

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

(наименование)

23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и тракторы

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)**

На тему: Исследование влияния вертикальной жесткости шины болида
Formula Student на коэффициент сцепления

Студент

Н.В. Зорин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., профессор Л.А. Черепанов

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

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

ст. преподаватель О.А. Головач

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

доцент И.В. Дерябин

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

Тольятти 2022

Аннотация

Название дипломного проекта «Исследование влияния вертикальной жесткости автомобильной шины Formula Student на коэффициент сцепления».

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, пяти частей, заключения, таблиц, списка использованной литературы, включая зарубежные источники, и графической части на 8 листах формата А1.

Ключевым вопросом дипломного проекта является выявление степени влияния внутреннего давления на вертикальную жесткость шины, а также зависимости коэффициентов сцепления в продольной и поперечной плоскостях от вертикальной жесткости шины спортивного автомобиля.

Цель работы - определить оптимальное давление в шинах для обеспечения максимального коэффициента сцепления.

Выпускную работу можно разделить на несколько логически связанных частей: история создания, развития и классификация автомобильных шин, требования и регламент, выдвигаемый к шинам, виды коэффициентов трения, подготовка к работе стенда для определения упругих характеристик шин, построение графиков зависимостей.

В заключении мы представляем работу по выявлении зависимости вертикальной жесткости от коэффициентов сцепления в продольном и поперечном направлениях для практического применения студентами в команде Formula Student.

Дипломный проект остается актуальной для команды Formula Student на сегодняшний день, так как совокупность характеристик позволит увеличить передачу крутящего момента на ведущие колеса, тем самым обеспечивая максимальную тягово-динамическую характеристику.

Abstract

The title of the graduation work is «Study on the effect of the vertical stiffness of a car tire Formula Student on the coefficient of adhesion».

The senior paper consists of an introduction, five parts, a conclusion, tables, list of references including foreign sources and the graphic part on 8 A1 sheets.

The key issue of the thesis is to identify the degree of influence of internal pressure on the vertical stiffness of the tire, as well as the dependence of the adhesion coefficients in the longitudinal and transverse planes on the vertical stiffness of the sports car tire.

The aim of the work is to determine the optimal tire pressure to ensure the maximum coefficient of adhesion.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are: history of creation, development and classification of car tires, requirements and regulations for tires, types of friction coefficients, preparation for operation of the stand for determining the elastic characteristics of tires, plotting dependencies.

In the final part, we present a work on identifying the dependence of vertical stiffness on the coefficients of friction in the longitudinal and transverse directions for practical application by students in the Formula Student team.

The thesis remains relevant for the Formula Student team today, since the combination of characteristics will increase the transmission of torque to the drive wheels, thereby ensuring maximum traction and dynamic performance.

Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса.....	8
1.1 История создания и назначения автомобильных шин.....	8
1.2 Устройство автомобильных шин.....	12
1.3 Классификация автомобильных шин.....	15
1.4 Спортивные шины.....	17
1.5 Требования, предъявляемые к шинам. Регламент для шин болида Formula Student.....	20
1.6 Условие устойчивого движения автомобиля. Виды коэффициентов сцепления автомобильной шины.....	22
2 Конструкторская часть.....	25
3 Исследовательская часть.....	26
3.1 Стенд для определения упругих характеристик шин легковых автомобилей.....	27
3.1.1 Тарировка оборудования.....	28
3.1.2 Определение вертикальной жесткости автомобильной шины.....	30
3.2 Построение графиков зависимостей вертикальной жесткости от давления в шине.....	40
3.3 Определение коэффициентов сцепления колеса с дорогой в продольной плоскости.....	43
3.4 Определение коэффициента сцепления колеса с дорогой в поперечной плоскости.....	46
3.5 Анализ полученных данных.....	48
4 Организационно-экономическое обоснование проведения работ научно-исследовательского направления в дипломном проекте.....	49
4.1 Определение суммарной деятельности дипломного проекта.....	50

4.2	Определение экономической эффективности НИиОКР.....	58
4.3	Анализ экономической составляющей проекта.....	59
5	Безопасность и экология вопроса.....	60
5.1	Конструктивно-технологическая характеристика.....	60
5.2	Профессиональные риски.....	61
5.3	Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	63
5.4	Пожарная безопасность.....	65
5.5	Экологическая безопасность.....	66
5.6	Анализ безопасности и экологии.....	67
	Заключение.....	68
	Список используемой литературы и используемых источников.....	70
	Приложение А Графики тягового расчета.....	72

Введение

Согласно определению, автомобиль – это техническое средство, оснащенное силовым агрегатом, которое массово используют для перевозки людей и грузов. Благодаря великому множеству выпускаемых моделей, автомобильные производители стремятся удивить покупателей своим новым проектом. Как правило, инженеры в первую очередь работают над разработкой более мощной силовой установкой и настройкой шасси под нее.

Колеса играют важную роль в движении автомобиля. Они должны соответствовать установленному на автомобиль двигателю для передачи крутящего момента от шины к опорной поверхности.

В 40-х годах XIX века был создан первый пробный прототип пневматической шины. До сих пор ее стараются усовершенствовать и довести до идеала в постепенном изменении конструкции по отношению к современным размерам колес. Эти инженерные решения согласуются с повышением требований к комфортабельности и устойчивости движения автомобиля.

Автомобили, предназначенные для общепринятого гражданского использования, по замыслу инженеров не предназначены для движения с повышенной скоростью, запрещающей правилами дорожного движения, и с резкими перестроениями.

Спортивный болид, двигаясь по треку на высоких скоростях и проходя крутые повороты, сохраняет управляемую траекторию движения за счет сцепления шин с дорогой в четырех пятнах контакта.

В данной работе исследуется влияние вертикальной жесткости шины на коэффициент сцепления колеса с опорной поверхностью. Коэффициент сцепления является характеристикой взаимодействия колеса с дорогой. Различают коэффициент продольного φ_x и поперечного φ_y сцеплений с дорожным покрытием.

Актуальность вопроса заключается во влиянии коэффициента продольного сцепления на тягово-скоростные и тормозные свойства автомобиля, а коэффициента поперечного сцепления – на его устойчивость и управляемость. Все эти свойства обеспечивают активную безопасность для водителя и пассажиров.

Информации и научных статей по теме «Влияние вертикальной жесткости спортивной шины на коэффициент сцепления колеса с дорогой» очень мало.

Целью работы является:

- определение зависимости вертикальной жесткости спортивных шин от давления воздуха в них;
- опытное определение коэффициентов сцеплений колес с дорогой в продольной и поперечной плоскостях;
- формирование практического вывода по использованию спортивных шин для максимальной тягово-динамической характеристики болида Formula Student.

1 Состояние вопроса

1.1 История создания и назначение автомобильных шин

Мысль о создании колеса пришла египетским умам несколько веков назад. Благодаря ученым появились первые повозки. Удобство при перекатывании тяжелых предметов с помощью них увеличило поток товаров и скорость в работе.

Первые прототипы современных колес были выполнены примитивным способом из дерева, что не обеспечивало комфорт. С каждым днем конструкция становилась все более совершенной: использование спиц и железного обода повышало прочность и долговечность изделия. Лишь в середине XVIII века прорывом стало изобретение прообраза шины из плотной (парусиновой) ткани, надетой на обод колеса.

«Современная автомобильная шина представляет собой упругую многофункциональную конструкцию, которая состоит из системы резиновой, металлической и тканевой части. Она предназначена для поглощения и сглаживания всех неровностей, которые встречаются на дорожном полотне; для постоянного контакта с дорогой, что позволяет автомобилю двигаться безопасно и устойчиво; для сокращения расхода топлива и уровня шума при эксплуатации; для обеспечения движения автомобиля в условиях бездорожья» [6].

Развитие пневматических шин началось еще в середине XIX века с патента шотландского ученого и инженера Роберта Томсона. Его изобретение позволило уменьшить силу тяги, что обеспечивало легкий ход кареты, ее низкий шум и повышенное удобство от езды. В связи с высокой стоимостью производства конструктивно нового изделия патент Р. Томсона не был доведен до конца. Спустя время, идея «воздушного колеса» вновь была использована, но уже шотландцем Джоном Данлопом. В 1888 году он придумал надеть на колесо велосипеда садовый шланг и накачать его

воздухом. Известность его гениальной мысли раскрылась в 1889 году после победы в трех велосипедных гонках в Белфасте. В настоящее время компания «Dunlop Tires», производящая автомобильные шины считается одной из крупных фирм в мире.

С историей развития автомобильных шин связано немало гениальных ученых. Американский изобретатель Чарльз Гудьир параллельно с англичанином Томасом Ханкоком практически одновременно запатентовали технологию вулканизации каучука. Этот базовый принцип приготовления смеси для дальнейшего использования в производстве остался таким же по сей день. Состав современных резиновых смесей более совершенен благодаря изобретению синтетического каучука в 30-х годах прошлого века.

Нельзя не упомянуть одного из братьев Мишлен. Эдуард Мишлен решил разработать и запатентовать сменную пневматическую шину, ремонт которой не занимал более 15 минут. Благодаря этой шине, велогонщик Шарль Террон выиграл в заезде по маршруту Париж-Брест-Париж. Перспективная компания «Мишлен» в 40-90 х годах XX века уверенно внедрила новые технологии в свой продукт: стальной каркас для грузовых шин; выпуск радиальных шин; первая «зеленая» шина с добавлением к резиновой смеси диоксида кремния и др. В 2019 году группа «Michelin» и компания GM создали первую безвоздушную шину. В ее состав входят новые композитные материалы, позволяющие выдерживать высокие нагрузки, скорость и динамику современных легковых автомобилей.

С началом XXI-го тысячелетия в автомобилестроении произошло очередное инженерное открытие. Автомобильные производители начали массово внедрять на свои модели бескамерные шины. Их устройство говорит само за себя: такая шина объединила свойства и покрышки, и камеры. Как и у любого изделия, бескамерные шины имеют свои преимущества и недостатки, что по сей день заставляют автолюбителей завязывать спор, сравнивая их с камерными шинами. С одной стороны –

легкость самой покрышки снижает нагрузку на подвеску автомобиля; отсутствие трения камеры о внутренний слой каркаса увеличивают долговечность; медленная разгерметизация. А с другой – установка и ремонт требует больше времени; потребность в работе специалиста со сложным оборудованием; разгерметизация колеса в зависимости от целостности и деформации колесного диска; разрушение всех слоев каркаса при езде на спущенной покрышке.

Работа над модернизацией шин не прекращается до сих пор. Для увеличения характеристик экспериментально изменяют химический состав резины, используют разные виды материалов. Разработчики шинной промышленности уделяют большое внимание требованиям безопасности, сцепным качествам, сопротивлению качения шин, а также прислушиваются к отзывам автовладельцев. Благодаря им, инженеры работают над увеличением срока службы и улучшением технико-экономических показателей шин, что способствует производителям идти «в ногу со временем» с современными технологиями.

Зная, что именно шины связывают автомобиль с дорогой, выделяют несколько основных их функций:

- удерживают заданное направление движения автомобиля;
- смягчают удары, возникающие при езде по неровностям;
- передают мощность двигателя и тормозные усилия.

Для выполнения всех перечисленных функций шина должна обеспечивать заданную грузоподъемность, надежность и долговечность.

Рассмотрев хронологию развития автомобильной шины, стало понятно, что человек и научный прогресс не стоят на месте. Идея создания колеса с резиновым покрытием поспособствовала облегчению жизни человечества и открыла новые горизонты по освоению мира.

Рассмотрим историю развития спортивных шин.

Многие любители и профессионалы легко согласятся с современными инженерами, считающие шину главнейшим элементом гоночного болида. Развитие покрышек удобней проследить на примере мирового автомобильного спорта «Formula 1». На протяжении 71 года существования гонок шины преодолели множество модификаций.

В середине XX века, вначале зарождения нового вида спорта, мало кто придавал большое значение о важности шин. На первом месте всех интересовал только мощный двигатель и техническая надежность всего гоночного автомобиля. Из-за данной специфичности в конструкции и комплектации болида использовались узкие шины, наподобие колес карет в прошлом веке.

Спустя 10 лет была замечена тенденция к увеличению ширины шины на ведущих колесах. Инженеры получили зависимость увеличения сцепления с дорогой за счет увеличения пятна контакта шины.

Наиболее важным рубежом в истории спортивных шин «Formula 1» считается сезон 1971 года, когда начали использовать шины с максимальным пятном контакта – слик. Преимущества в использовании именно этих покрышек сразу оценили участники гонки.

Следующий скачок в развитии гоночных шин произошел в 1977 году. Дебютирующая в спортивной сфере французская компания Michelin разработала для «Formula 1» радиальные слики, имеющие более жесткую структуру и, как следствие, обладающие меньшей деформацией. Дальнейшие разработки ведущих шинных поставщиков напоминали техническую гонку. Разработки и тесты не прекращались ни на секунду, однако в 1983 году французская компания Michelin ушла с «Formula 1». Монополия лидеров имела непостоянный характер и сопровождала все сезоны гонок.

Противоречивым, но в то же время единственным правильным решением в политике гонок стал запрет на использование привычных slickов. Предпосылками к этому привел «технический Олимп» инженерной мысли: аэродинамика и прижимная сила в комплексе с мощным мотором привели к подрыву безопасности гонок. Для предотвращения необратимых последствий организаторы приняли решение для искусственного замедления болида за счет ухудшения сцепления с дорожным покрытием, введя шины с продольными канавками.

С 2011 года основным и единственным поставщиком шин стала итальянская компания Pirelli. Благодаря химическому и техническому прорыву появились два комплекта шин, позволяющие использовать ту или иную покрышку для успешной гонки.

Спортивные шины являются производной от привычных автомобильных шин, используемых на легковых транспортных средствах, поэтому отличаются история развития и технический подход к ней.

1.2 Устройство автомобильных шин

По конструкции автомобильной шины видно, что она является сложной, но важной частью колеса. В ее устройство входят следующие основные конструктивные элементы: каркас, брекер, протектор, боковины и борта (рисунок 1).



1 – протектор; 2 – плечо покрышки; 3 – капроновый корд; 4 – боковина покрышки; 5 – брекер (стальной корд); 6 – резиновая прослойка; 7 – силовое кольцо из металлокорда; 8 – посадочный борт

Рисунок 1 – Устройство автомобильной шины

Автомобильная шина не просто слой резины на колесе, а целая система используемых материалов и их размещения. Основным силовым элементом покрышки считается каркас. Он сдерживает все нагрузки, которые действуют на колесо, поэтому к автомобильной шине предъявляют жесткие требования, которым она должна соответствовать. Каркас должен сочетать в себе значительную прочность с одновременной определенной эластичностью. В состав каркаса входят несколько прорезиненных слоев из полимерных волокон (лавсан, капрон) – кордов, а также стальной трос (металлокорд). Форма каркаса, число слоев корда и расположение нитей в нем определяются из заданных характеристик, необходимых заказчику: давление воздуха, нагрузки, тип и назначение шины.

Главной внешней рабочей поверхностью автомобильной шины является протектор, или «беговая дорожка». Она представляет собой слой резины с технологическими углублениями, рисунками, неровностями, что

позволяет осуществлять несколько важных функций. В первую очередь протектор выполняет основную задачу в обеспечении стабильного сцепления с поверхностью дороги, а также дополнительно предохраняет каркас от внешних повреждений.

Внешние нагрузки, которые воспринимает колесо во время движения, бывают несоизмеримые с прочностью шины. В связи с этим, в покрышке между каркасом и протектором расположен дополнительный резинокордовый слой – брекер, который нужен для усиления каркаса, повышения устойчивости к повреждениям, и улучшения связи между элементами покрышки.

Все элементы конструкции выполняют важную общую функцию – защитить каркас покрышки. Он со всех сторон прикрыт дополнительными резинометаллическими слоями. От протектора до боковин расположены плечи покрышки, которые в свою очередь принимают участие и в обеспечении сцепления с дорогой при наезде на неровность или выполнения поворота. От плеч покрышки отходят боковины, или боковые части каркаса, дополнительно покрытые защитным слоем резины, которые также предотвращают повреждение каркаса. И в конце, боковины соединены с бортом, обеспечивающим надежную посадку шины на диск колеса. Жесткость этого элемента достигается силовыми кольцами из металлической проволоки, расположенными по окружности.

Состав каждой автомобильной шины практически одинаковый, то есть включает в себя все конструктивные элементы, которые были перечислены выше. Но, несмотря на это, покрышки обладают разными характеристиками при эксплуатации. Различие заключается в техническом и химическом подходе при их производстве. Постоянный поиск «рецепта» идеальной шины позволяет улучшать требуемые характеристики для устойчивого, плавного и прямолинейного движения автомобиля.

1.3 Классификация автомобильных шин

Инженеры после долгих лет работ над усовершенствованием конструкции шины до сих пор продолжают вносить новые разработки для будущих экземпляров. Благодаря тому, что прогресс не стоит на месте появилась большая разновидность автомобильных шин.

Принято различать шины по следующим параметрам:

а) по использованию на разных категориях транспортных средств:

- 1) шины для транспортных средств массой до 3,5 тонн;
- 2) шины для транспортных средств массой от 3,5 до 10 тонн;
- 3) шины для специального автомобильного транспорта.

б) по разновидности рисунка протектора:

1) дорожный (летние шины) – предназначены для твердых покрытий в летний сезон, не предусмотрены для использования в зимний период и на размокших грунтовых дорогах;

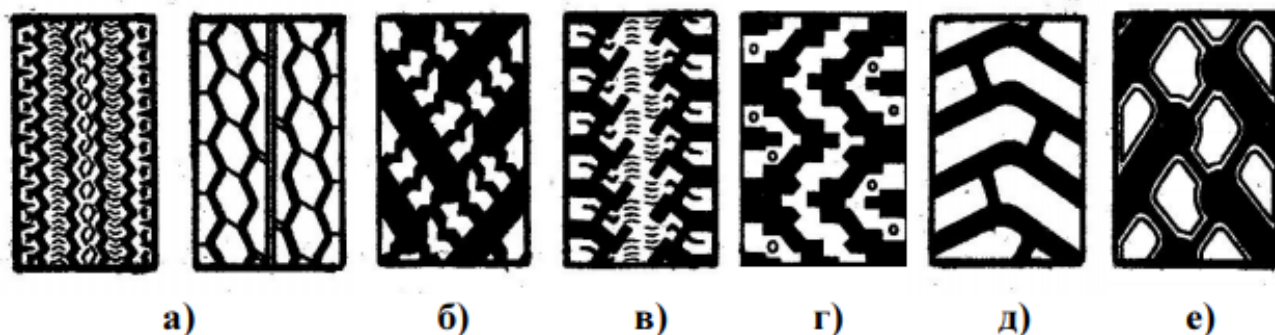
2) универсальный – для использования круглый год преимущественно по твердым покрытиям и сухим грунтовым дорогам;

3) всесезонный;

4) зимний (зимние шины) – предназначены для движения по заснеженным и обледенелым дорогам, не допускается использование в теплое время года;

5) карьерный – предназначен для транспортных средств, эксплуатируемых в карьерах на каменистых, щебеночных и гравийных опорных поверхностях;

6) повышенной проходимости – для движения по бездорожью и деформируемым грунтам (рисунок 2).



а – дорожный; б – универсальный направленный; в – универсальный ненаправленный;
г – зимний с шипами; д – карьерный; е – повышенной проходимости

Рисунок 2 – Типы рисунков протектора

в) по конструкции каркаса:

1) диагональные – нити корда в соседних слоях каркаса перекрещиваются и располагаются под некоторым углом. Такое направление нитей корда обеспечивает положительное распределение усилий при деформации шины.

2) радиальные – нити корда в слоях каркаса расположены по окружности в направлении от одного борта к другому параллельно друг другу. Благодаря этому, в два раза уменьшаются напряжения при работе в нитях корда каркаса.

г) в зависимости от номинального отношения высоты профиля шины «Н» к его ширине «В» – по форме профиля поперечного сечения:

1) обычного профиля – отношение высоты профиля к ширине свыше 0,89;

2) низкопрофильные – отношение высоты профиля к ширине 0,7...0,88;

3) сверхнизкопрофильные – отношение высоты профиля к ширине не более 0,7;

4) широкопрофильные – отношение высоты профиля к ширине = 0,6...0,9;

5) арочные – отношение высоты профиля к ширине = 0,39...0,5.

Низкопрофильные (сверхнизкопрофильные) шины используют в основном на легковых автомобилях. К преимуществам таких шин относят повышенную устойчивость и управляемость при движении.

Широкопрофильные шины устанавливаются на автомобилях большой грузоподъемности, полноприводных автомобилях и на прицепах. Плюсом этих шин является увеличение проходимости автомобиля.

Арочные шины выполняются как правило бескамерными с редко расположенными грунтозацепами. Устанавливаются в основном на заднюю ось грузовых автомобилей, что позволяет уверенно двигаться им по мягким грунтам, песку и болотистой почве. Применение арочных шин на дорогах с твердым покрытием ограничено из-за нецелесообразности.

В современном мире насчитывается бесконечное множество транспортных средств, использующихся человеком в различных сферах: начиная от малокубатурного мопеда и заканчивая карьерным самосвалом. Благодаря этому, существует такое разнообразие автомобильных шин в зависимости от предназначения.

1.4 Спортивные шины

Существует отдельный вид автомобильных шин, режим работы которых значительно отличается от классических летних покрышек. Они используются на спортивных автомобилях и имеют свои особенности, чтобы раскрыть весь технический потенциал болида на гоночной трассе. Отсюда рождается важность качества исполнения гоночной шины. Специальный состав резины позволяет обеспечить требуемый контакт с покрытием трека.

