный анализ общепринятых правил соревнований, и на основе анализа учесть все требования регламента при проектировании систем;
- чтобы избежать ошибок других команд и перенять только лучшие практики, следует провести тщательное исследование конструкций выпускной и впускной системы, используемых зарубежными командами;
- необходимо изучить основные теоретические аспекты, влияющие на эффективность выпускной и впускной системы.

Таким образом, проект «Формула Студент» не только актуален в контексте подготовки будущих инженеров, но и представляет собой платформу для внедрения инновационных решений в области автомобилестроения.

1 Состояние вопроса

1.1 Описание студенческих инженерно-спортивных соревнований «Формула Студент»

Главная цель проекта «Формула Студент» – предоставить студентам возможность применить свои теоретические знания на практике, работая над реальным инженерным заданием. Участники формируют команды, которые занимаются проектированием, производством и тестированием автомобилей, соответствующих определённым техническим требованиям и стандартам безопасности.

«Формула Студент» проводятся на разных уровнях – от локальных до национальных и международных. Команды начинают с разработки концепции автомобиля, включая его дизайн, выбор материалов и технологий. На этом этапе студенты выполняют расчёты, создают чертежи и модели. После завершения проектирования они переходят к сборке автомобиля, что включает в себя изготовление шасси, установку двигателя, трансмиссии и других ключевых компонентов.

После сборки автомобиля команды проводят испытания для проверки его производительности, безопасности и надёжности. Эти испытания могут включать как статические, так и динамические тесты. Основная часть соревнований проходит на гоночной трассе, где команды соревнуются в различных дисциплинах, которые делятся на статические и динамические. Статические дисциплины включают технический осмотр (Scrutineering), во время которого проверяется соответствие автомобиля установленным техническим требованиям и стандартам безопасности. Также проводится презентация проекта (Design Event), где команды представляют свои разработки жюри и объясняют выбор решений, использованных в конструкции автомобиля. Кроме того, осуществляется экономический анализ

(Cost Event), в рамках которого оценивается стоимость автомобиля и бизнес-план команды.

На рисунке 1 можно увидеть этап зарубежных соревнований «Формула Студент».



Рисунок 1 – Соревнования «Формула Студент»

Динамические дисциплины соревнований включают несколько ключевых испытаний. Первым из них является ускорение (Acceleration), где фиксируется время, необходимое для разгона болида до заданной скорости на дистанции в 75 метров. Следующим этапом является восьмерка (Skid Pad), которая позволяет оценить динамические характеристики автомобиля при движении по кругу. Также проводится автокросс, на котором проверяется маневренность: болид должен быстро преодолеть извилистую трассу, демонстрируя свои динамические способности. Гонка на выносливость – это еще одно важное испытание, в ходе которого автомобиль должен проехать

21 км по кругу, чтобы продемонстрировать свою надежность и устойчивость к поломкам. При этом скорость прохождения круга также имеет значение, так как низкие результаты могут негативно сказаться на итоговом балле [4].

Некоторые соревнования также включают электрические автомобили, что позволяет командам разрабатывать и тестировать электромобили. Участие в "Формуле Студент" предоставляет студентам уникальную возможность получить практический опыт в области инженерии, развить навыки командной работы и научиться решать реальные задачи. Это способствует подготовке высококвалифицированных специалистов, готовых к вызовам современного рынка труда.

1.2 Анализ требований регламента соревнований «Формула Студент» к разработке впускной и выпускной системы

Регламент соревнований «Формула Студент» представляет собой набор правил и требований, которые определяют условия участия команд, занимающихся проектированием и строительством малых гоночных автомобилей. Этот документ является основой для обеспечения безопасности, честности и технической целостности соревнований. Он необходим для защиты участников, зрителей и окружающей среды, так как включает в себя требования, направленные на безопасность всех вовлеченных.

Именно в регламенте прописаны требования абсолютно для всех команд, что позволяет избежать неравенства и обеспечивает честную конкуренцию, предоставляя всем участникам равные условия для демонстрации своих инженерных решений. Он также определяет допустимые технологии и материалы, что способствует инновациям и развитию инженерных подходов, позволяя командам сосредоточиться на проектировании и оптимизации своих автомобилей.

Также в регламенте соревнований есть критерии оценки команд в различных дисциплинах, что помогает судейской коллегии объективно

оценивать результаты. Основные разделы регламента обычно включают общие положения, где изложены цели соревнований, требования к участникам и правила участия; технические требования к автомобилю с подробными спецификациями по конструкции, включая размеры, вес, материалы и системы безопасности; правила безопасности, касающиеся защиты водителя и автомобиля; а также процедуры тестирования и сертификации для получения разрешения на участие в динамических испытаниях.

Статические дисциплины описывают требования и критерии оценки для мероприятий вроде презентации проекта и технического осмотра. Динамические дисциплины содержат правила для испытаний на треке, таких как ускорение и автокросс. Также могут быть указаны экологические требования для электрических и гибридных моделей, включая ограничения на выбросы и требования к использованию устойчивых технологий. Таким образом, регламент «Формула Студент» является важным документом, который определяет правила и условия для всех участников, помогая им создавать безопасные, эффективные и конкурентоспособные автомобили.

Система выпуска и система впуска в данной работе имеют наибольшее значение, поэтому наиболее значимым разделом регламента является раздел с общими требованиями к конструкции автомобиля. Для обеспечения безопасности неопытных пилотов (в соревнованиях «Формула Студент» пилотами являются сами студенты) ассоциация инженеров ввела ряд ограничений в регламент.

Одним из таких требований является ограничение объема двигателя внутреннего сгорания до 710 см³. Кроме того, мощность двигателя также ограничивается искусственно. Для случаев максимизации мощности из маломощного мотора был введен пункт 1.7.1 регламента, который обязывает каждую команду уменьшать подачу воздуха в камеру сгорания с помощью специального устройства – рестриктора.

Рестриктор представляет собой установленный ограничитель или конструктивное сужение впускного канала для ограничения потока воздуха.

На рисунке 2 представлена схема рестриктора согласно рекомендациям регламента соревнований.

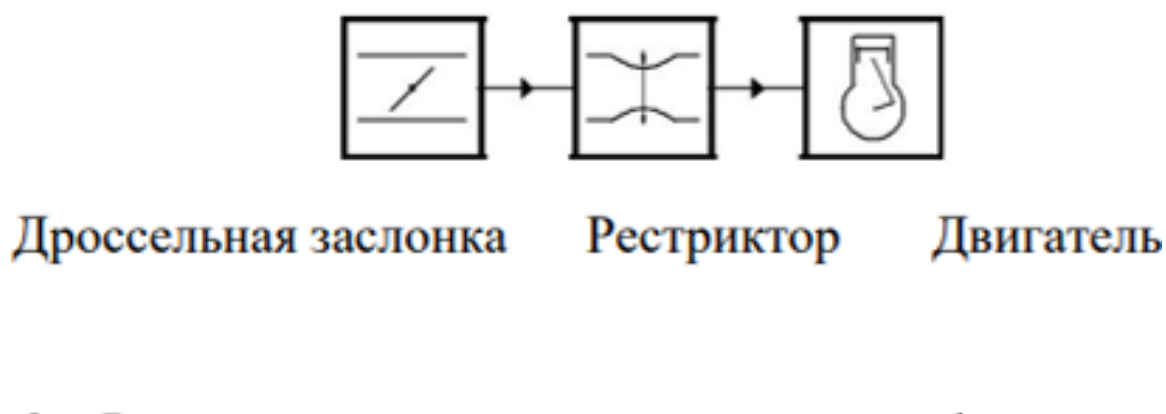


Рисунок 2 – Схема установки рестриктора во впускной системе болида с атмосферным ДВС

«В случае, если команда решила использовать в системе своего автомобиля турбокомпрессор или же в некоторых случаях это бывает механический нагнетатель воздуха, то в таких случаях в регламенте соревнований так же есть подробная схема внедрения рестриктора во впускную систему гоночного болида. На рисунке 3 показана схема расположения рестриктора во впускную систему с турбокомпрессором в гоночный болид «Формула Студент». Можно увидеть, что в такой рабочей схеме сам рестриктор обязательно нужно устанавливать в самом начале системы» [16].

