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)

13.04.03 Энергетическое машиностроение
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Проектирование и эксплуатация силовых установок для автомобилей специального назначения
(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему «Исследование влияния характеристик шин на эффективную реализацию мощности силовой установки в спортивно-гоночном шасси»

Обучающийся И. А. Кардашевский
(Инициалы Фамилия) (личная подпись)

Научный руководитель канд. техн. наук, доцент А. В. Бобровский
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Содержание

Введение 3
1 Состояние вопроса 5
1.1 Анализ регламента соревнований «Формула Студент» 5
1.2 Проведение сравнительного анализа конструкций и комплектующих, используемых зарубежными командами 9
2 Теоретические аспекты, влияющие на эффективность работы шин гоночного автомобиля 23
3 Оборудование для проведения тестов 47
3.1 Описание стенда для получения коэффициента сцепления шин с дорожным полотном 47
3.2 Подготовка к проведению теста и анализу результатов 52
4 Проведение расчетов и получение результатов тестирования шин гоночного болида класса «Формула Студент» 64
Заключение 72
Список используемых источников 73

Введение

Благодаря проекту «Формула Студент» увеличивается уровень подготовки инженерных специалистов, соответствующий современным требованиям рынка труда и образовательным стандартам. В условиях быстрого технологического прогресса и постоянного обновления знаний, необходимых для успешной профессиональной деятельности, данный проект акцентирует внимание на практической подготовке студентов, что является ключевым аспектом в инженерном образовании.

Актуальность проекта заключается в его способности объединять теоретические знания с практическими навыками. Участие студентов в проекте позволяет им не только углубить свои знания в области инженерии, но и развить важнейшие компетенции, такие как командная работа, управление проектами и решение нестандартных задач. Эти навыки становятся все более востребованными на рынке труда, где работодатели ищут специалистов, способных адаптироваться к быстро меняющимся условиям и эффективно работать в команде.

Кроме того, «Формула Студент» способствует развитию инновационного мышления у будущих инженеров. Проект предоставляет студентам возможность работать над реальными задачами и проектами, что стимулирует их к поиску нестандартных решений и внедрению новых идей. Это особенно важно в контексте глобальных вызовов, таких как устойчивое развитие и цифровизация, где требуется креативный подход к решению сложных проблем.

Также стоит отметить, что проект «Формула Студент» способствует укреплению связей между образовательными учреждениями и промышленностью. Партнерство с компаниями позволяет студентам получать актуальную информацию о потребностях рынка труда и трендах в инженерной сфере. Это взаимодействие помогает формировать учебные

программы, которые соответствуют требованиям работодателей и обеспечивают выпускников необходимыми знаниями и навыками.

Можно сказать, что проект «Формула Студент» является актуальным инструментом подготовки высококвалифицированных инженерных кадров. Он не только улучшает качество образования, но и способствует формированию профессионалов, готовых к вызовам современного мира. Интеграция теории с практикой, развитие инновационного мышления и укрепление связей с промышленностью делают этот проект важным элементом системы подготовки инженеров нового поколения.

Целью проекта «Формула Студент» является проектирование и сборка гоночного болида класса «Формула Студент», который будет соответствовать регламенту соревнований, и будет допущен до всех дисциплин. Целью же данной работы является проведение тестов шин гоночного болида по специализированной методике с использованием стендового оборудования для получения необходимых параметров шин для дальнейшего проектирования. Задачи в рамках данной работы были определены следующие:

– провести анализ регламента соревнований «Формула Студент» для выявления пунктов, связанных с шинами гоночного автомобиля, и пунктов, связанных с шинами;

– проанализировать конструкции, а также шины, используемые зарубежными командами;

– провести анализ теоретических факторов, влияющих на эффективность работы шин;

– провести обзор стендового оборудования и его возможностей;

– провести измерение по методике, а также расчет для получения необходимых данных.

1 Состояние вопроса

1.1 Анализ регламента соревнований «Формула Студент»

Регламент соревнований «Формула Студент» представляет собой обширный и детализированный документ, который служит основой для организации и проведения международного инженерного конкурса, в котором студенты проектируют и строят малые гоночные автомобили. Этот регламент необходим для обеспечения справедливости, прозрачности и организованности соревнований, а также для создания единой базы для всех участников. Основные цели регламента заключаются в установлении четких правил участия, что позволяет всем командам действовать в равных условиях, а также в определении критериев оценки проектов и выступлений команд, что помогает участникам понимать, на что следует обратить внимание при подготовке своих автомобилей и презентаций.

В регламенте содержится множество сведений. Во-первых, описываются требования к участникам и командам. Обычно команды состоят из студентов различных специальностей, что позволяет им объединять свои знания и навыки для достижения общей цели. Регламент может устанавливать минимальное количество членов команды (например, от 10 до 25 человек) и их квалификацию, включая требования к наличию студентов разных направлений – от инженерии до бизнеса.

Во-вторых, прописаны технические требования к автомобилям. Эти требования включают размеры (длина, ширина, высота), вес (максимально допустимый) и материалы (например, использование композитов или алюминия). Технические спецификации помогают обеспечить безопасность автомобилей и их соответствие стандартам. Команды должны пройти техническую проверку перед соревнованиями, чтобы убедиться в соответствии своих автомобилей установленным требованиям [8].

Регламент также описывает различные этапы конкурса – от проектирования до финальных заездов – с указанием временных рамок и последовательности действий. Например, могут быть предусмотрены этапы регистрации команд, технической проверки автомобилей, квалификационных заездов и финальных гонок. Каждый из этих этапов имеет свои особенности и требования.

Критерии оценки работы команд четко изложены в документе. Они охватывают такие аспекты, как дизайн автомобиля (включая аэродинамику), его производительность на трассе (скорость, управляемость) и качество презентации проекта перед жюри (включая технические аспекты и бизнес-план). Оценка может проводиться по нескольким категориям: статическая оценка (например, за дизайн автомобиля) и динамическая оценка (за результаты заездов).

Кроме того, регламент устанавливает нормы поведения для участников во время соревнований. Это включает правила взаимодействия с судьями и организаторами мероприятия, а также поведение на трассе и в зоне обслуживания. Участники должны соблюдать эти нормы для обеспечения безопасной атмосферы на мероприятии.

Важной частью регламента являются процедуры подачи протестов на результаты или действия других команд. Это позволяет обеспечить возможность оспаривания решений судей или несоответствий в оценках. Команды могут подать протест в установленный срок после завершения определенного этапа соревнований.

Регламент может также содержать информацию о финансовых аспектах участия команд в соревнованиях. Это включает ограничения на расходы на проектирование и строительство автомобиля, а также возможные спонсорские вложения. В некоторых версиях регламента прописаны экологические стандарты для автомобилей, такие как уровень выбросов или использование альтернативных источников энергии.

Таким образом, регламент соревнований «Формула Студент» является ключевым документом, который обеспечивает порядок проведения мероприятия и помогает участникам максимально эффективно подготовиться к конкурсу. Он не только формирует основу для честной конкуренции между командами, но также способствует развитию инженерных навыков у студентов через практическое применение теоретических знаний в реальных условиях. Участие в таких соревнованиях дает студентам уникальную возможность получить опыт работы в команде над сложными проектами и развить навыки управления временем и ресурсами.

В регламенте соревнований «Формула Студент» относительно шин присутствует данная информация:

Т 2.1.3 Автомобили с открытыми колесами должны соответствовать:

Колеса/шины не должны ничем перекрываться, если смотреть сбоку. Ни одна из частей автомобиля не может входить в "свободную зону", определяющуюся двумя вертикальными линиями, проходящими на расстоянии 75 мм, считая спереди автомобиля и 75 мм, считая от конца внешнего диаметра передних и задних шин. Колеса в это время расположены прямо. Эта зона впоследствии будет проходить от внешней плоскости колеса/шины к внутренней плоскости колеса/шины.

Т 2.5.1 Автомобили должны иметь два комплекта шин:

Шины для сухой погоды - Шины, надетые на автомобиль во время тех-инспекции, считаются шинами для сухой погоды. Шины для влажной погоды. Шины для влажной погоды могут быть любого размера и иметь любой тип протектора шины, снабженный:

Рисунок протектора или канавки должны быть подвергнуты формовке только изготовителем шин или быть прорезаны только изготовителем шины или его назначенным агентом. Все прорезанные канавки должны иметь документальное подтверждение того, что это было сделано в соответствии с этими правилами [25].

Минимальная глубина рисунка протектора – 2,4 мм.

T 2.5.2 Шины на одной оси должны быть одного производителя, размера и материала.

T 8.3.1 Ограничения по высоте:

Все аэродинамические устройства спереди передней оси и выходящие за пределы самой внутренней точки переднего колеса/шины, должны быть ниже 250 мм относительного дорожного просвета.

8.3.2 Ограничения по ширине:

Все аэродинамические приспособления, расположенные ниже 500 мм относительно дорожного просвета и выходящие за переднюю ось, не должны быть шире, чем вертикальная плоскость, касающаяся внешней поверхности переднего и заднего колеса/шины.

D 3.2 Разрешенные шины

D 3.2.1 Команды должны использовать шины, разрешенные для определенной погоды:

Условия эксплуатации в сопоставлении с разрешенными шинами:

– сухо: могут быть установлены сухие шины,

– влажно: могут быть установлены сухие или мокрые шины,

– мокро: могут быть установлены мокрые шины.

D 3.2.2 Во время влажных (damp) погодных условий команды могут выбирать между сухими и мокрыми шинами:

В любое время во время ускорения, восьмерки и автокросса.

В любое время до поднятия зеленого флага для гонки на выносливость.

D 3.2.3 В случае, если событие было проведено в различных условиях эксплуатации, минимальные уровни производительности для набора очков могут быть.

D 3.2.4 Во всех динамических событиях может быть использован только один набор шин для каждого типа (сухой/мокрый). Теста на торможение, практики и статических дисциплин данное правило не касается.

1.2 Проведение сравнительного анализа конструкций и комплектующих, используемых зарубежными командами

Проведение сравнительного анализа соперников и конструкций, которые они используют, является важным этапом в подготовке к соревнованиям «Формула Студент», особенно когда речь идет о гоночных шинах. Этот процесс включает в себя несколько ключевых шагов, которые помогают командам понять конкурентную среду, выявить сильные и слабые стороны своих решений и оптимизировать свои собственные конструкции.

Первым шагом в сравнительном анализе является сбор информации о шинах, используемых другими командами. Это может включать изучение технических характеристик шин, таких как состав резины, рисунок протектора, размеры и вес. Команды могут использовать различные источники информации: официальные документы соревнований, публикации на форумах, результаты предыдущих гонок и даже личные наблюдения на трассе. Важно также учитывать отзывы и мнения других участников о производительности шин в различных условиях – например, на сухой или мокрой трассе [4].

Следующим этапом является анализ производительности шин соперников. Это может включать в себя изучение данных о времени круга, устойчивости к износу и сцеплению с дорогой. Команды могут проводить тесты на своих автомобилях с использованием шин соперников или использовать симуляционные программы для оценки их характеристик в различных условиях. Сравнение результатов позволяет выявить преимущества и недостатки различных конструкций.

Кроме того, важно учитывать факторы, влияющие на выбор шин. Например, некоторые команды могут использовать более мягкие составы для достижения лучшего сцепления на коротких дистанциях, тогда как другие могут предпочитать более жесткие составы для повышения долговечности на длинных гонках. Анализ этих стратегий помогает командам понять, какие

решения лучше всего подходят для их конкретного автомобиля и стиля вождения.

Также стоит обратить внимание на инновации и технологии, применяемые другими командами в разработке шин или же модель используемых шин. Это может включать использование новых материалов или технологий производства, которые могут улучшить характеристики шин. Изучение таких инноваций может вдохновить команду на внедрение аналогичных решений или даже разработку собственных уникальных технологий.

Не менее важным аспектом является оценка стоимости шин и доступности материалов для их производства. Команды должны учитывать бюджетные ограничения при выборе шин и оценивать соотношение цены и качества. Сравнительный анализ ценовых категорий позволяет командам выбрать оптимальные решения без ущерба для производительности.

Стоит отметить, что проведение сравнительного анализа соперников и конструкций гоночных шин – это многогранный процесс, который требует тщательного сбора данных, анализа производительности и оценки стратегий выбора материалов. Этот анализ не только помогает командам улучшить свои собственные конструкции, но также способствует более глубокому пониманию конкурентной среды и позволяет принимать обоснованные решения при подготовке к соревнованиям «Формула Студент». В итоге успешный сравнительный анализ может стать ключевым фактором в достижении высоких результатов на трассе.

На рисунке 1 представлена шины гражданского назначения, используемые одной из команд «Формула Студент».

Рисунок 1 – Узкие шины гражданского назначения на гоночном болиде класса «Формула Студент»

На рисунке 1 можно увидеть, что команда использует шины гражданского назначения на гоночном болиде класса «Формула Студент». Хотелось бы отметить, что решение не очень хорошее по нескольким причинам:

– данные шины рассчитаны под гражданский автомобиль, соответственно, чтобы получить достаточное сцепление, необходимо иметь достаточную массу, как например у гражданского автомобиля (в среднем от 1 тонны), автомобиль «Формула Студент» в среднем имеет общую массу около 200 кг, из-за чего, скорее всего, даже обладая отличной прижимной силой от аэродинамики, добиться хорошего сцепления от данных шин не получится;

– шины помимо того, что рассчитаны на большую массу, также при этом достаточно узкие, за счет чего размер пятна контакта уменьшается еще сильнее при использовании на легком болиде;

– шины имеют городской универсальный протектор, хотя используются командой, как сухой комплект шин, скорее всего, данный фактор также снизит сцепные способности данных шин при использовании на гоночном болиде класса «Формула Студент»;

– коэффициент сцепления гражданских шин при условии, что на улице сухая и теплая погода, а также новый асфальт, составляет всего около 0,8, в то время как хорошие гоночные шины имеют коэффициент сцепления в среднем около 1,3 [9].

Все перечисленные выше факторы доказывают, что гражданские шины, особенно узкие и с высоким профилем, не могут обеспечить достаточного сцепления с дорожным покрытием гоночному автомобилю класса «Формула Студент».

Стоит отметить, что автомобиль на фотографии находится не в зоне соревнований, и, возможно данный комплект колес используется командой в качестве запасного для того, чтобы не портить основной комплект гоночных шин для соревнований.

На рисунке 2 можно увидеть еще один пример команды, использующей шины гражданского назначения на гоночном болиде класса «Формула Студент».

Рисунок 2 – Шины гражданского назначения на гоночном болиде класса «Формула Студент»

На рисунке 2 можно увидеть еще один пример использования шины гражданского назначения на гоночном болиде класса «Формула Студент». В отличие от предыдущей команды, данная команда использует более широкие шины со спортивным протектором, а также с более низким профилем. Учитывая все эти факторы, а также вышеперечисленные аспекты, противоречащие использованию шин гражданского назначения на автомобилях класса «Формула Студент», стоит отметить, что у данной команды гораздо больше шансов добиться достаточного сцепления с дорожным покрытием при идеальных условиях. По факту проблема все так же остается, однако не стоит забывать, что бюджет каждой команды, участвующей в соревнованиях «Формула Студент» разный, и бюджет данной команды, возможно, ограничивает команду в покупке дорогостоящих

гоночных шин, специализированных для болидов класса «Формула Студент» [26].

На рисунке 3 можно увидеть 13-дюймовый диск с гоночной шиной «Hoosier» от немецкого производителя, специализированные для данного класса автомобилей.

Рисунок 3 – Специализированные шины «Hoosier» 13 дюймов

На рисунке 3 можно увидеть 13-дюймовые шины «Hoosier» от немецкого производителя. Данные шины были специально разработаны для соревнований «Формула Студент». Конкретно данная модель имеет диагональное строение корда, а также достаточно высокий коэффициент сцепления, около 1,4. Данные шины пользуются большой популярностью у команд «Формула Студент», использующих 13-дюймовые диски. Преимуществом именно данных шин, в строении корда, а также в хорошей износостойкости. За счет диагонального корда данные шины имеют достаточно прочные и жесткие боковые поверхности шин, что позволяет иметь меньшую боковую деформацию шин, а также уменьшить угол увода при больших боковых ускорениях. Что касается износостойкости, то данные шины могут прослужить от 2 до 3 сезонов без замены, что позволяет команде хорошо экономить деньги на покупке новых комплектов шин.

