



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования

«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)»

### Кафедра Автомобиля

Допустить к защите  
зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ / Иванов А. М.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

*Кудрин Александр Борисович*

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему: «Разработка методики настройки гоночного автомобиля на основе  
компьютерного моделирования»

шифр и направление подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-  
технологические средства»

профиль подготовки «Автомобильная техника в транспортных технологиях»  
Группа 5А3

Автор ВКР

Кудрин А. Б.

Руководитель ВКР

Топорков М. А.

Консультант(ы) ВКР

По ПЭБ:

Шашина Е. В.

По экономической части

Чирикканова Е. А.

Москва  
2021

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

Кафедра «Автомобили»

Шифр и направление подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»

Профиль подготовки «Автомобильная техника в транспортных технологиях»

УТВЕРЖДАЮ  
зав. кафедрой

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /  
\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.





**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

Кудрин Александр Борисович

Тема ВКР «Разработка методики настройки гоночного автомобиля на основе компьютерного моделирования»

утверждена приказом МАДИ от «22» *апреля* 2021 г. № 1183СТ

1. Исходные данные по ВКР: Гоночный автомобиль Mercedes AMG GT-3; Система сбора данных MoTeC i2 Pro; среда симуляций Assetto Corsa competizione; телеметрические данные гоночного автомобиля; настройка гоночного автомобиля
2. Обоснование темы ВКР и перечень, подлежащих разработке вопросов: Для проекта необходимо разработать уникальную методику настройки гоночного автомобиля с применением виртуальных сред испытаний, на основе имеющихся телеметрических данных гоночного автомобиля международного класса GT-3. Помимо этого, разработке подлежат следующие вопросы: история шоссейно-кольцевых гонок, в т.ч. возникновение гоночного класса «Gran Turismo»; виртуальная среда испытаний, её описание, сравнение сред, обоснование выбора, моделирование трассы и автомобиля; Описание испытуемого автомобиля; Описание настраиваемых параметров автомобиля и их влияние на поведение автомобиля во время заезда; Сравнение существующих на рынке систем сбора данных и их реализация в исследуемом автомобиле; Производственная и экологическая безопасность с расчётом снижения выбросов от сгорания топлива; Техничко-экономическое обоснование с расчётом стоимости настройки автомобиля, проведением виртуальных и доводочных реальных испытаний.

№ п/п	Наименование этапа работы (раздела)	Ф.И.О. должность, уч. степень, звание руководителя / консультанта (этапа работы раздела)	Срок выполнения этапа, раздела	Подпись, дата	
				Задание выдал	Задание принял
1	Основная часть	К.т.н., доц. Топорков М. А.			
2	ПЭБ	К.т.н., доц. Шашина Е. В.			
3	Экономическая часть	К.э.н., доц. Чириканова Е. А.			

Руководитель ВКР

 /Топорков М. А.

Задание принял  
к исполнению

 /Кудрин А. Б.



## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование этапов работы	Сроки выполнения этапов работы	Примечание
1	Получение и утверждение темы дипломного проекта	10.02.2021	Выполнено
2	Написание главы № 1 «Шоссейно-кольцевые гонки»	28.02.2021	Выполнено
3	Написание главы № 2 «Виртуальная среда испытаний»	14.03.2021	Выполнено
4	Написание главы № 3 «Гоночный автомобиль Mercedes AMG GT3»	28.03.2021	Выполнено
5	Сдача отчёта об производственной практике	30.04.2021	Выполнено
6	Написание главы № 4 «Система сбора данных»	02.05.2021	Выполнено
7	Сдача отчёта об преддипломной практике	01.06.2021	Выполнено
8	Написание главы № 5 Разработка методики настройки спортивного автомобиля	03.06.2021	Выполнено
9	Написание главы № 6 «ПЭБ»	10.06.2021	Выполнено
10	Написание главы № 7 «Технико-экономическое обоснование»	15.06.2021	Выполнено
11	Получить подпись руководителя и консультантов ВКР	17.06.2021	Выполнено
12	Подготовить презентационные материалы	18.06.2021	Выполнено
13	Пройти предзащиту, доработать ВКР по итогам предзащиты	19.06.2021	Выполнено
14	Сдать ВКР на антиплагиат	20.06.2021	Выполнено
15	Защита ВКР	25.06.2021	

Дата выдачи задания «23» апреля 2021 г.