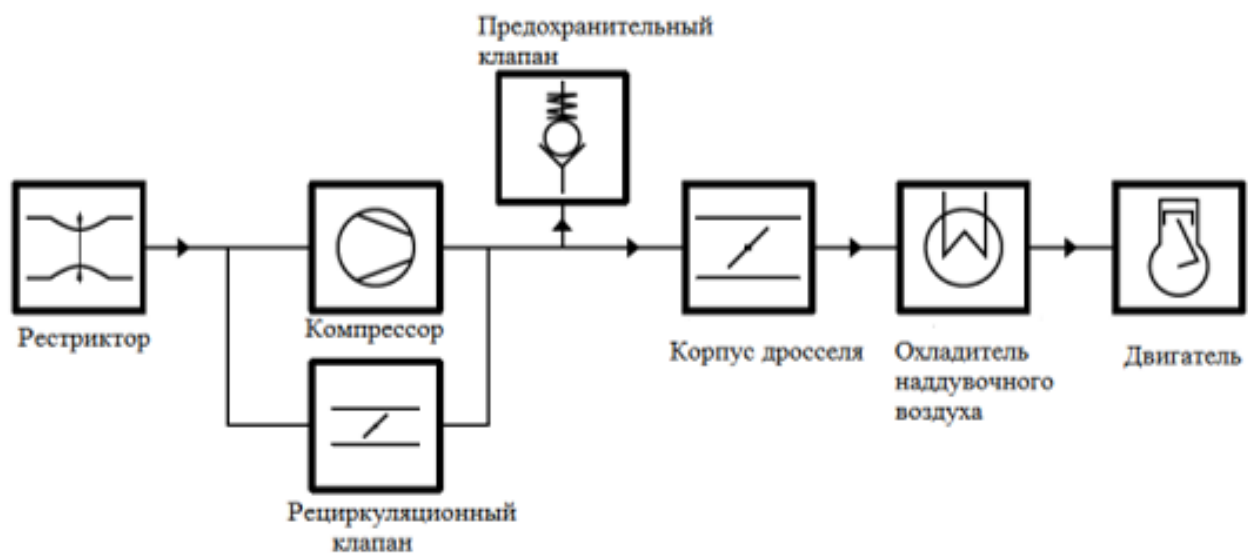


Рисунок 3 – Схема расположения рестриктора во впускную систему с турбокомпрессором

Разделы регламента, которые касаются системы выпуска газов гоночного болида, включают в себя следующее: пункт 1.3.1 Все компоненты управления впуском и выпуском воздуха должны находиться внутри объема, который располагается под дугой, огибающей колеса и главную дугу. Контур, в котором размещается впускная и выпускная система, показан на рисунке 4.

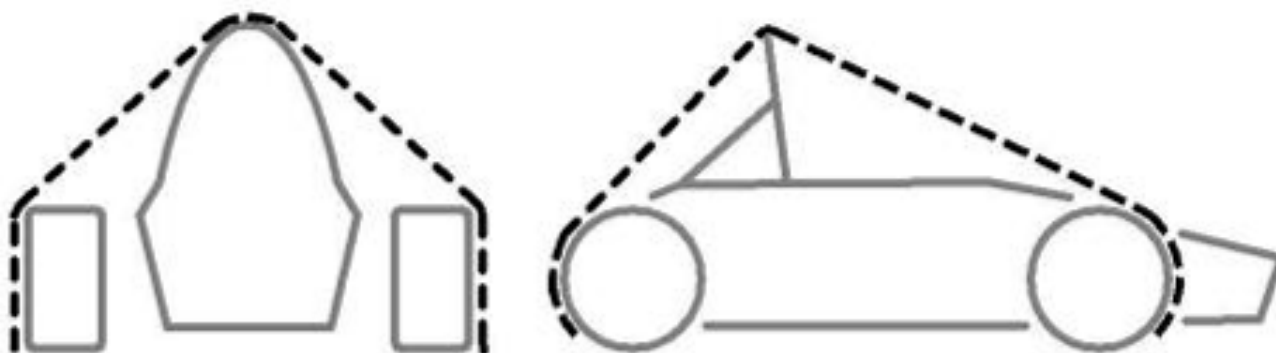


Рисунок 4 – Контур, в котором размещается впускная и выпускная система, гоночного болида

«Пункт 2.1.3 Запрещается, чтобы какие-либо элементы автомобиля находились в "свободной зоне", которая определяется двумя вертикальными линиями, расположенными на расстоянии 75 мм от передней части автомобиля и 75 мм от внешнего диаметра передних и задних колес. При этом колеса должны быть установлены в прямом положении. Эта зона будет простирается от внешней грани колеса/шины до внутренней грани.

Пункт 3.1.1 Система выпуска должна быть установлена таким образом, чтобы пилот не имел прямого воздействия от отработавших газов ни при каких условиях на любых скоростях движения гоночного автомобиля, учитывая его тягу.

Пункт 3.1.2 Выхлопная труба ил трубы (если их несколько) не может быть расположена в автомобиле за задней осью более чем на 400 мм, а также расположение трубы не может превышать 550 мм по высоте от земной поверхности.

Пункт 3.1.3 Любой элемент выхлопной системы (например, коллектор или глушитель), который находится перед основной дугой гоночного автомобиля класса «Формула Студент», должен быть защищен, чтобы

избежать контакта с людьми, приближающимися к автомобилю. Температура внешней поверхности не должна представлять опасности при прикосновении.

Пункт 3.1.4 Нельзя использовать волокнистые или поглощающие материалы, такие как сетка, на внешней части выпускного коллектора или системы выхлопа» [17].

Все перечисленные выше пункты регламента соревнований «Формула Студент» очень строго контролируются организаторами во время проведения технической инспекции автомобиля. В случае же если хотя бы один пункт нарушен для любой из систем автомобиля, в том числе и система впуска или выпуска, то вероятны несколько вариантов развития событий:

- за серьезное нарушение команда дисквалифицируется;
- назначается штраф, который отнимает у команды финальные баллы, а размер штрафа может быть определен только организаторами;
- за время, пока проводится техническая инспекция, если команда успевает вовремя внести изменения в конструкцию, которая удовлетворит инспекторов во время повторной инспекции, то у команды есть шанс пройти к динамическим дисциплинам без потери баллов.

«Также регламентом соревнований предусмотрены пункты, ограничивающие шум и вибрационный шум выпускной системы при работе силового агрегата: пункт 3.2.1 Максимальная тестовая скорость для двигателя соответствует средней скорости поршня в диапазоне 15–25 м/с. Окончательная скорость округляется до ближайшего значения, кратного 500 оборотам в минуту. На основании этих расчетов максимальный уровень шума не должен превышать 110 дБ» [8].

«Пункт 3.2.2 Команда самостоятельно выбирает тестовый холостой ход для своего двигателя. Холостой ход определяется на основе их откалиброванного значения. Если частота вращения на холостом ходу изменяется, автомобиль будет протестирован на различных оборотах, установленных командой. Максимально допустимый уровень шума на холостом ходу не должен превышать 103 дБ.

Требования к уровню шума гоночного автомобиля измеряются с помощью специального оборудования. На соревнованиях «Формула Студент» есть специализированный участок для того, чтобы провести проверку на шум, которая является частью технической инспекции автомобиля. Инспекторы также имеют право в любой момент попросить команду пройти в зону технической проверки для повторной оценки системы выхлопа и измерения уровня шума» [11].

Выводы по разделу

В этом разделе мы рассмотрели международные соревнования «Формула Студент», а также провели анализ ключевых положений регламента. Определены важные разделы, касающиеся правил. Особое внимание уделено пунктам регламента, связанным с выпускной системой гоночного автомобиля класса «Формула Студент».

1.3 Основные теоретические сведения о выпускной системе автомобиля

«Выпускная система автомобиля играет ключевую роль в его работе, обеспечивая эффективное удаление отработанных газов из двигателя. Она не только способствует улучшению производительности автомобиля, но и влияет на его экологические характеристики и уровень шума.

Основная функция выпускной системы заключается в отводе отработанных газов, образующихся в процессе сгорания топлива в цилиндрах двигателя. Это позволяет поддерживать оптимальное давление в камерах сгорания, что, в свою очередь, способствует более эффективной работе двигателя. Кроме того, правильно сконструированная выпускная система помогает снизить уровень шума и уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу.

Выпускная система автомобиля состоит из нескольких ключевых компонентов:

- выпускной коллектор – собирает отработанные газы из цилиндров и направляет их в трубу;
- катализатор – отвечает за химическую обработку отработанных газов, уменьшая содержание вредных веществ;
- глушитель – снижает уровень шума, создаваемого при выходе газов из системы;
- выпускная труба – выводит очищенные газы в атмосферу.

Работа выпускной системы начинается с того, что отработанные газы, образующиеся в результате сгорания топлива, поступают в выпускной коллектор» [2]. Оттуда они направляются к катализатору, где происходит химическая реакция, уменьшающая количество токсичных веществ. После этого газы проходят через глушитель, который снижает уровень шума, и, наконец, выходят через выпускную трубу.

Существует несколько типов выпускных систем, каждая из которых имеет свои особенности и предназначение:

Стандартная выпускная система – предназначена для обеспечения нормального функционирования автомобиля, соблюдая требования по шуму и выбросам.