Что касается в принципе 13-дюймовых колес, то использование таких колес имеет ряд недостатков и преимуществ.

К преимуществам 13-дюймовых колес в соревнованиях «Формула Студент» является:

– возможность удобной компоновки элементов подвески, а также тормозной системы внутри колесного диска, что позволяет команде провести более тонкую оптимизацию подвески на этапе проектирования;

– больше пятно контакта с дорожным покрытием, что позволяет достигать лучшего сцепления с дорожным покрытием;

– у команд, использующих 13-дюймовые колеса чаще всего нет проблем с клиренсом, который строго регулируется регламентом соревнований.

Что касается недостатков, то ниже описаны негативных моменты использования 13-дюймовых колес:

– по сравнению с 10-дюймовыми колесами, данные колеса имеют большую массу, а соответственно и момент инерции. В свою очередь иметь

большую неподрессоренную массу может привести к ухудшению управляемости и стабильности контакта с дорожным покрытием;

– ухудшение ускорения за счет большого диаметра и массы колес в сборе.

На рисунке 4 можно также увидеть 13-дюймовые колеса, однако данная команда использует шины не «Hoosier», а «Continental». Стоит отметить, что у различных производителей различное качество производства, различные свойства шин, а также различные показатели.

Рисунок 4 – Специализированные шины «Continental» 13 дюймов

В отличие от предыдущих шин модели «Hoosier», данные шины имеют более низкий профиль, а также радиальное строение корда. В свою очередь радиальное строение корда повышает продольную жесткость шин в то время, как поперечная жесткость снижается [21]. Если сравнивать радиальный и диагональный корд с точки зрения эффективности, то скорее всего не получится найти однозначного мнения на этот счет. Если шины с диагональным кордом более эффективны при совершении маневров с боковым ускорением, то шины с радиальным кордом обеспечивают эффективную работу шин при прямолинейном разгоне и движении, поэтому каждая команда решает для себя, какие шины необходимо использовать.

Что касается низкого профиля, то стоит отметить, что низкий профиль делает шины более жесткими и в боковом и продольном направлении, что в свою очередь может снизить сцепление шин с дорожным покрытием, в отличии от более мягких шин, однако при использовании прижимной аэродинамической силы можно нивелировать данный минус.

Кроме того, стоит отметить, что по сравнении с раннее описанными шинами «Hoosier», данные шины «Continental» имеют достаточно низкую массу, что хорошо отразится на управляемости автомобиля.

Также за счет своей жесткости, данные шины также имеют хорошую износостойкость и могут прослужить команде минимум 3 сезона, что также является огромным плюсом для многих команд, потому что гоночные шины для болидов «Формула Студент» стоят достаточно дорого.

На рисунке 5 можно увидеть гоночный болид класса «Формула Студент», оснащенный 10-дюймовыми колесами. 10-дюймовые колеса также очень распространены среди команд, участвующих в соревнованиях «Формула Студент» [10].

Рисунок 5 – Гоночный болид класса «Формула Студент», оснащенный 10-дюймовыми колесами

Данные шины модели «Hoosier» имеют приблизительно похожие параметры, как и 13-дюймовые аналоги.

Что касается в принципе 10-дюймовых колес, то использование таких колес имеет ряд недостатков и преимуществ [7].

К преимуществам 10-дюймовых колес в соревнованиях «Формула Студент» является:

– снижение неподрессоренной массы за счет уменьшения размера колес, а также элементов подвески и тормозной системы внутри колесного диска, что в свою очередь положительно влияет на управляемость и стабильность автомобиля;

– улучшенное ускорение за счет маленького общего диаметра колеса, а также за счет низкой массы;

– снижение общей массы гоночного болида класса «Формула Студент, при условии использования легких колесных дисков можно сэкономить около 10 кг за счет шин, колесных дисков, компактных элементов подвески, компактной тормозной системы.

Что касается недостатков, то ниже описаны негативных моменты использования 10-дюймовых колес:

– по сравнению с 13-дюймовыми колесами, компоновать данные колесные диски достаточно сложно, за счет чего элементы подвески и тормозной системы должны быть компактными, что в свою очередь может сказаться на эффективности кинематической схемы подвески, а также на эффективности тормозной системы;

– меньшее пятно контакта с дорожным покрытием по сравнению с 13-дюймовыми колесами.

На 6 рисунке представлено изображение с гоночным болидом класса «Формула Студент», на котором используются 10-дюймовые колесные диски в связке с 10-дюймовыми шинами «Good Year». Стоит отметить, что данные шины являются одной из менее популярных моделей, но не из-за своих характеристик, а из-за высокой стоимости самих шин и доставки из Америки.

Рисунок 6 – Гоночный болид класса «Формула Студент», оснащенный 10-дюймовыми колесами «Good Year»

Данные шины имеют достаточно хорошие сцепные характеристики, однако недостатком данный шин является их плохая износостойкость, а также высокая цена и сложность транспортировки, как это уже было отмечено ранее. Данные шины действительно имеют повышенный коэффициент сцепления, что привлекает достаточно много команд, однако за счет того, что данных шин хватает лишь на один сезон, при их высокой стоимости очень малое количество студенческих команд могут позволить себе приобретение таких шин [24].

Кстати, что касается сцепных характеристик данных шин, то на изображении можно увидеть, что данный состав имеет достаточно хорошую липкость, а также можно увидеть очень мягкий деформированный от

температуры слой резины. Для того, чтобы перед гонкой возвратить свойства шин, обычно команды срезают небольшой слой резины.

На рисунке 7 представлены самодельные шины одной из немецкой команд «Формула Студент».

Рисунок 7 – Самодельные шины одной из немецкой команд «Формула Студент»

На рисунке 7 можно увидеть полностью разработанный и изготовленный колесный модуль.

Можно заметить, что команда использует самодельные 8-дюймовые колеса собственного производства.

Данная конструкция является интересной и необычной по нескольким причинам:

– шины разработаны и изготовлены самостоятельно студентами университета. Данные шины имеют радиальное строение корда, а также очень низкий профиль при условии, что данные шины имеют размерность 8 дюймов;

– колесные диски также размерностью 8 дюймов изготовленные из углеродного волокна, что делает эти колесные диски очень прочными, а самое главное очень легкими;

– тормозная система очень грамотно скомпонована в столь маленькие колесные диски, а именно, можно заметить, что тормозные диски прикручены к основным колесным дискам, что экономит пространство внутри колеса, сохраняет размер тормозных дисков достаточно большим, а также не несет вреда шинам, так как диски из углеродного волокна имеют плохую теплопроводность в отличии от металлических колесных дисков;

– ступица и тормозной суппорт изготовлены командой также самостоятельно из алюминиевого сплава при помощи фрезерного станка с ЧПУ, и имеют достаточно маленький вес.

Можно отметить, что команда имеет довольно хорошие производственные и финансовые возможности, которые позволяют им разработать и произвести такой высокотехнологичный узел. Стоит отметить, что неподрессоренная масса данного автомобиля достаточно низкая, что дает автомобилю большое преимущество перед конкурентами [1].

Выводы по разделу

В данном разделе был рассмотрен основной регламент соревнований «Формула Студент», а также выявлены пункты регламента, относящиеся к шинам гоночного болида. Также был проведен сравнительный анализ колесных дисков и шин, используемых зарубежными командами, участвующих в соревнованиях «Формула Студент».

2 Теоретические аспекты, влияющие на эффективность работы шин гоночного автомобиля

Автомобильные шины играют ключевую роль в обеспечении безопасности, комфорта и производительности транспортного средства. Они являются единственным контактом автомобиля с дорогой, и их функции выходят далеко за пределы простого обеспечения движения. Основная задача шин заключается в передаче усилий от двигателя на дорогу, что позволяет автомобилю двигаться, тормозить и поворачивать. Однако это лишь одна из множества функций, которые выполняют шины [19].

Во-первых, шины обеспечивают сцепление с дорожным покрытием. Это сцепление критически важно для безопасного управления автомобилем, особенно в условиях плохой погоды или на сложных участках дороги. Различные типы протекторов на шинах разработаны для оптимизации сцепления в различных условиях – от сухих и ровных до мокрых и скользких. Например, шины с глубокими канавками лучше отводят воду и уменьшают риск аквапланирования, что особенно важно при движении по дождливым дорогам [20].

Во-вторых, шины играют важную роль в амортизации. Они поглощают удары и вибрации, возникающие при движении по неровной поверхности, что обеспечивает комфорт водителя и пассажиров. Это достигается благодаря эластичности резины и конструкции шины, которая позволяет ей деформироваться под нагрузкой. Хорошо подобранные шины могут значительно улучшить качество езды и снизить утомляемость водителя.

Третья функция шин заключается в поддержании стабильности автомобиля на дороге. Правильный выбор шин влияет на управляемость транспортного средства, особенно при маневрировании на высоких скоростях или в поворотах. Шины должны обеспечивать равномерное распределение нагрузки по всей поверхности контакта с дорогой, что помогает предотвратить излишнее износ и повышает устойчивость

автомобиля.

Кроме того, шины влияют на тормозные характеристики автомобиля. Эффективность торможения зависит от качества сцепления между шинами и дорогой. Шины с хорошими характеристиками сцепления позволяют автомобилю останавливаться быстрее и безопаснее, что особенно важно в экстренных ситуациях [11].

Шины также имеют значение для экономии топлива. Сопротивление качению – это сила, которая противодействует движению автомобиля из-за деформации шин при их вращении. Шины с низким сопротивлением качению могут помочь снизить расход топлива, что делает автомобиль более экономичным и экологически чистым.

Наконец, стоит отметить важность правильного ухода за шинами. Регулярная проверка давления, балансировка колес и ротация шин помогают продлить срок службы шин и обеспечить их оптимальную работу. Неправильное давление или неравномерный износ могут привести к ухудшению характеристик сцепления и управляемости автомобиля.

Автомобильные шины выполняют множество функций – от обеспечения сцепления с дорогой до амортизации ударов и влияния на экономию топлива. Их правильный выбор и обслуживание имеют решающее значение для безопасности и комфорта при эксплуатации транспортного средства.

Конструкция автомобильных шин представляет собой сложную систему, состоящую из нескольких ключевых элементов, каждый из которых выполняет свою уникальную функцию. Основные компоненты шины включают каркас, протектор, боковину, стальные корды и резиновую смесь. Эти элементы работают вместе, обеспечивая шине необходимые характеристики для безопасного и эффективного движения.

Первым и одним из самых важных элементов является каркас шины. Он состоит из слоев текстильных или стальных кордов, которые обеспечивают прочность и устойчивость конструкции. Каркас отвечает за

формирование общей структуры шины и поддерживает ее форму под нагрузкой. В зависимости от типа шины (например, легковая, грузовая или спортивная) могут использоваться различные материалы для каркаса – от нейлона до полиэстера или стальных волокон. Стальные корды обычно используются в более высокопроизводительных шинах для повышения прочности и жесткости.

Следующим важным элементом является протектор – наружная часть шины, которая непосредственно контактирует с дорогой. Протектор имеет сложный рисунок, который разрабатывается с учетом различных условий эксплуатации. Он отвечает за сцепление с дорожным покрытием, отвод воды (в случае дождя) и обеспечивает устойчивость автомобиля при маневрировании [27]. Рисунок протектора может варьироваться в зависимости от назначения шины: для зимних шин характерны глубокие канавки и шипы для лучшего сцепления на льду и снегу, тогда как летние шины имеют более гладкий рисунок для оптимизации сцепления на сухих дорогах.

Боковина – это боковая часть шины, которая защищает каркас от механических повреждений и внешних воздействий. Она также играет важную роль в амортизации ударов при движении по неровной поверхности. Боковина должна быть достаточно прочной, чтобы выдерживать нагрузки при поворотах и торможении, но в то же время гибкой для обеспечения комфорта при езде.

Резиновая смесь – это материал, из которого изготовлены как протектор, так и боковина шины. Состав резиновой смеси может варьироваться в зависимости от назначения шины и условий эксплуатации. Например, зимние шины содержат добавки, которые улучшают эластичность при низких температурах, а летние шины могут иметь более жесткую смесь для повышения износостойкости на горячих дорогах. Правильный выбор резиновой смеси критически важен для достижения оптимальных характеристик сцепления и долговечности.

Кроме того, в конструкции шин могут использоваться дополнительные элементы, такие как усилительные слои (например, из стальных или текстильных кордов), которые повышают прочность конструкции и устойчивость к проколам. Эти слои могут располагаться под протектором или в боковине.

На рисунке 8 можно увидеть конструкцию шины.

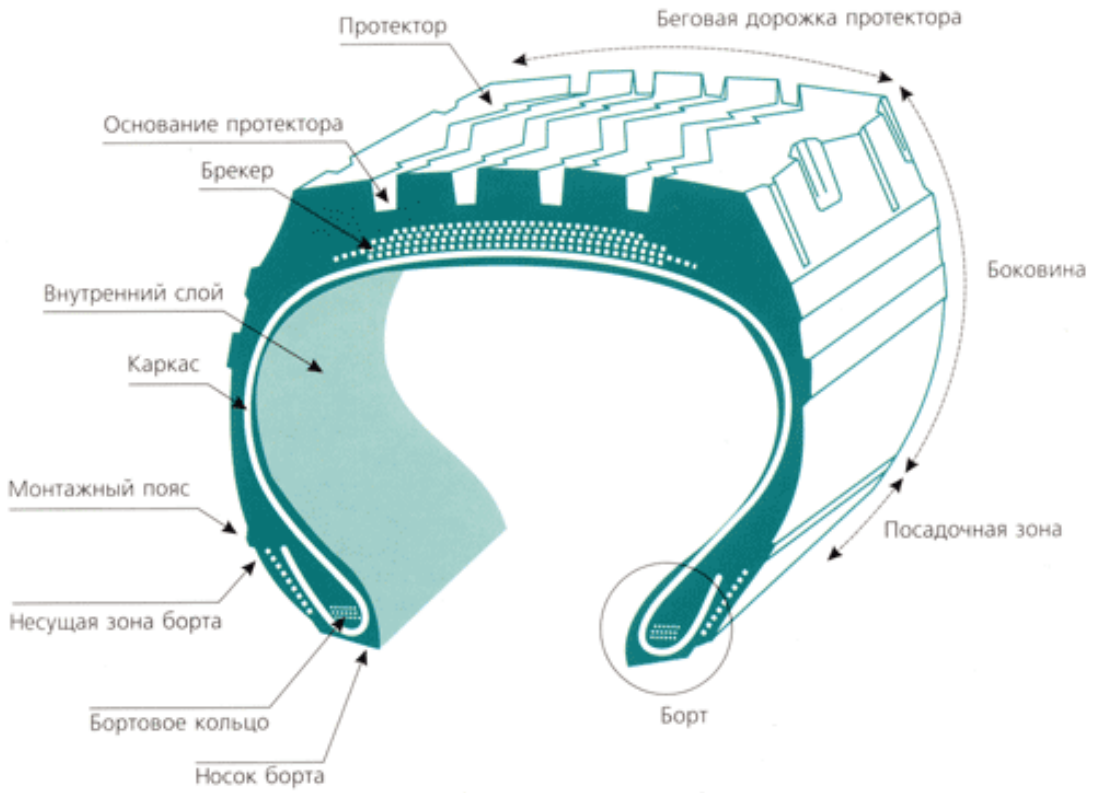


Рисунок 8 – Конструкция автомобильной шины

Стоит отметить, что конструкция автомобильных шин представляет собой сложное сочетание различных элементов – каркаса, протектора, боковины и резиновой смеси – каждый из которых выполняет свою функцию для обеспечения безопасности, комфорта и производительности транспортного средства. Правильное сочетание этих компонентов позволяет создавать шины с уникальными характеристиками для различных условий

эксплуатации и типов автомобилей.

Автомобильные шины можно классифицировать по различным критериям, включая назначение, конструкцию, тип протектора и условия эксплуатации. Основные категории шин включают гражданские, гоночные, грузовые, внедорожные и зимние шины, каждая из которых имеет свои особенности и предназначение.

Гражданские шины, также известные как легковые шины, предназначены для использования на обычных легковых автомобилях. Они обеспечивают комфортную езду и хорошее сцепление на различных дорожных покрытиях. Гражданские шины могут быть разделены на летние и зимние. Летние шины имеют более жесткую резиновую смесь и оптимизированный рисунок протектора для обеспечения лучшего сцепления на сухих и мокрых дорогах в теплое время года. Зимние шины, в свою очередь, разработаны для эксплуатации в холодных условиях и имеют более мягкую резиновую смесь с глубокими канавками и шипами для улучшения сцепления на снегу и льду.