Различают следующие разновидности спортивной резины, использующиеся на автомобильных соревнованиях:

Слики – разновидность гоночных шин, у которых отсутствие рисунка протектора на таких шинах обеспечивает максимальное пятно контакта и, как следствие, максимальное сцепление с дорожным покрытием.

Такая резина как слик обычно используется участниками на профессиональных соревнованиях с высоким уровнем подготовки. Благодаря специальному химическому составу у данной резины большой срок эксплуатации. Износ шины определяют по индикатору – отверстию в протекторе.

В зависимости от климатических условий слики бывают:

- «сухие» – с полностью гладким покрытием, используются для движения по сухой гоночной трассе;

- «дождевые» – эффективно противостоят аквапланированию и обеспечивают отличную курсовую устойчивость, используются для кольцевых автомобильных гонок исключительно на мокрой гоночной трассе.

Полуслики – разновидность гоночных шин, протектор которых имеет небольшое количество водоотводящих отверстий по сравнению с классическими летними покрышками.

Полуслики являются менее профессиональным элементом колеса на автомобиле. Они применяются на соревнованиях любительского уровня и позволяют передвигаться по дорогам общего назначения, но только в исключительно в сухую погоду. Малое количество каналов для отведения воды резко повышает риск потери управления и возникновения аквапланирования.

По жесткости полуслики могут быть:

- супермягкие;
- мягкие;
- средней жесткости;
- жесткие.

Пилот сам принимает решение шину какой жесткости использовать в тех или иных условиях гонки. Например, для продолжительных заездов устанавливают резину средней жесткости (или жесткую) благодаря ее выносливости.

Главной особенностью в конструкции спортивной автомобильной шины является очень жесткая боковая часть, которая позволяет сохранить геометрию колеса и размер пятна контакта при потере управления или при крутом повороте.

Многие молодые автомобильные владельцы стремятся из своего гражданского средства передвижения построить гоночный «суперкар», установив колесо большего диаметра с низкопрофильной спортивной резиной. Она подчеркивает агрессивность и стильность автомобиля. Однако стоит учитывать особенности спортивных покрышек, а именно их достоинства и недостатки.

Плюсы при использовании на гоночной трассе:

– повышенная курсовая устойчивость при изменении траектории движения:

- высокая прочность покрышки;
- надежное сцепление в пятне контакта.

Минусы при использовании на дорогах общего пользования:

- ускоренный износ «беговой» дорожки;
- высокий риск аквапланирования;
- отсутствие амортизационных свойств при езде по неровностям.

В нашей стране на законодательном уровне запрещено использование резины типа слик на гражданском автомобиле. Резину типа полуслик разрешено использовать только в летний период на сухом и ровном асфальте.

Спортивные шины являются специфическим элементом болида. Именно поэтому их использование строго ограничено. На треке

учитываются необходимые условия для безопасного и успешного участия в гонках. Разновидность спортивных шин соответствует этим условиям, и возможно их использование в зависимости от предпочтений пилота и от погодных условий.

1.5 Требования, предъявляемые к шинам. Регламент для шин болида Formula Student

Каждый новый серийный автомобиль должен соответствовать всем требованиям.

«Общие требования к шинам:

– безопасность (в отношении самой шины и в отношении движения автомобиля);

– легкость и прочность конструкции;

– экономичность: низкая стоимость; малое сопротивление качению (низкие гистерезисные потери); высокая износостойкость; достаточная глубина рисунка протектора; длительный срок службы (ресурс); возможность восстановления протектора шины;

– технологичность изготовления;

– экологичность эксплуатации.

Специальные требования:

– хорошее сцепление с твердой опорной поверхностью, позволяющее снизить буксование и юз колес при передаче тяговых, тормозных и боковых сил (обеспечение устойчивости движения колесной машины);

– надежная посадка бортов шины на полки обода и обеспечение нераскрытия стыков между бортами шины и закраинами обода;

– низкая температура разогрева, определяемая конструкцией каркаса и типом материала каркаса и брекера;

– возможность продолжительного движения с максимальной

скоростью, соответствующей индексу скорости (скоростная прочность);

– восприятие усилий, возникающих при криволинейном движении колесной машины (обеспечение хороших показателей управляемости);

– малое сопротивление повороту колеса;

– стойкость к механическим повреждениям;

– сопротивляемость повреждению боковин радиальных шин;

– легкость монтажа и демонтажа;

– возможность длительной работы с цепями противоскольжения.

Дополнительные требования к шинам для легковых автомобилей:

– малая склонность к аквапланированию;

– пригодность к эксплуатации в зимний период;

– хорошие амортизирующие свойства, способствующие повышению плавности хода автомобиля;

– низкий уровень шума, особенно при высоких скоростях движения;

– отсутствие «визга» при разгонах, торможениях и поворотах автомобиля» [12].

Участие в спортивных технических соревнованиях всегда сопровождается правилами и регламентом:

«Транспортные средства должны иметь два типа шин:

– Сухие шины – шины на транспортном средстве, когда оно представлено для технического осмотра, определяются как «dry tires».

– Мокрые шины – шины любого типа и размера, имеющие соответствующий рисунок протектора, соответствующий следующим требованиям:

– протектор должен быть сформирован изначально производителем в печи или нарезан производителем (его представителем). Любой нарезанный проектор должен иметь документ, подтверждающий соответствие этому требованию.

– минимальная глубина протектора составляет 2,4 мм.

Шины на одной и той же оси должны быть одного и того же производителя, размера и состава.

Подогреватели шин не допускаются.

Запрещается добавлять в шины или наносить на поверхность «беговой дорожки» специальные вещества, повышающие сцепление с дорогой» [16].

В мире для всего есть свои правила, некий регламент и соответствующие требования, основанные на опыте и ошибках. Шины, являясь основным элементом, отвечают за активную безопасность и как никто другой должны строго следовать этим законам.

1.6 Условие устойчивого движения автомобиля. Виды коэффициентов сцепления автомобильной шины

Всё в мире подчиняется законам физики. Перед инженерами и конструкторами стоит первоочередная задача учесть все физические явления. Устойчивое движение автомобиля зависит от совокупности многих параметров: его массы, влияния аэродинамических характеристик, оптимальной настройки шасси, типа используемых шин и других. В дипломном проекте подробно рассматривается один из них.

На шины, как правило, водители обращают не очень пристальное внимание, хотя за тягово-скоростные свойства, топливную экономичность, комфорт и безопасность отвечают именно они.

В среднем одно колесо имеет «площадь пятна контакта 130 см²», следовательно, весь автомобиль массой 1100 кг опирается на дорожное полотно площадью всего лишь 520 см². Несмотря на такое маленькое значение, автомобиль сопротивляется нагрузкам, как при прямолинейном движении, так и при поворотах. Все это благодаря четырем колесам в сборе с шиной.

У автомобильной шины различают три вида упругости: в радиальном,

боковом и угловом направлениях. В дипломном проекте рассматривается первый вид упругости.

Для определения жесткости шины используют упругую характеристику при статическом нагружении. По графику зависимости вертикальной нагрузки от деформации шины заметно, что кривые, соответствующие нагрузке и разгрузке образуют петлю гистерезиса, образуемая из-за потерь в покрышке. Тангенс угла между средней линии внутри петли к касательной, проходящей через точку, соответствующей статической нагрузке и есть искомая жесткость шины.

«Эластичная шина характеризуется следующими показателями жесткости:

– коэффициентом нормальной жесткости...

Под нормальным прогибом шины понимается линейное смещение центра колеса относительно опорной поверхности...» [9].

Коэффициент нормальной жесткости связан с радиальной деформацией шины, а с ней, в свою очередь, тесно связаны такие эксплуатационные свойства автомобиля как плавность хода, устойчивость движения, управляемость и тягово-скоростные свойства. «Изменение одного из коэффициентов жесткости шины оказывает положительное влияние на одни эксплуатационные свойства автомобиля и отрицательные на другие. Например, уменьшение коэффициента нормальной жесткости ведет к улучшению плавности хода, но ухудшает управляемость автомобиля...» [9].

Важнейшей положительной стороной физического явления, как сопротивление или трение, в автомобилестроении выделяется коэффициент сцепления колеса с дорожным покрытием. Существует коэффициент продольного и поперечного сцеплений. «Коэффициент сцепления зависит от большого числа различных параметров и в первую очередь от типа покрытия и состояния дороги, конструкции и материала шины, давления

воздуха в ней, нагрузки на колесо, распределения напряжений в контакте, скорости движения, температурных условий, процента скольжения или буксования колеса», – утверждают авторы книги «Шины и колёса» В.И. Кнороз и Е.В. Кленников.

В вышеуказанном списке отсутствует такой параметр, как площадь пятна контакта. Тема спора о зависимости величины коэффициента сцепления колеса с дорогой от площади пятна контакта не утихает и по сей день. Большинство думает: чем шире будет шина, тем большего результата можно будет добиться, но это не так. Все мифы развеяны в работах М.С. Петрова и А.В. Лонского, которые доказали с математической (с помощью «сухих» формул) и практической точки зрения, что «...площадь пятна контакта с опорной поверхностью ни коим образом не влияет на коэффициент сцепления.». Данное доказательство распространяется на коэффициент продольного и поперечного сцеплений.

С точки зрения инженера-конструктора повлиять на коэффициент сцепления можно с помощью варьирования давления воздуха в шине и распределения нагрузки на нее, которая тесно связана с вертикальной жесткостью шины.

Таким образом, в дипломном проекте предстоит выяснить влияние вертикальной жесткости шины на коэффициент сцепления с дорогой спортивного болида при разных давлениях.

2 Конструкторская часть

Исходные данные:

Автомобиль – гоночный болид «Formula Student»;

Колесная формула – 4x2;

Компоновочная схема автомобиля – заднеприводный;

Габаритная длина $L_r = 2687$ мм;

Габаритная ширина $B_r = 1445$ мм;

Габаритная высота $H_r = 1170$ мм;

Масса в снаряженном состоянии $m_0 = 234$ кг;

Шины 20,0×7,5 R13 (191/47 R13);

Коэффициент сопротивления качению $f_0 = 0,019$;

Коэффициент аэродинамического сопротивления $C_x = 0,28$;

Максимальная скорость $V_{max} = 189$ км/ч = 52,5 м/с;

Минимальная угловая скорость коленчатого вала $\omega_e^{min} = 100$ рад/с;

Максимальная угловая скорость коленчатого вала $\omega_e^{max} = 900$ рад/с;

КПД трансмиссии $\eta_{тр} = 0,9$.

Таким образом, по исходным данным был выполнен тягово-динамический расчет гоночного болида «Formula Student» согласно учебному пособию Л.А. Черепанова «Расчет тяговой динамики и топливной экономичности автомобиля» и представлен в виде графиков в Приложении А.

3 Исследовательская часть

Целью дипломного проекта является определение зависимости вертикальной жесткости спортивных шин болида «Formula Student» на коэффициент сцепления в продольной и поперечной плоскостях. Для исследования по данной теме были получены 2 образца колес, использующихся для спортивных выступлений болида: шина Hoosier 20.0x7.5-13 «Слик» (рисунок 3а) и шина Hoosier 20.0x7.5-13 «Wet» (рисунок 3б). Изменяя внутреннее давление в шинах в пределах от 0,8 до 1,2 атмосфер, были сняты характеристики для получения искомых зависимостей.

а)



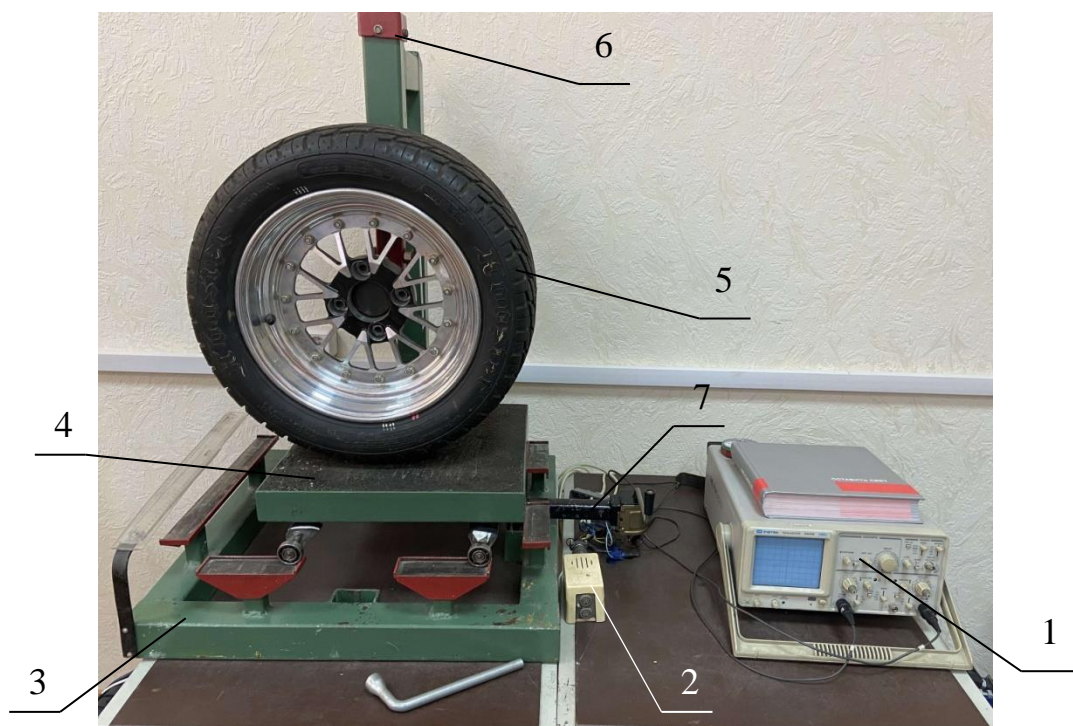
б)



Рисунок 3 – Автомобильные шины для исследования

3.1 Стенд для определения упругих характеристик шин легковых автомобилей

В данной работе используется стенд для определения упругих характеристик шин легковых автомобилей (рисунок 4).



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

Рисунок 4 – Стенд для определения упругих характеристик шин легковых автомобилей

Стенд сконструирован силами студентов, обучающихся в университете. За основу была взята стальная рама, к которой приварили 2 отверстия, необходимых для установки нагружающего устройства (винтовой домкрат) в горизонтальной плоскости; приливов с площадками для передвижения подшипников; место крепления нагружающего устройства в вертикальной плоскости.

Для измерения характеристик, наконечник горизонтального

нагружающего устройства перемещает опорную площадку, представляющую собой корыто с вставленным образцом дорожного покрытия, оснащенную тензодатчиками. Они расположены на упругих элементах опорной площадки, которые передают информацию в виде сигнала на считывающее устройство (осциллограф).

При определении коэффициента сцепления колеса с дорогой в продольной плоскости необходимо установить тензометрическую площадку с асфальтобетонным образцом и нагрузочное устройство соосно плоскости колеса, а при определении коэффициента сцепления колеса с дорогой в поперечной плоскости – тензометрическую площадку с асфальтобетонным образцом расположить перпендикулярно нагрузочному устройству.

Во избежание ложных значений снимаемых характеристик требуется проверить степень затяжки болтов, не позволяющих проскальзывать колесу.

Перед началом испытаний определяется тарировочный коэффициент для вертикальной ($K_{\text{верт}}$) и горизонтальной ($K_{\text{гор}}$) нагрузки.

Ниже приведен алгоритм выполнения работы.

- расчет тарировочного коэффициента вертикальной нагрузки;
- расчет тарировочного коэффициента горизонтальной нагрузки;
- определение вертикальной жесткости автомобильной шины;
- определение коэффициента сцепления в поперечном направлении;
- определение коэффициента сцепления в продольном направлении.

3.1.1 Тарировка оборудования

Алгоритм расчета тарировочного коэффициента вертикальной нагрузки:

- взять известную массу:

$$m_1 = 73,2 \text{ кг};$$

- рассчитать нагрузку (перевести килограммы в Ньютоны):

$$F_{\text{верт}} = m_1 \cdot g = 73,2 \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 718,092 \text{ Н};$$

- включить осциллограф;
- выставить луч осциллографа, соответствующий вертикальной нагрузке на нулевое положение;
- приложить найденную нагрузку к тензометрической площадке стенда;
- считать показатели отклонения x луча осциллографа.
- рассчитать тарировочный коэффициент вертикальной нагрузки по формуле (1):

$$K_{\text{верт}} = \frac{F_{\text{верт}}}{x}, \quad (1)$$

В результате приложения к площадке вертикальной нагрузки луч на осциллографе сместился на $x = 5$ мм.

Рассчитываем тарировочный коэффициент по формуле (1):

$$K_{\text{верт}} = \frac{F_{\text{верт}}}{x} = \frac{718,092 \text{ Н}}{5 \text{ мм}} = 143,6 \text{ Н/мм}.$$

Алгоритм расчета тарировочного коэффициента горизонтальной нагрузки:

- взять известную массу:
- $m_2 = 10$ кг;
- рассчитать нагрузку (перевести килограммы в Ньютоны):

$$F_{\text{гор}} = m_2 \cdot g = 10 \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 98,1 \text{ Н};$$

- взять динамометр;
- установить на динамометре нулевое положение;
- нагрузить динамометр известной нагрузкой;
- считать показатель на динамометре;
- рассчитать нагрузку, соответствующую одному делению на динамометре;
- включить осциллограф;

- выставить луч осциллографа, соответствующий горизонтальной нагрузке на нулевое положение;
- приложить максимальную нагрузку вспомогательным элементом через динамометр к нагрузочному устройству;
- одновременно считать показатели отклонения на динамометре и на луче осциллографа (y);
- рассчитать тарировочный коэффициент горизонтальной нагрузки по формуле (2):

$$K_{\text{гор}} = \frac{F_{\text{гор}}}{y}, \quad (2)$$

В результате выполнения перечисленных пунктов получили следующую зависимость:

4 деления – 98,1 Н

1 деление – z Н

Отсюда выполняем пункт 7:

$$1 \text{ деление} = \frac{98,1 \text{ Н}}{4 \text{ дел}} = 24,5 \text{ Н}$$

В ходе выполнения пункта 11 получили:

$$20 \text{ делений} - y = 6 \text{ мм}$$

Зная, чему равно 1 деление, найдем:

$$F_{\text{гор}} = 20 \text{ дел} \cdot 24,5 \text{ Н} = 490 \text{ Н}$$

Рассчитаем тарировочный коэффициент:

$$K_{\text{гор}} = \frac{F_{\text{гор}}}{y} = \frac{490 \text{ Н}}{6 \text{ мм}} = 81,7 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

3.1.2 Определение вертикальной жесткости автомобильной шины

В проведении исследований использовались два колеса, использующиеся на болидах «Formula Student» с разными внутренними давлениями, поэтому необходимо построить 5 графиков зависимостей

деформации шины для каждой из приложенной к колесу вертикальной силы для шины типа «Слик» и 5 графиков – для «Wet» шины.

«Рассчитаем вертикальную нагрузку по формуле (3), которая приходится на заднее правое (левое) колесо болида:

$$F_{\text{верт}}^{\text{б}} = \left(m_{\text{пр(лев)}}^{\text{задн}} + \frac{m_{\text{п}} \cdot 0,55}{2} \right) \cdot g, \quad (3)$$

где $m_{\text{пр(лев)}}^{\text{задн}} = 63$ кг – масса, приходящаяся на заднее правое (левое) колесо;

$m_{\text{п}} = 65$ кг – масса пилота» [1].

$$F_{\text{верт}}^{\text{б}} = 793,6 \text{ Н}$$

Алгоритм определения вертикальной жесткости шины:

- установить колесо на стенд;
- накачать/сравить воздух до необходимого давления;
- опустить колесо с помощью нагрузочного устройства до соприкосновения с опорной поверхностью;
- выставить луч осциллографа, соответствующий вертикальной нагрузке на нулевое положение;
- снять показание с линейки, соответствующее нулевой нагрузке;
- увеличить нагрузку на колесо;
- снять показание с линейки;
- уменьшить нагрузку на колесо;
- снять показание с линейки.

Колесо с покрышкой типа «Слик»

Таблица 1 – Данные для построения графиков $F_{\text{верт}} = f(\Delta f)$ шины «Слик»

0,8 атм				
$F_{\text{верт}}, \text{Н}$	Нагрузка, мм	Разгрузка, мм	$\Delta f, \text{мм}$	$\Delta f', \text{мм}$
0	153	152	0	1
287,2	150	149	3	4
574,4	148	147	5	6
861,6	145	144	8	9
1148,8	144	143	9	10
1436	142	141	11	12
1723,2	141	140	12	13
2010,4	139	139	14	14
0,9 атм				
$F_{\text{верт}}, \text{Н}$	Нагрузка, мм	Разгрузка, мм	$\Delta f, \text{мм}$	$\Delta f', \text{мм}$
0	154	153	0	1
287,2	151	150	3	4
574,4	148,5	148	5,5	6
861,6	146,5	146	7,5	8
1148,8	145	144	9	10
1436	143	142	11	12
1723,2	142	141	12	13
2010,4	140	140	14	14
1,0 атм				
$F_{\text{верт}}, \text{Н}$	Нагрузка, мм	Разгрузка, мм	$\Delta f, \text{мм}$	$\Delta f', \text{мм}$
0	154	153	0	1
287,2	151	150	3	4
574,4	149	148	5	6
861,6	147	146	7	8
1148,8	145	144	9	10
1436	144	143	10	11
1723,2	142	141	12	13
2010,4	140	140	14	14
1,1 атм				
$F_{\text{верт}}, \text{Н}$	Нагрузка, мм	Разгрузка, мм	$\Delta f, \text{мм}$	$\Delta f', \text{мм}$
0	155	154	0	1
287,2	152	151	3	4
574,4	150	149	5	6
861,6	148	147,5	7	7,5
1148,8	146	145	9	10
1436	144	143	11	12
1723,2	143	142	12	13
2010,4	141	141	14	14
1,2 атм				
$F_{\text{верт}}, \text{Н}$	Нагрузка, мм	Разгрузка, мм	$\Delta f, \text{мм}$	$\Delta f', \text{мм}$
0	152	151	0	1
287,2	150	149	2	3

Продолжение таблицы 1

$F_{\text{верт}}, \text{Н}$	Нагрузка, мм	Разгрузка, мм	$\Delta f, \text{мм}$	$\Delta f', \text{мм}$
574,4	148	147	4	5
861,6	146	145	6	7
1148,8	144	143	8	9
1436	143	142	9	10
1723,2	142	141	10	11
2010,4	140	140	12	12

По данным таблицы 1 построим графики зависимостей $F_{\text{верт}} = f(\Delta f)$ для разных давлений (рисунки 5-9).