«Спортивная выпускная система – разработана для повышения производительности и звука автомобиля. Она часто имеет меньшие ограничения на поток газов, что позволяет двигателю работать более эффективно.

Двойная выпускная система – включает два отдельных выхода для отработанных газов, что может улучшить производительность и звук, а также обеспечить более равномерное распределение газов.

Выпускная система с переменной геометрией – использует механизмы, которые изменяют форму или размер системы в зависимости от условий работы двигателя, что позволяет оптимизировать производительность на разных оборотах.

Основные отличия между типами выпускных систем заключаются в их конструкции, предназначении и влиянии на характеристики автомобиля. Стандартные системы ориентированы на соблюдение норм, в то время как спортивные системы нацелены на максимизацию производительности и улучшение звука. Двойные системы обеспечивают более эффективный отвод газов, а системы с переменной геометрией предлагают гибкость в управлении потоком газов, что может значительно улучшить динамические характеристики автомобиля» [7].

Таким образом, выпускная система является важным элементом автомобиля, который влияет на его производительность, уровень шума и экологические показатели. Правильный выбор и настройка выпускной системы могут существенно улучшить характеристики транспортного средства. На рисунке 6 показана стандартная схема того, как выпускная система обычно устанавливается на серийных автомобилях.

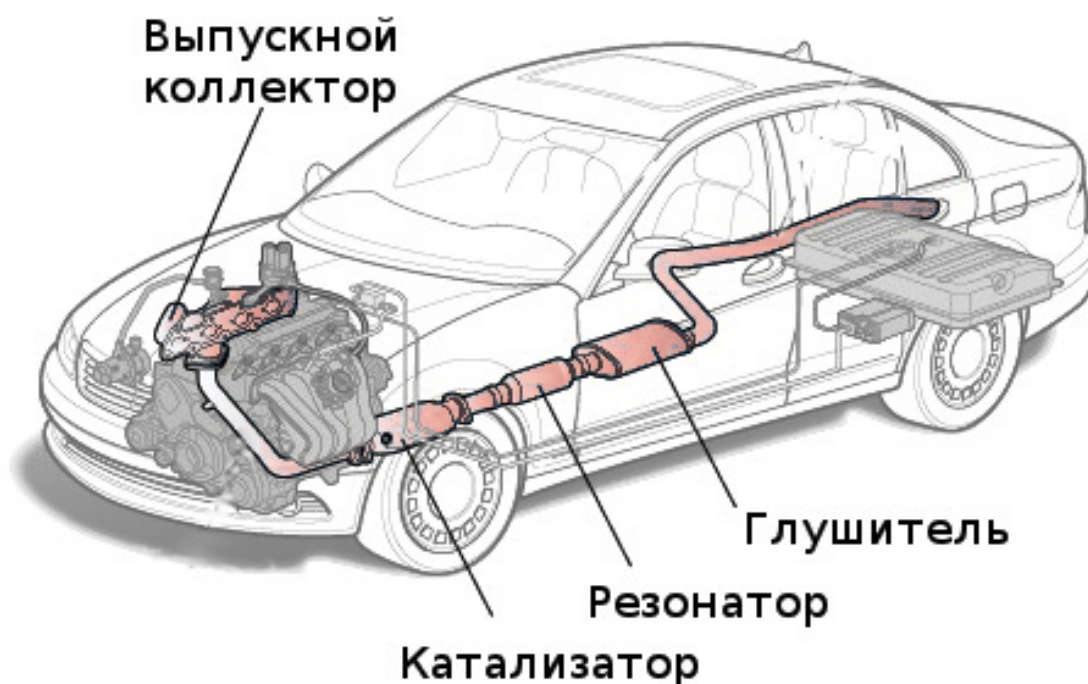


Рисунок 5 – Стандартная выпускная система

«В большинстве двигателей внутреннего сгорания выпускной коллектор располагается на головке блока цилиндров. Через его каналы отработанные газы направляются в катализатор. Выпускной коллектор играет важную роль в мощностных характеристиках гоночных автомобилей, так как он влияет на эффективность сгорания топлива и его расход.

Этот компонент подвергается высоким температурам, поскольку находится в непосредственной близости к камере сгорания, что делает его уязвимым к термической усталости. Поэтому для его изготовления обычно используют термостойкие материалы. Наиболее распространены нержавеющая сталь и сталь с антикоррозионным покрытием, так как выпускной коллектор также подвержен воздействию внешних факторов, таких как окисление, абразивные частицы с дороги и реагенты, используемые для борьбы с гололедом. Важно, чтобы не только выпускные коллекторы, но и другие элементы системы обладали термостойкостью и защитой от коррозии, чтобы избежать их преждевременного выхода из строя. Частыми проблемами

являются трещины и коррозия, которые могут привести к серьезным последствиям. Особенно опасны трещины или прогоревшие прокладки между головкой блока цилиндров и впускным коллектором, так как выхлопные газы токсичны и могут попасть в салон автомобиля, что представляет угрозу для здоровья пассажиров.

Инженеры стремятся оптимизировать конструкцию элементов выпускной системы так, чтобы во время такта выпуска максимально эффективно удалялись отработанные газы. Это необходимо для того, чтобы следующий заряд топливно-воздушной смеси был чистым и легко воспламенялся. Хотя некоторые компоненты, такие как резонатор и катализатор, могут препятствовать полному удалению газов, их нельзя исключить из серийных автомобилей из-за строгих норм по экологии и шуму. В отличие от серийных моделей, гоночные автомобили могут отказаться от некоторых элементов системы, что позволяет значительно повысить эффективность и мощность болидов» [11].

Импульсные выпускные системы представляют собой инновационное решение в области автомобильной инженерии, направленное на оптимизацию работы двигателя и повышение его производительности. Основная особенность таких систем заключается в том, что они используют принцип резонанса для улучшения отведения отработанных газов, что, в свою очередь, способствует более эффективному заполнению цилиндров свежей топливно-воздушной смесью.

Существует несколько типов импульсных выпускных систем, среди которых наиболее распространенными являются конфигурации 4-2-1 и 4-1.

В конфигурации 4-2-1 четыре цилиндра двигателя разделяются на две группы по два цилиндра, которые затем соединяются в один общий коллектор. Такой подход позволяет создать два резонансных эффекта, что улучшает отвод газов на средних оборотах и способствует более равномерному распределению давления в системе. Это особенно полезно для двигателей,

работающих в широком диапазоне оборотов, так как обеспечивает оптимальную производительность на различных режимах.

В конструкции 4–1 все четыре цилиндра соединяются в один общий коллектор. Это позволяет достичь максимального эффекта резонанса на высоких оборотах, что делает такую систему идеальной для спортивных автомобилей и гоночных болидов. Система 4–1 способствует более быстрому удалению отработанных газов, что увеличивает мощность и отклик двигателя на педаль акселератора.

Импульсные выпускные системы не только улучшают производительность двигателя, но и могут способствовать снижению уровня шума и вибраций, что делает их привлекательными для использования как в спортивных, так и в серийных автомобилях. Благодаря своей конструкции они позволяют добиться оптимального баланса между мощностью, экономичностью и комфортом вождения.

На рисунках 6 и 7 можно увидеть выпускные системы, разработанные по схемам 4–2–1 и 4–1.

Правильный выбор длины трубопроводов в выпускной системе играет ключевую роль в оптимизации работы двигателя. Это позволяет регулировать коэффициент наполнения цилиндров в зависимости от частоты вращения коленчатого вала.



Рисунок 6 – Выпускная система типа 4-2-1



Рисунок 7 – Выпускная система типа 4–1

Особенно значительное влияние на эффективность очистки камеры сгорания оказывают первичные трубопроводы, длина которых критически важна для достижения максимальной производительности.

1.4 Основные теоретические сведения о впускной системе автомобиля

Впускная система автомобиля играет ключевую роль в обеспечении эффективной работы двигателя внутреннего сгорания. Основная задача этой системы – обеспечить подачу необходимого объема свежей топливно-воздушной смеси в цилиндры двигателя, что напрямую влияет на его мощность, экономичность и экологические характеристики.

Впускная система состоит из нескольких ключевых элементов:

– впускной коллектор: это основной компонент, который распределяет воздух или топливно-воздушную смесь между цилиндрами. Он может иметь различные конструкции, в зависимости от типа двигателя и его назначения;

– дроссельная заслонка: устанавливается в начале впускного коллектора и регулирует поток воздуха, поступающего в двигатель. Она управляется педалью акселератора, что позволяет водителю контролировать мощность автомобиля;

– фильтр воздуха очищает воздух от загрязнений перед его поступлением в двигатель, что важно для предотвращения износа и повышения эффективности сгорания;

– патрубки и соединения: обеспечивают герметичность и правильное направление потока воздуха.