Гоночные шины предназначены для использования в автоспорте и имеют особые характеристики, которые позволяют достигать высоких скоростей и обеспечивать отличное сцепление на трассе. Эти шины часто изготавливаются из специальных резинок с высокой эластичностью и имеют минимальный протектор или его отсутствие для снижения сопротивления качению. Гоночные шины могут быть как дождевыми (для использования в условиях дождя), так и сухими (для гонок на сухом асфальте). Они требуют тщательного выбора в зависимости от типа гонки и условий трассы.

Грузовые шины предназначены для коммерческих транспортных средств, таких как грузовики и фургоны. Эти шины должны выдерживать большие нагрузки и обеспечивать долговечность при длительной эксплуатации. Грузовые шины обычно имеют более жесткую конструкцию и глубокий протектор для повышения сцепления с дорогой при перевозке тяжелых грузов. Они также могут быть разделены на различные

подкатегории в зависимости от назначения – например, для междугородних перевозок или для городских условий.

Внедорожные шины разработаны специально для использования на сложных поверхностях, таких как грязь, песок или камни. Они имеют агрессивный рисунок протектора с большими выступами, что позволяет им эффективно справляться с неровностями дороги и обеспечивать хорошее сцепление в условиях бездорожья. Внедорожные шины часто используются на внедорожниках и пикапах.

Кроме того, существуют специальные типы шин, такие как всесезонные шины, которые предлагают компромисс между летними и зимними характеристиками. Они могут использоваться в различных климатических условиях, но не всегда обеспечивают оптимальные характеристики по сравнению с специализированными летними или зимними шинами.

Также стоит упомянуть о спортивных шинах, которые предназначены для автомобилей с высокой производительностью. Эти шины обеспечивают отличное сцепление при высоких скоростях и маневрах благодаря специальным составам резины и конструкциям.

Можно сказать, что выбор типа автомобильной шины зависит от множества факторов: назначения автомобиля, условий эксплуатации и предпочтений водителя. Каждая категория шин имеет свои уникальные характеристики, которые позволяют обеспечить безопасность, комфорт и производительность транспортного средства в различных ситуациях. Правильный выбор шин является ключевым аспектом для достижения оптимальных результатов при эксплуатации автомобиля.

Отличия гоночных шин от гражданских заключаются в их конструкции, материалах, характеристиках производительности и предназначении. Гоночные шины разрабатываются с акцентом на максимальную производительность, сцепление и управляемость в условиях высоких скоростей, тогда как гражданские шины ориентированы на комфорт,

долговечность и безопасность при повседневной эксплуатации [5].

Первое и наиболее заметное отличие заключается в составе резиновой смеси. Гоночные шины изготавливаются из специальных высокоэластичных компаундов, которые обеспечивают отличное сцепление с дорогой при высоких температурах. Эти смеси могут иметь более мягкую структуру, что позволяет шинам лучше «прилипать» к поверхности трассы. В то же время гражданские шины используют более универсальные резиновые смеси, которые обеспечивают баланс между сцеплением и износостойкостью для различных условий эксплуатации [6].

Второе отличие связано с конструкцией протектора. Гоночные шины часто имеют минимальный или даже отсутствующий протектор (в случае сухих гоночных шин), что снижает сопротивление качению и увеличивает контактную площадь с дорогой. Это позволяет достичь максимального сцепления на гладкой поверхности трассы. Гражданские шины, напротив, имеют более сложный рисунок протектора с глубокими канавками для эффективного отвода воды и обеспечения сцепления на мокрой дороге. Такой дизайн помогает предотвратить аквапланирование и обеспечивает безопасность при повседневной езде.

Третье отличие касается температуры работы шин. Гоночные шины предназначены для работы в узком диапазоне температур, который достигается за счет интенсивного нагрева во время гонки. Они требуют предварительного прогрева для достижения оптимальных характеристик сцепления. Гражданские шины же должны быть эффективными в более широком диапазоне температур и условиях – от холодной зимы до жаркого лета.

На рисунке 9 можно увидеть разницу гражданской шины и гоночной.

Рисунок 9 – Гражданская и гоночная шина

Кроме того, гоночные шины имеют более жесткую конструкцию, что позволяет им выдерживать большие боковые нагрузки при маневрировании на высокой скорости. Это достигается за счет использования стальных кордов и специальных технологий производства [18]. Гражданские шины должны быть более гибкими для обеспечения комфорта при езде по неровным дорогам и для амортизации ударов.

Также стоит отметить различия в сроке службы. Гоночные шины обычно имеют короткий срок службы из-за интенсивного износа во время гонок; они могут потребовать замены после нескольких заездов или даже одного мероприятия. Гражданские шины спроектированы так, чтобы служить долго и обеспечивать надежность на протяжении многих тысяч километров пробега.

Можно сказать, что гоночные шины и гражданские шины предназначены для совершенно разных условий эксплуатации и имеют свои уникальные характеристики. Гоночные шины фокусируются на максимальной производительности, сцеплении и управляемости в условиях гонок, тогда как гражданские шины ориентированы на комфорт, безопасность и долговечность в повседневной эксплуатации автомобиля. Правильный выбор между этими типами шин зависит от целей использования автомобиля: для спортивных соревнований или для обычной городской езды.

Разность разного строения корда автомобильной шины заключается в материалах, способах плетения и ориентации кордовых нитей, что существенно влияет на эксплуатационные характеристики шины. Корд – это каркасный слой шины, состоящий из множества нитей, которые придают ей прочность, устойчивость к деформациям и обеспечивают сохранение формы при нагрузках.

В зависимости от типа корда, его материала (чаще всего это стальная проволока, нейлон, полиэстер или кевлар), а также угла расположения нитей относительно оси шины, меняются такие параметры, как жесткость боковин, сопротивление проколам, износостойкость и управляемость.

Например, радиальный корд характеризуется тем, что нити располагаются перпендикулярно направлению движения шины (радиально), что обеспечивает лучшую гибкость боковин и улучшает сцепление с дорогой за счет равномерного распределения давления по пятну контакта. Такой тип корда способствует снижению сопротивления качению и повышению комфорта при езде.

В то же время диагональный или крест-накрест расположенный корд имеет нити под углом к оси шины (обычно 30–40 градусов), что делает каркас более жестким и устойчивым к боковым нагрузкам, но снижает гибкость боковин и может увеличить нагрев при движении на высоких скоростях [22]. Кроме того, многослойные конструкции с комбинированным

расположением нитей позволяют оптимизировать баланс между прочностью и эластичностью. Таким образом, разность в строении корда определяет ключевые характеристики шины – от ее долговечности и безопасности до комфорта и экономичности эксплуатации. Выбор конкретного типа корда зависит от назначения автомобиля, условий эксплуатации и требований к характеристикам шин [23].

На рисунке 10 можно увидеть разное строение корда автомобильной шины.

Рисунок 10 – Разное строение корда автомобильной шины

Гистерезис автомобильной шины – это явление внутреннего трения и потерь энергии, возникающее при деформации резиновой смеси и каркасных материалов шины в процессе её контакта с дорожным покрытием. Когда шина катится по дороге, её контактная зона постоянно деформируется: резина сжимается и растягивается, принимая форму неровностей поверхности [28]. При этом часть механической энергии, затраченной на

деформацию, не возвращается обратно полностью, а рассеивается в виде тепла – это и есть гистерезисные потери. Гистерезис обусловлен вязкоупругими свойствами резиновой смеси, из которой изготовлена шина, а также структурой корда и других слоев каркаса.

Влияние гистерезиса на сцепление шины с дорогой является двояким. С одной стороны, благодаря гистерезису резина способна адаптироваться к микронеровностям дорожного покрытия, обеспечивая лучшее сцепление за счёт увеличения площади контакта и улучшенного «прилипания» к поверхности. Это особенно важно на скользких или неровных дорогах, где механическое сцепление играет ключевую роль.

На рисунке 11 можно увидеть, как выглядит графически гистерезис автомобильной шины.

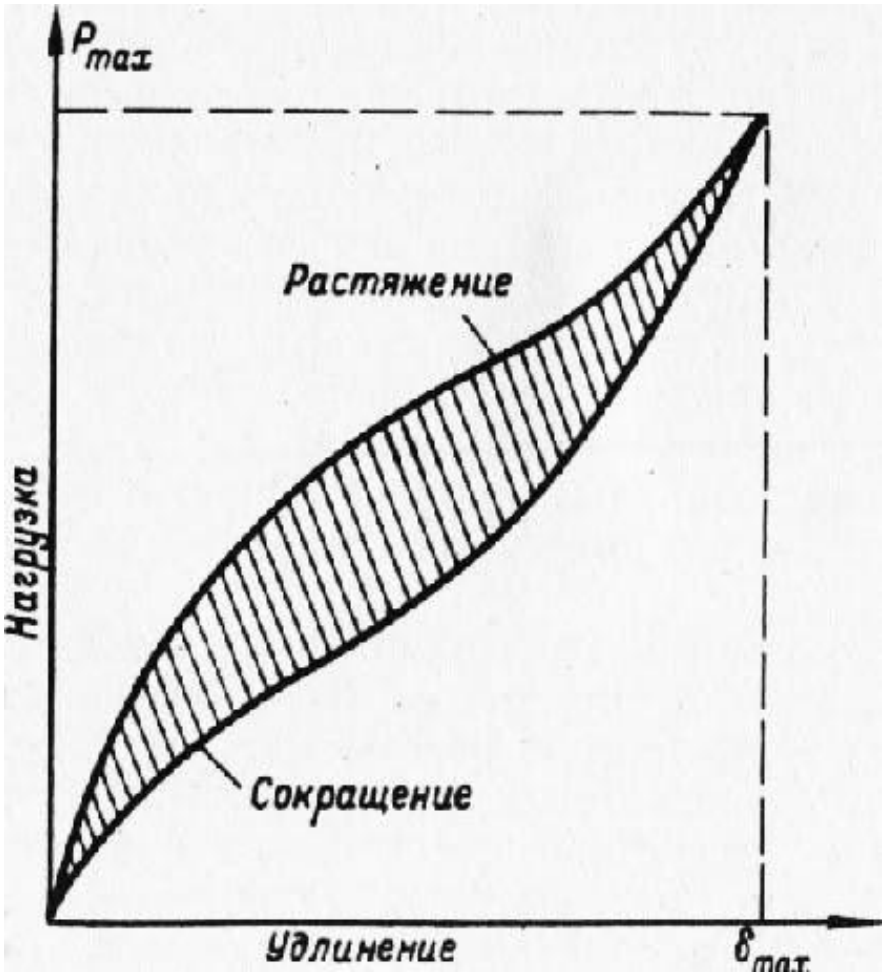


Рисунок 11 – Гистерезис автомобильной шины

С другой стороны, чрезмерные гистерезисные потери приводят к повышенному нагреву шины, что может ухудшать её свойства – резина становится более мягкой или наоборот теряет эластичность, что снижает эффективность сцепления и увеличивает износ.

Кроме того, высокий гистерезис увеличивает сопротивление качению шины, что негативно сказывается на топливной экономичности автомобиля. Таким образом, оптимальный уровень гистерезиса является важным параметром при разработке шин: он должен быть достаточным для обеспечения хорошего сцепления и безопасности движения, но не слишком высоким, чтобы избежать излишних тепловых потерь и преждевременного износа. Производители шин подбирают состав резиновой смеси и конструкцию корда таким образом, чтобы сбалансировать эти характеристики в зависимости от условий эксплуатации и назначения шины.

Адгезия автомобильной шины – это сила сцепления между резиной шины и дорожным покрытием, которая возникает благодаря молекулярным взаимодействиям между поверхностями. Этот процесс включает в себя как механические, так и химические аспекты. Механическая адгезия связана с тем, что резина шины, обладая определенной эластичностью и вязкостью, способна заполнять микронеровности и поры поверхности дороги, создавая тем самым большую площадь контакта. Чем больше площадь контакта, тем выше сила сцепления. Химическая адгезия происходит за счет взаимодействия молекул резины с молекулами материала дорожного покрытия, что также способствует увеличению сцепления [2].

Адгезия играет ключевую роль в обеспечении безопасности и управляемости автомобиля. Высокий уровень адгезии позволяет шине эффективно передавать усилия от торможения и ускорения на дорогу, а также обеспечивает стабильность при поворотах. Это особенно важно в условиях плохой погоды, таких как дождь или снег, когда сцепление может значительно снижаться. Например, на мокрой дороге адгезия может уменьшаться из-за образования водяной пленки между шиной и

поверхностью, что приводит к аквапланированию – потере сцепления.

Факторы, влияющие на адгезию шины, включают состав резиновой смеси, рисунок протектора и состояние дорожного покрытия. Резина с высоким содержанием силики или других специальных добавок может улучшать адгезию на мокрой дороге за счет повышения сцепляющих свойств. Рисунок протектора также играет важную роль: глубокие канавки помогают отводить воду из-под пятна контакта, уменьшая риск аквапланирования и улучшая сцепление.

На рисунке 12 можно увидеть принцип работы такого явления автомобильной шины, как адгезия.

Рисунок 12 – Принцип работы адгезии автомобильной шины

Таким образом, адгезия является критически важным параметром для обеспечения безопасного движения автомобиля. Производители шин стремятся оптимизировать состав резиновой смеси и дизайн протектора для достижения максимальной адгезии в различных условиях эксплуатации. Это позволяет обеспечить надежное сцепление с дорогой, что напрямую влияет на управляемость автомобиля и его тормозные характеристики.

Зависимость сцепления автомобильной шины от вертикальной нагрузки является важным аспектом, который влияет на безопасность и управляемость автомобиля. Вертикальная нагрузка – это сила, действующая на шину в направлении, перпендикулярном к поверхности дороги, и она определяется весом автомобиля, распределением массы и динамическими факторами, такими как ускорение, торможение и повороты. При увеличении вертикальной нагрузки площадь контакта шины с дорогой может увеличиваться, что в свою очередь способствует улучшению сцепления. Это происходит потому, что большая нагрузка приводит к более глубокому проникновению резины в микронеровности дорожного покрытия, что усиливает механическую адгезию.

Однако зависимость сцепления от вертикальной нагрузки не является линейной. На определенном уровне нагрузки сцепление начинает достигать своего максимума, после чего дальнейшее увеличение вертикальной нагрузки может привести к снижению сцепления. Это связано с тем, что при чрезмерной нагрузке шина может терять свою эластичность и способность адаптироваться к неровностям дороги. В результате резина становится менее способной «прилипать» к поверхности, что может привести к ухудшению сцепления и увеличению риска скольжения.

Кроме того, влияние вертикальной нагрузки на сцепление также зависит от состояния дорожного покрытия и характеристик самой шины. Например, на мокрой или скользкой дороге увеличение вертикальной нагрузки может не всегда приводить к улучшению сцепления из-за образования водяной пленки между шиной и дорогой. В таких условиях оптимальное распределение веса между осями автомобиля становится критически важным для обеспечения максимального сцепления.

Также стоит отметить, что разные типы шин могут по-разному реагировать на изменения вертикальной нагрузки. Спортивные шины с жестким каркасом могут сохранять хорошее сцепление при высоких нагрузках благодаря своей конструкции, тогда как обычные легковые шины

могут демонстрировать более выраженное снижение сцепления при перегрузке.

Зависимость сцепления автомобильной шины от вертикальной нагрузки является сложным взаимодействием множества факторов. Оптимизация этого параметра требует тщательного учета характеристик автомобиля, условий эксплуатации и типа используемых шин для обеспечения безопасного и эффективного движения.

Зависимость сцепления автомобильной шины от температуры является важным аспектом, который существенно влияет на характеристики управления автомобилем и безопасность движения. Температура шины изменяется в процессе эксплуатации в результате трения между шиной и дорожным покрытием, а также из-за внутреннего нагрева, вызванного деформацией резины при движении. При повышении температуры шины ее физические свойства, такие как эластичность и жесткость, изменяются, что непосредственно сказывается на уровне сцепления.