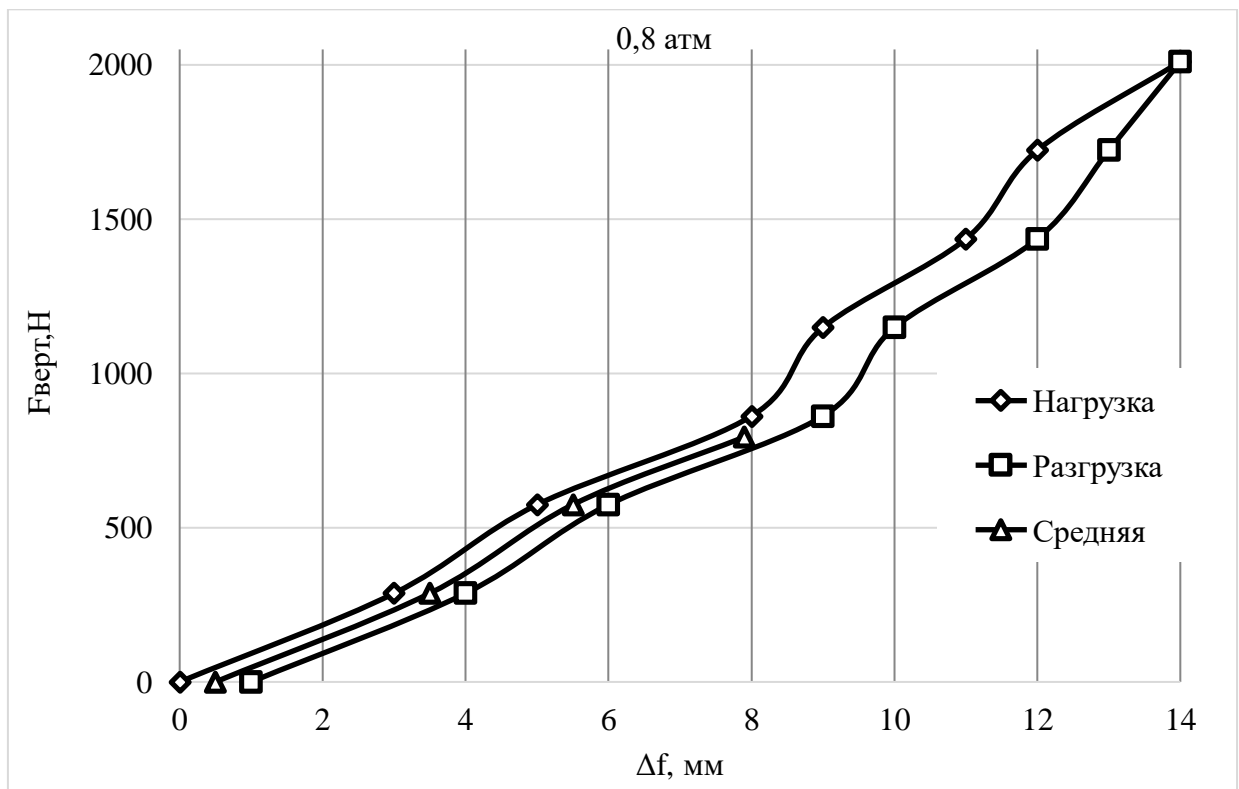


Рисунок 5 – График зависимости $F_{\text{верт}} = f(\Delta f)$ для шины «Слик» с давлением 0,8 атмосфер

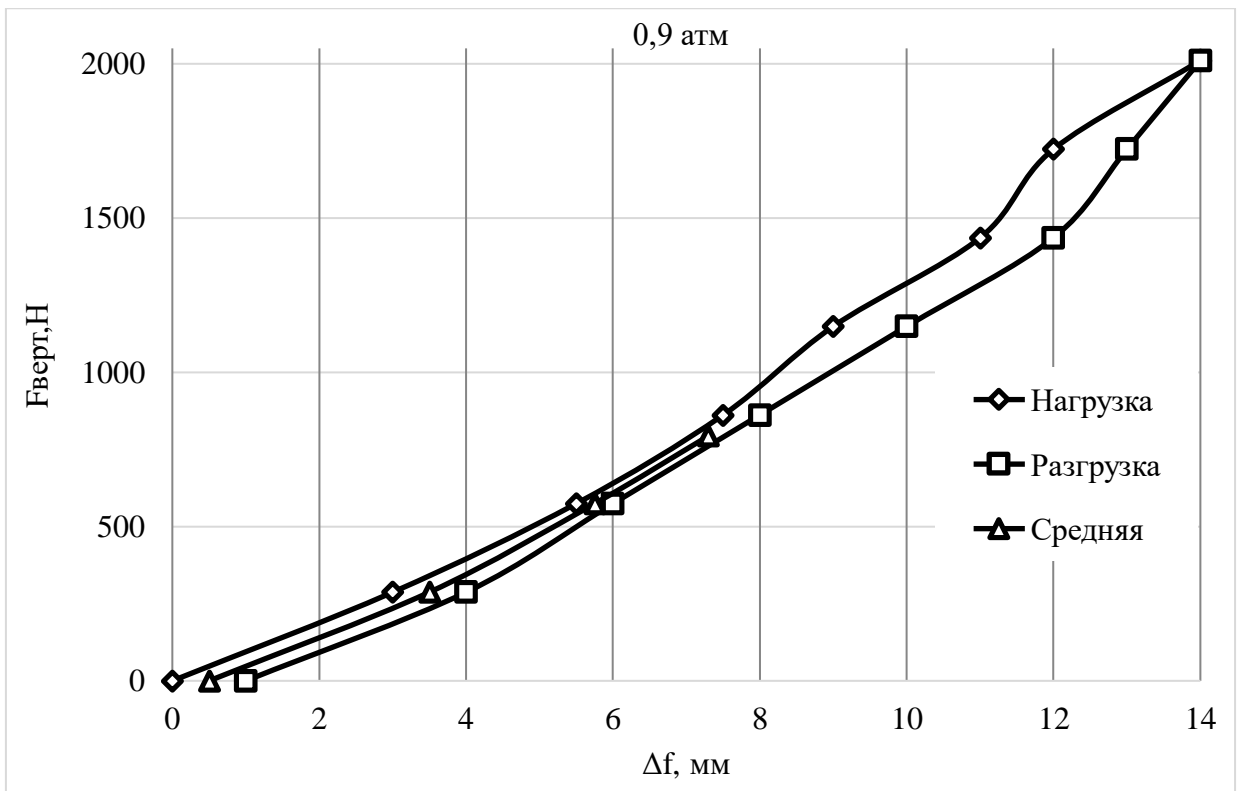


Рисунок 6 – График зависимости $F_{\text{верт}} = f(\Delta f)$ для шины «Слик» с давлением 0,9 атмосфер

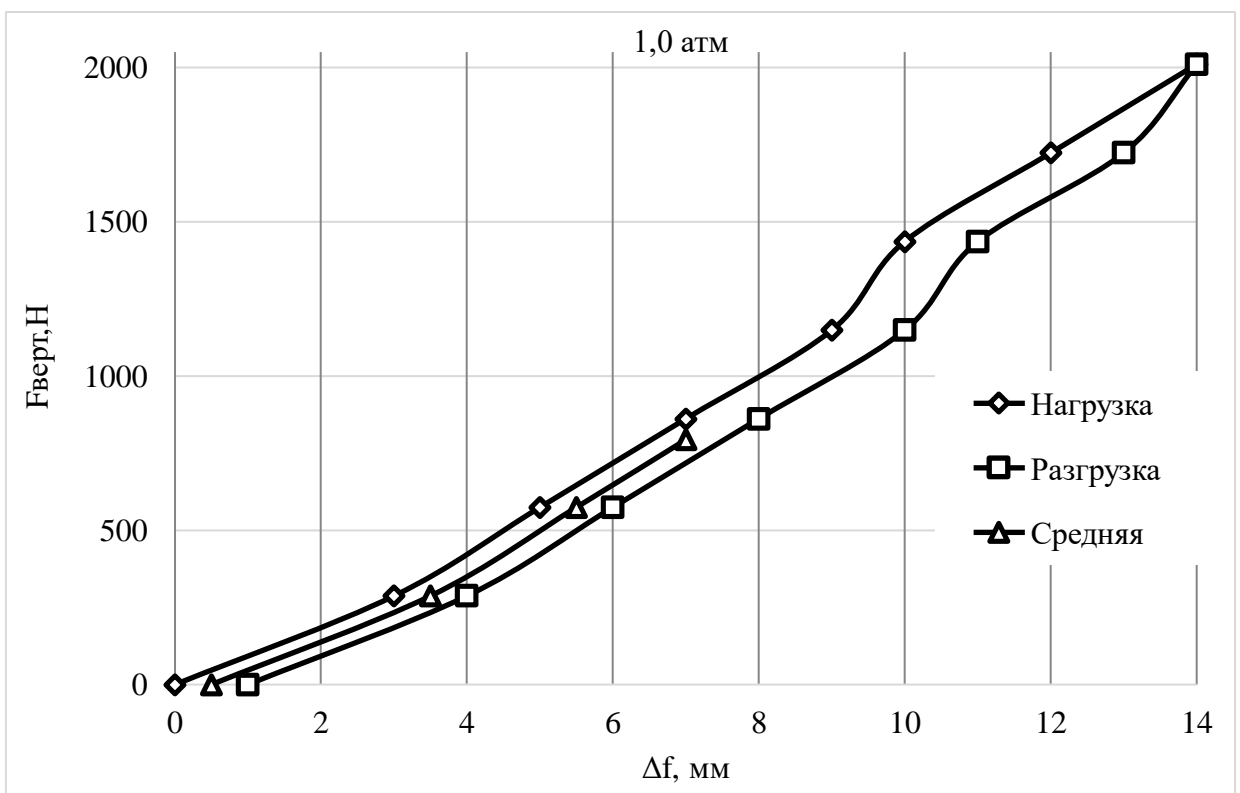


Рисунок 7 – График зависимости $F_{\text{верт}} = f(\Delta f)$ для шины «Слик» с давлением 1,0 атмосфера

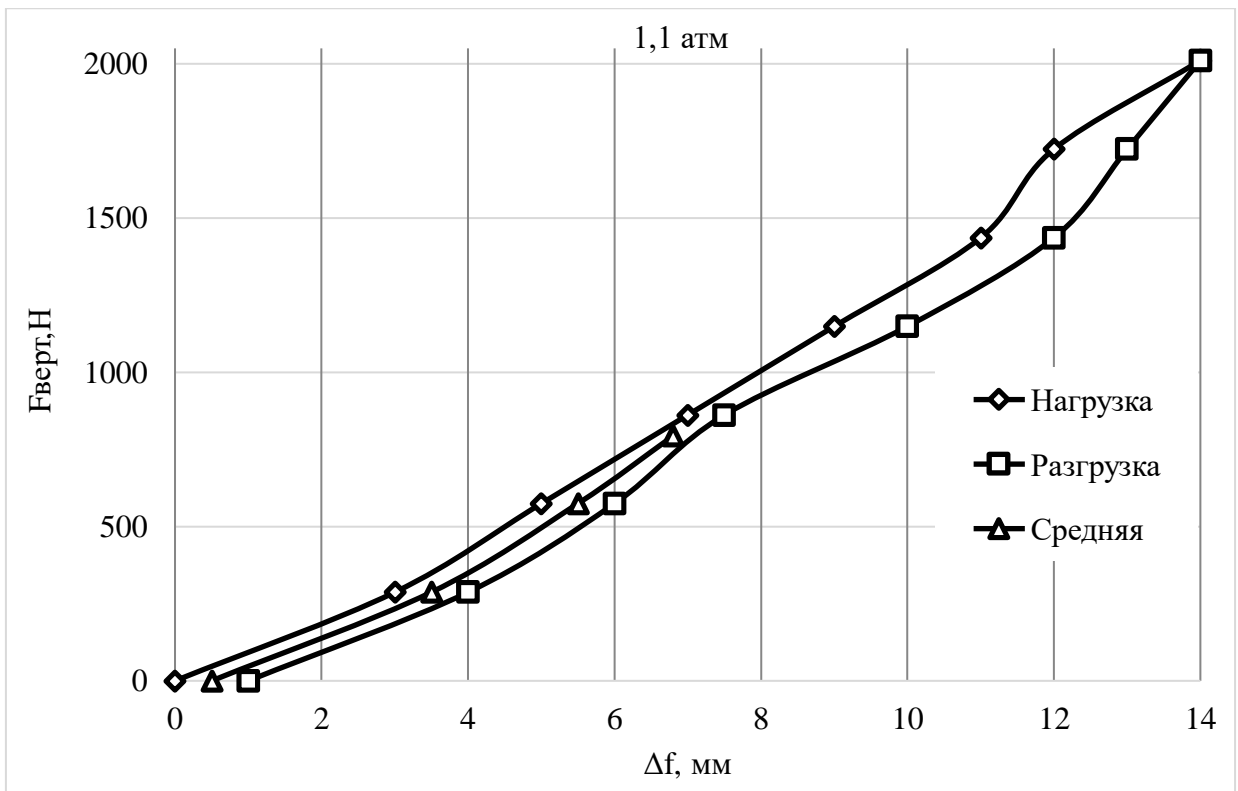


Рисунок 8 – График зависимости $F_{\text{верт}} = f(\Delta f)$ для шины «Слик» с давлением 1,1 атмосфера

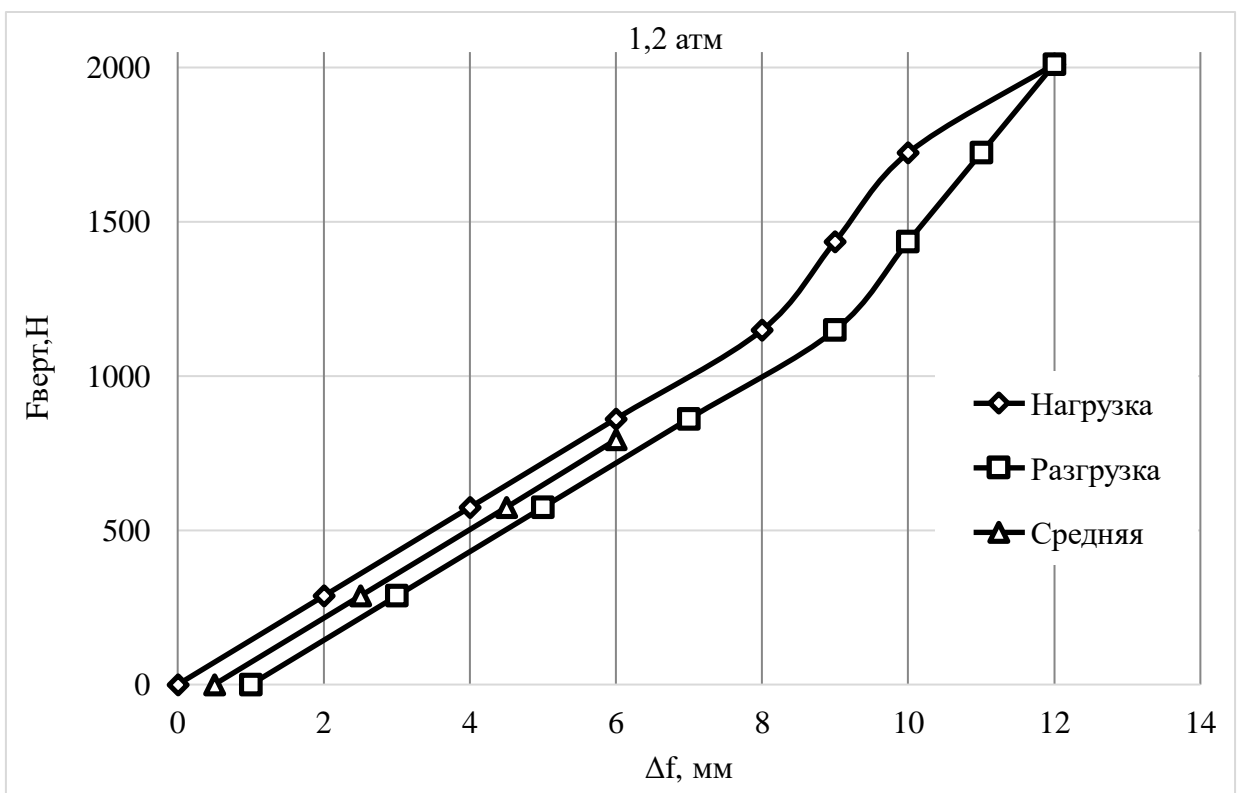


Рисунок 9 – График зависимости $F_{\text{верт}} = f(\Delta f)$ для шины «Слик» с давлением 1,2 атмосферы

Колесо с «Wet» шиной

Таблица 2 – Данные для построения графиков $F_{\text{верт}} = f(\Delta f)$ «Wet» шины

0,8 атм				
$F_{\text{верт}}, \text{Н}$	Нагрузка, мм	Разгрузка, мм	$\Delta f, \text{мм}$	$\Delta f', \text{мм}$
0	150	147	0	3
287,2	147	145	3	5
574,4	144	143	6	7
861,6	142	141	8	9
1148,8	140	139	10	11
1436	139	138	11	12
1723,2	137	136	13	14
2010,4	135	135	15	15
0,9 атм				
$F_{\text{верт}}, \text{Н}$	Нагрузка, мм	Разгрузка, мм	$\Delta f, \text{мм}$	$\Delta f', \text{мм}$
0	151	149	0	2
287,2	148	147	3	4
574,4	146	145	5	6
861,6	143,5	142,5	7,5	8,5
1148,8	142	141	9	10
1436	141	140	10	11
1723,2	138	138	13	13
2010,4	137	137	14	14
1,0 атм				
$F_{\text{верт}}, \text{Н}$	Нагрузка, мм	Разгрузка, мм	$\Delta f, \text{мм}$	$\Delta f', \text{мм}$
0	152	151	0	1
287,2	149	148	3	4
574,4	147	146	5	6
861,6	145	144	7	8
1148,8	142	141	10	11
1436	141	140	11	12
1723,2	140	139	12	13
2010,4	138	138	14	14
1,1 атм				
$F_{\text{верт}}, \text{Н}$	Нагрузка, мм	Разгрузка, мм	$\Delta f, \text{мм}$	$\Delta f', \text{мм}$
0	153	151	0	2
287,2	151	149	2	4
574,4	149	147	4	6
861,6	146	144	7	9
1148,8	143	142	10	11
1436	142	141	11	12
1723,2	141	140	12	13
2010,4	139	139	14	14
1,2 атм				
$F_{\text{верт}}, \text{Н}$	Нагрузка, мм	Разгрузка, мм	$\Delta f, \text{мм}$	$\Delta f', \text{мм}$
0	151	149	0	2
287,2	148	147	3	4

Продолжение таблицы 2

$F_{\text{верт}}, \text{Н}$	Нагрузка, мм	Разгрузка, мм	$\Delta f, \text{мм}$	$\Delta f', \text{мм}$
574,4	146	145	5	6
861,6	144	143	7	8
1148,8	143	142	8	9
1436	141	140	10	11
1723,2	140	139	11	12
2010,4	138	138	13	13

По данным таблицы 2 построим графики зависимостей $F_{\text{верт}} = f(\Delta f)$ для разных давлений (рисунки 10-14).