Когда водитель нажимает на педаль акселератора, дроссельная заслонка открывается, позволяя воздуху поступать во впускной коллектор. Воздух смешивается с топливом в карбюраторе или инжекторе, после чего образовавшаяся смесь направляется в цилиндры. Важно, чтобы впускная система обеспечивала оптимальный поток воздуха, так как это влияет на эффективность сгорания и, следовательно, на мощность двигателя.

Существует несколько типов впускных систем, каждая из которых имеет свои особенности и преимущества:

– непосредственный впрыск: в этом типе системы топливо впрыскивается непосредственно в цилиндры, что позволяет достичь более точного контроля над процессом сгорания и улучшает экономичность;

– портовый впрыск: топливо впрыскивается во впускной коллектор перед поступлением в цилиндры. Этот метод проще в реализации, но может быть менее эффективным по сравнению с непосредственным впрыском;

– впускные системы с изменяемой геометрией: эти системы могут изменять длину и форму впускных каналов в зависимости от оборотов двигателя, что позволяет оптимизировать подачу смеси на различных режимах работы;

– турбонаддув: впускная система с турбонаддувом использует турбину для сжатия воздуха, что увеличивает его плотность и позволяет подать больше кислорода в цилиндры. Это значительно повышает мощность двигателя.

Впускная система является неотъемлемой частью двигателя, и ее правильная настройка и выбор типа могут существенно повлиять на характеристики автомобиля. Оптимизация впускной системы позволяет добиться лучшей производительности, экономичности и снижения выбросов, что делает ее важным аспектом в современном автомобилестроении.

Дроссельная заслонка – это ключевой элемент впускной системы автомобиля, который регулирует поток воздуха, поступающего в двигатель. Она представляет собой подвижный механизм, который открывается и закрывается в зависимости от положения педали акселератора. Когда водитель нажимает на педаль, дроссельная заслонка открывается, позволяя большему количеству воздуха поступать в цилиндры. Это, в свою очередь, увеличивает мощность двигателя. На рисунке 8 можно увидеть пример дроссельной заслонки.



Рисунок 8 – Электронная дроссельная заслонка

Работа дроссельной заслонки может быть механической или электронной. В современных автомобилях чаще всего используются электронные дроссельные заслонки, которые управляются системой управления двигателем. Это позволяет более точно контролировать подачу воздуха и улучшает отклик двигателя на действия водителя. Правильная работа дроссельной заслонки критически важна для оптимизации сгорания топлива и обеспечения эффективной работы двигателя.

Топливная форсунка – это устройство, отвечающее за распыление топлива во впускной коллектор или непосредственно в цилиндры двигателя. Она играет важную роль в процессе сгорания, так как от качества распыления топлива зависит его смешивание с воздухом и, соответственно, эффективность сгорания. На рисунке 9 можно увидеть пример топливной форсунки.



Рисунок 9 – Бензиновая топливная форсунка

Форсунки могут работать по различным принципам, но наиболее распространены электромагнитные и пьезоэлектрические форсунки. Электромагнитные форсунки открываются и закрываются с помощью электромагнита, который управляется системой управления двигателем. Пьезоэлектрические форсунки используют пьезоэлементы для более точного и быстрого управления подачей топлива. Это позволяет достичь более высокой точности впрыска и улучшить характеристики двигателя, такие как мощность и экономичность.

Лямбда-зонд – это датчик, который измеряет содержание кислорода в отработанных газах, поступающих из выхлопной системы. Он играет важную роль в системе управления двигателем, так как позволяет контролировать соотношение воздух-топливо, что критически важно для достижения оптимального сгорания. На рисунке 10 можно увидеть пример.



Рисунок 10 – Лямбда-зонд

Работа лямбда-зонда основана на принципе электрохимической реакции. Он генерирует электрический сигнал, который пропорционален количеству кислорода в выхлопных газах. Этот сигнал передается в блок управления двигателем, который, в свою очередь, корректирует подачу топлива через форсунки, чтобы поддерживать оптимальное соотношение. Это не только улучшает производительность двигателя, но и снижает выбросы вредных веществ, что делает лямбда-зонд важным элементом для соблюдения экологических норм.

Дроссельная заслонка, топливная форсунка и лямбда-зонд – это три ключевых компонента, которые работают в тесной связке для обеспечения эффективной работы двигателя. Их правильная настройка и функционирование позволяют достичь оптимального сгорания, улучшить мощность и экономичность, а также снизить уровень выбросов, что делает их незаменимыми в современных автомобилях.

Дроссельная заслонка, топливная форсунка и лямбда-зонд – это три ключевых компонента, которые работают в тесной связке для обеспечения эффективной работы двигателя. Их правильная настройка и функционирование позволяют достичь оптимального сгорания, улучшить мощность и экономичность, а также снизить уровень выбросов, что делает их незаменимыми в современных автомобилях.

Выводы по разделу

В данном разделе были описаны соревнования «Формула Студент», а также назначение общего регламента соревнований. Выделены основные требования к впускным и выпускным системам гоночного болида. Рассмотрены теоретические аспекты проектирования впускных и выпускных систем.

2 Анализ существующих инженерных решений зарубежных команд соревнований «Формула Студент»

«Соревнования «Формула Студент» уже более тридцати лет привлекают внимание студентов со всего мира, вдохновляя их на создание уникальных гоночных автомобилей. За это время было разработано множество болидов, которые с каждым годом становятся всё более технологичными и сложными. Эволюция регламента соревнований также сыграла свою роль, вводя новые требования ко всем системам автомобилей, включая выпускные системы.

Чтобы спроектировать эффективную впускную и выпускную систему для болида «Формула Студент», необходимо не только освоить теоретические аспекты работы двигателей внутреннего сгорания, впускных и выпускных систем, но и провести глубокий анализ существующих решений, наблюдая за их функционированием на трассе. Исследовательская работа, в рамках которой будут изучены различные конструкции выпускных систем гоночных автомобилей, позволит выявить как недостатки, так и преимущества зарубежных команд, а также извлечь уроки из их опыта, чтобы избежать повторения ошибок.

В данном сравнительном анализе будут рассмотрены пять гоночных автомобилей класса «Формула Студент», созданных зарубежными студенческими командами, которые успешно прошли этапы соревнований. Оценка различных конструкций выпускной системы будет проводиться по следующим критериям:

- насколько болид соответствует требованиям тех. инспекции;
- используемая схема впускной и выпускной системы;
- насколько данная схема эффективна.

На рисунке 11 можно увидеть первый гоночный болид команды «Формула Студент» [12].



Рисунок 11 – Гоночный болид австралийской команды «Формула Студент»

«Команда использует 4-цилиндровый двигатель внутреннего сгорания и выбрала схему импульсной выпускной системы 4–1 для своего гоночного автомобиля, установив при этом достаточно длинные первичные трубопроводы. Это решение может положительно сказаться на процессе очистки камеры сгорания от отработанных газов, что способствует поступлению свежего заряда во время впуска. Однако стоит отметить, что выхлопная труба направлена в сторону колеса, что может негативно повлиять на управляемость автомобиля из-за температурной разницы между правой и левой шинами. Что касается впускной системы, то можно увидеть, что команда использует ресивер овальной формы, изготовленный из стекловолокна с боковым забором воздуха в систему. Из недостатков можно сказать, что ресивер такой формы может мешать потокам воздуха беспрепятственно попадать в камеру сгорания. Также хочется отметить, что раннер ресивера достаточно короткий, что приведет к снижению мощности» [1].

Далее, на рисунке 12 рассмотрим конструкцию выпускной системы команды «Формула Студент».



Рисунок 12 – Гоночный болид австрийской команды «Формула Студент»

«На изображении видно, что эта команда также применяет 4-цилиндровый двигатель внутреннего сгорания в сочетании с выпускной системой 4–1. В данном случае можно выделить два ключевых отличия: во-первых, у них более длинные первичные трубопроводы, что способствует повышению эффективности работы мотора на низких оборотах, но при этом снижает его производительность на высоких. Во-вторых, стоит отметить, что выпускная система выходит за пределы пространственной рамной конструкции, что создает риск контакта человека с горячими элементами системы. Это противоречит регламенту соревнований, и за подобное нарушение команда может быть исключена из участия в динамических дисциплинах. Впускная система данной команды изготовлена из пластика на

3Д принтере и имеет круглую форму, а также боковой забор воздуха. Круглая форма ресивера благоприятно сказывается на доставке воздуха в камеру сгорания, однако изготавливать такой ответственный элемент на 3Д принтере не очень хорошая идея. Во-первых детали, изготовленные на 3Д принтере имеют большое количество щелей, которые могут пропускать воздух, а также это довольно непрочная конструкция. Кроме того, одна из задач ресивера – обеспечить ламинарный поток воздуха, однако ресивер, изготовленный на 3Д принтере имеет сильную шероховатость на внутренней поверхности, что неблагоприятно будет влиять на поступления воздуха в камеру сгорания» [13].