При оптимальной температуре резина становится более эластичной и способной лучше адаптироваться к неровностям дорожного покрытия. Это улучшает механическую адгезию, так как шина может глубже проникать в микронеровности поверхности дороги, увеличивая площадь контакта. В результате сцепление улучшается, что позволяет автомобилю более эффективно передавать усилия от торможения и ускорения на дорогу. Например, спортивные шины разработаны с учетом работы при высоких температурах и обеспечивают отличное сцепление на трассе благодаря своей способности сохранять оптимальные характеристики при нагреве [17].

Однако при слишком высоких температурах резина может начать терять свои свойства. Слишком высокая температура приводит к перегреву шины, что может вызвать ее деградацию и ухудшение сцепления. Резина становится менее стабильной, что может привести к потере адгезии и увеличению риска аквапланирования на мокрой дороге. Кроме того, перегрев может привести к преждевременному износу шины и даже к ее повреждению

или разрыву.

С другой стороны, низкие температуры также негативно влияют на сцепление. При низких температурах резина становится жесткой и менее эластичной, что снижает ее способность адаптироваться к поверхности дороги. Это может привести к ухудшению сцепления, особенно на скользких или обледенелых участках дороги. В таких условиях шины могут терять сцепление даже при небольших скоростях.

Зависимость сцепления автомобильной шины от температуры является критически важным фактором для обеспечения безопасности и управляемости автомобиля. Производители шин разрабатывают специальные составы резиновых смесей для различных температурных режимов эксплуатации – от зимних шин с хорошими характеристиками при низких температурах до летних шин, оптимизированных для работы в теплую погоду. Правильный выбор шин в зависимости от условий эксплуатации и поддержание их в надлежащем состоянии помогают обеспечить максимальное сцепление и безопасность на дороге.

Пятно контакта шины с дорогой – это область, в которой шина соприкасается с дорожным покрытием, и оно играет критически важную роль в обеспечении сцепления, управляемости и безопасности автомобиля. Размер и форма пятна контакта напрямую влияют на характеристики сцепления, поскольку именно в этой зоне происходит взаимодействие между резиной шины и поверхностью дороги. Чем больше площадь пятна контакта, тем лучше шина может передавать усилия от торможения, ускорения и поворотов на дорогу. Это особенно важно в условиях плохой погоды или на неровных покрытиях, где адгезия может быть снижена.

Форма и размер пятна контакта могут изменяться в зависимости от различных факторов, включая давление в шинах, нагрузку на автомобиль и угол развала колес. Развал – это угол наклона колес относительно вертикали при взгляде спереди или сзади автомобиля. Правильный угол развала обеспечивает оптимальное распределение нагрузки на шины и

максимизирует площадь пятна контакта. Если развал колес установлен неправильно, это может привести к неравномерному износу шин и ухудшению сцепления.

При положительном развале (когда верхняя часть колеса наклонена внутрь) площадь пятна контакта может уменьшаться, особенно при поворотах. Это происходит потому, что при таком угле наклона внешняя сторона шины теряет часть своей площади контакта с дорогой, что может привести к снижению сцепления и ухудшению управляемости. В результате автомобиль может стать менее устойчивым в поворотах, увеличивая риск скольжения.

На рисунке 13 можно увидеть зависимость пятна контакта от угла развала колес.

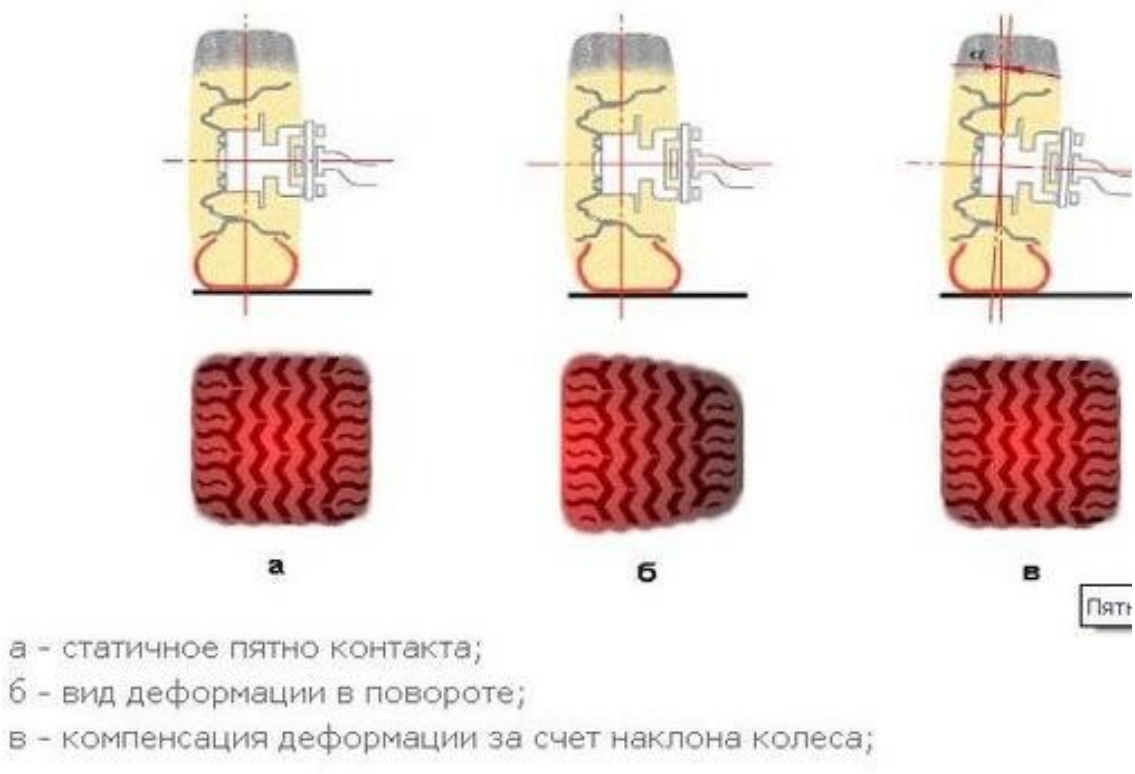


Рисунок 13 – Зависимость пятна контакта от угла развала колес

С другой стороны, при отрицательном развале (когда верхняя часть

колеса наклонена наружу) площадь пятна контакта может увеличиваться на внешней стороне шины во время поворота. Однако слишком большой отрицательный развал также может привести к неравномерному износу шин и снижению сцепления на прямых участках дороги.

Кроме того, изменение пятна контакта также зависит от динамических условий движения. При ускорении или торможении нагрузка на передние или задние колеса изменяется, что также влияет на форму и размер пятна контакта. Например, при резком торможении передние колеса испытывают большую нагрузку, что может увеличить площадь их пятна контакта и улучшить сцепление в этот момент [12].

Важность пятна контакта шины с дорогой нельзя недооценивать. Оно является ключевым элементом для обеспечения безопасного движения автомобиля. Правильная настройка углов установки колес, включая развал, а также поддержание оптимального давления в шинах способствуют максимизации площади пятна контакта и улучшению сцепления с дорогой. Это позволяет обеспечить надежное управление автомобилем в различных условиях эксплуатации и минимизировать риск аварийных ситуаций.

Шины слик, полуслик и дождевые шины предназначены для различных условий эксплуатации и имеют свои уникальные характеристики, которые влияют на сцепление, управляемость и производительность автомобиля. Основное отличие между этими типами шин заключается в их конструкции, рисунке протектора и предназначении.

Слики – это шины, которые не имеют протектора или имеют его минимальное количество. Они разработаны для использования на сухих трассах, где максимальное сцепление с дорогой является критически важным. Поскольку у сликов отсутствует протектор, они обеспечивают максимальную площадь контакта с дорожным покрытием, что позволяет резине лучше «прилипать» к поверхности. Это особенно важно в автоспорте, где высокая скорость и резкие маневры требуют отличного сцепления. Слики обычно используются на гоночных трассах в условиях сухой погоды, так как

их эффективность значительно снижается на мокрой дороге из-за отсутствия канавок для отвода воды.

Полуслики представляют собой промежуточный вариант между сликами и дождевыми шинами. Они имеют ограниченное количество канавок или прорезей в протекторе, что позволяет им сохранять хорошее сцепление на сухом асфальте, но при этом обеспечивать некоторую степень водоотведения. Полуслики могут использоваться в условиях переменной погоды или на трассах с небольшими лужами воды. Они обеспечивают более универсальные характеристики по сравнению со сликами, но все же не так эффективны на мокрой дороге, как дождевые шины.

На рисунке 1114 можно увидеть визуальную разницу автомобильных гоночных шин слик и полуслик.

Рисунок 14 – Визуальное различие автомобильных гоночных шин слик, а также полуслик

Дождевые шины специально разработаны для работы в условиях дождя и мокрой дороги. Они имеют глубокий и агрессивный рисунок протектора с множеством канавок и прорезей, которые эффективно отводят воду из-под пятна контакта. Это помогает предотвратить аквапланирование – ситуацию,

когда шина теряет контакт с дорогой из-за образования водяной пленки между шиной и поверхностью. Дождевые шины обеспечивают хорошее сцепление на мокром асфальте благодаря своей способности быстро отводить воду и поддерживать контакт с дорогой. Однако их эффективность на сухом покрытии может быть ниже по сравнению со сликами или полусликами из-за меньшей площади контакта.

Выбор между сликами, полусликами и дождевыми шинами зависит от условий эксплуатации и требований к производительности автомобиля. Слики обеспечивают максимальное сцепление на сухих трассах, полуслики предлагают универсальность для переменных условий погоды, а дождевые шины гарантируют безопасность и управляемость на мокрой дороге. Правильный выбор шин в зависимости от погодных условий и типа гонки или соревнования является ключевым фактором для достижения оптимальных результатов и обеспечения безопасности на трассе.

Гоночные шины Формулы-1 и обычные спортивные шины имеют значительные отличия, обусловленные их предназначением, конструкцией и технологическими характеристиками. Основное различие заключается в том, что шины Формулы-1 разрабатываются для экстремальных условий гонок на высоких скоростях, в то время как спортивные шины предназначены для использования на обычных дорогах и в менее жестких условиях.

Во-первых, состав резины гоночных шин Формулы-1 отличается от состава обычных спортивных шин. Шины F1 используют специальные компаунды, которые обеспечивают максимальное сцепление при высоких температурах. Эти компаунды разрабатываются с учетом специфических требований к производительности и могут быть настроены для различных условий трассы. Например, в зависимости от температуры и состояния дорожного покрытия команды могут выбирать между мягкими, средними и жесткими шинами, каждая из которых имеет свои характеристики сцепления и износа. В то время как спортивные шины также могут иметь разные составы, они не достигают таких же уровней производительности и не

предназначены для работы в столь узком диапазоне температур.

Во-вторых, конструкция гоночных шин Формулы-1 значительно отличается от конструкции обычных спортивных шин. Шины F1 имеют более тонкие боковины и более жесткую конструкцию, что позволяет им выдерживать высокие нагрузки при резких маневрах на трассе. Это обеспечивает лучшую управляемость и стабильность на высоких скоростях. Обычные спортивные шины, напротив, разработаны с учетом комфорта и долговечности для повседневного использования, что делает их менее жесткими и более подходящими для городских условий.

На рисунке 15 можно увидеть разницу между сухим комплектом шин, влажным и мокрым для гоночных болидов Формула-1

Рисунок 15 – Визуальное различие гоночных шин Формула-1 слик, а также полуслик и дождевой комплект

Третьим важным аспектом является рисунок протектора. Гоночные шины Формулы-1 могут быть как сликами (без протектора), так и дождевыми, но они всегда оптимизированы для максимального сцепления с дорогой. Слики обеспечивают максимальную площадь контакта с трассой на сухом асфальте, что критически важно для достижения высоких скоростей. Обычные спортивные шины имеют более выраженный протектор с

канавками для отвода воды и улучшения сцепления на мокрой дороге, что делает их более универсальными для различных дорожных условий.

Кроме того, срок службы гоночных шин Формулы-1 значительно короче по сравнению с обычными спортивными шинами. Гоночные шины предназначены для работы в течение ограниченного времени – обычно одного или нескольких заездов – после чего их эффективность снижается из-за перегрева и износа. Спортивные шины же рассчитаны на длительный срок службы и могут использоваться в течение нескольких тысяч километров.

Наконец, стоит отметить разницу в цене: гоночные шины Формулы-1 стоят значительно дороже обычных спортивных шин из-за высоких затрат на исследования и разработки, а также ограниченного производства.

Гоночные шины Формулы-1 отличаются от обычных спортивных шин по составу резины, конструкции, рисунку протектора, сроку службы и цене. Эти отличия обусловлены специфическими требованиями к производительности в условиях гонок на высочайших скоростях, где каждая деталь имеет значение для достижения максимальных результатов.

Гоночные шины Формулы-1 отличаются не только по конструкции и составу, но и по цветовой маркировке, которая указывает на их характеристики и предназначение. Каждая категория шин имеет свой цвет, что позволяет командам и зрителям быстро идентифицировать тип используемой резины и ее свойства. Основные типы шин Формулы-1 включают супермягкие, мягкие, средние и жесткие, а также дождевые шины, которые также имеют свои обозначения [3].

Супермягкие шины обозначаются красным цветом. Эти шины имеют самый мягкий состав резины и обеспечивают максимальное сцепление с трассой при высоких температурах. Они идеально подходят для коротких отрезков гонки или квалификационных заездов, когда необходимо добиться максимального времени круга. Однако супермягкие шины быстро изнашиваются и не предназначены для длительного использования, поэтому их применение ограничено определенными стратегиями гонки.

На рисунке 16 можно увидеть различные комплекты шин с маркировкой разного цвета.

Рисунок 15 – Маркировка шин Формула-1

Мягкие шины обозначаются желтым цветом. Они также обеспечивают хорошее сцепление, но имеют более жесткий состав по сравнению с супермягкими. Мягкие шины могут использоваться в течение более длительного времени, чем супермягкие, что делает их более универсальными для различных условий гонки [16]. Они часто выбираются командами для гонок, где требуется баланс между производительностью и долговечностью.

Средние шины обозначаются белым цветом. Эти шины представляют собой компромисс между мягкими и жесткими вариантами. Они обеспечивают стабильное сцепление и могут использоваться в различных условиях трассы. Средние шины подходят для гонок с переменной стратегией, когда команды могут адаптироваться к изменяющимся условиям на трассе или к тактике соперников.

Жесткие шины обозначаются желтым цветом с черной полосой (или

просто черным цветом в некоторых случаях). Эти шины имеют самый жесткий состав резины и предназначены для обеспечения максимальной долговечности. Жесткие шины используются в условиях, когда необходимо минимизировать количество пит-стопов или когда трасса требует большей устойчивости к износу. Хотя жесткие шины обеспечивают меньшее сцепление по сравнению с более мягкими вариантами, они могут быть эффективными на длинных отрезках гонки.

Кроме того, существуют дождевые шины, которые делятся на интермедии (обозначаемые зеленым цветом) и полные дождевые (обозначаемые синим цветом). Интермедии предназначены для условий с легким дождем или влажной трассой; они имеют умеренно глубокий протектор для отвода воды и обеспечения сцепления на мокрой поверхности. Полные дождевые шины имеют более агрессивный рисунок протектора с глубокими канавками для эффективного отвода воды при сильном дожде; они обеспечивают максимальное сцепление в условиях аквапланирования.

Таким образом, различия между гоночными шинами Формулы-1 по цветам отражают их характеристики и предназначение: супермягкие обеспечивают максимальное сцепление на короткий срок, мягкие предлагают баланс между производительностью и долговечностью, средние являются универсальным вариантом для различных условий гонки, а жесткие предназначены для минимизации износа. Дождевые шины адаптированы к мокрым условиям и помогают обеспечить безопасность на трассе в непогоду. Правильный выбор шин в зависимости от стратегии гонки и состояния трассы является ключевым фактором успеха команды в соревнованиях Формулы-1.

Выводы по разделу

В данном разделе были описаны и проанализированы основные теоретические аспекты, влияющие на эффективность работы шины. Также были рассмотрены различные типы и классификации шин, проведено сравнение гоночных шин, в том числе шин Формула-1.

3 Оборудование для проведения тестов

3.1 Описание стенда для получения коэффициента сцепления шин с дорожным полотном

Тестовые стенды представляют собой специализированные установки, предназначенные для проведения испытаний и проверки различных технических устройств, компонентов и систем в контролируемых условиях. Их основная задача – обеспечить возможность оценки характеристик, надежности, работоспособности и безопасности продукции до ее внедрения в эксплуатацию или серийное производство [30].