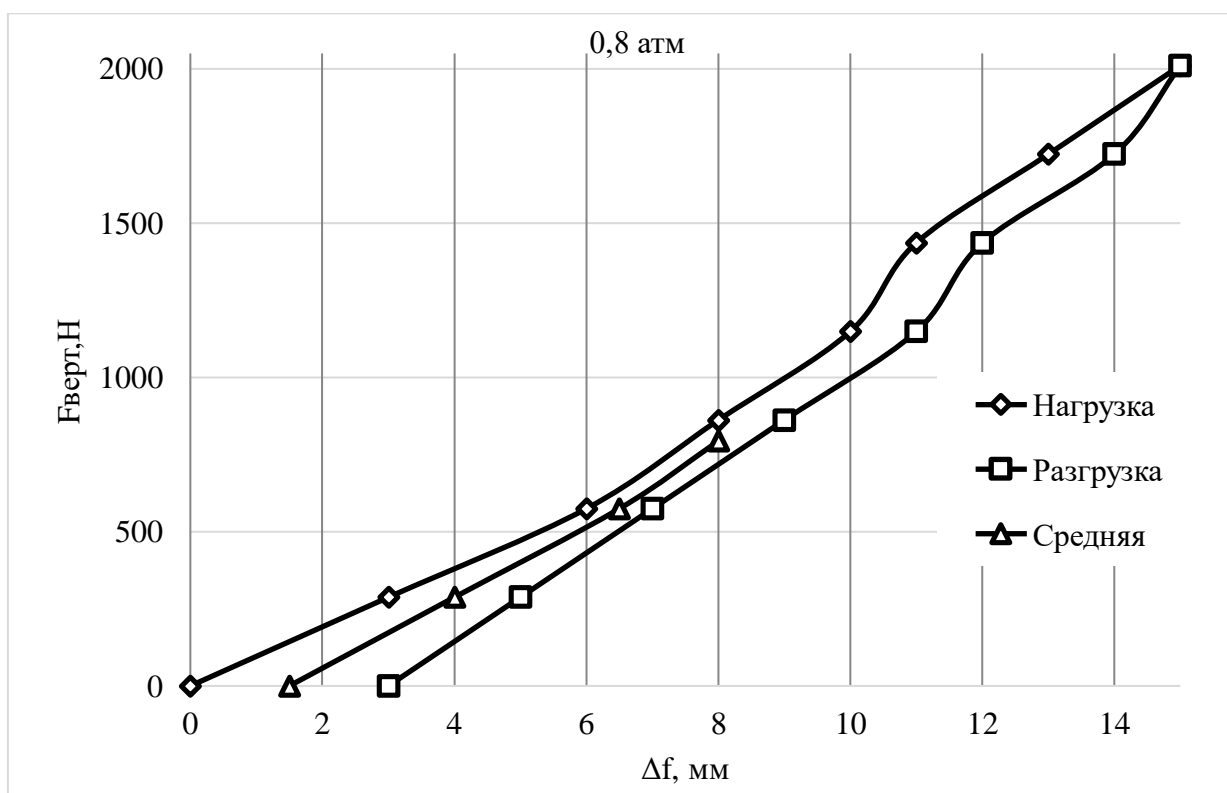


Рисунок 10 – График зависимости $F_{\text{верт}} = f(\Delta f)$ для «Wet» шины с давлением 0,8 атмосфер

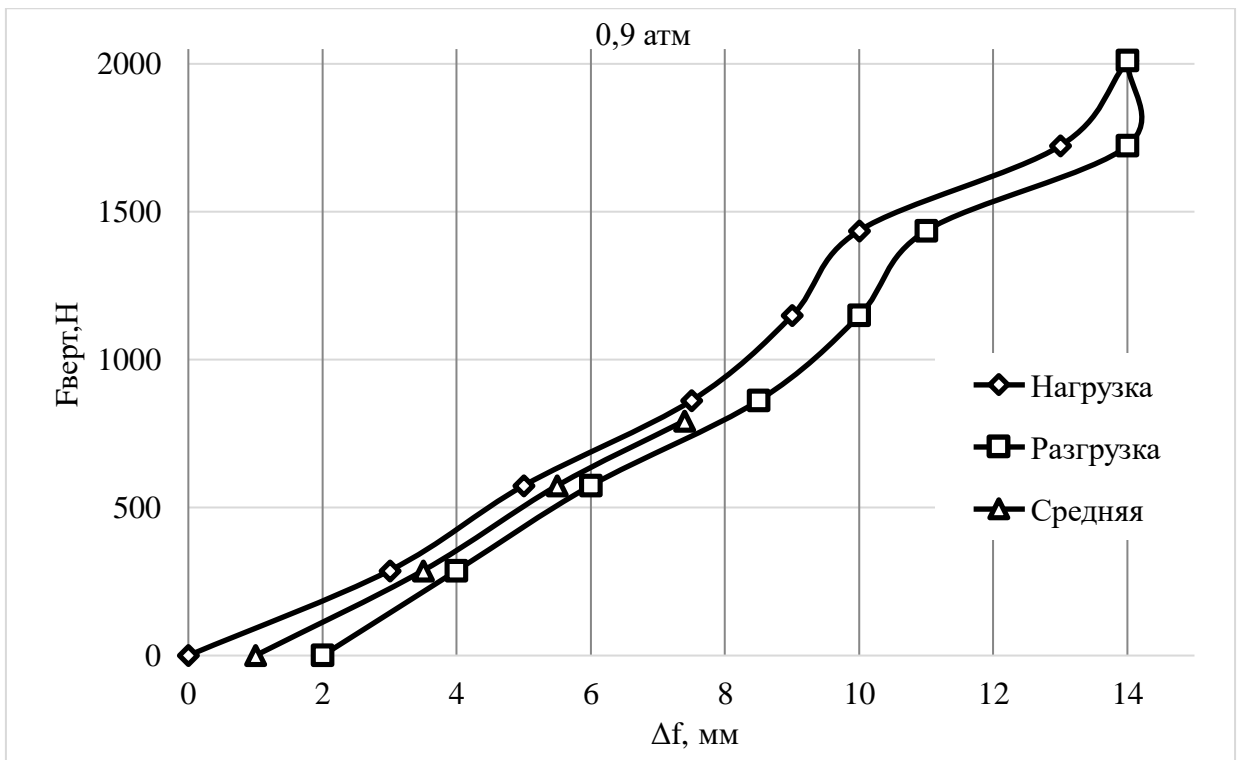


Рисунок 11 – График зависимости $F_{\text{верт}} = f(\Delta f)$ для «Wet» шины с давлением 0,9 атмосфер

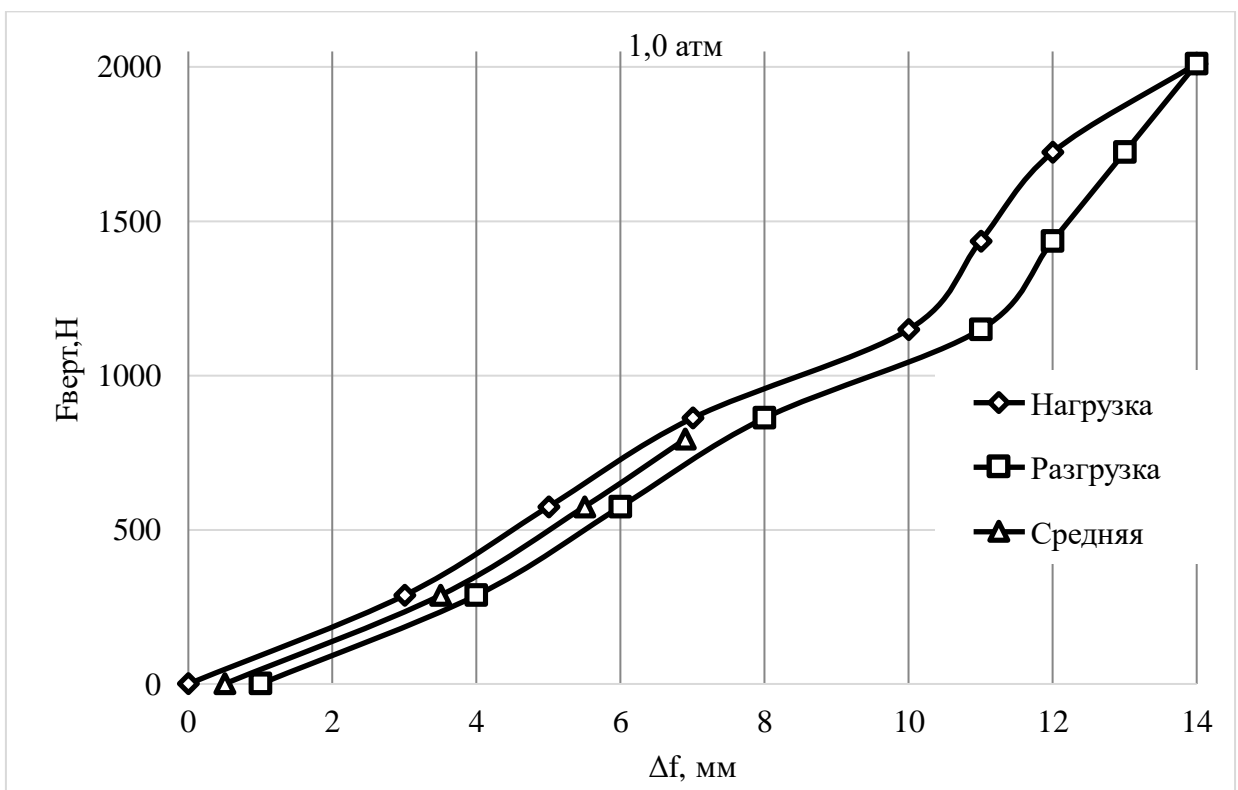


Рисунок 12 – График зависимости $F_{\text{верт}} = f(\Delta f)$ для «Wet» шины с давлением 1,0 атмосфера

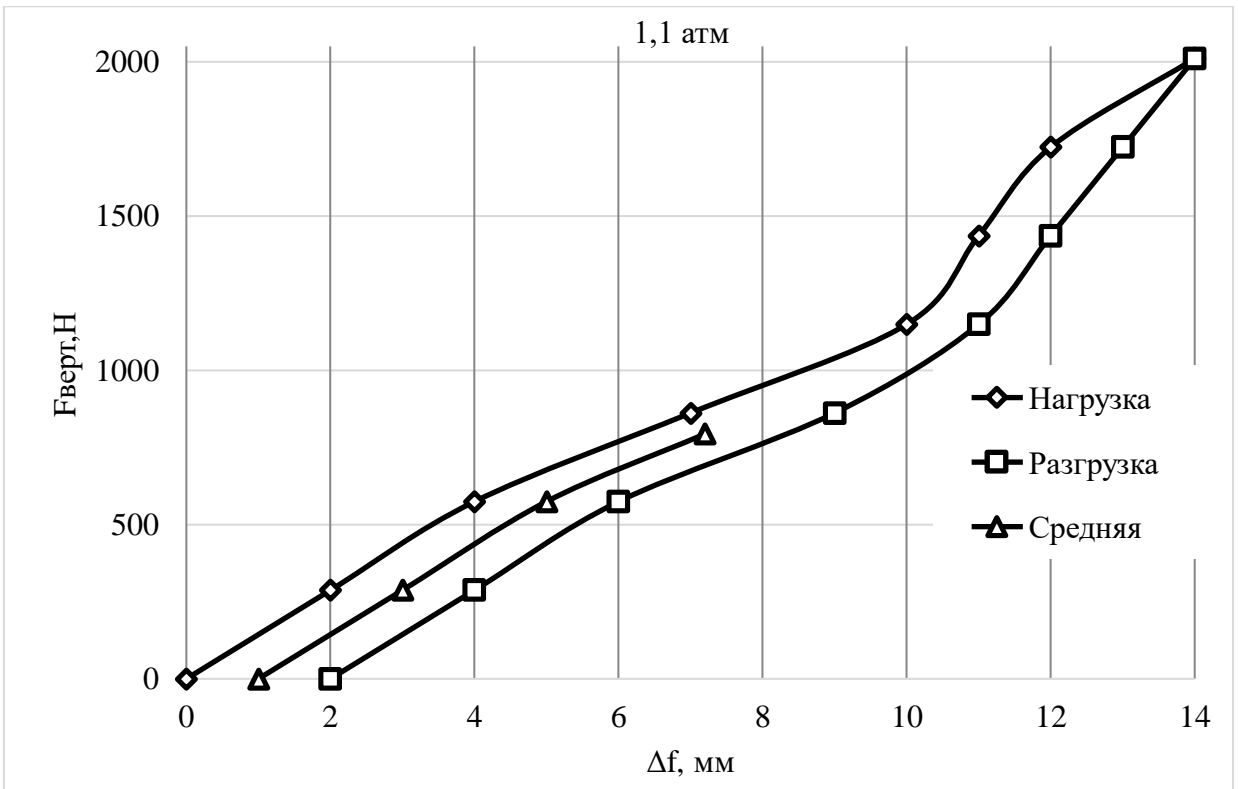


Рисунок 13 – График зависимости $F_{\text{верт}} = f(\Delta f)$ для «Wet» шины с давлением 1,1 атмосфера

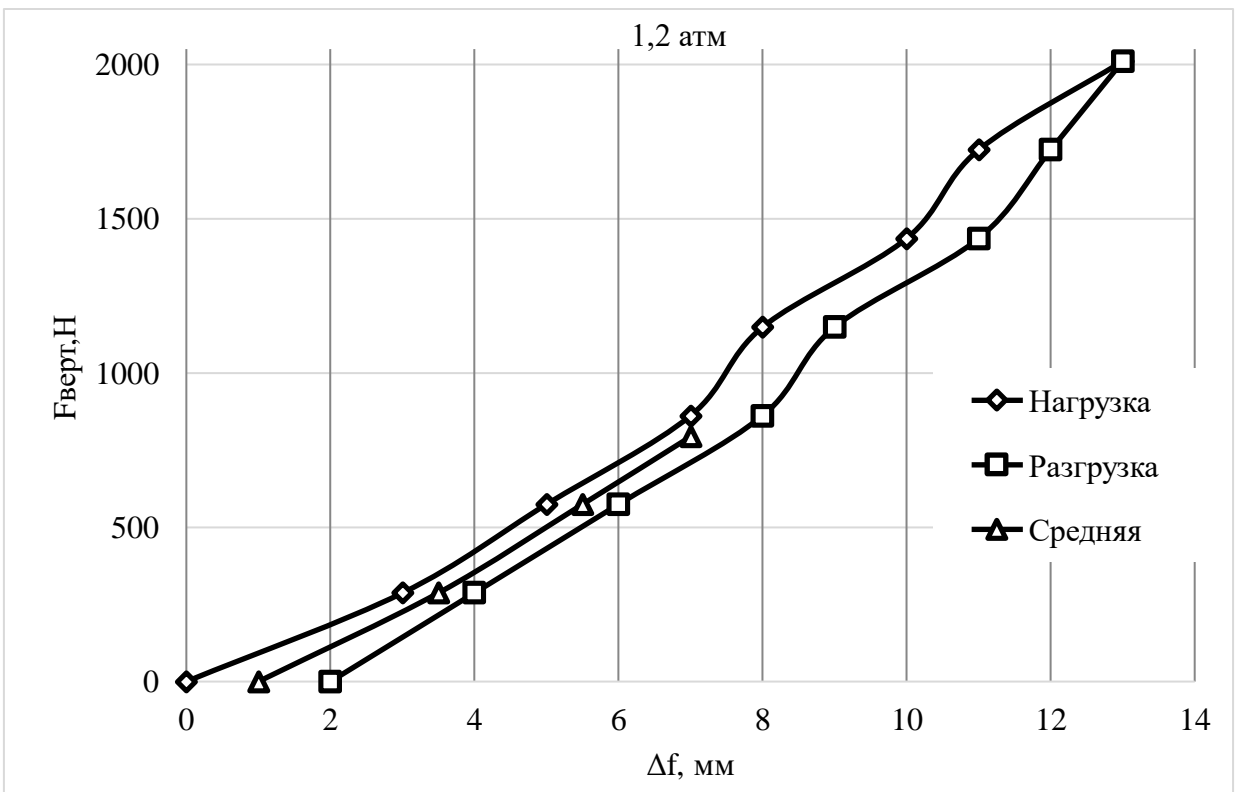


Рисунок 14 – График зависимости $F_{\text{верт}} = f(\Delta f)$ для «Wet» шины с давлением 1,2 атмосферы

3.2 Построение графика зависимости вертикальной жесткости от давления в шине

Колесо с покрышкой типа «Слик»

По графикам $F_{\text{верт}} = f(\Delta f)$ на рисунках 5-9 определим значение вертикальной жесткости для каждого давления по формуле (4):

$$C_{\text{ш}} = \frac{F_{\text{верт}}^{\text{б}}}{\Delta f_{\text{ср}}}, \quad (4)$$

где $\Delta f_{\text{ср}}$ – средний прогиб шины, мм.

$$C_{\text{ш}}^{0,8} = \frac{F_{\text{верт}}^{\text{б}}}{\Delta f_{\text{ср}}} = \frac{793,6 \text{ Н}}{7,4} = 107,2 \text{ Н/мм}$$

Сведем рассчитанные значения в таблицу 3:

Таблица 3 – Данные для построения графика $C_{\text{ш}} = f(P_{\text{ш}})$ шины «Слик»

$P_{\text{ш}}$, атм	$C_{\text{ш}}$, Н/мм
0,8	107,2
0,9	116,7
1,0	122,1
1,1	125,9
1,2	144,3

По данным таблицы 3 построим график зависимости $C_{\text{ш}} = f(P_{\text{ш}})$ (рисунок 15):

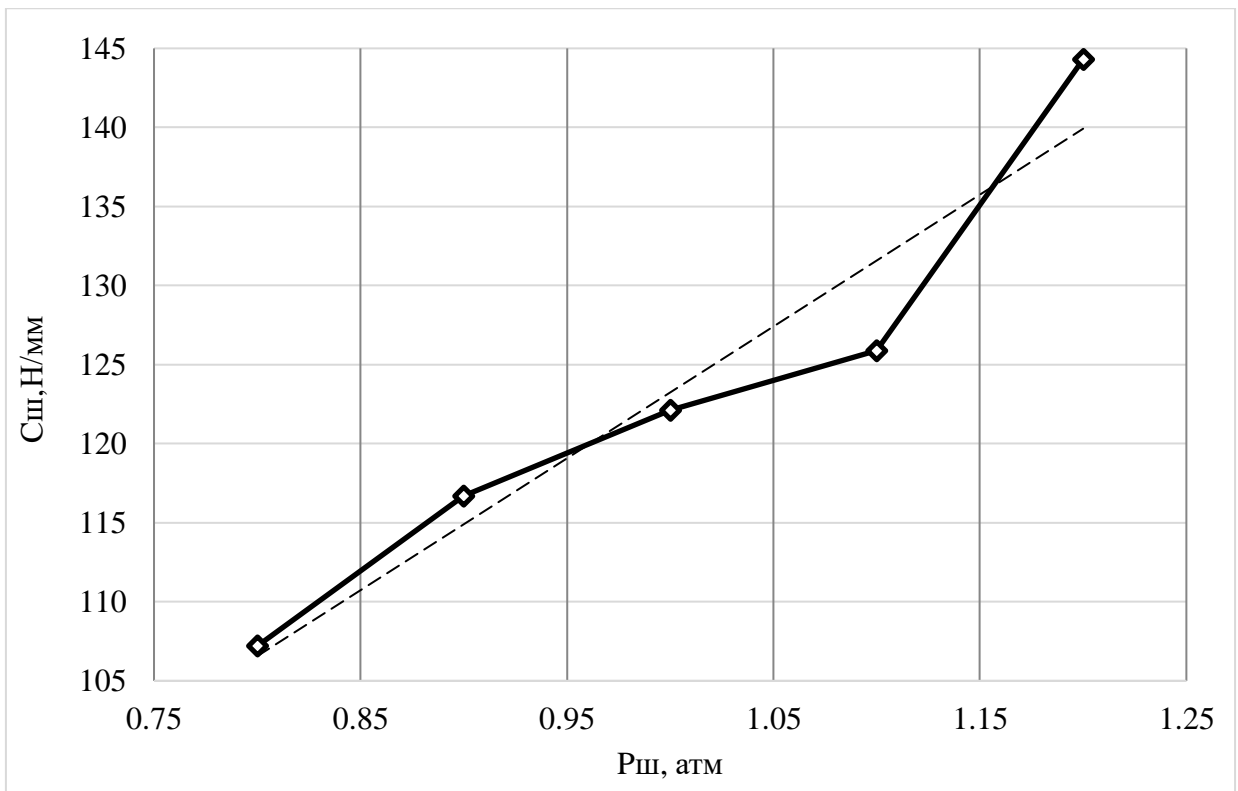


Рисунок 15 – График зависимости $C_{ш} = f(P_{ш})$ шины «Слик»

Колесо с «Wet» шиной

Таблица 4 – Данные для построения графика $C_{ш} = f(P_{ш})$ «Wet» шины

$P_{ш}, атм$	$C_{ш}, Н/мм$
0,8	122,1
0,9	124,0
1,0	126,0
1,1	128,0
1,2	132,3

По данным таблицы 4 построим график зависимости $C_{ш} = f(P_{ш})$ (рисунок 16):

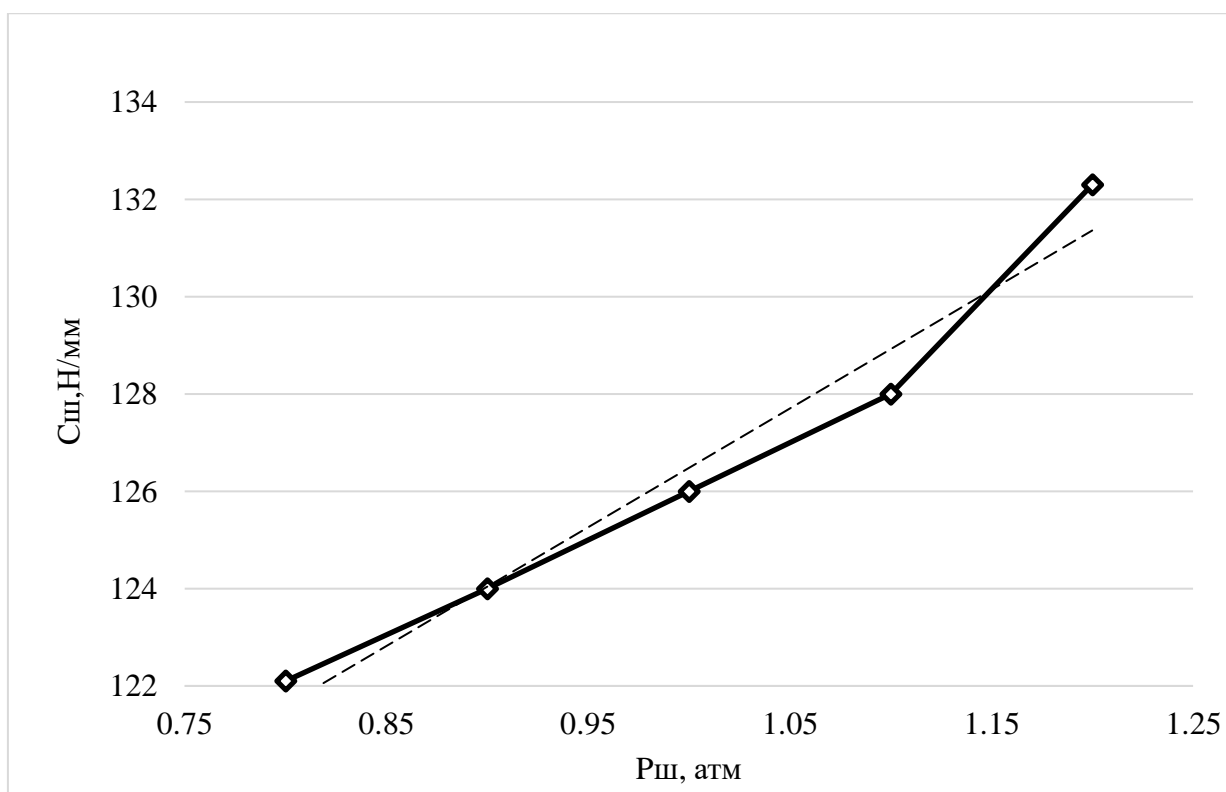


Рисунок 16 – График зависимости $C_{ш} = f(P_{ш})$ «Wet» шины

По полученным графикам зависимости жесткости шины от внутреннего давления (рисунок 15,16) получаем следующие выводы:

- жесткость обеих шин линейно растет с увеличением давления в них;
- жесткость шины типа «Слик» выше, чем у «Wet» шины;
- просматривается резкий рост жесткости шины типа «Слик» и «Wet» шины при давлении от 1,1 до 1,2 атмосфер;
- жесткость шины типа «Слик» с увеличением давления растет более интенсивно, чем жесткость «Wet» шины.