Далее рассмотрим одну из немецких команд «Формула Студент», гоночный болид которой изображен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Впускная и выпускная система немецкой команды «Формула Студент»

«На рисунке 12 представлено, что команда использует 4-цилиндровый двигатель внутреннего сгорания в комбинации со схемой 4-2-1, что является довольно распространенной практикой для автомобилей этого класса. Изображение демонстрирует достаточно длинный вторичный трубопровод, который ведет к глушителю, что указывает на то, что команда сосредоточилась на повышении эффективности двигателя на высоких оборотах. Также заметно, что глушитель на этом гоночном автомобиле имеет значительные размеры, что, вероятно, свидетельствует о проблемах с шумом, и для их устранения команде пришлось принять такое решение.

Одним из недостатков данной конструкции является то, что горячие элементы выхлопной системы находятся в зоне доступа, что создает риск серьезных ожогов для людей, находящихся рядом с автомобилем. Это противоречит регламенту соревнований, и, скорее всего, команда не сможет участвовать в динамических дисциплинах. Что касается впускной системы, то это ресивер, изготовленный наполовину из углеродного волокна для снижения веса, а вторая половина изготовлена из стальной конструкции, что в свою очередь приведет к увеличению веса.

Забор воздуха осуществляется сверху, что скорее всего не очень хорошо, потому что обычно основной поток воздуха проходит над автомобилем. Форму ресивера выглядит неправильной, потому что потоки воздуха проходя к нижней части ресивера сталкиваются в плоскую стенку, за счет чего потоки воздуха в ресивере могут сталкиваться между собой» [14].

Далее рассмотрим еще один гоночный болид одной из эстонских команд класса «Формула Студент», увидеть его можно на рисунке 14.



Рисунок 14 – Гоночный болид эстонской команды класса «Формула Студент»

«На рисунке 14 представлено, что команда использует 1-цилиндровый двигатель внутреннего сгорания на своем гоночном автомобиле класса «Формула Студент», применяя схему 1–1. Стоит отметить, что 1-цилиндровые двигатели, как правило, обладают высокой оборотистостью и часто работают на высоких оборотах. Поэтому сокращение длины первичной трубы, ведущей к глушителю выпускной системы, вероятно, было обоснованным решением, так как это способствует увеличению мощности двигателя» [9]. Однако следует обратить внимание на то, что горячие элементы выхлопной системы находятся в зоне доступа, что создает риск серьезных ожогов для людей, находящихся рядом с автомобилем. Впускная система имеет изготовлена из углеродного волокна и имеет продолговатую форму. Можно увидеть также, что команда увеличила длину реннера, за счет чего команда, видимо, пыталась повысить мощность. Забор воздуха осуществляется сверху, что скорее всего не очень хорошо, потому что обычно основной поток воздуха проходит над автомобилем.

Далее рассмотрим гоночный болид класса «Формула Студент» одной из перспективных команд на рисунке 15.



Рисунок 15 – Гоночный болид немецкой команды класса «Формула Студент»

«На рисунке 15 представлена информация о том, что команда использует 4-цилиндровый двигатель внутреннего сгорания в своем гоночном автомобиле класса «Формула Студент». Здесь можно заметить, что они применили нестандартную для этого класса схему 4–2–1. Судя по общей компоновке, выбор данной схемы был обусловлен конструктивными соображениями. Команда сократила длину первичных трубопроводов выхлопной системы и сделала акцент на работу двигателя на низких оборотах. В этой схеме четыре трубы объединяются в две, а затем снова соединяются в одну перед глушителем.

Среди положительных аспектов стоит отметить, что глушитель частично изготовлен из карбонового волокна, что позволяет уменьшить общую массу системы и снижает риск повреждений, таких как прогары или

трещины, вызванные термическими или агрессивными воздействиями окружающей среды. Также следует подчеркнуть, что все горячие элементы выхлопной системы защищены и скрыты от доступа, благодаря боковым аэродинамическим обвесам автомобиля.

Тем не менее, есть одно замечание по поводу данной компоновки. При выходе из пространственной рамной конструкции в сторону глушителя трубные элементы были загнуты почти под 90 градусов, что может привести к частичному возврату выхлопных газов и возникновению резонансных колебаний. Это, в свою очередь, может увеличить уровень шума и вибраций» [10].

Выводы по разделу

В этом разделе проведен анализ различных конструкций впускных и выпускных систем гоночных автомобилей класса «Формула Студент», разработанных зарубежными студенческими командами. Были выявлены как преимущества, так и недостатки, присущие использованным командами решениям в области выпускных систем.

3 Проектирований впускной и выпускной системы гоночного автомобиля

«Для того, чтобы начать проектирование какого-либо узла или элемента необходимо для начала определиться с концепцией, с сопутствующими элементами, с назначением, а также с требованиями, которые будут предъявляться к конечному изделию.

Итак, в нашем случае необходимо разработать впускную систему для гоночного болида класса «Формула Студент». Разработанная система впуска обязательно должна соответствовать основному регламенту соревнований «Формула Студент» для того, чтобы команда могла успешно пройти техническую инспекцию и быть допущенной до динамических дисциплин соревнований» [15].

«Помимо того, что выпускная и впускная система гоночного болида класса «Формула Студент» должна просто соответствовать основному регламенту соревнований, во время концептуальной разработки были представлены следующие требования к выпускной системе будущего болида:

- увеличение эффективности работы двигателя;
- шум около выходной трубы выпускной системы на холостом ходу не должен превышать 103 Дб, а на оборотах 110 Дб;
- общая масса выпускной системы гоночного болида не должна превышать 5.5 кг;
- необходимо уменьшить вибрации, для этого нужно исключить резкие завороты трубопровода;
- расположение любых раскаленных элементов выпускной системы должно быть вне зоны доступа человека, данное требование может быть также достигнуто за счет аэродинамических элементов обвеса гоночного болида «Формула Студент»;
- завершающий элемент выпускной системы не может быть направлен на шины автомобиля;

- соединение выпускной системы с двигателем внутреннего сгорания должно быть герметичным, и не должно допускать утечки отработавших газов в зону размещения пилота;

- соединение впускной системы с двигателем внутреннего сгорания должно быть герметичным, и не должно допускать утечки воздуха;

- ресивер впускной системы не должен иметь острых форм, все формы ресивера должны быть плавными;

- раннер впускного ресивера должен иметь длину не менее 100 мм для повышения мощности автомобиля;

- внутренняя поверхность ресивера должна быть гладкой и не иметь шероховатостей.

Двигатель от мотоцикла КТМ 390 также является вводными данными для проектирования систем впуска и выпуска. Данный двигатель имеет всего один цилиндр, и его максимальные обороты достигают 11000 оборотов в минуту. Это означает, что данный двигатель часто работает на высоких оборотах, и именно поэтому выпускная система должна иметь короткий первичный трубопровод для наиболее эффективной работы мотора на высоких оборотах.

Сам двигатель от мотоцикла КТМ 390 можно увидеть на рисунке 16» [3].



Рисунок 16 – Двигатель внутреннего сгорания от мотоцикла КТМ 390

«Кроме того, что известно какой будет использован мотор, также перед началом разработки системы выпуска и системы впуска, необходимо точно определить положение силового агрегата в пространстве автомобиля, а также понять какие детали окружения будут присутствовать на автомобиле. Итак, основные элементы, которые необходимо иметь на момент начала проектирования, это пространственная рамная конструкция в роли шасси, или же монокок, нужно понимать посадку пилота и габаритные размеры кресла пилота, также необходимо обозначить в пространстве огнеупорную стенку. Кроме того, стоит обозначить также расположение колес и если имеются, то и элементы подвески.

После того, как силовой агрегат выставлен и зафиксирован в пространстве, необходимо проложить первичный трубопровод, и стоит начать с переходного фланца, который будет обеспечивать герметичное соединение выпускного коллектора и двигателя внутреннего сгорания. Переходной

фланец был смоделирован с внутренним диаметром 40 мм, так как для ламинарного потока отработавших газов необходимо обеспечить максимально гладкий отток газов без каких-либо ям и других дефектов. На рисунке 17 можно увидеть переходной фланец.