Такие стенды широко применяются в различных отраслях промышленности, включая автомобилестроение, авиацию, электронику, машиностроение и другие сферы, где критически важно гарантировать качество и соответствие изделий заданным требованиям.

Тестовые стенды позволяют моделировать реальные условия работы оборудования – например, нагрузки, температуры, вибрации, давление и другие параметры – что дает возможность выявить возможные дефекты или слабые места на ранних этапах разработки. Кроме того, они используются для оптимизации конструкции и настройки систем с целью повышения их эффективности и долговечности. Благодаря тестовый стендам инженеры могут проводить повторяемые и точные измерения, анализировать поведение изделий при различных режимах эксплуатации и проводить сравнительные испытания разных образцов или модификаций. Это значительно снижает риски выхода на рынок некачественной продукции и помогает сократить время и затраты на разработку.

В целом тестовые стенды являются незаменимым инструментом в процессе контроля качества и совершенствования технических решений, обеспечивая безопасность пользователей и соответствие продукции высоким стандартам надежности.

Стенд для определения коэффициента сцепления автомобильной шины представляет собой специализированное оборудование, предназначенное для оценки сцепных характеристик шин с дорожным покрытием в различных условиях. Основная цель такого стенда – измерение силы трения между шиной и поверхностью, что позволяет определить, насколько эффективно шина может передавать усилия на дорогу при различных условиях эксплуатации, таких как сухая или мокрая поверхность, а также при различных температурах.

Стенд обычно состоит из нескольких ключевых компонентов. Во-первых, это платформа, на которой устанавливается тестируемая шина. Платформа может быть статической или подвижной, в зависимости от типа испытаний. Во-вторых, стенд оснащен системой нагружения, которая позволяет имитировать вес автомобиля и создавать давление на шину, что важно для получения точных результатов. Нагрузочные устройства могут быть механическими или гидравлическими и позволяют варьировать силу давления на шину в зависимости от требований испытания.

Для проведения тестов стенд также включает систему измерения силы сцепления. Это может быть реализовано с помощью датчиков или тензодатчиков, которые фиксируют силу, необходимую для скольжения шины по поверхности. В некоторых случаях стенды могут быть оборудованы системой управления и мониторинга, которая позволяет оператору управлять процессом испытаний и собирать данные в реальном времени.

Важным аспектом работы стенда является возможность изменения условий испытаний. Например, можно регулировать уровень влажности поверхности или использовать различные типы дорожного покрытия для имитации реальных условий эксплуатации. Это позволяет получить более полное представление о поведении шины в различных ситуациях – от резкого торможения до маневрирования на поворотах.

Результаты испытаний на стенде для определения коэффициента сцепления используются производителями шин для оптимизации их

конструкции и состава резины, а также для оценки безопасности и производительности шин в реальных условиях. Кроме того, такие данные могут быть полезны для автопроизводителей и сервисных центров при выборе подходящих шин для конкретных моделей автомобилей и условий эксплуатации [13].

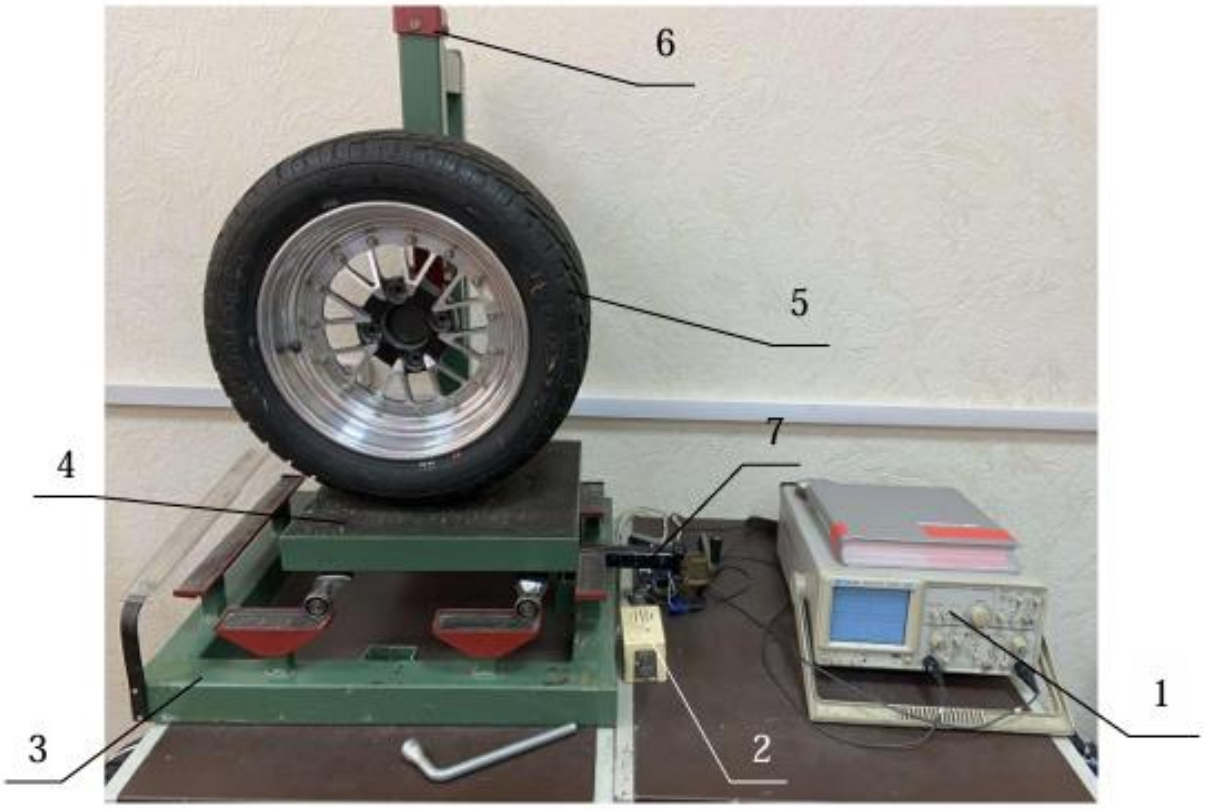
Стенд для определения коэффициента сцепления автомобильной шины является важным инструментом в процессе разработки и тестирования шин, обеспечивая надежность и безопасность транспортных средств на дороге.

Измерение коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием является одной из ключевых задач в области автомобильной безопасности и дорожного движения. Актуальность создания стенда для таких измерений обусловлена необходимостью точного и надежного определения характеристик сцепления, которые напрямую влияют на управляемость транспортных средств, эффективность торможения и устойчивость на дороге. Современные условия эксплуатации автомобилей требуют постоянного улучшения шинных материалов и конструкций, а также адаптации к различным типам дорожных покрытий и погодным условиям. Наличие специализированного стенда позволяет проводить лабораторные испытания в контролируемых условиях, что обеспечивает высокую точность данных и возможность моделирования различных сценариев эксплуатации. Это способствует разработке более безопасных и эффективных шин, снижению аварийности на дорогах и повышению комфорта водителей.

На рисунке 16 можно увидеть стенд для измерения коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием.

Рисунок 16 – Стенд для расчета коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием

На рисунке 17 можно увидеть схему основных элементов тестового стенда для получения значений коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием.



1 – осциллограф; 2 – тензометрический усилитель; 3 – рама;
4 – тензометрическая площадка; 5 – колесо; 6 – нагрузочное устройство (вертикальная сила); 7 – нагрузочное устройство (горизонтальная сила)

Рисунок 17 – Схема основных элементов тестового стенда для получения значений коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием

Конструкция стенда для измерения коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием включает в себя основную плиту, на которой размещен участок дорожного полотна. Для создания необходимой нагрузки на колесо с задней стороны стенда предусмотрен винтовой механизм, который позволяет регулировать высоту асфальтированной площадки относительно ступицы колеса [15]. Под этой площадкой установлен дополнительный механизм, обеспечивающий движение площадки в горизонтальной плоскости. Это позволяет поворачивать площадку на 90 градусов, что дает возможность проводить измерения как для продольной, так и для поперечной силы сцепления.

Под плитой размещены два тензодатчика, которые фиксируют изменения в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Полученные данные с тензодатчиков передаются на осциллограф для дальнейшего анализа. Такой подход обеспечивает высокую точность измерений и позволяет исследовать поведение шин в различных условиях, что является важным аспектом для разработки более безопасных и эффективных автомобильных технологий. Кроме того, возможность изменения угла наклона и направления движения площадки делает стенд универсальным инструментом для проведения комплексных испытаний и научных исследований в области автомобильной безопасности и материаловедения.

3.2 Подготовка к проведению теста и анализу результатов

Тарировка оборудования – это комплекс процедур, направленных на проверку, настройку и корректировку измерительных приборов с целью обеспечения их точности и соответствия установленным стандартам. В процессе тарировки измерительный прибор сравнивается с эталонным образцом или стандартом, который обладает известными и проверенными характеристиками. Это позволяет выявить отклонения в показаниях прибора и при необходимости внести корректировки, чтобы минимизировать погрешности измерений.

Основная цель тарировки – гарантировать, что оборудование будет выдавать достоверные и воспроизводимые результаты в процессе эксплуатации. Это особенно важно в тех областях, где точность измерений напрямую влияет на качество продукции, безопасность технологических процессов или научных исследований. Например, в промышленности неправильные данные могут привести к браку продукции или аварийным ситуациям, а в медицине – к ошибкам в диагностике и лечении.

Тарировка проводится регулярно в соответствии с установленными регламентами и нормативами, которые определяют периодичность и методы

проверки конкретного типа оборудования. Процесс включает несколько этапов: подготовку прибора к проверке, проведение измерений с использованием эталонных средств, анализ полученных данных и внесение необходимых корректировок. После завершения тарировки выдается документ – свидетельство или протокол тарировки, подтверждающий соответствие прибора требованиям.

Кроме того, тарировка помогает выявить износ или повреждения оборудования на ранних стадиях, что позволяет своевременно проводить ремонт или замену приборов. Это способствует продлению срока службы техники и снижению рисков возникновения ошибок в работе.

Таким образом, тарировка является неотъемлемой частью системы контроля качества и надежности измерений. Она обеспечивает уверенность в правильности получаемых данных, способствует соблюдению нормативных требований и повышает общую эффективность производственных и исследовательских процессов. Без регулярной тарировки невозможно гарантировать точность работы измерительных приборов, что может привести к серьезным последствиям как для безопасности, так и для экономической эффективности деятельности.

В нашем случае также необходимо проводить тарировку оборудования для того, чтобы убедиться в правильности работы стенда и в том, что результаты, которые мы можем получить при тестировании, будут также достоверными [29].

Для того, чтобы провести тарировку для стенда необходимо выбрать известную массу, в нашем случае это две гири по 50 килограммов, что в сумме дает 100 кг известной массы, и нужно пересчитать данное значение в вес по формуле 1:

$$P = M \cdot g \tag{1}$$

где: M – масса объекта, кг;

g – единица ускорения, вызванного гравитацией, элементарная безмассовая частица.

$$100 \cdot 9{,}81 = 981 \text{ Н}$$

Узнав данное значение, можно приступать к следующей фазе, а именно к получению коэффициента:

– включить осциллограф;

– отрегулировать луч осциллографа, отвечающий за вертикальную нагрузку в нулевое положение;

– установить известную массу, а именно 100 кг на площадку тестового стенда;

– выяснить на сколько делений был сдвинут луч осциллографа при установке известной нагрузки на площадку стенда.

По формуле 2 необходимо вычислить тарировочный коэффициент путем деления веса, полученного из 1 формулы на количество показателей перемещения луча осциллографа:

$$k = \frac{P}{n} \qquad (2)$$

где: P – вес, Н;

n – количество миллиметров смещения луча осциллографа, мм.

Исходя из показаний осциллографа, луч был смещен на 5 мм, поэтому высчитываем коэффициент таким образом:

$$\frac{981}{5} = 196{,}2 \text{ Н/мм}$$

По такой же логике приступаем к расчёту коэффициента, но только для продольной нагрузки, и здесь массу возьмём 10 кг.

$$10 \cdot 9{,}81 = 98{,}1 \text{ Н}$$

Узнав данное значение, можно приступать к следующей фазе, а именно к получению коэффициента:

– включить осциллограф;

– отрегулировать луч осциллографа, отвечающий за вертикальную нагрузку в нулевое положение;

– приложить известную массу, а именно 10 кг на площадку тестового стенда в продольном направлении;

– выяснить на сколько делений был сдвинут луч осциллографа при установке известной нагрузки на площадку стенда.

По формуле 2 необходимо вычислить тарировочный коэффициент путем деления веса, полученного из 1 формулы на количество показателей перемещения луча осциллографа.

Исходя из показаний осциллографа, луч был смещен на 5 мм, поэтому высчитываем коэффициент таким образом:

$$\frac{98.1}{4} = 24{,}5 \text{ Н/мм}$$

Далее перейдем к рассмотрению входных данных для проведения испытаний на реальных гоночных шинах, предназначенных для участия в соревнованиях «Формула Студент».

На рисунках 18–20 можно увидеть шины, которые будут использованы для проведения тестов по обнаружению сцепных характеристик шин, и выявления зависимости изменения коэффициента сцепления шин с

дорожным покрытием от величины вертикальной нагрузки, от типа шин (слик, дождевой коплект), от верикальной жесткости и давления в шинах.

Рисунок 18 – Колесный диск в сборе со специализированной шиной для соревнований «Формула Студент» Hoosier слик

Рисунок 19 – Колесный диск в сборе со специализированной шиной для соревнований «Формула Студент» Hoosier дождевой комплект

Рисунок 20 – Колесный диск в сборе со специализированной шиной для соревнований «Формула Студент» Continental дождевой комплект

Также для чистоты эксперимента нам понадобится рассчитать зависимость вертикальной жесткости шины от давления внутри шины, причем сделать это нужно для нескольких типичных значений давления в шинах на соревнованиях «Формула Студент», а именно давление в 0,8, 0,9, 1, 1,1, 1,2 атмосфер [14].

На рисунках 21–25 можно увидеть рассчитанную зависимость жесткости от внутреннего давления для специализированной шиной для соревнований «Формула Студент» Hoosier слик.