Руководитель \_\_\_\_\_  
(подпись)

Топорков М.А.  
(фамилия, инициалы)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_

Сидоркин  
(подпись)

Кудрин А.Б.  
(фамилия, инициалы)

## Оглавление

Введение.....	8
Цели и задачи.....	11
Глава 1. Шоссейно-кольцевые гонки .....	11
1.1 Общие термины.....	11
1.2 Автомобили .....	12
1.3 Зарождение первых соревнований .....	14
1.4 Зарождение автоспорта и спортивных автомобилей в царской России и СССР .....	19
1.5 Возникновение гоночного класса “ Gran Turismo “ .....	24
Глава 2 Виртуальная среда испытаний .....	31
2.1 Описание среды испытаний.....	31
2.2 Сравнение существующих сред испытаний.....	32
2.2.1 Project Cars 2 (2017 г.).....	32
2.2.2 Assetto Corsa Competizione (2019 г. – н.в.) .....	35
2.2.3 rFactor 2 (2013 г.).....	35
2.2.4 iRacing (2008 – н.в) .....	36
2.3 Обоснование выбора виртуальной среды.....	37
2.3 Модель трассы в среде симуляции.....	39
2.3.1 Визуальная модель.....	39
2.3.2 Физическая модель .....	40
2.4 Модель автомобиля в среде симуляции .....	45
2.4.1. Визуальная модель.....	45
2.4.2 Физическая модель .....	48
2.4.2.1 Двигатель и коробка передач.....	48
2.4.2.2 Аэродинамика.....	50
2.4.2.3 Тормоза и модель шин.....	51
2.4.2.4 Шасси и топливный бак .....	55
2.4.2.5 Подвеска.....	57
Глава 3. Гоночный автомобиль Mercedes AMG GT3 .....	58
3.1 Описание испытуемого автомобиля Mercedes AMG GT3.....	58

3.2 Описание настраиваемых параметров автомобиля Mercedes AMG GT3 и их влияние на поведение автомобиля.....	59
3.4.1. Аэродинамика .....	61
3.4.2. Углы установки колёс .....	66
3.4.3. Тормозная система и рулевое управление .....	69
3.4.4. Электронные помощники. ....	70
3.4.5. Дифференциал.....	70
3.4.6. Стабилизаторы .....	72
3.4.7. Пружины, амортизаторы клиренс .....	73
Глава 4. Системы сбора данных .....	83
1.2 Сравнение существующих на рынке системы сбора данных.....	83
Глава 5. Разработка методики настройки спортивного автомобиля .....	85
5.1 Описание условий проведения испытаний .....	85
5.1.1 Составление программы и методики испытаний. ....	87
5.1.2 Выбор объекта испытаний и места проведения испытаний.....	89
5.1.3. Установка испытательной аппаратуры и выполнение подготовительных работ по настройке программ. ....	90
5.2 Анализ установочной сессии и основы работы с данными.....	91
5.2.1 Шины.....	91
5.2.2 Воздухозаборники .....	98
5.2.3 Обратная связь от пилота.....	100
5.2.4 Карта настроек .....	100
5.2.5 Определение круга проблем и пути решения. ....	102
5.3 Первая итерация .....	114
5.3.1 Аэродинамика .....	114
5.3.2 Клиренс .....	121
5.3.3. Дифференциал.....	122
5.3.4 Стабилизаторы .....	126
5.3.5 Пружины и амортизаторы.....	132
5.3.6 Углы установки колёс .....	134
5.5 Сравнение данных реального и виртуального заезда .....	137
5.6 Формулирование и обоснование итоговой методики .....	139