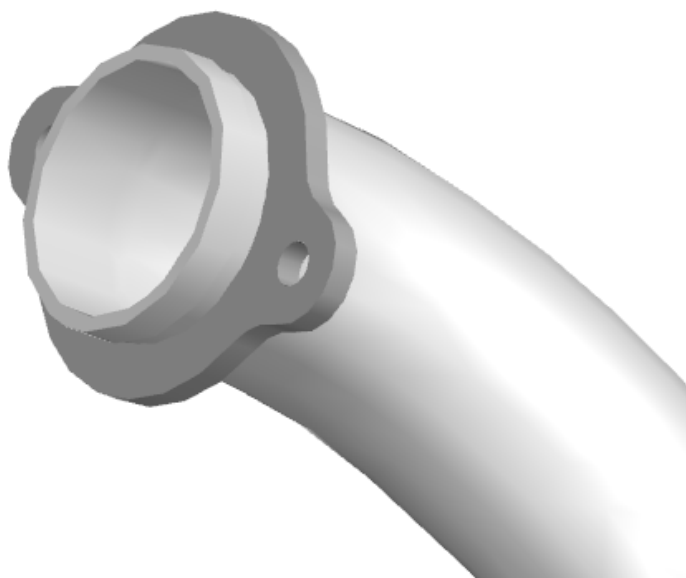


Рисунок 17 – Переходной фланец выпускной системы

После того, как был разработан переходной фланец, необходимо спроектировать непосредственно выпускной коллектор. Как мы помним, из наших требования, трубопровод первого порядка должен иметь настолько короткий, насколько это возможно участок отвода отработавших газов.

С учетом требований регламента удалось достичь прямой длины первичной трубы в 262 мм, это можно увидеть на рисунке 18» [5].

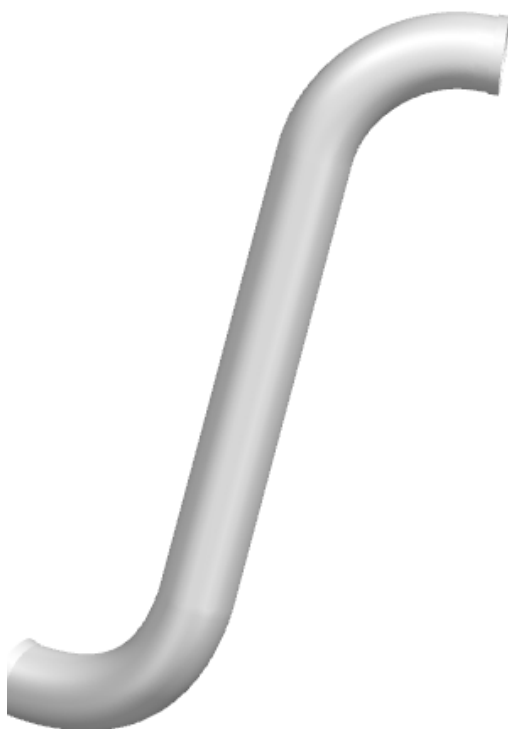


Рисунок 18 – Выпускной коллектор гоночного болида

Можно также увидеть, что все резкие повороты были нивелированы большим радиусом загиба трубы, что в теории должно давать улучшение отхода отработавших газов.

Труба для первичного трубопровода использовалась диаметром 40 мм для обеспечения ламинарности потока отработавших газов во время такта выпуска. Были также проведены симуляции выпускного коллектора на предмет ламинарности и плавности воздушных потоков, а также на предмет скорости протекания воздушных потоков.

Что касается обеспечения низкого уровня шума выпускной системы гоночного болида класса «Формула Студент», то для этого был разработан глушитель, который можно увидеть на рисунке 19.

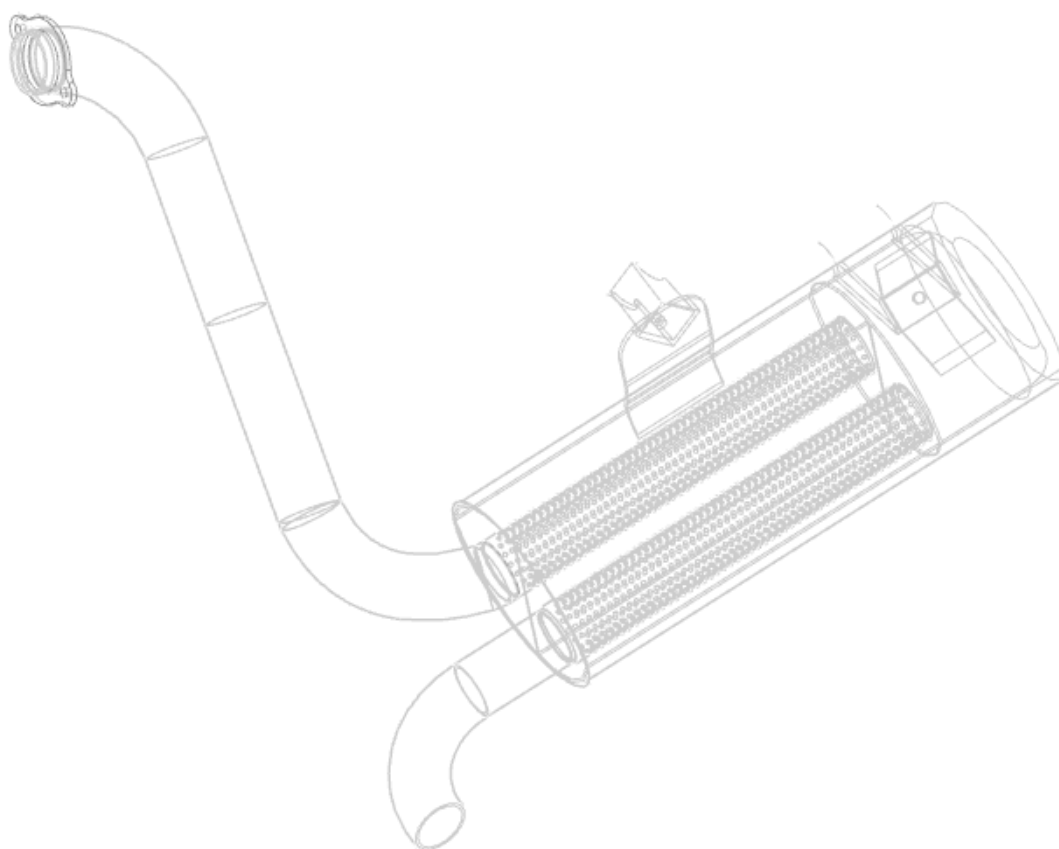


Рисунок 19 – Глушитель гоночного болида в разрезе

«На рисунке 20 можно увидеть, что глушитель состоит из непосредственно корпуса, изготовленного из нержавеющей стали, двух перфорированных трубок с внутренним диаметром 40 мм, огражденных друг от друга перегородками, одна из которых продольная, а другая перпендикулярная, а также изогнутая стенка, которая имеет такую форму для предотвращения резонансных импульсов. Кроме того, в 3Д модель на рисунке 19 не вошли такие элементы, как стальная волокнистая вата, а также негорючая поглощающая стекловата.

Глушитель изготавливается таким образом, что вся сваренная конструкция самым последним делом вставляется в нержавеющей корпус и заваривается. Последовательность именно такая из-за того, что

металлическую вату и стекловату необходимо обмотать несколькими слоями вокруг перфорированных труб таким образом, чтобы вся эта конструкция очень плотно входила в свой корпус. Таким образом можно обеспечить эффективное шумоподавление. Также очень важно обеспечить хороший сварочный шов по всем стыкам конструкции системы выпуска, в том числе и глушителя, потому что система выпуска подвергается сильным вибрациям и склонна к образованию трещин.

После того, как двигатель установлен в пространственную раму гоночного болида класса «Формула Студент», необходимо также присоединить выпускную систему к двигателю с целью установить в нужное положение и приварить фиксационные кронштейны, которые будут крепить выпускную систему за корпус глушителя с помощью фиксации к пространственной рамной конструкции.

Результат того, как была реализована выпускная система гоночного болида класса «Формула Студент» можно увидеть на рисунке 20» [19].



Рисунок 20 – Болид, оснащенный выпускной системой, вид справа

«Для системы выпуска были проведены расчеты на этапе проектирования. Так, например была рассчитана длина первичной трубы выпускного коллектора по формуле 1.

$$L1 = A \times S \times D^2 / 140 \times d^2, \quad (1)$$

где $L1$ – длина первичной трубы, мм;
 A – величина фазы выпуска, град;
 S – ход поршня, дюйм;
 D – диаметр цилиндра, дюйм;
 d – диаметр выпускного окна, дюйм.

Также по формуле 2 была рассчитана длина свободного выхлопа

$$L = 5100 \times \varphi / n \times 6, \quad (2)$$

где L – длина свободного выхлопа, мм;
 φ – опережение открытия выпускного клапана до нижней мёртвой точки, град;
 n – частота вращения, об/мин.