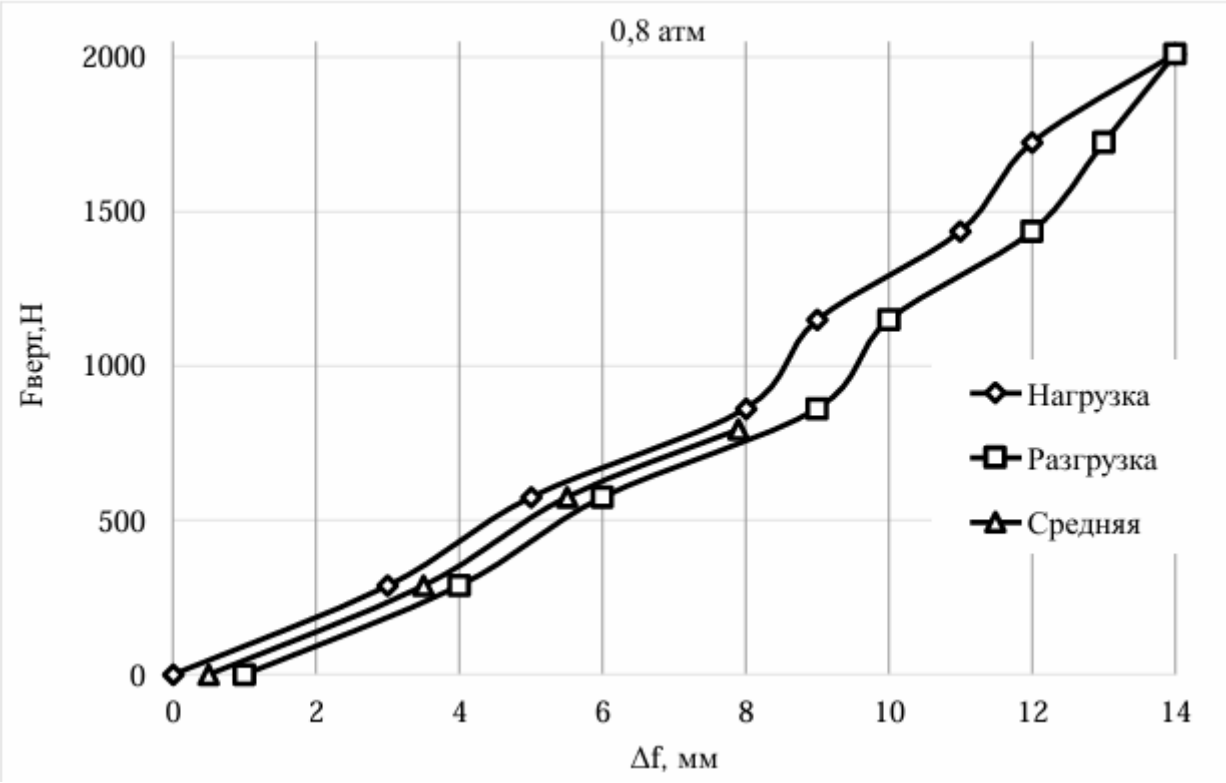


Рисунок 21 – График зависимости вертикальной жесткости шины Hoosier с давлением 0,8

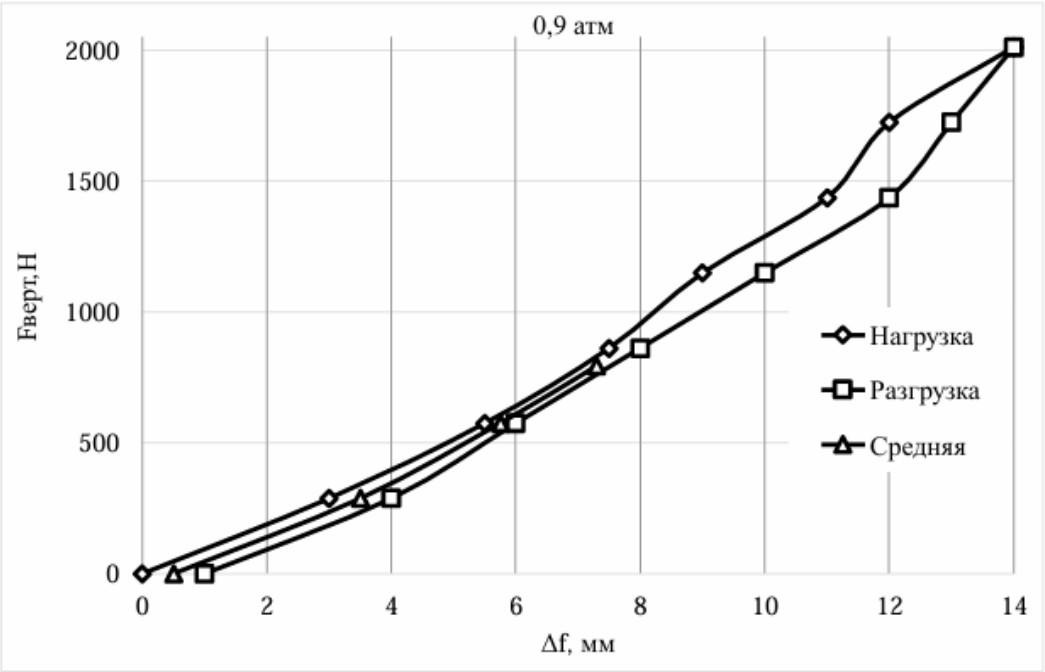


Рисунок 22 – График зависимости вертикальной жесткости шины Hoosier с давлением 0,9

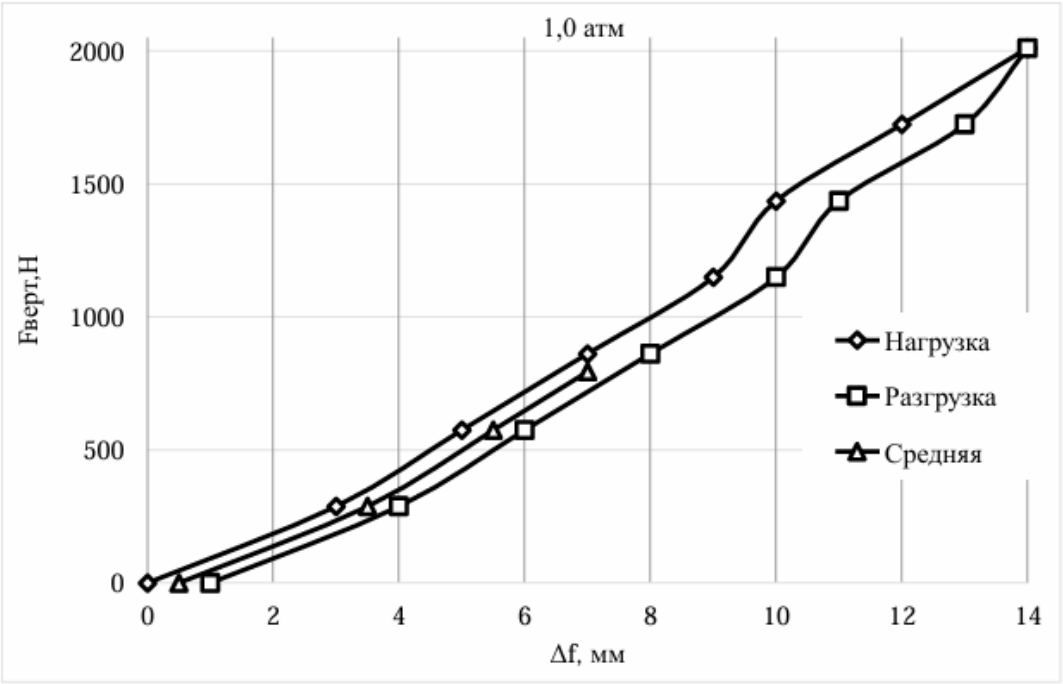


Рисунок 23 – График зависимости вертикальной жесткости шины Hoosier с давлением 1

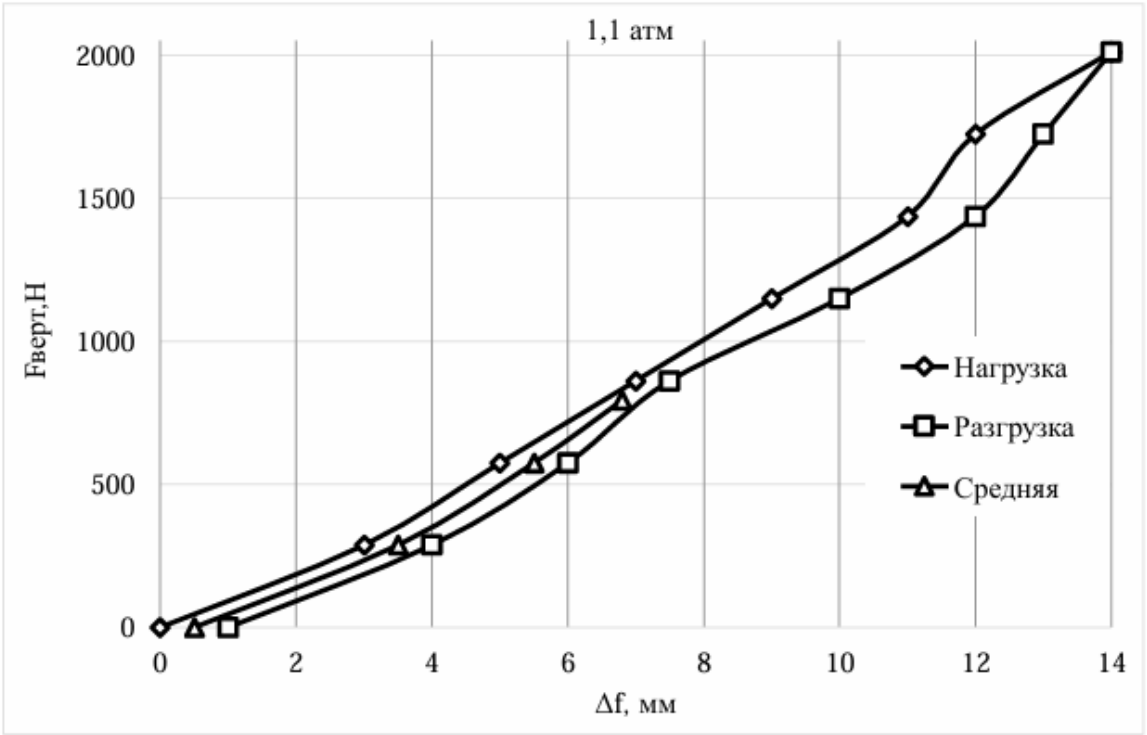


Рисунок 24 – График зависимости вертикальной жесткости шины Hoosier с давлением 1,1

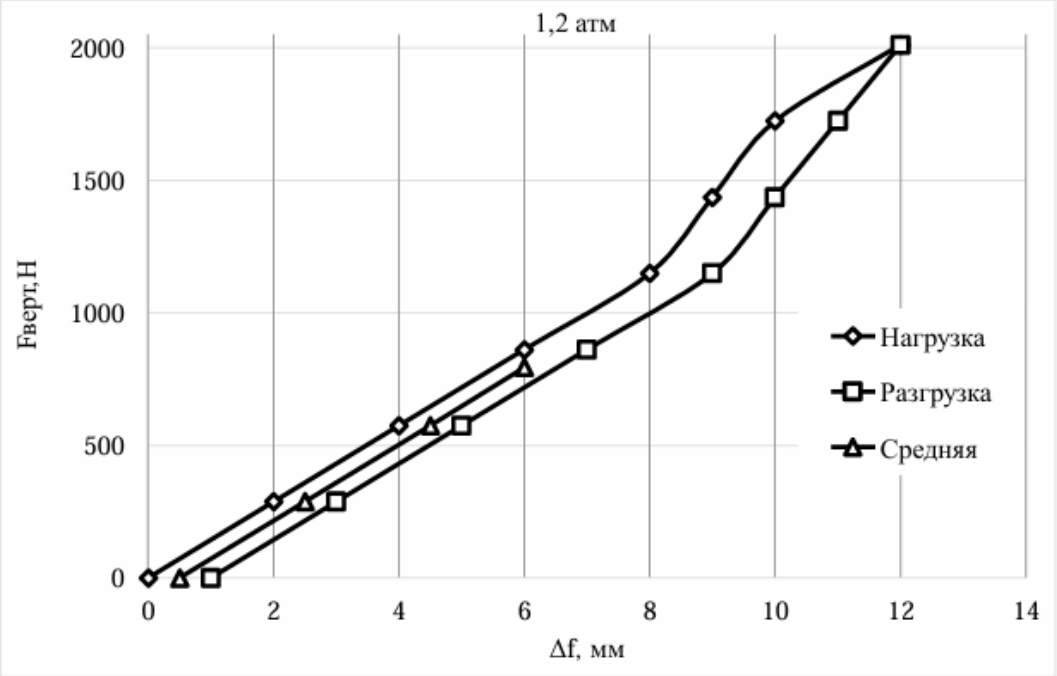


Рисунок 25 – График зависимости вертикальной жесткости шины Hoosier с давлением 1,2

На рисунках 26–30 можно увидеть рассчитанную зависимость жесткости от внутреннего давления для специализированной шиной для соревнований «Формула Студент» Hoosier дождевой комплект.

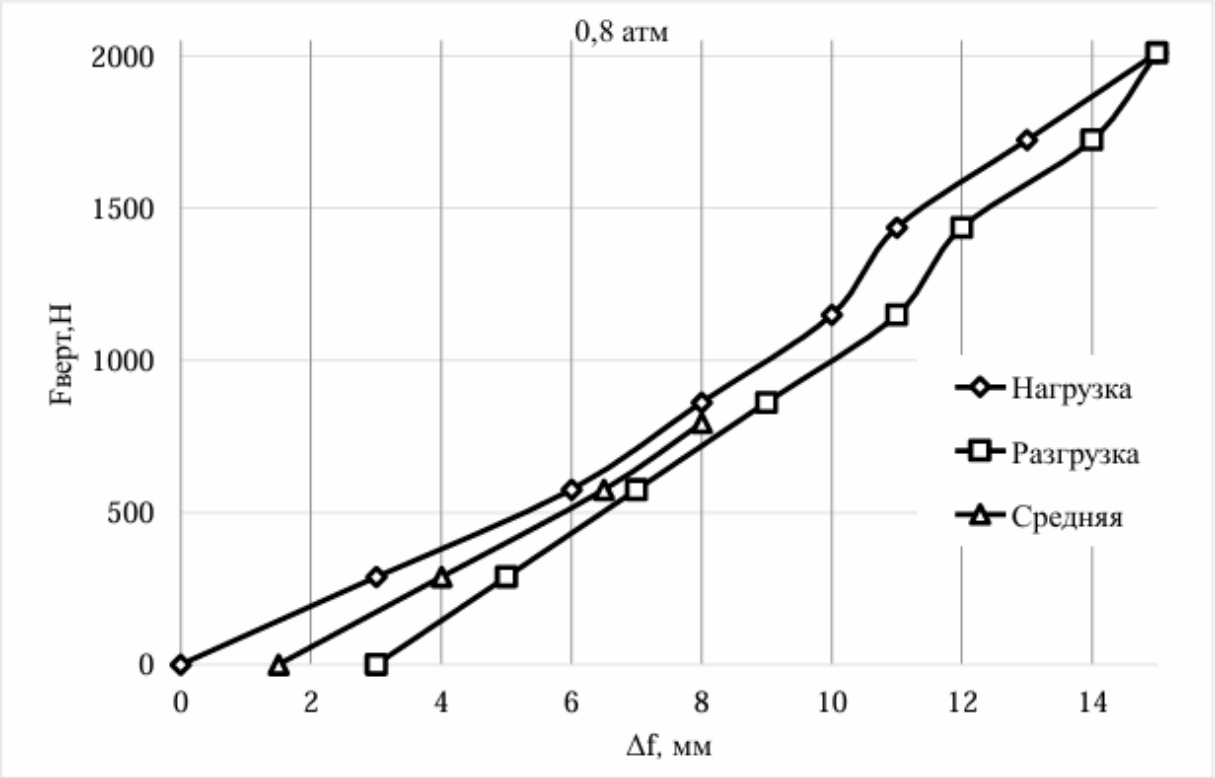


Рисунок 26 – График зависимости вертикальной жесткости шины Hoosier дождевых с давлением 0,8

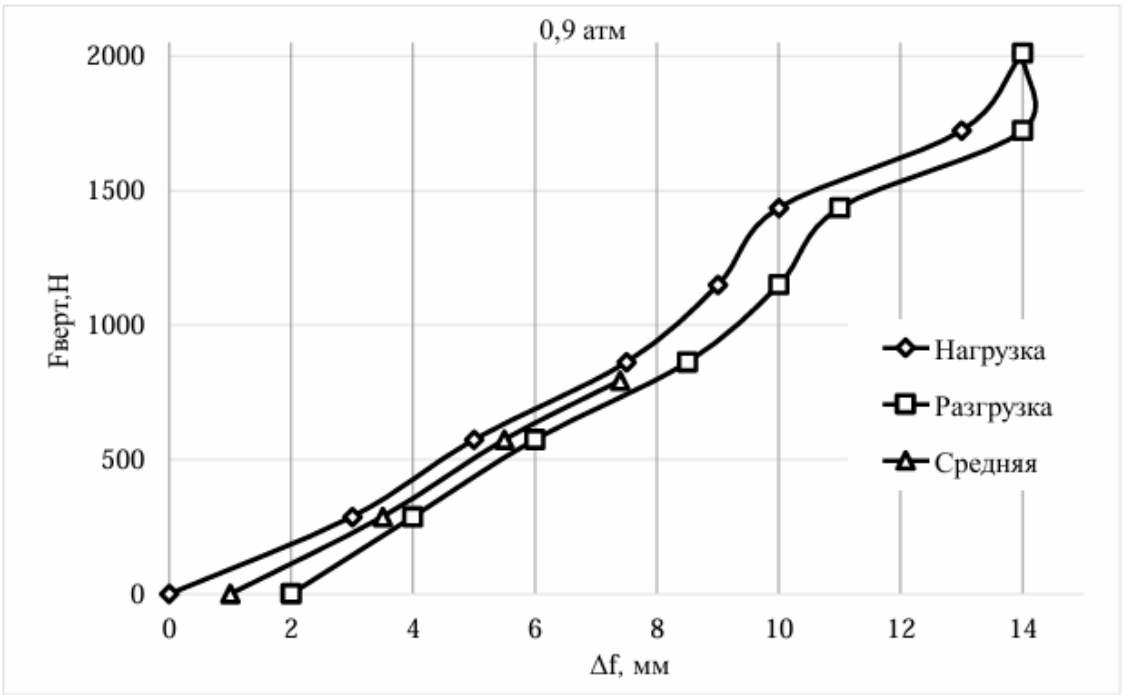


Рисунок 27 – График зависимости вертикальной жесткости шины Hoosier дождевых с давлением 0,9