В исследовательской части научной работы М.С. Петрова по графику зависимости жесткости летней шины от внутреннего давления заметен такой же результат.

Таким образом, для всех типов шин сохраняется линейное возрастание вертикальной жесткости шины при увеличении давления, что увеличивает устойчивость и управляемость автомобиля.

3.3 Определение коэффициента сцепления колеса с дорогой в продольной плоскости

Алгоритм определения коэффициента сцепления колеса с дорогой в продольной плоскости:

– установить тензометрическую площадку с асфальтобетонным покрытием и нагрузочное устройство соосно плоскости колеса, как показано на рисунке 17;

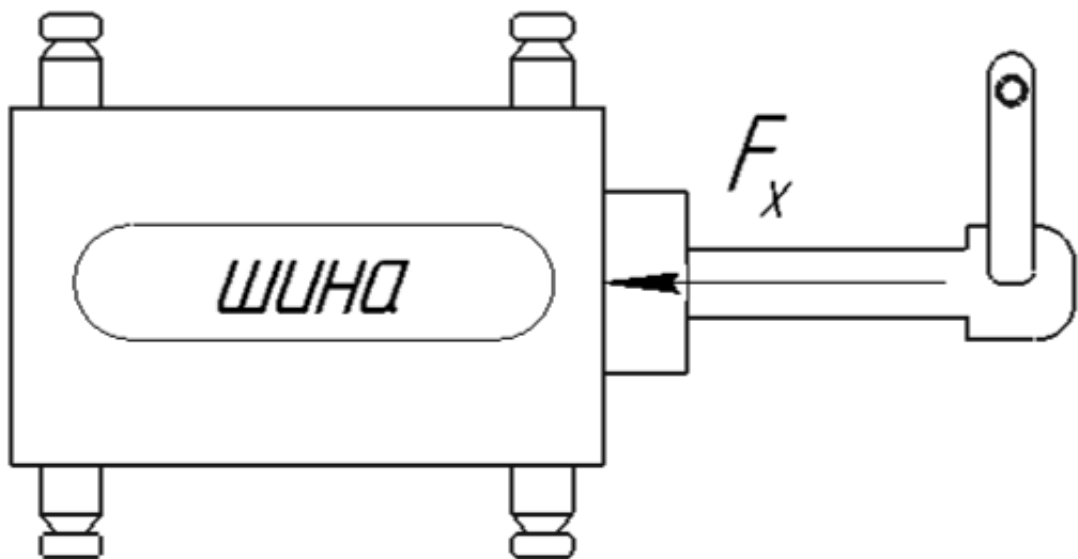


Рисунок 17 – Схема стенда для определения коэффициента сцепления шины в продольной плоскости

– нагрузить испытуемое колесо вертикальной нагрузкой;

Зная вес, приходящийся на одно из ведущих колес, переведем нагрузку из килограмм в миллиметры:

$$l = \frac{F_{\text{верт}}^{\text{б}}}{K_{\text{верт}}} = \frac{793.6 \text{ Н}}{143.6 \text{ Н/мм}} = 5,5 \text{ мм}$$

С помощью механизма вертикальной нагрузки перемещаем вертикальную линию луча осциллографа на рассчитанное значение l .

– нагрузочным устройством в продольном направлении начать перемещать опорную плиту стенда до получения явления проскальзывания шины;

– снять показания l' с луча осциллографа в миллиметрах, отвечающего горизонтальной нагрузке;

– рассчитать значение боковой нагрузки в Ньютонах по формуле (5):

$$F_x = l' \cdot K_{гор}, \quad (5)$$

– рассчитать коэффициент сцепления в продольной плоскости по формуле (6):

$$\varphi_x = \frac{F_x}{F_{верт}^0}, \quad (6)$$

Опыты проводились с двумя образцами шин, указанными выше, с разными внутренними давлениями. Полученные и рассчитанные значения сведем в таблицу 5:

Таблица 5 – Результаты расчета коэффициента сцепления в продольной плоскости

Давление, атм	Тип шины	
	Шина типа «Слик»	«Wet» шина
0,8	2,16	1,65
0,9	2,26	1,75
1,0	2,37	1,85
1,1	2,26	1,96
1,2	2,06	1,96

По данным таблицы (5) построим график зависимости $\varphi_x = f(C_{ш})$ для двух типов шин (рисунок 18).

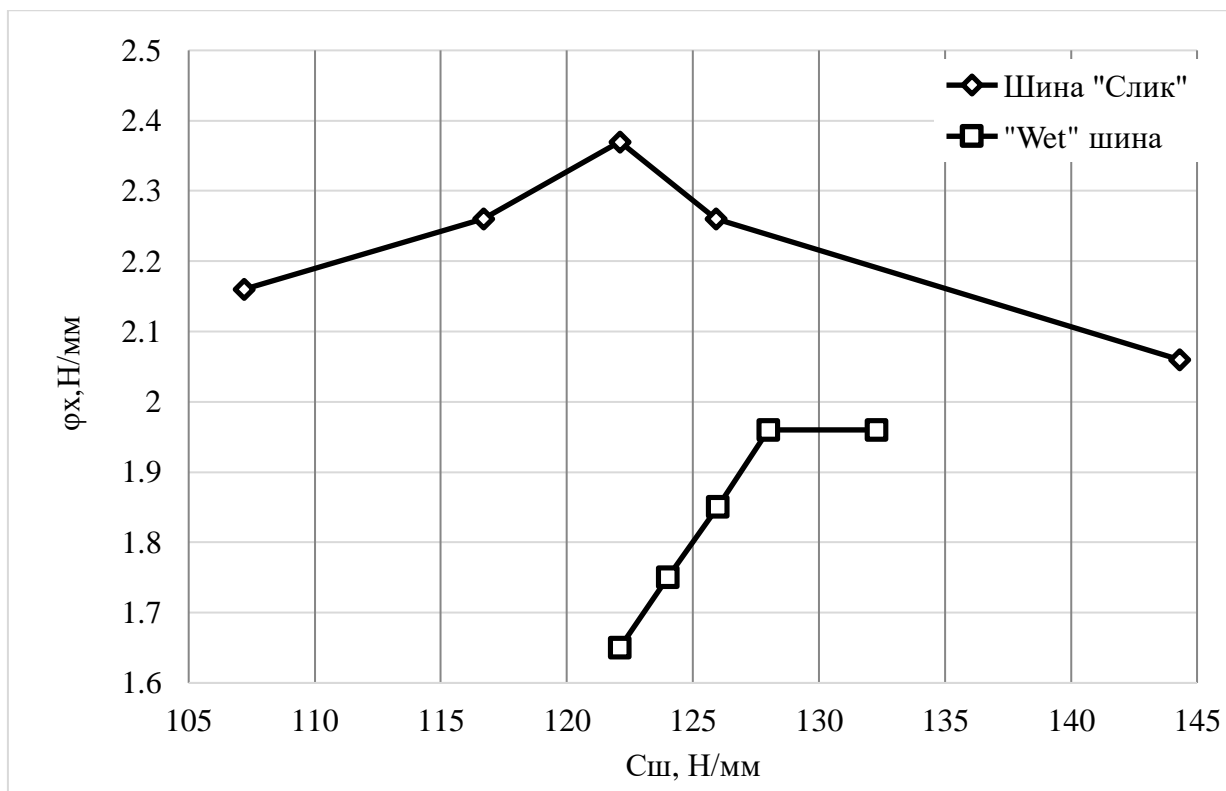


Рисунок 18 – График зависимости $\varphi_x = f(C_{ш})$ для двух типов шин

Рассмотрим график зависимости коэффициента сцепления в продольном направлении от жесткости шины (рисунок 10), которая связана с внутренним давлением (рисунок 15,16) и сделаем выводы:

- линия графика, соответствующая шине типа «Слик», лежит выше линии графика «Wet» шины, что говорит о более высоком значении коэффициента сцепления у первого образца;

- коэффициент сцепления в продольном направлении у шины типа «Слик» возрастает до значения вертикальной жесткости 122,1 Н/мм, а затем убывает;

- точка максимума у шины «Слик» соответствует значению вертикальной жесткости 122,1 Н/мм;

- коэффициент сцепления в продольном направлении «Wet» шины возрастает на всем протяжении увеличения вертикальной жесткости до значения 128,0 Н/мм;

– «полка» максимума у «Wet» шины соответствует значению вертикальной жесткости 128,0 и 132,3 Н/мм;

– у шины типа «Слик» коэффициент сцепления в продольном направлении при давлении 0,8 атмосфер выше, чем при давлении 1,2 атмосферы.

3.4 Определение коэффициента сцепления колеса с дорогой в поперечной плоскости

Алгоритм определения коэффициента сцепления колеса с дорогой в поперечной плоскости аналогичен алгоритму определения в продольной плоскости, за исключением расположения тензометрической площадки и нагрузочного устройства в горизонтальной плоскости (рисунок 19).

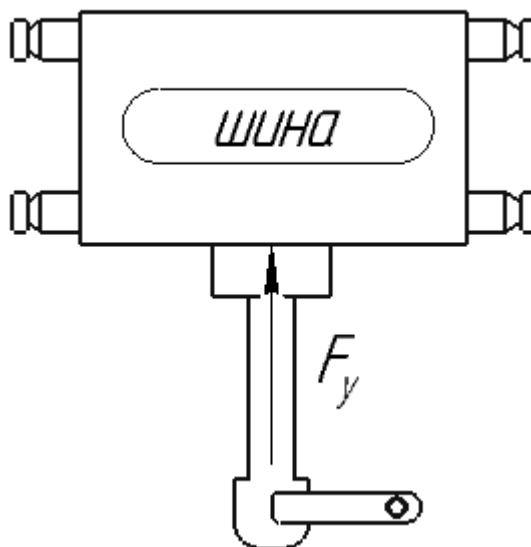


Рисунок 19 – Схема стенда для определения коэффициента сцепления шины в поперечной плоскости

Полученные и рассчитанные значения сведем в таблицу 6:

Таблица 6 – Результаты расчета коэффициента сцепления в поперечной плоскости

Давление, атм	Тип шины	
	Шина типа «Слик»	«Wet» шина
0,8	2,06	1,85
0,9	2,16	1,96
1,0	2,26	2,06
1,1	2,16	2,47
1,2	1,96	2,46

По данным таблицы (6) построим график зависимости $\varphi_y = f(C_{ш})$ для двух типов шин (рисунок 20).

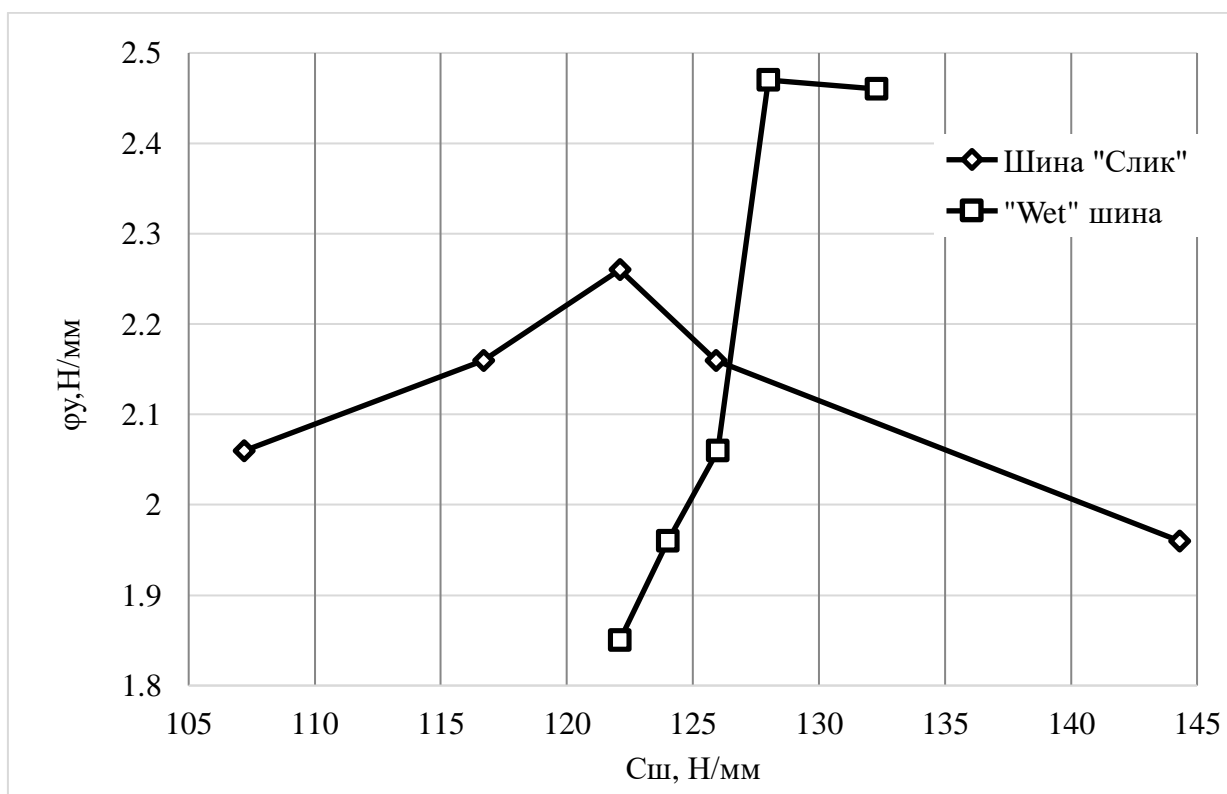


Рисунок 20 – График зависимости $\varphi_y = f(C_{ш})$ для двух типов шин

Рассмотрим график зависимости коэффициента сцепления в поперечном направлении от жесткости шины (рисунок 20), которая связана с внутренним давлением (рисунок 15,16) и сделаем выводы:

– наибольшее значение коэффициента сцепления у шины типа «Слик» наблюдается при жесткости 122,1 Н/мм, что соответствует давлению 1,0 атмосфера (бар);

– наибольшее значение коэффициента сцепления у «Wet» шины наблюдается при жесткости 128,0 Н/мм, что соответствует давлению 1,1 атмосферы (бар);

– замечен резкий рост значения коэффициента сцепления у «Wet» шины при увеличении давления с 1,0 до 1,2 атмосферы (бар);

– коэффициент сцепления шины типа «Слик» выше при давлениях от 0,8 до 1,1 атмосферы (бар), чем у «Wet» шины при давлениях от 0,8 до 1,0 атмосферы (бар);

– у «Wet» шины, чем больше давление, тем выше вертикальная жесткость и, как следствие, выше значение коэффициента сцепления в поперечной плоскости.

3.5 Анализ полученных данных

В ходе проведения исследовательской части дипломного проекта были проведены опыты с двумя образцами шин, использующихся на болидах Formula Student.

Поставленная цель дипломного проекта, заключающаяся в получении зависимостей влияния вертикальной жесткости шины на коэффициент сцепления в продольной и поперечной плоскостях спортивного болида, была достигнута. Мы выяснили, насколько большую роль играет внутреннее давление в шине.

По итогу, для обеспечения наивысшего значения коэффициентов сцепления в продольной и поперечной плоскостях для шин типа «Слик» оптимизированное давление составляет 1,0 атмосфера (бар), а для «Wet» шины – 1,1 атмосфера (бар).

4 Организационно – экономическое обоснование вопроса

В дипломном проекте были проведены исследования с помощью стенда по выявлению:

- зависимости вертикальной жесткости спортивных шин болида от внутреннего давления;
- зависимости коэффициента сцепления в продольной (поперечной) плоскости от вертикальной жесткости спортивных шин болида.

Данный стенд позволяет снимать характеристики в статичном положении, результаты которых разрешено учитывать и к автомобилю, движущемуся с малой скоростью. Наиболее точные данные исследования возможны только на значительно дорогих и усовершенствованных стендах, позволяющих снимать характеристики для движущегося автомобиля. Из практики понятно, чем больше и сложнее электроника, тем она дороже и труднее. Использование стенда для измерения упругих характеристик шин спортивных и легковых автомобилей позволяет сократить временные, трудовые и материальные ресурсы. Качество и достоверность результатов исследования не уступают значениям, полученным на динамическом оборудовании. Главным достоинством, позволяющим сэкономить время и деньги, является легкость работы на стенде, что позволяет проводить исследования любому студенту.

Рассчитаем НИиОКР с экономической точки зрения и определим затраты на проведение исследований.

4.1 Определение стоимости НИиОКР

Любую научно-исследовательскую работу для удобства разбивают на стадии ее выполнения. Представим этапы проведения НИиОКР в таблице 7.

Таблица 7 – Этапы выполнения НИиОКР

Номер и наименование работ	Трудоемкость, дни		Исполнитель	Количество исполнителей, чел.	Оборудование
	T_{min}	T_{max}			
1. Маркетинговые и патентные исследования					
1.1 Поиск и сбор информации об аналогичных исследованиях	2	2	Научный руководитель	1	ПК
			Студент	1	
1.2 Анализ стоимости аналогичных исследований	1	2	Научный руководитель	1	ПК
			Студент	1	
1.3 Оценка целесообразности использования результатов проводимых исследований	1	2	Научный руководитель	1	ПК
			Студент	1	
2. Подготовительные работы и предварительные испытания					
2.1 Подготовка аппаратуры, объекта исследования и расходных материалов	1	2	Научный руководитель	1	Стенд
			Студент	1	
2.2 Предварительные испытания, тарировка оборудования и анализ полученных данных	1	1	Научный руководитель	1	Стенд
			Студент	1	
3. Проведение опытов и анализ полученных результатов					
3.1 Измерение жесткости шины в вертикальной плоскости	1	2	Студент (студент-ассистент)	2	Стенд
3.2 Измерение коэффициента сцепления колеса с дорогой в поперечной плоскости	2	3	Студент (студент-ассистент)	2	Стенд
3.3 Измерение коэффициента сцепления колеса с дорогой в продольной плоскости	2	3	Студент (студент-ассистент)	2	Стенд

Продолжение таблицы 7

Номер и наименование работ	Трудоемкость, дни		Исполнитель	Количество исполнителей, чел.	Оборудование
	T_{min}	T_{max}			
3.4 Анализ полученных результатов, построение графиков и формирование выводов по работе	1	2	Научный руководитель	1	ПК
			Студент	1	
4. Оформление результатов НИиОКР					
4.1 Расчет затрат на проведение НИиОКР и экономической эффективности	2	2	Студент	1	ПК
4.2 Составление и согласование отчета о проделанной работе	1	2	Научный руководитель	1	ПК
			Студент	1	
4.3 Непредвиденные работы	1	2	Научный руководитель	1	Стенд, ПК
			Студент	1	
ИТОГО:	16	25			

«Зная трудоемкость этапов, определим ожидаемую трудоемкость каждого из них по формуле (7). Определить точный результат не представляется возможным, так как он взаимосвязан со многими факторами и причинами.

$$T_{ож}^i = \frac{3 \cdot T_{min}^i + 2 \cdot T_{max}^i}{5}, \quad (7)$$

где T_{min}^i – минимально возможная трудоемкость i – го этапа;

T_{max}^i – максимально возможная трудоемкость i – го этапа» [8].