Диаметр первичной трубы выпускного коллектора не всегда подбирается в соответствии с выходным отверстием силового агрегата. Данная величина рассчитывается по формуле 3:

$$D = \sqrt{2} \times \frac{V}{L1} \times \pi, \quad (3)$$

где D – диаметр первичной трубы, мм;
 V – объем цилиндра, м³;

L_1 – длина первичной трубы, мм.

В случае, если первичная труба перетекает во вторичный трубопровод, то в таком случае диаметр вторичного трубопровода выпускной системы рассчитывается по формуле 4

$$D = \sqrt{2} \times \frac{V_T}{L_1} \times \pi, \quad (4)$$

где D – диаметр вторичной трубы, мм;

V_T – объем трубопровода, м^3 ;

L_1 – длина первичной трубы, мм.

Кроме того, необходимо знать температуру отработавших газов на выходе из камеры сгорания. Расчет можно провести по формуле 5:

$$t = Q_p + i_{\text{воздуха}} + i_T - \frac{Q_{\text{дис}}}{V_{\Gamma}} \times c_{\Gamma}, \quad (5)$$

где t – энтальпия топлива, кДж/ед. топлива ;

Q_p – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг ;

$i_{\text{воздуха}}$ – теоретическое теплосодержание воздуха, кДж/м^3 ;

i_T – теоретическое теплосодержание дымовых газов, кДж/м^3 ;

$Q_{\text{дис}}$ – теплота на диссоциацию продуктов сгорания, кДж/кг ;

V_{Γ} – объем дымовых газов, м^3 ;

c_{Γ} – объемная теплоемкость дымовых газов, кДж/м^3 » [20].

Что касается системы впуска, то есть несколько очень важных моментов, которые обязательно необходимо учитывать при проектировании системы для гоночного автомобиля:

- соединение впускной системы с двигателем внутреннего сгорания должно быть герметичным, и не должно допускать утечки воздуха;
- ресивер впускной системы не должен иметь острых форм, все формы ресивера должны быть плавными;
- раннер впускного ресивера должен иметь длину не менее 100 мм для повышения мощности автомобиля;
- корпус форсунки также является частью раннера;
- направление впрыска топлива из форсунки должно быть настроено строго по направлению камеры сгорания.

На рисунке 21 можно увидеть корпус форсунки. Хотелось бы подметить, что угол форсунки отрегулирован таким образом, чтобы впрыск топлива производился строго по направлению к камере сгорания.



Рисунок 21 – Корпус форсунки гоночного болида класса «Формула Студент»

Очень важно, чтобы форма ресивера не имела угловатостей, так как все поверхности должны быть гладкими для создания ламинарных потоков воздуха при заборе в камеру сгорания.

Стоит отметить, что не допускается даже шероховатая поверхность, шероховатость должна быть минимальной. Кроме того, не стоит забывать о правильном расположении рестриктора, а также о том, что забор воздуха стоит располагать в доступном во время движения автомобиля месте. Также, за счет того, что двигатель внутреннего сгорания одноцилиндровый и работает в основном на высоких оборотах, то для повышения эффективности работы двигателя внутреннего сгорания было принято решение увеличить длину раннера. На рисунке 22 можно увидеть финальную схему системы впуска.

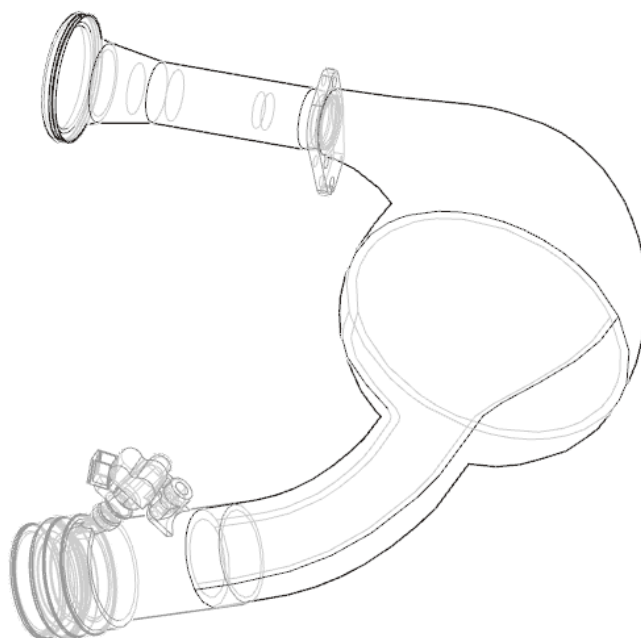


Рисунок 22 – Корпус форсунки гоночного болида класса «Формула Студент»

Выводы по разделу

В данном разделе представлены исходные данные для проектирования выпускной системы для гоночного болида класса «Формула Студент». Также в данном разделе были представлены основные принципы проектирования выпускной системы и показан принцип реализации выпускной системы на гоночном болиде.

4 Безопасность и экологичность технического объекта

«Изготовление впускной системы болида класса Formula Student связано с опасностью для изготовителя, поэтому весь процесс должен регламентироваться положением по охране труда, которое обеспечивает безопасность рабочим при изготовлении деталей. Разработка документации ведется с упором на опыт иностранных предприятий в области машиностроения, а также на законы, действующие на территории Российской Федерации. На производстве композитных материалов предусмотрено все необходимые данные для поддержания безопасности, в частности: все работники проходят инструктаж, регулярные семинары по технике безопасности, что способствует созданию безопасных условий труда.

Для производства впускной системы гоночного болида класса «Formula Student» требуется слесарные, сварочные, покрасочные и сборочные работы. Для каждого видов работ рассматриваются опасные и вредные производственных факторы, что требуют своих регламентов по технике безопасности и отдельных рабочих постов и ОВПФ.

Для использования композитных материалов, в частности углеродное волокно 2/2-12K-1250–400 г/м², нужно нарезать нужное количество материала с определенными размерами. Вовремя нарезание материал может расползаться, что в конечном итоге приведет к загрязнению рабочего места и изготовлению детали с низким качеством, а также требуется нарезать слои углеродного волокна рядом с вентиляцией, чтобы мелкие нитки углеткани не разлетались по рабочей зоны, так как данный материал хорошо проводит электрический ток и может попасть в электросеть и сделать короткое замыкание. нарезание углеродного волокна выполнять в герметичных перчатках, так как сам материал может вызвать аллергическую реакцию. Для экономии материалов, требуется нарезка по специальным шаблонам. Список ОВПФ слесарных работ представлен в таблице 1» [10].

Таблица 1 – ОВПФ слесарных работ

Направление работы	Сущность работы	Список необходимых инструментов	ОВПФ
1	2	3	4
Слесарные работы	-резка композитных материалов, - резка расходных материалов	Нож раскройный, ножницы,	Физические: острые кромки, повышенная загрязнение

«Для данного процесса требуется соответствие правилам техники безопасности и инструктаж по нарезанию композитных материалов.

Применять в процессе выполнения данной работы инструменты и оборудования по назначению, в соответствии с правилами предприятия.

Допускается использование инструмента только в исправном состоянии, он не должен иметь следов дефектов.

Нарезание углеродного волокна выполнять только в герметичных перчатках.

Рабочая зона должна иметь вентиляцию согласно расчетам производственного поста.

Выполнять работу может только порученным руководителем и не передавать ее другим без оповещения руководителя и без надлежащего инструктажа.

Также необходимо соблюдение следующих пунктов:

- регулярная проверка здоровья и медицинские осмотры;
- соблюдение внутреннего распорядка предприятия;
- в случае недомогания или несчастного случая требуется известить руководителя и вызвать врача;
- после завершения работ требуется очистка режущего инструмента для его поддержания в рабочем состоянии;
- после завершения работ необходимо влажная уборка рабочей зоны.

ОВПФ сварочных работ представлен в таблице 2» [2].

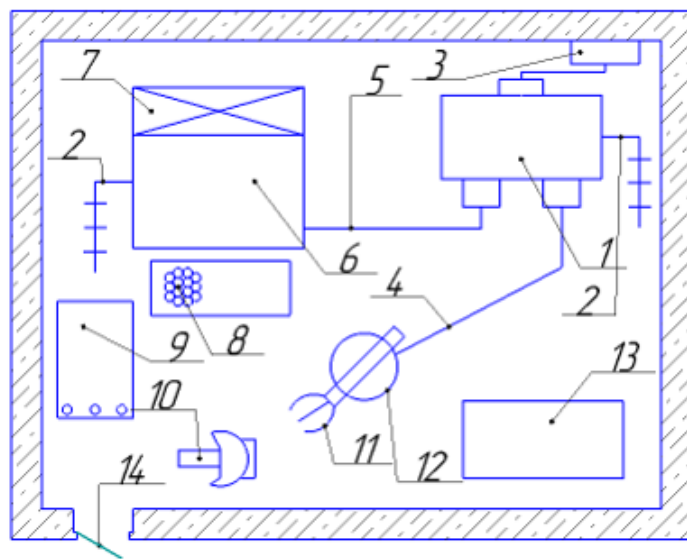
Таблица 2 – ОВПФ сварочных работ

Направление работы	Сущность работы	Список необходимых инструментов	ОВПФ
1	2	3	4
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.