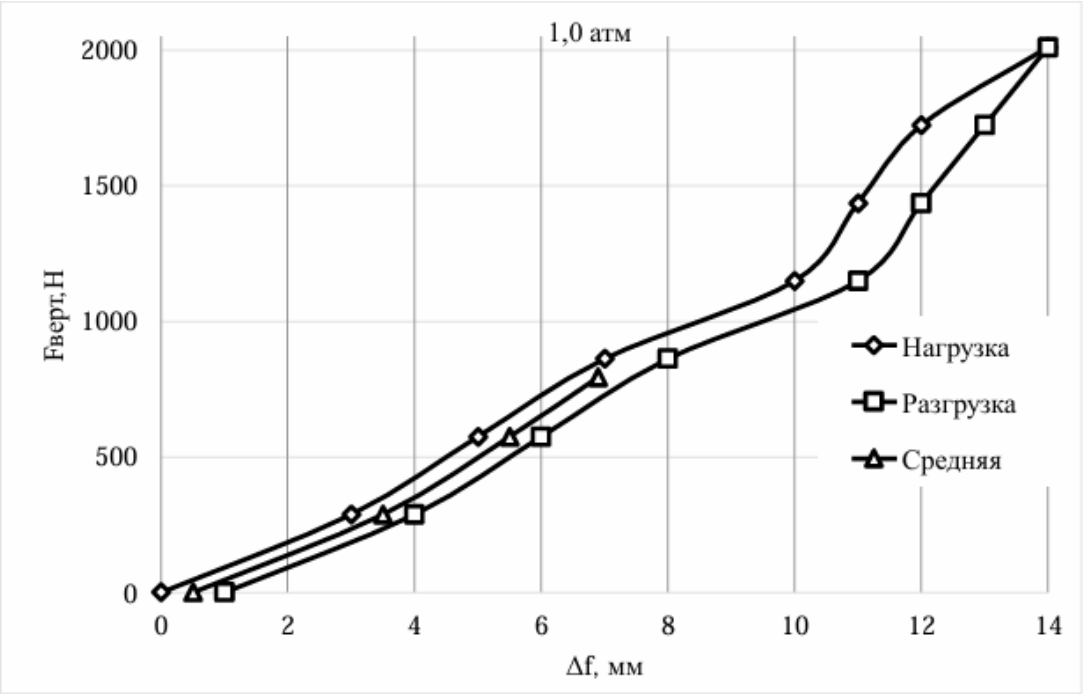


Рисунок 28 – График зависимости вертикальной жесткости шины Hoosier дождевых с давлением 1

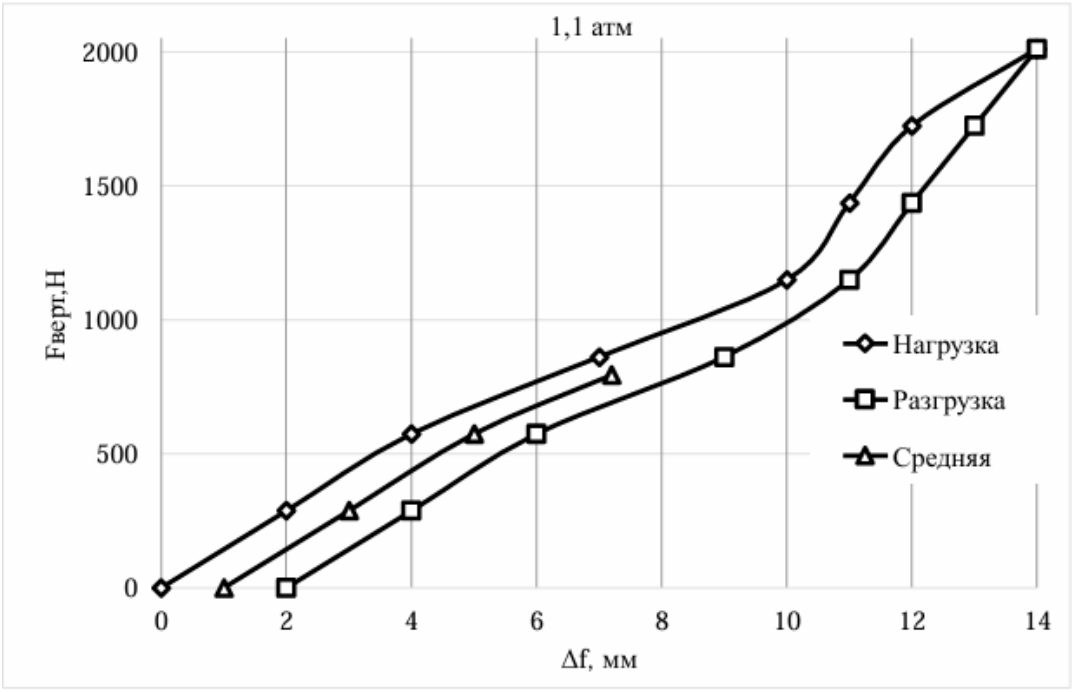


Рисунок 29 – График зависимости вертикальной жесткости шины Hoosier дождевых с давлением 1,1

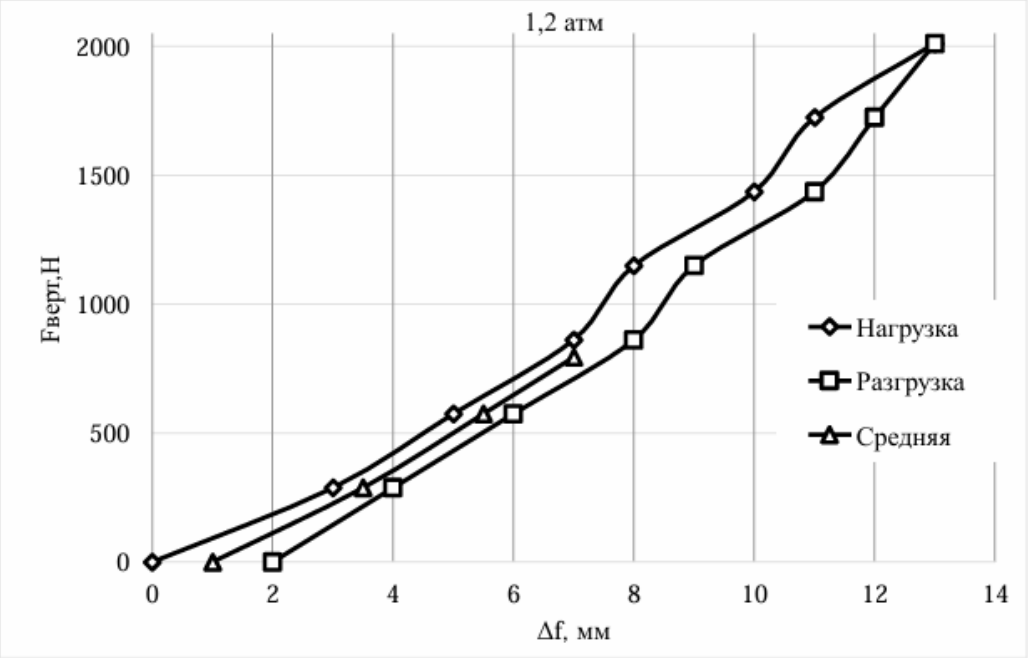


Рисунок 30 – График зависимости вертикальной жесткости шины Hoosier дождевых с давлением 1,2

Выводы по разделу

В данном разделе был подробно описан тестовый стенд и принцип его работы, а также была произведена качественная подготовка для проведения расчетно-испытательной работы, результату которой могут быть очень полезными при проектирования гоночного болида класса «Формула Студент».

4 Проведение расчетов и получение результатов тестирования шин гоночного болида класса «Формула Студент»

Во время основной стадии проведения теста необходимо проверить, что все элементы стенда в исправном состоянии, иначе результаты могут быть не репрезентативными.

Стоит отметить, что испытание необходимо проводить в комнатной температуре с минимальной влажностью. Более того, стоит учитывать, что стенд дает показатели шин в квази-статике, что не является абсолютно естественным режимом работы гоночных шин, кроме того, на работу гоночных шин влияет большое количество различных факторов, такие как:

– дорожное покрытие;

– температура окружающей среды;

– наличие крутящего момента на колесе;

– наличие углов увода (во время появления бокового ускорения);

– наличие развала и схождения.

Все эти факторы могут повлиять на шину во время реальной ее работы во время гонки. Поэтому тест и результаты теста не могут считаться максимально достоверными, однако данный тест дает общее представление о свойствах и возможностях шины в квази-статике.

Итак, стенд для проверки коэффициента сцепления в продольном направлении схематично можно увидеть на рисунке 31.

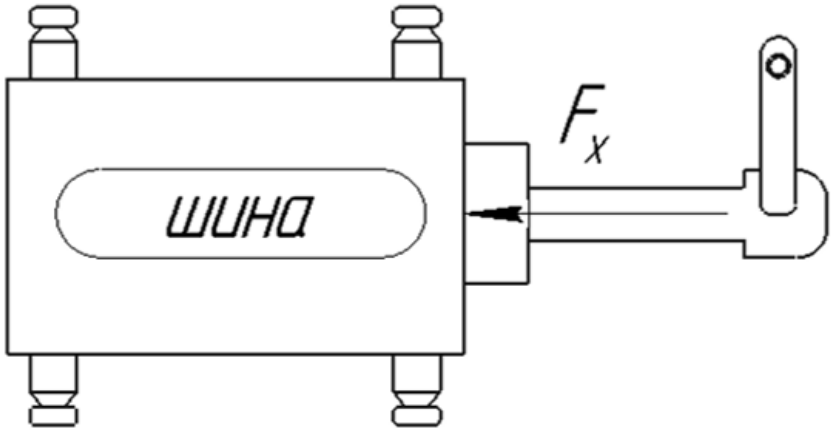


Рисунок 31 – Схема стенда для проверки коэффициента сцепления шин в продольном направлении

А стенд для проверки коэффициента сцепления в поперечном направлении схематично можно увидеть на рисунке 32.

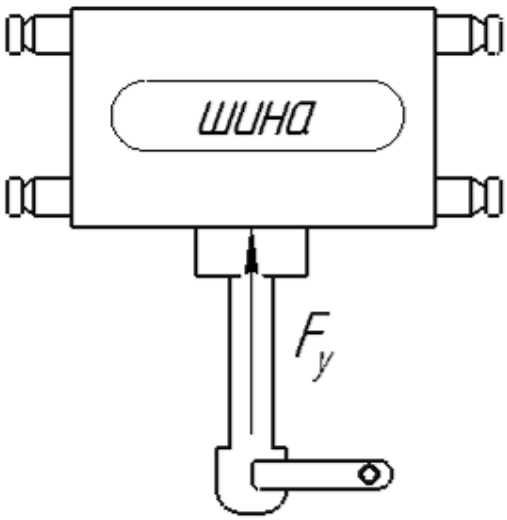


Рисунок 32 – Схема стенда для проверки коэффициента сцепления шин в поперечном направлении

Можно увидеть, что стенд может быть переоборудован для разных условий тестирования, а именно для продольного и для поперечного направления скольжения шины. Что позволяет определять уровень

сцепления в продольном направлении, что имитирует нагрузку на шину во время быстрого разгона, а также в поперечном, что имитирует шину при прохождении поворотов.

Алгоритм проведения работы:

– установить тензометрическую площадку в зависимости от варианта тестирования;

– установить нагружающее устройство в зависимости от варианта тестирования;

– установить и зафиксировать колесный диск с шиной на регулируемую ступицу и зафиксировать с необходимым моментом затяжки;

– проверить давление в шине, и если оно не соответствует необходимому давлению для замеров, то спустить или же накачать шину до нужного давления;

– приложить необходимую для тестирования вертикальную нагрузку;

– начать воздействие на платформу за счет нагружающего устройства до тех пор, пока шина не начнет соскальзывать;

– зафиксировать максимальное значение на осциллографе в момент до срыва шины с платформы.

– провести необходимые замеры с одним и тем же давлением в шинах при различной вертикальной нагрузке и зафиксировать все полученные результаты для дальнейшего расчета.

Далее, как только алгоритм был выполнен, необходимо произвести расчет коэффициента сцепления при помощи формулы 3:

$$\mu = \frac{i' \times k}{F_{\text{верт}}}, \quad (3)$$

где: $F_{верт}$ – Вертикальная нагрузка, Н;

i’ – количество меток, зафиксированных с осциллографа;

k – тарировочный коэффициент.

Для получения наибольшего количества полезных сведений о шинах, данный эксперимент был проведен большое количество раз в различных условиях и с различными шинами, как уже говорилось раннее.

На рисунках 33–36 можно увидеть полученные результаты для шин Hoosier dry.

Продольный коэффициент сцепления	Давление (атм.)					
	КГ	0,6	0,8	1	1,2	1,4
	40	1,000	1,125	1,000	1,500	1,250
	50	1,000	1,100	1,100	1,300	1,300
	60	1,083	1,083	1,083	1,333	1,333
	70	1,043	1,214	1,357	1,357	1,286
	80	1,025	1,150	1,250	1,313	1,250

Рисунок 33 – Показатели продольного коэффициента сцепления для Hoosier dry

Поперечный коэффициент сцепления	Давление (атм.)					
	КГ	0,6	0,8	1	1,2	1,4
	40	1,700	1,775	1,575	1,850	1,875
	50	1,600	1,600	1,600	1,760	1,600
	60	1,717	1,692	1,667	1,817	1,600
	70	1,700	1,771	1,571	1,786	1,971
	80	1,588	1,800	1,663	1,750	1,863

Рисунок 34 – Показатели поперечного коэффициента сцепления для Hoosier dry

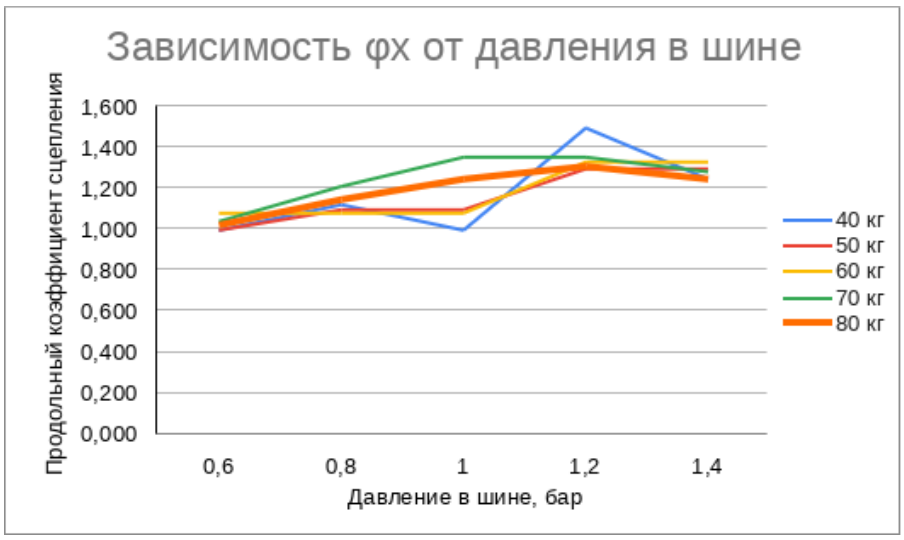


Рисунок 35 – Схема с продольным коэффициентом сцепления для Hoosier dry

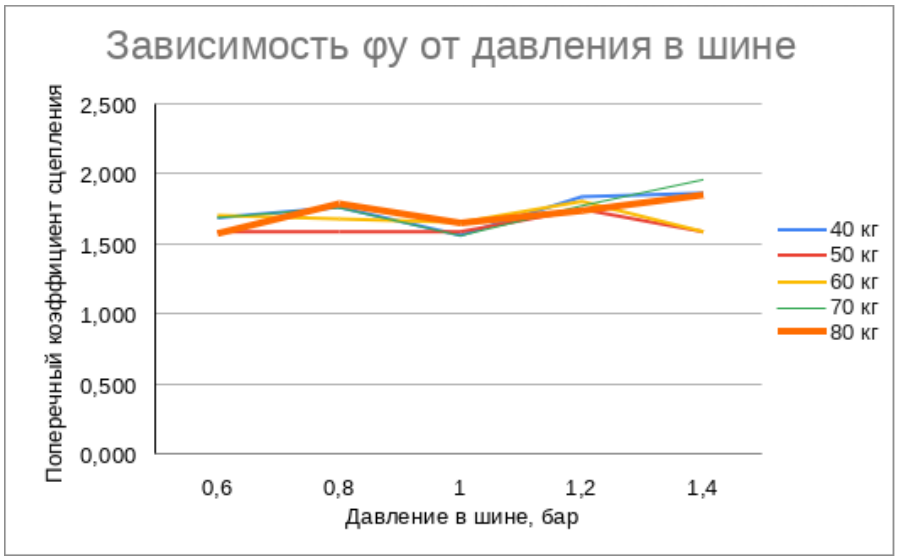


Рисунок 36 – Схема с поперечным коэффициентом сцепления для Hoosier dry

На рисунках 37–40 можно увидеть полученные результаты для шин Hoosier wet.