Полученные значения сведем в таблицу 8.

После расчета ожидаемой трудоемкости работ, определим длительность каждого этапа в рабочих днях (формула 8).

$$T_{\text{эт}}^i = \frac{T_{\text{ож}}^i}{q^i}, \quad (8)$$

где q^i – численность исполнителей, чел.

Соответственно, для определения суммарной длительности всей работы пользуются формулой (9):

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{12} T_{\text{эт}}^i, \quad (9)$$

Инженеру необходимо точно знать уровень готовности каждого этапа работ. Для этого определим значение удельного веса, используя формулу (10):

$$Уд^i = \frac{T_{\text{эт}}^i}{T_{\Sigma}} \cdot 100\%, \quad (10)$$

Сведем все исходные и рассчитанные результаты в таблицу 8.

Таблица 8 – Длительность выполнения этапов НИиОКР

Номер этапа	Количество исполнителей			$T_{\text{ож}}^i$	$T_{\text{эт}}^i$	T_{Σ}	$Уд^i$
	Научный руководитель	Студент (студент-ассистент)	Итого				
1.1	1	1	2	2	1	10,8	9,3%
1.2	1	1	2	1,4	0,7		6,5%
1.3	1	1	2	1,4	0,7		6,5%
2.1	1	1	2	1,4	0,7		6,5%
2.2	1	1	2	1	0,5		4,6%
3.1	–	2	2	1,4	0,7		6,5%
3.2	–	2	2	2,4	1,2		11,1%
3.3	–	2	2	2,4	1,2		11,1%
3.4	1	1	2	1,4	0,7		6,5%
4.1	–	1	1	2	2		18,5%
4.2	1	1	2	1,4	0,7		6,5%
4.3	1	1	2	1,4	0,7		6,5%

По данным таблицы 8 построим план-график длительности каждого этапа НИиОКР (рисунок 21).

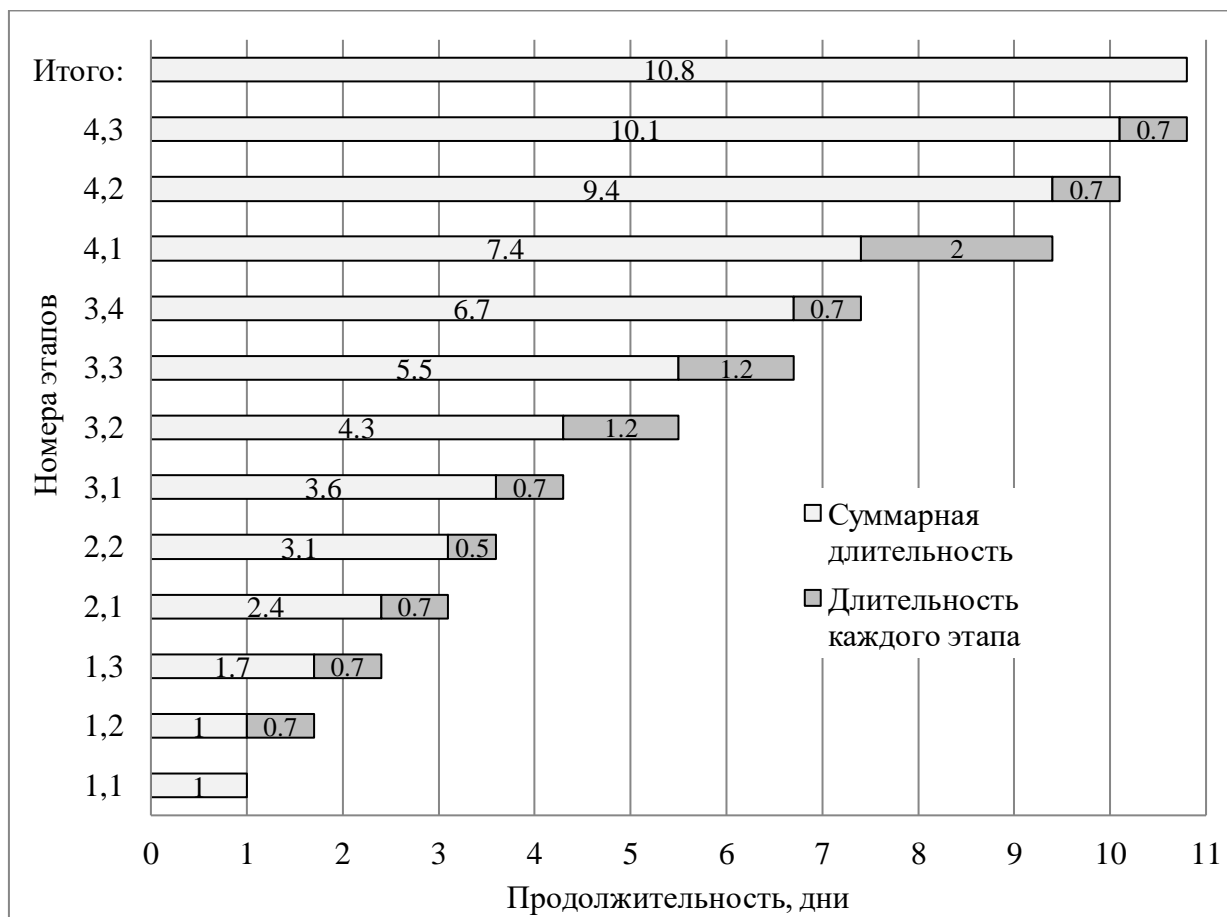


Рисунок 21 – План-график длительности каждого этапа НИиОКР

Согласно таблице 8 можем определить количество полных рабочих дней каждого исполнителя. Итого:

- научный руководитель потратил $F_{н.рук-ль} = 5,7$ рабочих дней;
- студент потратил $F_{ст} = 10,8$ рабочих дней;
- студент-ассистент потратил $F_{ст.ассист} = 3,1$ рабочий день.

Рассчитаем общее количество часов эффективного годового фонда рабочего времени 2022 года по формуле (11):

$$F_{эф} = (365 - П - В - Н) \cdot t - Пр \cdot (t - 7), \quad (11)$$

где П – праздники;

В – выходные;

Н – дни отсутствия по неуважительным причинам;

t – длительность смены;

Пр – предпраздничные дни.

$$F_{\text{эф}} = (365 - 14 - 104 - 5) \cdot 8 - 3 \cdot (8 - 7) = 1\,933 \text{ (ч)}$$

Зная общее количество часов, рассчитаем число рабочих дней в каждом месяце за год по формуле (12):

$$D_{\text{ср}}^i = \frac{F_{\text{эф}}}{12 \cdot 8}, \quad (12)$$

$$D_{\text{ср}}^i = \frac{1\,933}{12 \cdot 8} = 20 \text{ (дн)}$$

Для дальнейших расчетов понадобится значение количества времени каждого исполнителя в месяце, которое найдем по формуле (13):

$$K_{\text{исп}}^i = \frac{F_i}{D_{\text{ср}}^i}, \quad (13)$$

где F_i – количество полных рабочих дней исполнителя.

Теперь рассчитаем по формуле (14) заработную плату каждого исполнителя:

$$ЗП^i = K_{\text{исп}}^i \cdot O^i, \quad (14)$$

где O^i – размер оклада согласно занимаемой должности, руб.

Данные по размеру оклада и результатам расчета формул (13,14) объединим в таблицу 9.

Таблица 9 – Заработная плата всех исполнителей

Должность исполнителя	O^i , руб.	$K_{исп}^i$, месяцы	$ЗП^i$, руб.
Научный руководитель	38500	0,285	10 972,5
Студент	8600	0,540	4 644
Студент (студент-ассистент)	8600	0,155	1 333
Итого $\sum ЗП_{исп}$:			16 949,5

По Российскому законодательству работодатель обязан отправлять отчисления взносов в ПФР, ФОМС, ФСС. Рассчитаем размер страховых взносов по формуле (15):

$$Q = \frac{\sum ЗП_{исп} \cdot K}{100}, \quad (15)$$

где K – процент отчислений.

$$Q = \frac{16\,949,5 \cdot 30}{100} = 5\,084,9 \text{ (руб)}$$

Рассчитаем затраченное электричество на время дипломного проекта по формуле (16):

$$Q_{эл}^i = N \cdot K_з \cdot K_{загр} \cdot D^i \cdot t \cdot Ц_{эл}, \quad (16)$$

где N – потребляемая мощность, кВт;

$K_з$ – коэффициент занятости;

$K_{загр}$ – коэффициент загруженности;

D^i – количество дней работы потребителей;

$Ц_{эл}$ – цена 1 кВт электричества, руб/кВт·ч.

Исходные данные, а также результаты расчета затраченного количества электричества объединим в таблице 10.

Таблица 10 – Затраты на электричество

Наименование оборудования	N , кВт	$K_{\text{загр}}$	K_z	D^i , день	$\text{Ц}_{\text{эл}}$, руб/кВт·ч	$Q_{\text{эл}}^i$, руб
ПК	0,4	0,6	0,8	2,7	5,08	21,07
Освещение	0,7	0,8	0,9	4,5		92,17
Осциллограф	0,4	0,6	0,8	0,9		7,02
Компрессор	0,2	0,3	0,4	0,5		0,49
Итого $\sum Q_{\text{эл}}$:						120,75

Рассчитаем стоимость амортизации по формуле (17):

$$Q_{\text{ам}}^i = \frac{\text{Ц}_{\text{об}} \cdot N_{\text{ам}} \cdot D^i \cdot K_z}{(365 - \text{П} - \text{В}) \cdot K_{\text{загр}}}, \quad (17)$$

где $\text{Ц}_{\text{об}}$ – цена оборудования, руб.;

$N_{\text{ам}}$ – норма амортизационных отчислений.

Исходные данные и результат рассчитанной стоимости амортизационных отчислений объединим в таблице 11:

Таблица 11 – Амортизационная составляющая стоимости НИиОКР

Наименование оборудования	$\text{Ц}_{\text{об}}$, руб	$K_{\text{загр}}$	K_z	$N_{\text{ам}}$	$Q_{\text{ам}}^i$, руб
ПК	30 000	0,6	0,8	0,2	87,45
Осциллограф	30 000			0,2	29,15
Стенд для определения коэффициента сцепления и вертикальной жесткости	17 000			0,5	41,30
Компрессор	2 200			0,1	0,59
Итого $\sum Q_{\text{ам}}$:					158,49

Далее рассчитаем накладные расходы по формуле (18):

$$Q_{\text{накл}} = 3\Pi^i \cdot K_{\text{накл}}, \quad (18)$$

где $K_{\text{накл}}$ – коэффициент расходов.

$$Q_{\text{накл}} = 3\Pi^i \cdot K_{\text{накл}} = 16\,949,5 \cdot 0,35 = 5\,932,325 \text{ (руб)}$$

По формуле (19) рассчитаем суммарные затраты на расходные материалы, которые потребуются при проведении работ:

$$Z^i = C_M^i \cdot N_M^i, \quad (19)$$

где C_M^i – закупочная цена каждого материала, руб.;

N_M^i – количество экземпляров каждого материала, шт.

Объединим необходимые материалы и результаты суммарных затрат на их покупку в таблицу 12:

Таблица 12 – Затраты на расходные материалы

Наименование	Тип	N_M^i , шт	C_M^i , руб	Z^i , руб
Манометр	автомобильный	1	500	500
Колесо в сборе	191/47 R13	1	30 000	30 000
Компрессор	автомобильный	1	2 200	2 200
Тетрадь в клетку	A5	1	50	50
Ручка шариковая	Синяя	1	30	30
Итого $\sum Z^i$:				32 780

Итого, рассчитав все суммарные затраты по пунктам, определим конечную стоимость всей НИиОКР по формуле (20):

$$\sum Q_{\text{НИиОКР}} = \sum Z^i + \sum Q_{\text{эл}} + \sum 3\Pi_{\text{исп}} + Q + \sum Q_{\text{ам}} + Q_{\text{накл}} + Q_{\text{ст}}, \quad (20)$$

$$\sum Q_{\text{НИиОКР}} = 78\,026 \text{ (руб)}$$

4.2 Определение экономической эффективности НИиОКР

Для определения выгоды использования стенда в лабораторных условиях необходимо сравнить стоимость НИиОКР с испытанием автомобильных шин на определение коэффициента сцепления с помощью тягача ($Q_{\text{тягач}}$). После этого рассчитать чистую прибыль по формуле (21).

$$\text{ЧП} = Q_{\text{тягач}} - Q_{\text{НИиОКР}}, \quad (21)$$

Стоимость испытаний с помощью тягача складывается из множества факторов и включает в себя:

- стоимость нового тягача/аренда тягача;
- автомобильный динамометр;
- заработная плата двум водителям и контроллеру;
- затраты на ГСМ;
- комплект исследуемых колес в сборе;
- стальной трос;
- аренда автомобильного полигона.

Немало важным фактором являются погодные условия и качество дороги на полигоне, что способствуют переносу испытаний.

Итоговая стоимость проведения подобных испытаний, при условии аренды тягача, составляет 218 000 рублей» [8].

Итого:

$$\text{ЧП} = Q_{\text{тягач}} - Q_{\text{НИиОКР}} = 218\,000 - 78\,026 = 139\,974 \text{ (руб)}$$

Коэффициент доходности найдем по формуле (22):

$$K_{\partial} = \frac{\text{ЧП}}{Q_{\text{НИиОКР}}}, \quad (22)$$

$$K_{\partial} = \frac{\text{ЧП}}{Q_{\text{НИиОКР}}} = \frac{139\,974}{78\,026} = 1,79$$

И определим, за сколько лет окупится проект по формуле (23):

$$t_{\text{ок}} = \frac{Q_{\text{НИиОКР}}}{\text{ЧП}}, \quad (23)$$

$$t_{\text{ок}} = \frac{Q_{\text{НИиОКР}}}{\text{ЧП}} = \frac{78\,026}{139\,974} = 0,56$$

4.3 Анализ экономической составляющей проекта

Рассчитав все необходимые слагаемые, мы выяснили, что испытания в лабораторных условиях на порядок выгоднее, чем в дорожных условиях. Стенд позволяет снимать показатели при любых обстоятельствах с точностью, не сильно отличающейся от испытаний на улице.

Благодаря результату K_{∂} , который больше единицы, можно сделать вывод, что проект следует принять. Чистая прибыль позволяет приумножить вложенные денежные средства и окупить весь проект за 0,56 года, что соответствует 205 дням, следовательно, проект обладает малым риском.

Исходя из всего вышесказанного, данный вид испытаний положительно повлияет при размещении его на территории научно-конструкторской части предприятия.

5 Безопасность и экология вопроса

Стенд, используемый в данной работе, позволяет определить жесткость шины и коэффициенты ее сцепления с дорогой в продольной и поперечной плоскостях при статическом положении.

Перед началом работы в целях избегания травм необходимо изучить порядок подготовки оборудования.

5.1 Конструктивно-технологическая характеристика

После того как было подготовлено оборудование к безопасному использованию, рассмотрим алгоритм установки колеса на стенд:

Взявшись удобно за технологические отверстия диска поднять и поставить колесо на поверхность стола; перехватившись, перенести на опорную плиту; механизмом вертикальной нагрузки опустить ступицу крепления колеса и совместить отверстия для болтов. С помощью баллонного ключа закрутить болты, соблюдая диагональную схему.

Давление воздуха в шине рекомендуется изменять с помощью электрического компрессора. Для предотвращения несчастных случаев перед использованием оборудование проверяется на наличие повреждений, как провода, так и самого корпуса. Далее компрессор присоединяют к колесу и нагоняют воздух до необходимого давления, сверяя его значение на манометре.

Рассмотрим технологический паспорт при работе на стенде в таблице 13:

Таблица 13 – Технологический паспорт

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Инструмент
Определение вертикальной жесткости	Крепление колеса на стенд	Студент	Стенд для исследования	1. Ключ баллонный; 2. Манометр; 3. Компрессор.
	Затяжка колесных болтов			
	Проведение испытания			
	Запись полученных показаний и их обработка			
Исследование влияния вертикальной нагрузки колеса на коэффициент сцепления в продольной плоскости	Крепление колеса на стенд	Студент	Стенд для исследования	1. Ключ баллонный; 2. Манометр; 3. Компрессор
	Затяжка колесных болтов			
	Проведение испытания			
	Запись полученных показаний и их обработка			
Исследование влияния вертикальной нагрузки колеса на коэффициент сцепления в поперечной плоскости	Крепление колеса на стенд	Студент	Стенд для исследования	1. Ключ баллонный; 2. Манометр; 3. Компрессор
	Затяжка колесных болтов			
	Проведение испытания			
	Запись полученных показаний и их обработка			

5.2 Профессиональные риски

«При выполнении опытов инженеры пользуются различными инструментами, механизмами и материалами. Для определения безопасности условий труда на рабочем месте применительно к данной работе необходимо выявить наличие опасных и вредных производственных факторов, а также источники их возникновения» [10].

В таблице 14 представлены опасные производственные факторы и их источники.

Таблица 14 – Профессиональные риски

Производственно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный или вредный фактор	Источник опасного или вредного фактора
Крепление колеса	<p>К факторам опасного физического воздействия на человека относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - подвижные элементы стенда. <p>К факторам вредного физического воздействия на человека относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - низкое условие освещения рабочего места. 	<p>1. Подвижная опорная плита, передвигающаяся на четырех подшипниках;</p> <p>2. Колесо, установленное на стенде.</p>
Затяжка колесных болтов	<p>К факторам опасного физического воздействия на человека относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - подвижные элементы стенда. <p>К факторам вредного физического воздействия на человека относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - низкое условие освещения рабочего места. 	<p>1. Колесо, установленное на стенде.</p>
Включение осциллографа в электричество	<p>К факторам опасного физического воздействия на человека относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вероятность поражения током. <p>К факторам вредного физического воздействия на человека относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - низкое условие освещения рабочего места. 	<p>1. Электричество;</p> <p>2. Проводники тока.</p>
Определение показателей вертикальной жесткости	<p>К факторам опасного физического воздействия на человека относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - подвижные элементы стенда. <p>К факторам вредного физического воздействия на человека относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - низкое условие освещения рабочего места. <p>К опасным и вредным факторам психофизического воздействия на человека относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - нагрузка на органы зрения; - длительность сосредоточенного наблюдения. 	<p>1. Подвижная опорная плита, передвигающаяся на четырех подшипниках;</p> <p>2. Колесо, установленное на стенде;</p> <p>3. Домкрат, имитирующий вертикальную нагрузку.</p>

Продолжение таблицы 14

Производственно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный или вредный фактор	Источник опасного или вредного фактора
Проведение испытаний на стенде для исследования влияния вертикальной нагрузки колеса на коэффициент сцепления в поперечной (продольной) плоскости	<p>К факторам опасного физического воздействия на человека относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - подвижные элементы стенда. <p>К факторам вредного физического воздействия на человека относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - низкое условие освещения рабочего места. <p>К опасным и вредным факторам психофизического воздействия на человека относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - нагрузка на органы зрения; - длительность сосредоточенного наблюдения. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Подвижная опорная плита, передвигающаяся на четырех подшипниках; 2. Колесо, установленное на стенде; 3. Домкрат, имитирующий горизонтальную нагрузку.
Обработка полученных данных	<p>К факторам вредного физического воздействия на человека относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - электромагнитное и инфракрасное излучение; - вероятность поражения током. <p>К опасным и вредным факторам психофизического воздействия на человека относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> «- умственное перенапряжение; - перенапряжение анализаторов зрения; - нервно-эмоциональное напряжение» [14]. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Персональный компьютер.

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

После того, как рассмотрели идентификацию профессиональных рисков, связанных с опасными или вредными производственными факторами, необходимо разработать методы по их снижению или устранению (таблица 15).

Таблица 15

Опасный или вредный фактор	Технические методы защиты	СИЗ
Подвижные элементы стенда	<ul style="list-style-type: none"> - выдерживание расстояния от представляющих опасность подвижных частей стенда; - сохранение рабочих перчаток на протяжении всего времени работы со стендом; - контроль за исправностью частей стенда, представляющих опасность. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Перчатки. 2. Защитные очки.
Низкое условие освещения рабочего места	<ul style="list-style-type: none"> - оборудование кабинета дополнительными светодиодными лампами искусственного света; - установка более мощных ламп искусственного света; - монтаж стенда в непосредственной близости к окну с естественным светом. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Светодиодные лампы.
«Умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов зрения»	<ul style="list-style-type: none"> - выдерживание нормативных требований согласно эргономике при работе с компьютером; - организация свободного времени, обеспечивающего отдых для глаз в течение 10-15 минут; - проведение упражнений для расслабления глаз. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Специальные очки для работы на компьютере.
Электромагнитное и инфракрасное излучения	<ul style="list-style-type: none"> - обязательная организация перерывов по 10-15 минут каждые 45-60 минут; - соблюдение нормам СанПиН. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Специальные очки для работы на компьютере.
Вероятность поражения током	<ul style="list-style-type: none"> - ежедневный осмотр элементов электрической сети; - обеспечение заземления оборудования; - проведение инструктажа по безопасности. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Резиновые перчатки.
«Нервно-эмоциональное напряжение»	<ul style="list-style-type: none"> - составление графика проветривания; - установка климат-системы; - проведение периодической влажной уборки. 	<p style="text-align: center;">—</p>

5.4 Пожарная безопасность

В целях обеспечения пожарной безопасности разработаны необходимые нормативные документы, такие как СП 12-135-2003 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования», СП 12-136-2002 «Решения по охране труда и промышленной безопасности в проектах организации строительства и проектах производства работ». В свою очередь, необходимо предусмотреть возможные опасные факторы пожара (таблица 16) и рассмотреть технические средства при пожаре (таблица 17).