«Требования по технике безопасности для данных работ:

- требуется подготовить рабочее место,
- проверить исправность сварочного оборудования, а также его настройка,
- регулярная проверка здоровья и медицинские осмотры,
- регулярная проверка знаний по технике безопасности и охране труда,
- соблюдение свода правил внутри предприятия,
- соблюдение пожарной безопасности,
- в случае недомогания или несчастного случая требуется известить руководителя и вызвать врача.

На рисунке 23 изображено рабочее место сварщика» [18].



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 для отходов; 14 – дверной проем.

Рисунок 23 – Рабочее место для проведения сварочных работ

«Основные задачи сварочного поста:

- 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;
- своевременная проверка заземляющих проводов с занесением замеров в журнал;
- рядом с рабочим постом должен быть огнетушитель порошкового типа, рассчитанным объемом в зависимости от площади рабочего поста;
- регулярная проверка наличия сварочных расходных материалов;

- выполнять подготовку деталей и узлов к сварочному процессу путем зачистки УШМ и техническими жидкостями;
- осуществлять контроль качества сварочного шва и его проникание в материал после сварки специальными инструментами.

ОВПФ сборочных работ указаны в таблице 3» [7].

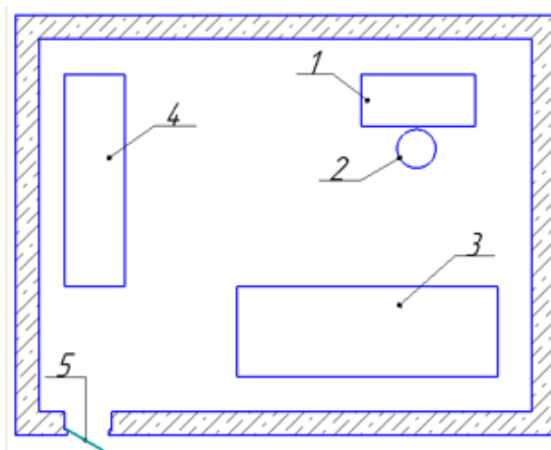
Таблица 3 – ОВПФ сборочных работ

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 процесса необходимо соблюдать следующие требования по технике безопасности:

- подготовка рабочего места для сборочных работ,
- проверка работоспособности и выявление дефектов оборудования и инструментов,
- регулярный инструктаж по технике безопасности,
- использования инструментов по назначению.

Рабочее место для сборочных работ представлено на рисунке 24.



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

Рисунок 24 – Рабочее место для сборочных работ

Основные задачи сборщика заключаются в следующем:

- сборка деталей и узлов по чертежам,
- при необходимости использовать кондуктор,
- проверка точности установки деталей и узлов при помощи измерительных приборов,
- указание примечаний для дальнейшей работы с данной деталью или узлом.

Выводы по разделу

При соблюдении правил безопасности для данных ОВПФ позволяет существенно снизить риски получения физических и химических травм при выполнениях технологических процессов.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены особенности и принципы проектирования впускной и выпускной систем для гоночного болида класса «Формула Студент» с двигателем КТМ 390. Основной целью проекта являлось создание эффективных и оптимизированных систем, обеспечивающих повышение мощности и крутящего момента двигателя в условиях гоночных соревнований, а также соответствие требованиям регламентов.

В ходе работы были изучены теоретические основы проектирования впускных и выпускных систем, проведен анализ существующих решений, используемых командами на международных соревнованиях. Особое внимание уделялось вопросам повышения пропускной способности, снижению турбулентных потерь и оптимизации фаз газораспределения.

Разработаны трехмерные модели впускного коллектора и выпускной системы для двигателя КТМ 390 с учетом особенностей его конструкции и требований к минимизации потерь энергии. Проведено моделирование потоков воздуха и выхлопных газов внутри систем, что позволило выявить зоны возможных турбулентностей и завихрений, а также определить оптимальные геометрические параметры для повышения эффективности.

Созданные системы были изготовлены и установлены на двигатель для проведения испытаний на стенде. В результате тестирования было получено увеличение максимальной мощности до 55 л.с., достигаемой при частоте вращения около 9 200 об/мин, а также увеличение крутящего момента до 50 Нм при примерно 8 700 об/мин. Эти показатели свидетельствуют о положительном влиянии разработанных систем на динамические характеристики двигателя, что способствует повышению конкурентоспособности гоночного болида в рамках соревнований класса «Формула Студент».

Список используемой литературы и используемых источников

1. Автомобильные выхлопные системы [Электронный ресурс] : URL: http://www.poiskavtouslug.ru/tehnicheskoe-obsluzhivanie/avtomobilnye_vyhlopnye-sistemy.html (дата обращения: 07.10.2024).
2. Вибе, И.И. Теория двигателей внутреннего сгорания [Текст]: Конспект лекции / И.И.Вибе - Челябинск: ЧПИ, 1974. – 252 с.
3. Выпуск [Электронный ресурс] : URL: <http://www.baumanracing.ru/?p=8447#more-8447> (дата обращения: 07.05.2025).
4. Вырубов, Д. Н. Двигатели внутреннего сгорания: теория поршневых и комбинированных двигателей [Текст]: учеб. для вузов по спец. "Двигатели внутр. сгорания / Д. Н. Вырубов [и др.] ; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. - 4-е изд., перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 1983. – 375 с.
5. Выхлопная система [Электронный ресурс] : URL: <http://www.avtika.ru/qa/393-vykhlopnoj-sistema> (дата обращения: 08.05.2025).
6. Доводка выхлопной системы атмосферных ДВС [Электронный ресурс] : URL: https://azlk-team.ru/articles/stati_s_clubazlknet/dovodka_vykhlopnoj_sistemy_atmosfernykh_dvs/ (дата обращения: 08.06.2025).
7. Колчин, А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст]: учеб. пособие для вузов / А. И. Колчин, В. П. Демидов. - Изд. 3-е, перераб. и доп.; Гриф МО. - Москва: Высш. шк., 2003. - 496 с.
8. Модернизация системы выпуска отработавших газов [Электронный ресурс] : URL: <http://rajero.us/repair/107.shtml> (дата обращения: 08.09.2024).
9. Попык, К. Г. Динамика автомобильных и тракторных двигателей [Текст]: учебник / К. Г. Попык. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва: Высш. шк., 1970. – 326 с.
10. Регламент международных соревнований 2022 Formula SAE® Rules.

11. CBR 600 RR -- Part One: On Paper [Электронный ресурс] : URL <http://www.motorcycle.com/manufacture/honda/2003-cbr-600-rr-part-one-on-paper-1227.html> (дата обращения 07.05.2035).
12. Ceramic coating of exhaust systems in motor racing [Электронный ресурс] : URL: <http://metallspritztechnik.de/?loc=auspuff-keramik-beschichtung&u=22&lang=en> (дата обращения: 07.09.2024).
13. DALHOUSIE FORMULA SAE [Электронный ресурс] : URL: <https://blogs.dal.ca/formulaSAE/2012/03/27/few-powertrain-updates/> (дата обращения: 07.09.2024).
14. Exhaust Systems – Выхлопные системы [Электронный ресурс] : URL: http://ideal-plm.ru/flowmaster/exhaust_systems.html/ (дата обращения: 01.10.2024).
15. Formula Student [Электронный ресурс] : URL: <https://fsoulu.wordpress.com/> (дата обращения: 07.06.2025).
16. Graham Bell A. Performance Tuning in Theory and Practice Four Strokes [Текст] / A. Graham Bell. Haynes Publishing Group, 1981. - 252 p.
17. Honda CBR600RR (2007) [Электронный ресурс] : URL: <http://www.bikewalls.com/wallpaper/CBR600RR/31464631/1024x768.html> (дата обращения: 07.05.2025).
18. Honda CBR600RR First Ride [Электронный ресурс] : URL: <http://www.motorcycle-usa.com/2003/02/article/2003-honda-cbr600rr-first-ride/> (дата обращения: 07.10.2024).
19. MUR Motorsports Newsletter (Sep 14) [Электронный ресурс] : URL: <http://formulasae.eng.unimelb.edu.au/content/mur-motorsports-newsletter-sep-14> (дата обращения: 07.10.2024).
20. TEAM HARE - UNIVERSITY OF HUDDERSFIELD'S FORMULA STUDENT CAR [Электронный ресурс] : URL: <http://www.pistonheads.com/gassing/topic.asp?h=0&f=47&t=995969&i=20> (дата обращения: 07.04.2025).