Продольный коэффициент сцепления	Давление (атм.)					
	КГ	0,6	0,8	1	1,2	1,4
	40	1,375	1,250	1,375	1,250	1,250
	50	1,400	1,400	1,500	1,500	1,600
	60	1,583	1,500	1,500	1,500	1,583
	70	1,428	1,428	1,571	1,643	1,571
	80	1,432	1,375	1,375	1,500	1,500

Рисунок 37 – Показатели продольного коэффициента сцепления для Hoosier wet

Поперечный коэффициент сцепления	Давление (атм.)					
	КГ	0,6	0,8	1	1,2	1,4
	40	2,125	2,125	2,250	2,250	2,250
	50	2,000	2,100	2,000	2,100	2,200
	60	2,083	2,083	2,083	2,000	2,000
	70	2,000	2,071	2,143	2,071	1,928
	80	1,875	2,000	1,875	1,875	1,875

Рисунок 38 – Показатели поперечного коэффициента сцепления для Hoosier wet

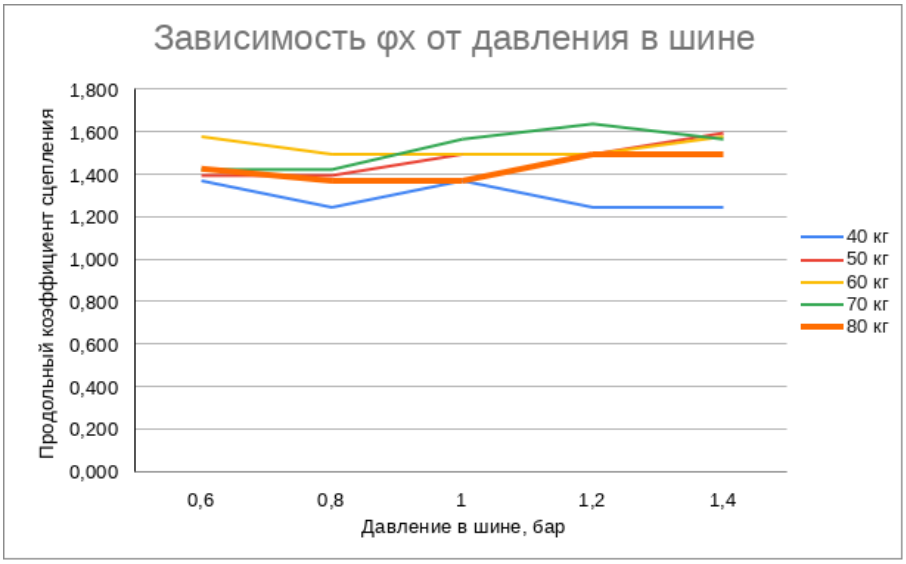


Рисунок 39 – Схема с продольным коэффициентом сцепления для Hoosier wet

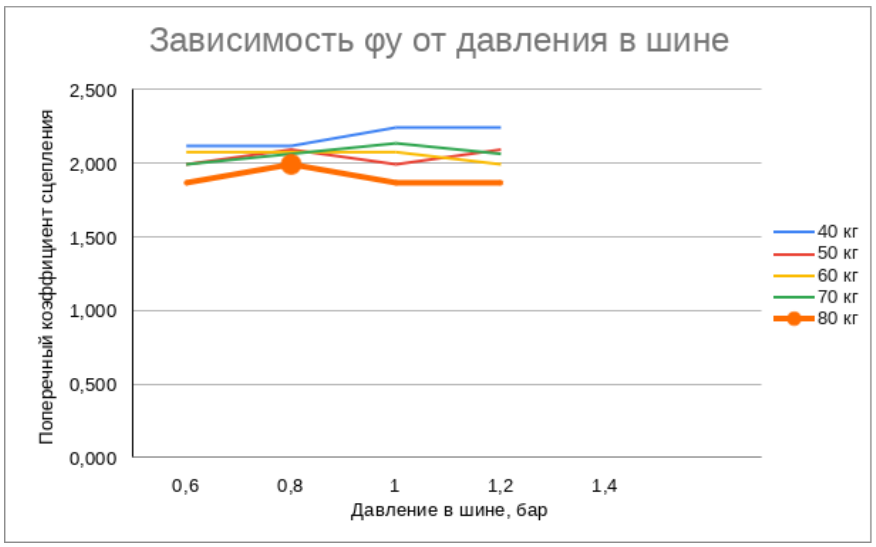


Рисунок 40 – Схема с поперечным коэффициентом сцепления для Hoosier wet

На рисунках 41–44 можно увидеть полученные результаты для шин Continental wet.

	Давление (атм.)					
Продольный коэффициент сцепления	Нагрузка (К	0,6	0,8	1	1,2	1,4
	40	1,125	1,000	1,125	1,150	1,250
	50	1,200	1,100	1,100	1,100	1,300
	60	1,160	1,170	1,150	1,080	1,250
	70	1,140	1,140	1,140	1,140	1,210
	80	1,125	1,125	1,130	1,180	1,190

Рисунок 41 – Показатели продольного коэффициента сцепления для Continental wet

	Давление (атм.)					
Поперечный коэффициент сцепления	Нагрузка (К	0,6	0,8	1	1,2	1,4
	40	1,375	1,500	1,500	1,750	1,875
	50	1,400	1,400	1,500	1,600	1,700
	60	1,500	1,500	1,500	1,660	1,660
	70	1,420	1,420	1,570	1,570	**1,640**
	80	1,430	1,500	1,500	1,750	1,625

Рисунок 42 – Показатели поперечного коэффициента сцепления для Continental wet

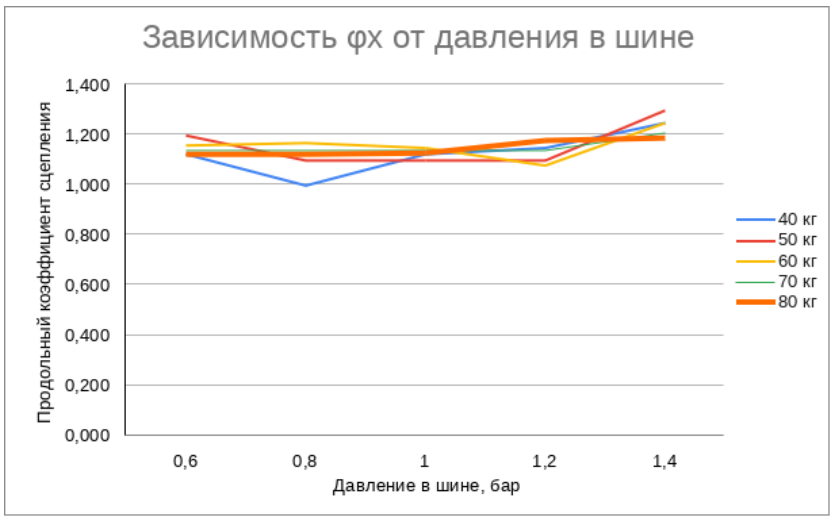


Рисунок 43 – Схема с продольным коэффициентом сцепления для Continental wet

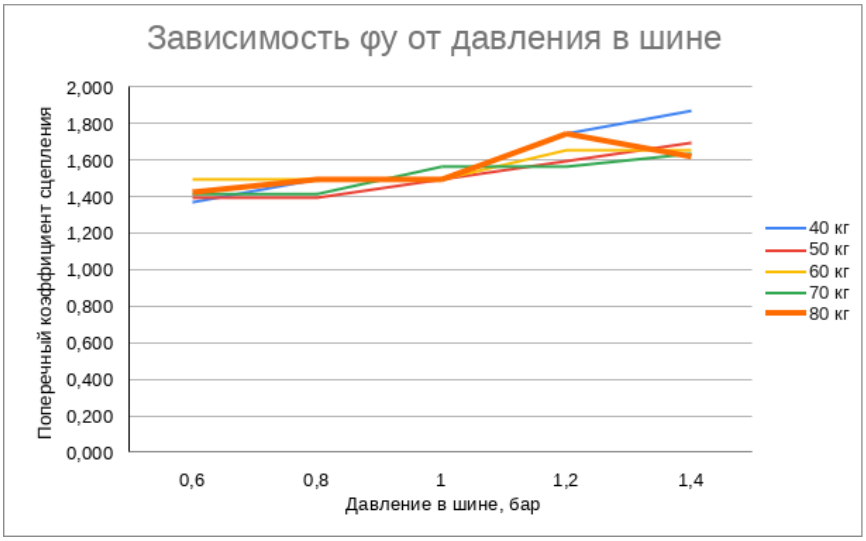


Рисунок 44 – Схема с поперечным коэффициентом сцепления для Continental wet

Выводы по разделу

В данном разделе был описан процесс проведения испытаний с шиной на стендовом оборудовании для определения коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием. Был проведен ряд испытаний гоночных шин болида класса «Формула Студент» при разном внутреннем давлении, а также с разной вертикальной нагрузкой.

Заключение

В данной работе проведено исследование влияния характеристик шин на эффективную реализацию мощности силовой установки в спортивно-гоночном шасси. Тестирование шин осуществлялось на специализированном стенде, предназначенном для определения коэффициента сцепления в продольном и поперечном направлениях, при этом использовались шины, предназначенные для гоночного болида класса «Формула Студент».

В рамках исследования был рассмотрен важнейший элемент автомобиля – шина, как основной контактный элемент, обеспечивающий передачу мощности и управление транспортным средством. Был проведен анализ существующих типов шин, используемых в гоночных условиях, а также их характеристик при различных режимах эксплуатации. Особое внимание уделялось влиянию характеристик шин на эффективность передачи мощности двигателя и сцепные свойства.

Экспериментальные исследования включали определение коэффициентов сцепления в продольной и поперечной плоскостях для различных условий, а именно давления воздуха в шине и вертикальной нагрузки на шины. В ходе тестирования были получены графики зависимостей коэффициентов сцепления от параметров шин и условий эксплуатации. Анализ данных показал, что оптимальные внутренние давления и параметры жесткости шины позволяют достигать максимальных значений коэффициента сцепления, что способствует более эффективной реализации мощности силовой установки и повышению динамических характеристик автомобиля.

Полученные данные могут быть использованы для повышения эффективности работы силовой установки за счет улучшения сцепных свойств шин, а также для разработки рекомендаций по эксплуатации шин в условиях спортивных соревнований.

Список используемых источников

1. Горбацевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие для вузов/ А.Ф. Горбацевич, В.А. Шкред. М: – ООО ИД «Альянс», 2007 – 256 с.
2. Горина Л.Н, Фесина М.И. Раздел бакалаврской работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие (2-е изд. Доп.). - Тольятти: изд-во ТГУ, 2021. – 22 с.
3. ГОСТ 22374-77 (ИСО 3877-1-78, ИСО 3877-3-78, ИСО 4223-1-78) Шины пневматические. Конструкция. Термины и определения.
4. Дьяков И.Ф., Оптимальный выбор подвески транспортных средств // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований. Механика и машиностроение. 2020. С. 148–154.
5. Запорожцев, А.В. Износ шин и работа автомобиля [Текст] / А.В. Запорожцев, Е.В. Кленников. – М.: НИИ информации автомоб. промышленности, 1971. – 52 с.
6. Иванов, А.С. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие / А.С. Иванов, П.А. Давыденко, Н.П. Шамов. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 276 с.
7. Капрова, В.Г. Методические указания по технико-экономическому обоснованию дипломного проекта конструкторского и исследовательского направлений / В.Г. Капрова. – Тольятти: ТГУ, 2017. – 50 с.
8. Кнороз, В.И. Автомобильные колёса [Текст] / В.И. Кнороз. – М.: НИИНавтопром, 1972. – 85 с.
9. Кнороз, В.И. Шины и колёса / В.И. Кнороз, Е.В. Кленников. – Москва: Машиностроение, 1975. – 184 с. [5] : ил.-Библиогр: с. 67-82.
10. 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.).

11. Косов, Н.П. Технологическая оснастка: вопросы и ответы: Учебное пособие для вузов. / Н.П. Косов, А.Н. Исаев, А.Г. Схиртладзе. – Электрон.дан. – М. : Машиностроение, 2007. – 304 с.

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

13. Острецов А.В., Красавин П.А., Воронин В.В. Шины и колеса для автомобилей и тракторов: Учебное пособие по дисциплине «Конструкция автомобиля и трактора» для студентов вузов, обучающихся по специальности 190201 (150100) «Автомобиле- и тракторостроение». – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 85 с.

14. Правила Formula Student 2022: https://www.formulastudent.de/FS-Rules_2022_v0.9.pdf.

15. Рассадкин Н.А., Шорников Д.А., Агго С.Д., Пляшко А.Н. Влияние различных факторов на управляемость автомобиля // Colloquium-journal. 2021. №3 (90). С. 55–57.

16. Свинов В.В. Моделирование динамики рулевого управления автомобиля // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2008. С. 110–111.

17. Сергель, Н.Н. Технологическое оборудование машиностроительных предприятий: учеб. пособие / Н. Н. Сергель. - Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2013. - 732 с.

18. Соломатин, Н.С. Испытания узлов, агрегатов и систем автомобиля: учебное пособие / Н.С. Соломатин. – Тольятти: ТГУ, 2013. – 140 с. [1] : ил.- Библиогр: с. 110-112.

19. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х томах Т2 / под ред. А.Г. Косиловой. М. : Машиностроение, 1985, 496 с.

20. Суслов А. Г. Технология машиностроения: учеб. для вузов. М. : Машиностроение, 2007. 429 с.

21. Черепанов, Л.А. Расчет тяговой динамики и топливной экономичности автомобиля: учеб. пособие [Текст] / Л.А. Черепанов. – Тольятти : ТГУ, 2016 – 39 с.

22. Шерстобитова О.О, Мошко Д.А. Разработка модульной каркасно-сборочной технологической оснастки для производства элементов спортивно-гоночных автомобилей» // Ежегодный сборник трудов "Студенческие инженерные проекты". 2017. С. 205–207.

23. Якубовский, Ю. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды [Текст] / Ю. Якубовский. – М. : Транспорт, 1979 – 198 с.

24. Formula SAE [Электронный ресурс] // URL: http://www.fsaeonline.com/ (дата обращения: 05.04.2025).

25. Formula Student Germany [Электронный ресурс] // URL: https://www.formulastudent.de/ (дата обращения: 05.04.2025).

26. Greg Wheatley, Brent Lane Design of a Rear Suspension for a Race Car // Engineering Letters Journal. 2020. P. 414–418.

27. Li Sun, Zhao Deng, Qing Zhang. Design and Strength Analysis of FSAE Suspension // The open Mechanical Engineering Journal. 2014. P. 414–418.

28. Popa C. 2005 Formula SAE-A Racer Car / University of Southern Queensland. 2005. P. 113–124.

29. Riley W. and George A. «Design, Analysis and Testing of a Formula SAE Car Chassis» / University of Cornwell. 2002. P. 85-88.

30. SAE Mobilus [Электронный ресурс] // URL: http://students.sae.org/cds/formulaseries/ (дата обращения: 14.05.2025).