Глава 6. Производственная и экологическая безопасность .....	141
6.1 Выбросы вредных веществ при проведении тестов.....	141
6.1.1 Снижение выбросов от сгорания топлива.....	143
6.1.2 Снижение количества твёрдых частиц, выделяющихся при износе тормозных механизмов и шин.....	145
6.2 Вывод.....	147
Глава 7. Технико-экономическое обоснование.....	147
Введение.....	147
7.1 Расчёт стоимости настройки автомобиля с применением виртуальных испытаний.....	148
7.1.1 расчёт стоимости виртуальных испытаний.....	148
7.1.2 Расчёт стоимости доводочных реальных испытаний .....	150
7.2 Расчёт стоимости настройки автомобиля без применения виртуальных испытаний.....	151
7.3 Выводы.....	154
Выводы .....	156
Список литературы .....	158

## Введение

Современные тенденции развития в популяризации автоспорта и повышение зрелищности соревнований, ФИА (Международная автомобильная федерация) взяла курс на уравнивание конкурентоспособности участников, которая может быть достигнута снижением финансовых затрат и введением искусственных мер по уравниванию возможностей соперников, где борьба будет играть ключевую роль. Автомобильные соревнования, которые проводятся на модифицированных моделях серийных автомобилей – «Gran Turismo», не исключение. В данном случае будущее за сериями, в которых спортсмены принимают участие на автомобилях разных марок, подготовленных под одни технические требования с ограниченным количеством возможностей по их настройкам. Также для искусственного создания борьбы применяется система Разработка комплексной методики исследований и оценки экологической безопасности автомобилей : диссертация ... кандидата технических наук : 05.05.03 / Азаров Вадим Константинович; [Место защиты: Центр. науч.-исслед. автомобил. и автомотор. ин-т "НАМИ"]. - Москва, 2014. - 138 с. : ил. Колесные и гусеничные машины весовых гандикапов. А для уравнивания возможностей различных марок автомобилей появилась такая процедура как «Balance of Performance». Таким примером служит международная серия «GT-3».

«Balance of Performance» (Баланс производительности) или сокращенно BoP, представляет собой регламент в автоспорте, чтобы привести различные силовые агрегаты и / или транспортные средства к одинаковым уровням производительности. Основные способы уравнивания автомобилей в рамках BoP являются: минимальный вес автомобиля, мощность двигателя и дорожный просвет.

Преимущества «Balance of Performance»:



- все автомобили равны между собой по динамическим свойствам, следовательно, результат гонки зависит только от пилота, что положительно сказывается на зрелищности соревнований;

- нет борьбы за улучшение конструкции гоночного автомобиля, так как все автомобили перед началом сезона, проходят предсезонные тесты по уравниванию динамических свойств, что означает отсутствие затрат на разработку и производство технических новинок, и, как следствие, на участие в чемпионате.

Благодаря введению требований VoP автомобили близки по суммарным потенциальным показателям, что безусловно отразилось на остроте, важности и сложности борьбы. В этом случае на первый план выходит правильная работа по настройке автомобиля. Правильно подобранные настройки автомобиля для конкретной трассы, конкретных условий и под конкретного гонщика могут в корне изменить ситуацию и позволит получить преимущество над ненастроенными автомобилями соперников.

Для получения максимально высокого результата в плане настройки автомобиля, критически важным является обмен информацией между пилотом и гоночным инженером. Но не все пилоты умеют грамотно давать обратную связь, некоторые не могут технически грамотно обосновать и описать ту или иную проблему автомобиля. Это является проблемой, которую нужно стремиться решить.

Таким решением является система сбора данных, установленная на автомобиле. Комплекс датчиков и записывающее устройство могут отображать все воздействия пилота на автомобиль и воздействия дороги на автомобиль. Различное состояние и режимы работы различных узлов и агрегатов автомобиля в конкретные моменты времени. Анализ каналов данных объективно позволяет оценить ошибки и проблемы автомобиля в различные моменты прохождения трассы и найти пути их решения.

Тенденции современного автоспорта берут курс на удешевление “входа” на соревнования и уравнивание шансов соперников путём сокращения и ограничения тестов. В свою очередь, это приводит к трудностям адаптации и поиска оптимальных настроек, что отрицательно сказывается на результатах.