Таблица 16 – Опасные факторы пожара

«Участок, подразделение»	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара» [10]
Лаборатория	1. Стенд для исследования влияния вертикальной нагрузки колеса на коэффициент сцепления в продольной (поперечной) плоскости; 2. Колесо в сборе; 3. Осциллограф.	А,Е	- открытый огонь, дым; - высокое значение температуры; - снижение уровня кислорода в воздухе.	- повышенное значение концентрации токсичных веществ и продуктов горения; - риск обрушения несущих конструкций.

Таблица 17 – Технические средства при пожаре

Первичные средства при пожаре	Огнетушитель ОП-8
Мобильные средства при пожаре	Пожарные автомобили
Стационарные установки системы пожаротушения	Водяные, пенные системы пожаротушения
Средства пожарной автоматики	Технические средства оповещения и управления эвакуацией
СИЗ для людей при пожаре	Фильтрующий само спасатель
Пожарные сигнализация, связь и оповещение	Ручной, тепловой пожарозвещатель

Для обеспечения пожарной безопасности необходимо предусмотреть методы для защиты от пожара (таблица 18).

Таблица 18 – Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Технологический процесс	Мероприятия	Нормативные требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
- проведение опытов на стенде; - обработка полученных данных.	«Назначение должностных лиц, ответственных за пожарную безопасность в помещении»	1. Составление плана эвакуации в случае пожара; 2. Своевременная проверка исправности и наличия систем пожаротушения.
	Планирование режима, предотвращающего появлению очагов пожара	1. Установить порядок обращения с легковоспламеняющимися предметами; 2. Создать инструкцию об алгоритме действия для сотрудников в случае обнаружения пожара; 3. Организовать и назначить порядок и сроки проведения осмотров систем пожаротушения.
	Проведение инструктажей по правилам пожарной безопасности	1. Планирование порядка и сроков проведения инструктажей.

5.5 Экологическая безопасность

Во время работы на стенде не были выявлены негативные экологические факторы, влияющие на здоровье и жизнедеятельность человека. Лабораторные исследования влияния вертикальной жесткости шины на коэффициент сцепления с дорогой помогают определить оптимальные характеристики шин. Благодаря этому, дополнительным положительным фактором с точки зрения экологии является уменьшение расхода топлива, а как следствие уменьшение вредных выбросов в атмосферу.

Технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду (таблица 19).

Таблица 19 – Мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду

«Наименование технического объекта	Стенды для исследования влияния вертикальной нагрузки на колесо
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Исследования влияния площади пятна контакта шины на коэффициент сцепления в поперечной плоскости, позволяет подобрать оптимальные характеристики шины, что благоприятно скажется на расходе топлива. Обеспечение топливной экономичности автомобиля влечёт за собой уменьшение токсичных выбросов в виде CO ₂ и NO _x » [14].
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	

5.6 Анализ безопасности и экологии

В разделе «Безопасность и экология вопроса» рассмотрели возможные риски при работе на стенде, выдвинули предположения по сокращению возникновения несчастных случаев. Помимо этого, выяснили благоприятные экологические факторы при использовании стенда на производстве.

Заключение

В дипломном проекте рассматривались автомобильные шины с точки зрения важнейшего элемента, отвечающего за движение транспортного средства так, как это задумала и осуществила группа инженеров-конструкторов.

Большое разнообразие автомобильных шин подразумевает их тщательное исследование в случае установки различных их типов на транспортные средства. Например, установка спортивных шин, используемых на болидах «Formula 1», на гражданские легковые автомобили запрещена на законодательном уровне вопреки безопасности всех участников движения и пешеходов. Данные покрышки проектировались под идеальные погодные условия и качество дорожного полотна гоночного трека. При несоблюдении этих параметров меняются упругие характеристики шины, которые с отрицательной точки зрения влияют на автомобиль при движении по дорогам общего пользования.

Опыты, направленные на практическое определение интересующих характеристик, показывают более точное значение. Работы, проводимые в лабораторных или дорожных условиях, покажут реальные значения параметров шины.

Исследование заключалось в определении коэффициентов сцепления двух покрышек, устанавливаемых на болидах, в продольной и поперечной плоскостях. Главной темой диплома было определение влияния вертикальной жесткости колеса на коэффициент сцепления. После всех измерений были составлены графики зависимостей полученных данных. По итогу выяснились точные значения внутреннего давления для каждой шины, обеспечивающие максимальное значение коэффициента сцепления для максимально возможной тягово-динамической характеристики. Полученные значения отличаются от заводских.

Как и любой проект, данная выпускная квалификационная работа была просчитана с точки зрения экономической эффективности. В сравнении с дорожными испытаниями, исследования с помощью стенда оказались выгодными с точки зрения практического применения и экономической стороны. Также выпускная квалификационная работа была рассмотрена в интересах безопасности и экологичности при работе с оборудованием.

По итогу проведенной работы, сделаем вывод: стенд для определения упругих характеристик шин полностью способствует определению всех необходимых параметров, позволяющих снимать на нем, и учитывать полученные результаты для будущих расчетов. Точность значений отвечает всем требованиям и ничем не отличается от известных заводских.

Список используемой литературы и используемых источников

1. 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.
2. ГОСТ 22374-77 (ИСО 3877-1-78, ИСО 3877-3-78, ИСО 4223-1-78) Шины пневматические. Конструкция. Термины и определения.
3. Запорожцев, А.В. Износ шин и работа автомобиля [Текст] / А.В. Запорожцев, Е.В. Кленников. – М.: НИИ информации автомоб. промышленности, 1971. – 52 с.
4. Капрова, В.Г. Методические указания по технико-экономическому обоснованию дипломного проекта конструкторского и исследовательского направлений / В.Г. Капрова. – Тольятти: ТГУ, 2017. – 50 с.
5. Кнороз, В.И. Автомобильные колёса [Текст] / В.И. Кнороз. – М. : НИИНавтопром, 1972. – 85 с.
6. Кнороз, В.И. Шины и колёса / В.И. Кнороз, Е.В. Кленников. – Москва : Машиностроение, 1975. – 184 с. [5] : ил.-Библиогр: с. 67-82.
7. 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.
8. Правила Formula Student 2022: https://www.formulastudent.de/FS-Rules_2022_v0.9.pdf.
9. 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.
10. Черепанов, Л.А. Расчет тяговой динамики и топливной экономичности автомобиля: учеб. пособие [Текст] / Л.А. Черепанов. – Тольятти : ТГУ, 2016 – 39 с.

11. Черепанов, Л.А. Расчет тяговой динамики и топливной экономичности автомобиля: учеб. пособие [CD] / Л.А. Черепанов. – Тольятти : ТГУ, 2016 – 39 с.
12. Якубовский, Ю. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды [Текст] / Ю. Якубовский. – М. : Транспорт, 1979– 198 с.
13. URL: <http://hdl.handle.net/123456789/11528> - ВКР Горбунов А.С., Название «Исследование видов деформации шин на стенде».
14. URL: <http://hdl.handle.net/123456789/8040> - ВКР Лонский А.В., Название «Исследование влияния площади пятна контакта шины с опорной поверхностью на коэффициент сцепления в продольной плоскости».
15. URL: <http://hdl.handle.net/123456789/8045> - ВКР Петров М.С., Название «Исследование влияния площади пятна контакта шины с опорной поверхностью на коэффициент сцепления в поперечной плоскости».
16. URL: <https://cyberleninka.ru> - Научная статья по теме «Взаимосвязь показателей жесткости шин и эксплуатационных свойств автомобиля» - Кондрашов В.Н., Воронин В.В., к.т.н. Карпухин К.Е. МГТУ «МАМИ»
17. URL: <https://kpsk.ru/pdf> - Общая информация о шинах и камерах.
18. Barton, B. My car. New York:- HarperFestival, - 2003. – 195 p.
19. Reza, N.J. Vehicle Dynamics: Theory and Application [Text] / N.J. Reza. – Chicago : Mechanical engineering, 2008. – 100 p.
20. Shaver, R. Manual transmission clutch systems [Text] / R. Shaver. – Glasgow : Society of Automotive Engineers, 1997. – 191 p.
21. Sparke, P. The century of cars design. London:- Beazley, - 2002. – 256 p.
22. Thomas, D.G. Fundamentals of Vehicle Dynamics [Text] / D.G. Thomas. – Michigan : University of Michigan, 1992. – 151 p.

Приложение А
Графики тягового расчета

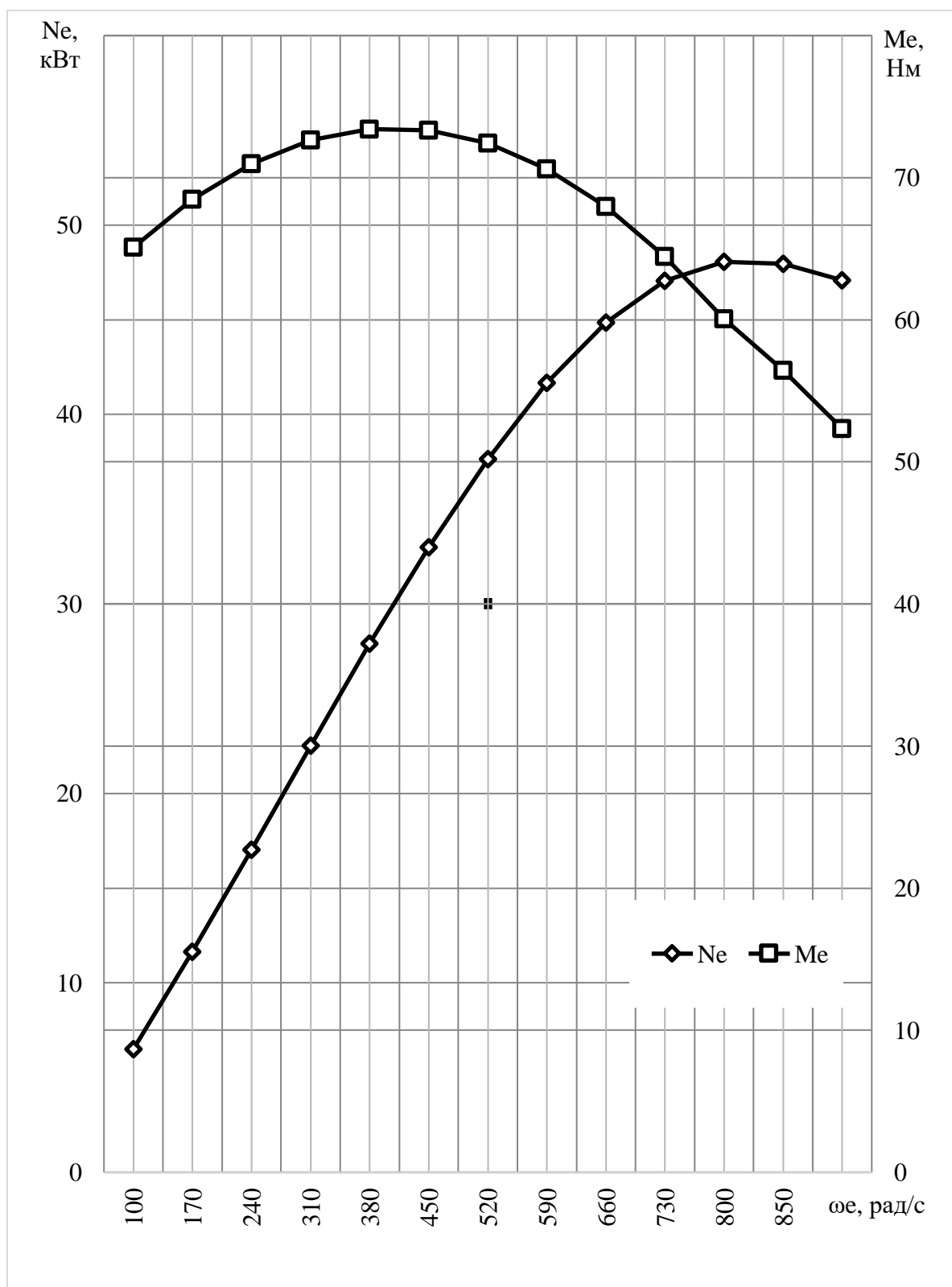


Рисунок А1 – Внешняя скоростная характеристика двигателя

Продолжение Приложения А

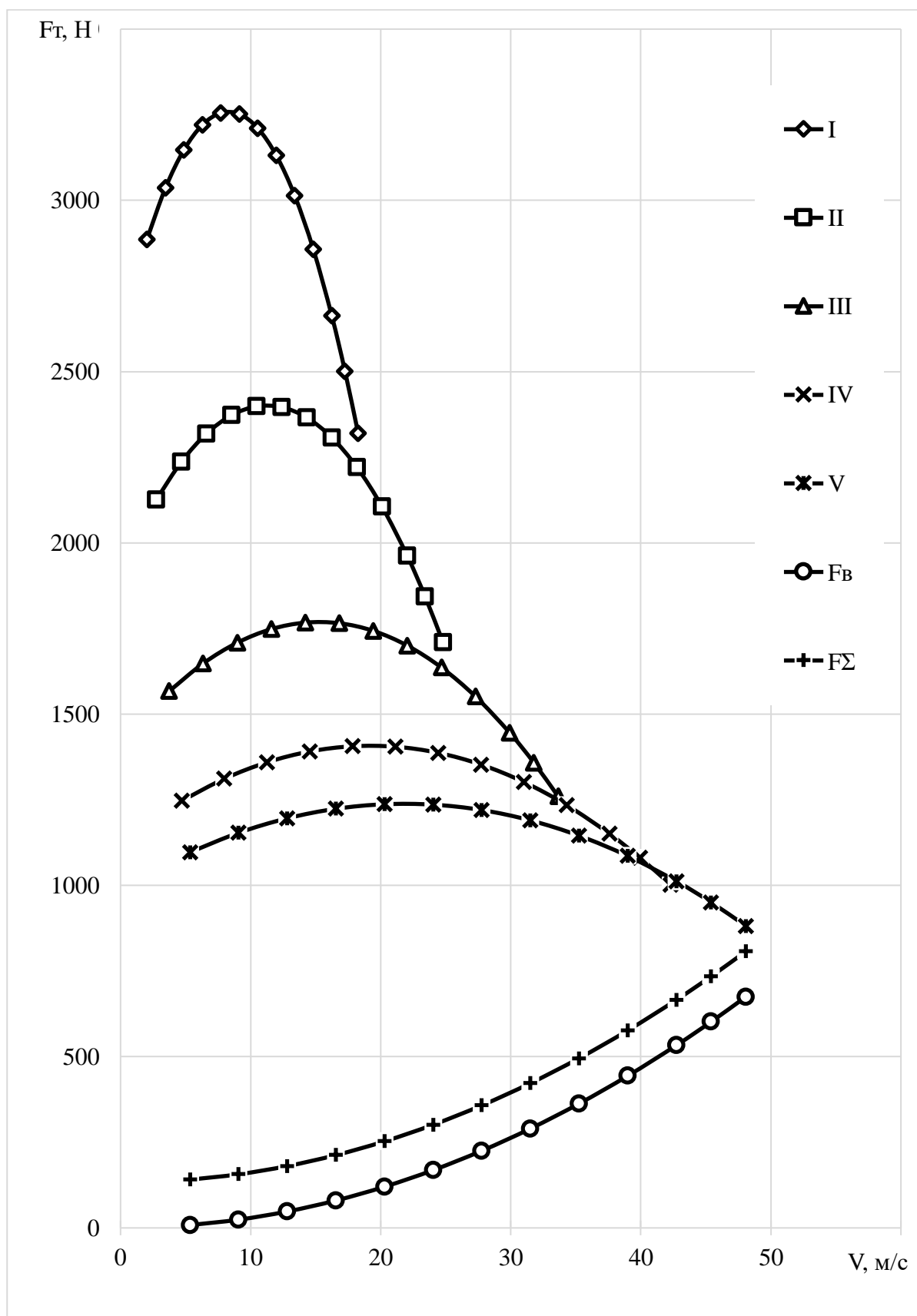


Рисунок А2 – Тяговый баланс болида

Продолжение Приложения А

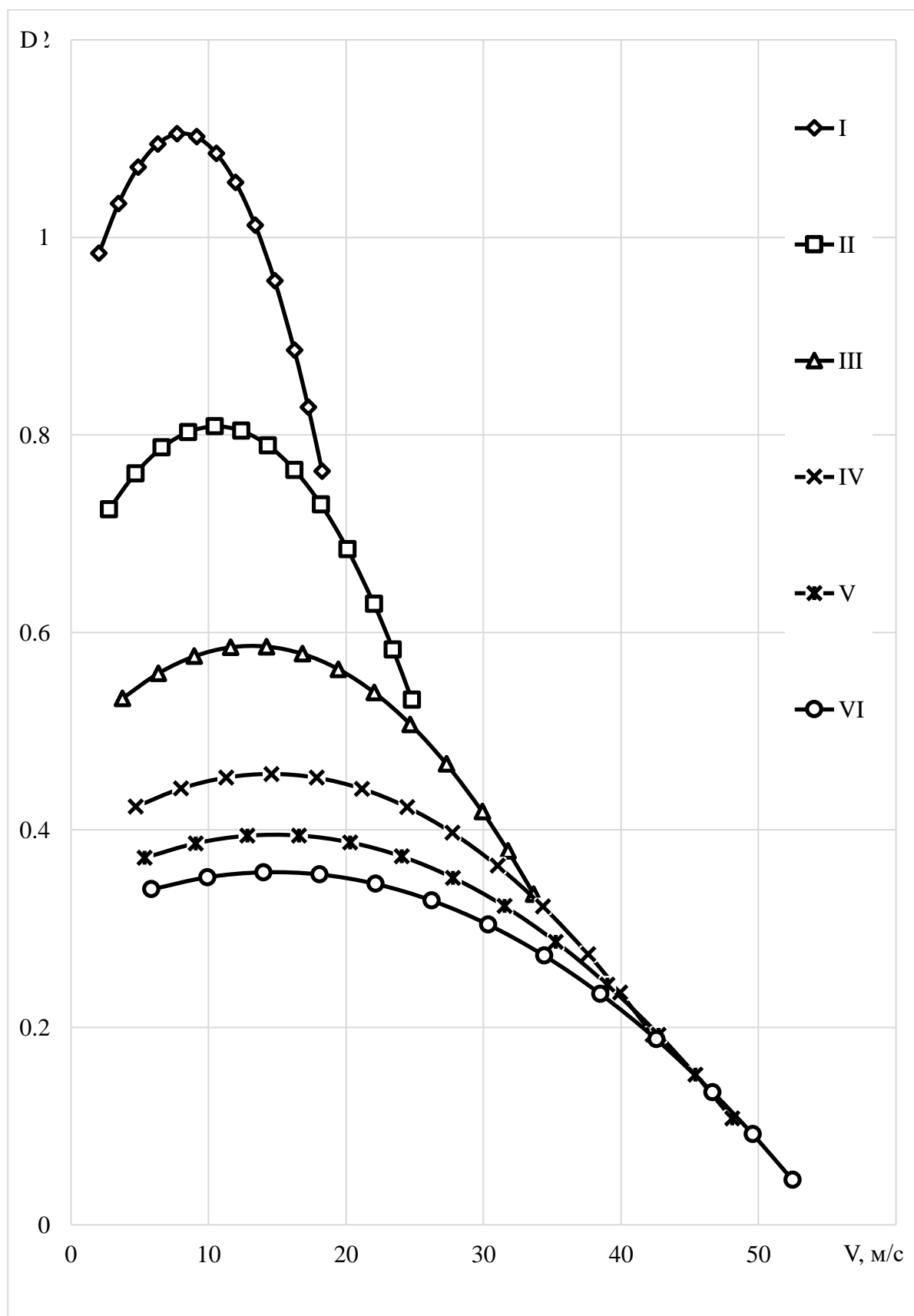


Рисунок А3 – Динамическая характеристика

Продолжение Приложения А

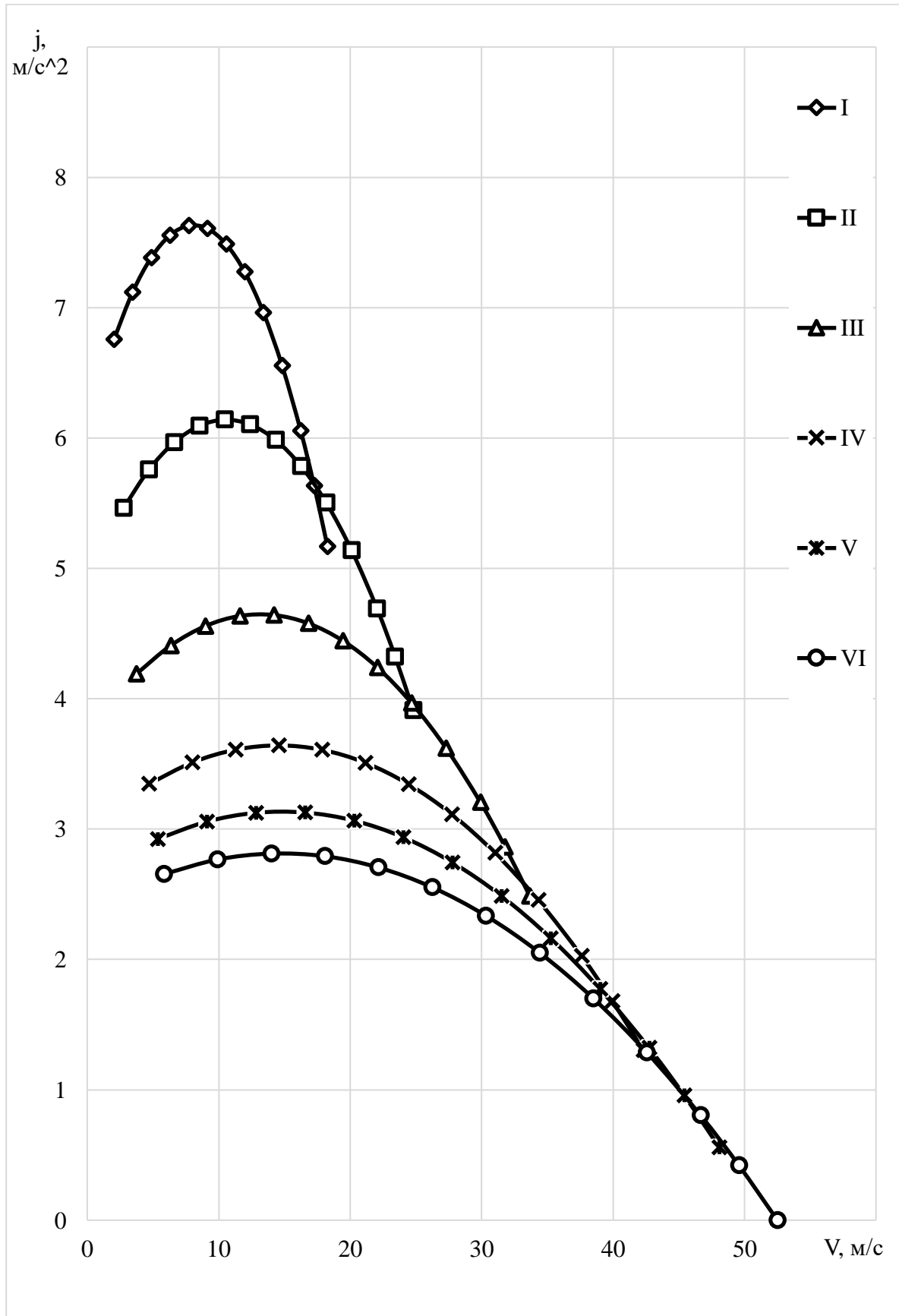


Рисунок А4 – График зависимости ускорений от скорости

Продолжение Приложения А

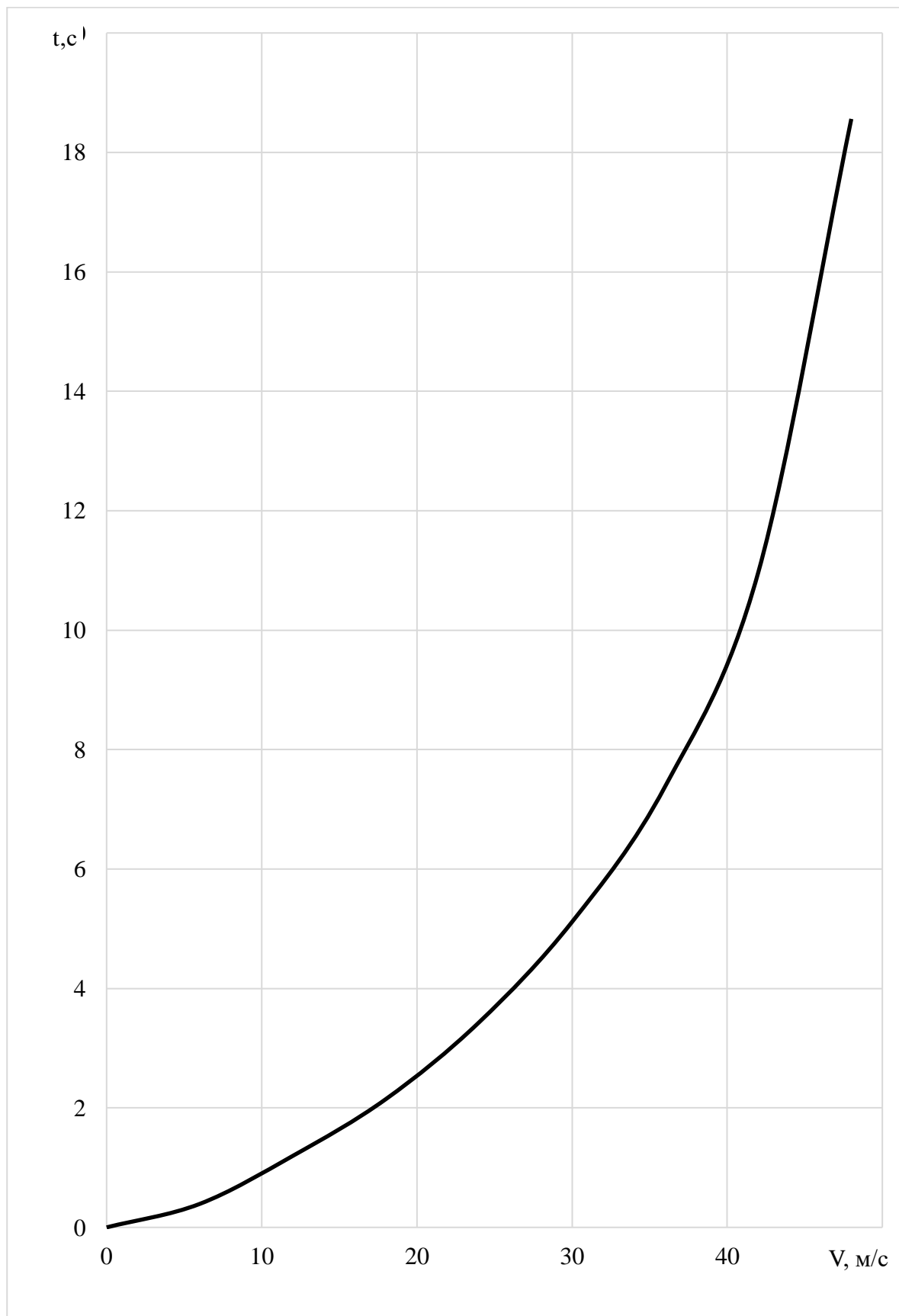


Рисунок А5 – Время разгона болида

Продолжение Приложения А

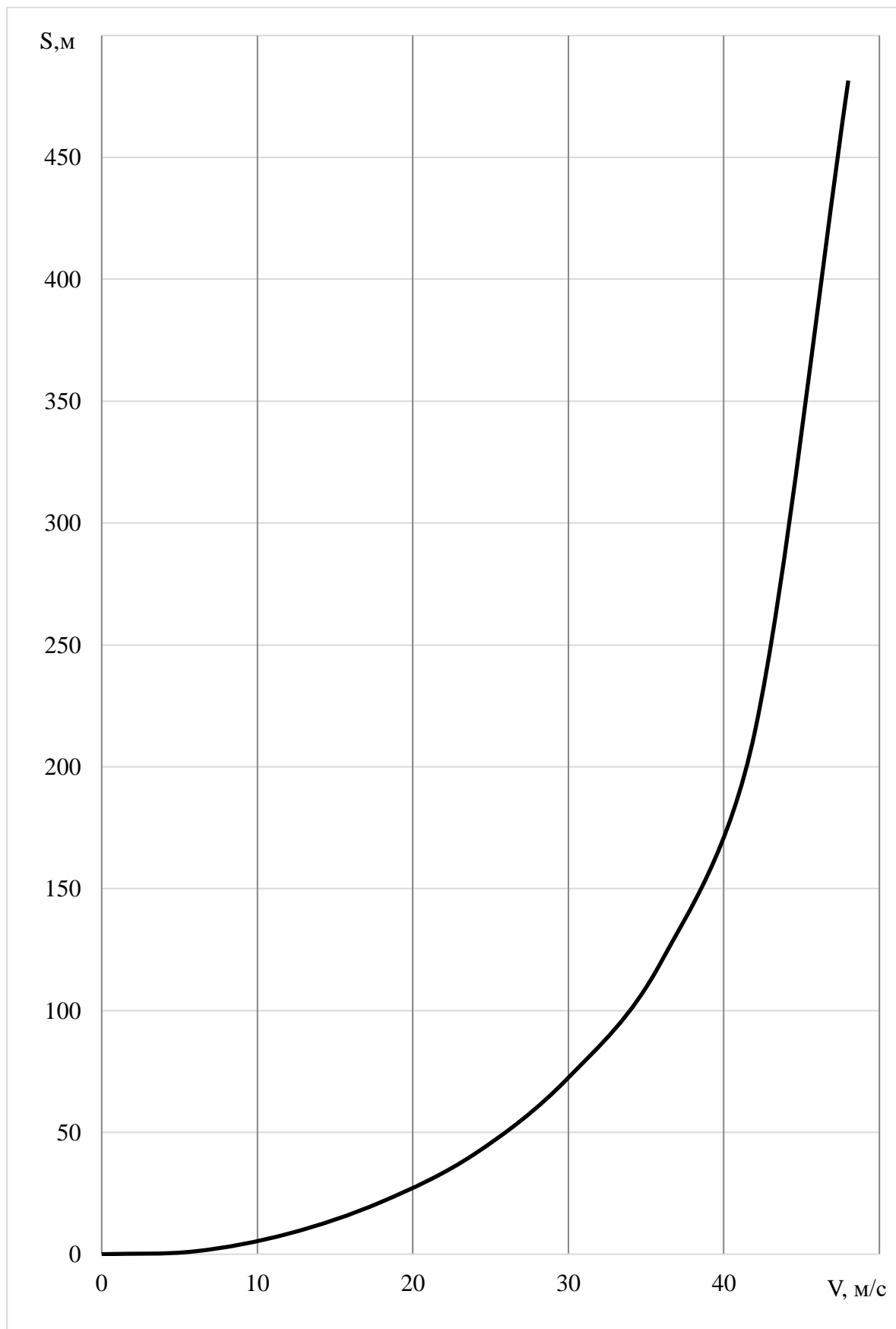


Рисунок А6 – Путь разгона болида

Продолжение Приложения А

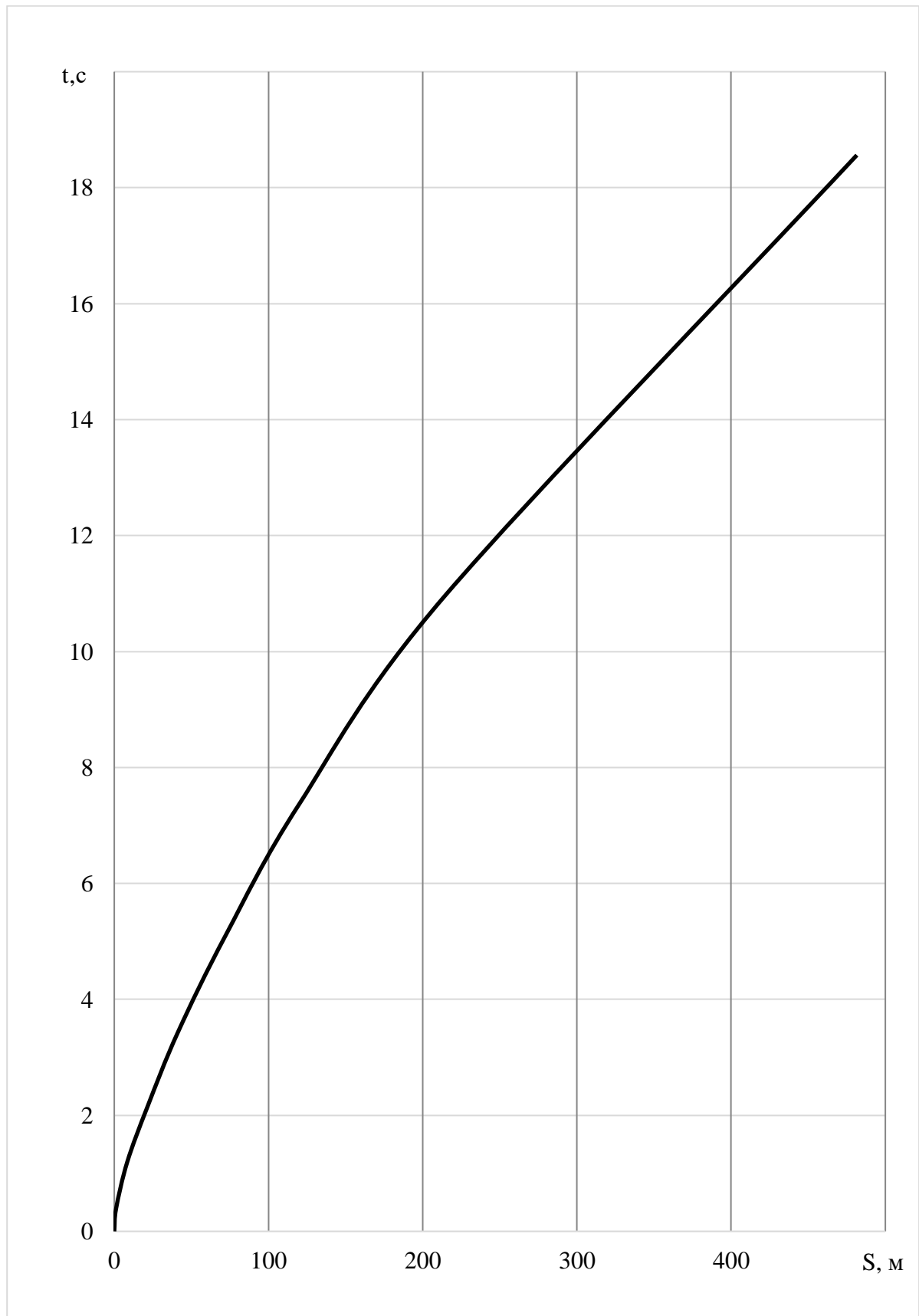


Рисунок А7 – Интенсивность разгона

Продолжение Приложения А

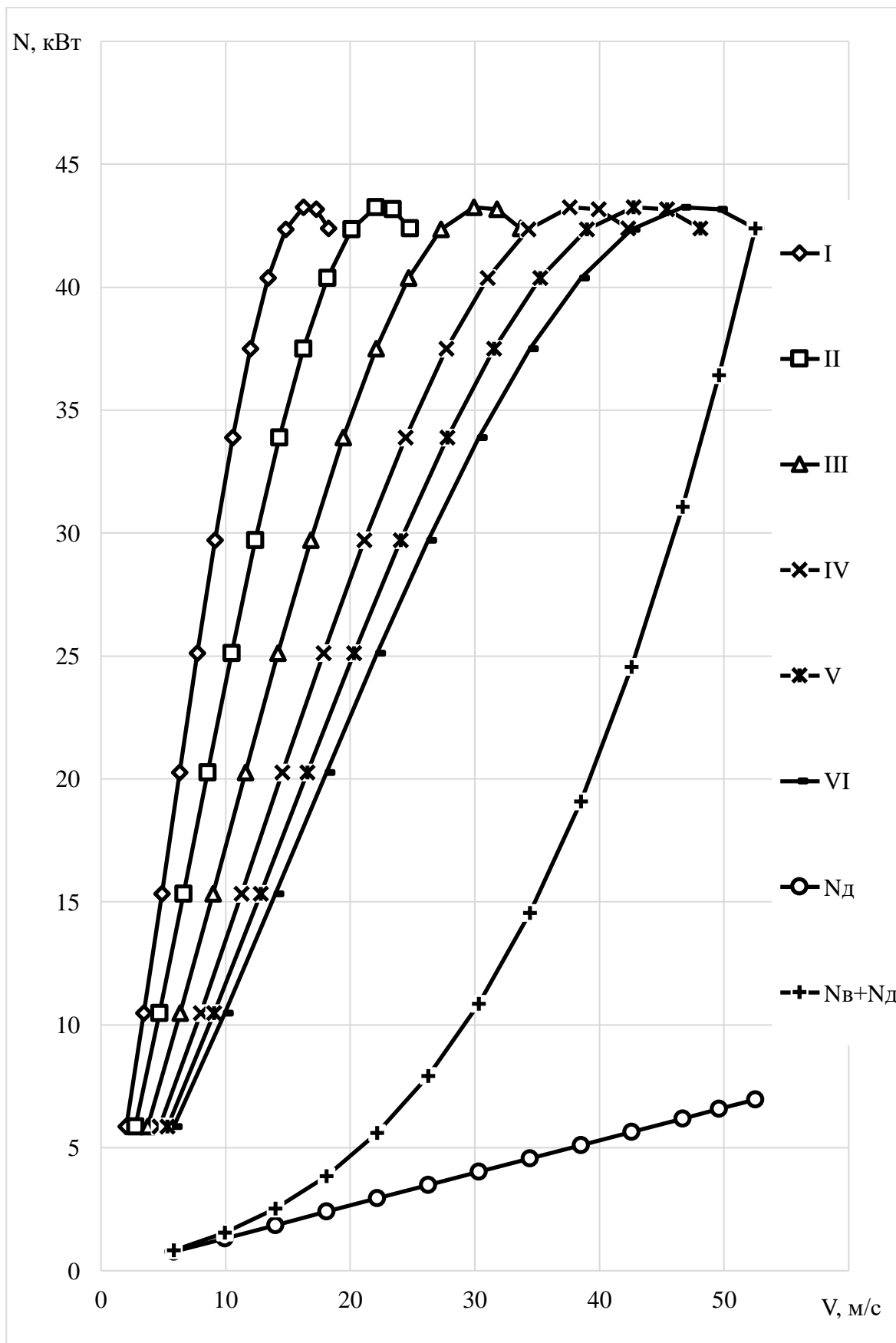


Рисунок А8 – Мощностной баланс болида на различных передачах

Продолжение Приложения А

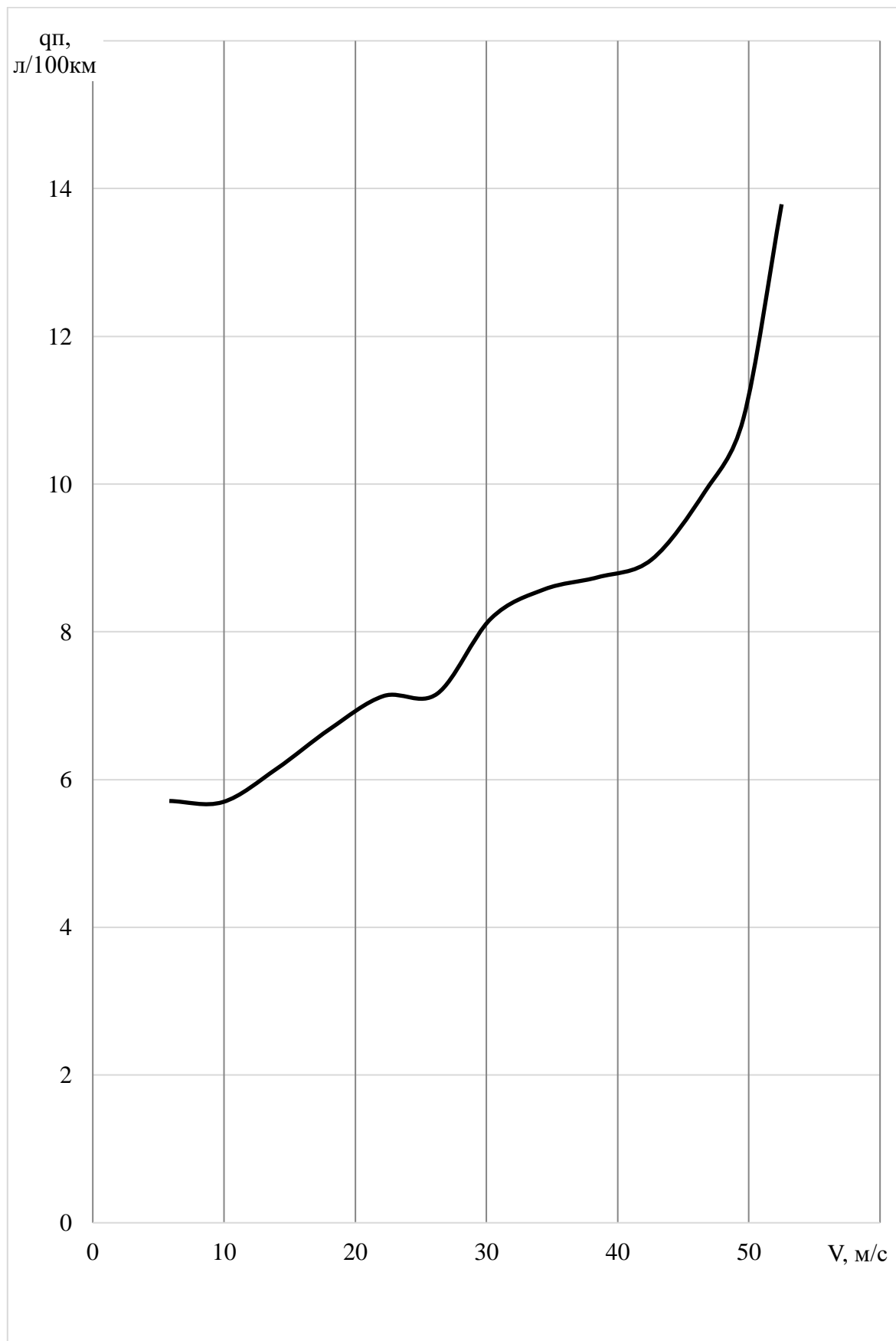


Рисунок А9 – Топливно-экономическая характеристика