На сегодняшний день технологии в области настройки гоночных автомобилей зашли ещё дальше. Применение виртуальных сред испытаний позволяет не только сузить предполагаемый диапазон настроек автомобиля под конкретную трассу, но и позволить пилоту получить драгоценный опыт в различных условиях, не выезжая на саму трассу.

В данной работе предлагается разработать уникальную методику настройки гоночного автомобиля с применением виртуальных сред испытаний на основе телеметрических данных на примере международного класса “GT-3”. Для данной работы был выбран автомобиль Mercedes AMG GT-3, спроектированный Mercedes AMG. Первым шагом производим несколько тестовых заездов, чтобы понять, как ведёт себя автомобиль на данной трассе. Перед тестовой сессией необходимо убедиться, что мы используем весь потенциал автомобиля, чтобы вносимые изменения в настройку были объективными. Показателем раскрытия всего потенциала автомобиля будет принята “зачётная сессия”.

Настройка гоночного автомобиля очень важна и неоднозначна. В автомобиле, изменение одного параметра действует сразу же на несколько других и изменяет поведение автомобиля в целом.

Mercedes AMG GT-3 имеет большой диапазон настроек. Предлагаемая методика подойдёт для различных классов гоночной техники, позволит быстро понять процесс работы молодому гоночному инженеру и начать развивать свою карьеру как на соревнованиях Time Attack, так и на более высоком уровне. Кроме того, методикой могут воспользоваться и просто

желающие попробовать свои силы в настройке как серийного, так и гоночного автомобиля.

Актуальность выбранной темы обусловлена мировой тенденцией, а также текущей политикой РАФ по снижению затрат на участие в различных классах чемпионатов и серий.

### **Цели и задачи**

Цель дипломного проекта:

Разработка методики настройки гоночного автомобиля на основе компьютерного моделирования.

Задачи выпускной квалификационной работы:

1. Ознакомится с принципом работы гоночных симуляторов, виртуальной копии автомобиля и трассы и выбрать оптимальную среду для моделирования.
2. Ознакомится с существующими системами сбора данных, устанавливаемых на гоночный автомобиль и особенностями работы с полученной информацией.
3. Установить влияние тех или иных настраиваемых параметров гоночного автомобиля на время прохождения круга.
4. Провести ряд виртуальных испытаний с целью определения оптимальных настроек автомобиля.
5. Разработать последовательность настройки автомобиля на основе виртуальных тестов.
6. Сравнение результатов реальных тестов с виртуальными.

## **Глава 1. Шоссейно-кольцевые гонки**

### **1.1 Общие термины**

Согласно спортивному кодексу РАФ, существуют различные виды соревнований автомобильного спорта, включающие в себя одну или несколько

дисциплин автоспорта. Каждый вид соревнований автоспорта организуется и проводится по правилам, утверждаемым Федеральным органом исполнительной власти в области физической культуры и спорта. В целях упрощения идентификации, в названиях дисциплин приведены применяемые ФИА названия на английском языке.

Дисциплина автоспорта – часть вида соревнований автомобильного спорта, имеющая отличительные признаки, проводимая по правилам вида соревнований автомобильного спорта в классах, группах, формулах (зачетных группах) автомобилей, поименованных в разделе «Автомобильный спорт» Всероссийского реестра видов спорта (ВРВС), утверждаемого в установленном порядке.

Спортивные звания и разряды присваиваются спортсменам за участие в соревнованиях в официально признанных дисциплинах, включенных в ВРВС [13, с.5].

Кольцевые гонки (Circuit races) – спортивное мероприятие, проводимое на замкнутой трассе с одновременным участием двух или более автомобилей, в котором определяющим фактором является скорость или пройденная за заданное время дистанция. К ним относятся также ледовые гонки, проводимые на замкнутой трассе, покрытием которой является лёд, и трековые гонки, проводимые на спидвейных трассах (две прямые соединенные полуокружностями) по снежно – ледяному или гаревому покрытию [13, с.6].

## **1.2 Автомобили**

Исходя из спортивного кодекса РАФ, классификация автомобилей: объединение автомобилей в группы, по рабочему объему двигателя или любым иным характеристикам.

Рабочий объем двигателя: объем, образуемый в цилиндре (или цилиндрах) двигателя между крайними верхним и нижним положениями (возвратно-поступательно движущихся) поршня или поршней. Этот объем



выражается в кубических сантиметрах, и при его расчете число «Пи» принимается равным 3,1416.

Спортивное наземное транспортное средство – под ним понимается аппарат для участия в спортивных соревнованиях, приводимый в движение своими собственными средствами и передвигающийся с постоянной опорой на землю (или лед) с помощью либо несущих механических устройств, либо опосредовано, при этом движущая сила и система управления данного средства постоянно и полностью контролируются находящимся на его борту пилотом [13, с.16].

Автомобиль (спортивный автомобиль) – это наземное транспортное средство для участия в спортивных соревнованиях, передвигающееся с помощью не менее четырех не расположенных на одной линии колес с постоянным контактом с земной поверхностью (льдом), из которых не менее двух служат для управления движением, и не менее двух являются ведущими. В зависимости от типа соревнования могут использоваться взаимозаменяемые с термином автомобиль другие названия, но, не ограничиваясь ими, например, легкой автомобиль, грузовик, карт, специально-кроссовый автомобиль и др.

Спортивное специальное транспортное средство – транспортное средство для участия в спортивных соревнованиях, имеющее не менее четырех колес, перемещение которого обеспечивается не при помощи колес.

Транспортное средство на несущем слое для участия в спортивных соревнованиях: транспортное средство, которое при перемещении опирается на земную поверхность (лёд) посредством сжатия, находящегося под ним слоя воздуха [13, с.16].

Гибридный автомобиль – Автомобиль, использующий два или несколько различных источников энергии для своего движения [13, с.17].

Карт – Небольшое четырехколесное гоночное транспортное средство с жесткой рамой без подвески. Двигатель приводит в движение только задние

колеса, соединенные между собой неразрезной задней осью без дифференциала. Пилот располагается сидя лицом вперед [13, с.17].

Гоночный автомобиль – Одноместный гоночный автомобиль с открытыми колесами, построенный исключительно для участия в гонках, проводимых на специальных кольцевых трассах [13, с.17].

Спортпрототип - Двухместный открытый или закрытый автомобиль, построенный с единственной целью участвовать в гонках, проводимых на кольцевых трассах [13, с.17].

Автомобиль Гранд Туринг (ГТ) Grand Touring Car (GT) – Открытый или закрытый автомобиль с одной дверью с каждой стороны и минимум двумя сидениями по одному с каждой стороны от центральной осевой линии автомобиля. Эти два сидения должны пересекаться одной и той же поперечной плоскостью. Автомобиль должен иметь Одобрение для движения по дорогам общего пользования, и быть адаптирован для гонок на кольцевых трассах или треках [13, с.17].

Автомобиль Туринг Touring Car – Автомобили серийного производства, выпущенные в количестве не менее 2500 идентичных экземпляров за 12 месяцев подряд, имеющие не менее четырех мест для взрослых, цельную несъемную крышу и не менее двух дверей по одной с каждой стороны, внутренние размеры которого не менее, чем установлены правилами омологации ФИА для группы А [13, с.17].

### **1.3 Зарождение первых соревнований**

Первые гонки на безлошадных экипажах были проведены во Франции, где активно и восторженно развивалось автоспортивное движение. Его центром был Париж. Гонки, как правило, проводились на дорогах от одного города до другого.

Первый автомобиль появился на свет в конце 19 века, как результат многих изобретений, запатентованных в различных европейских странах.

Франция отпраздновала столетие автомобиля в 1984 г., Англия – в 1985 г., а Германия – в 1986 г. Но, несмотря на то, что, в техническом плане, ее флагманом была немецкая продукция Daimler и Benz, сам автоспорт родился именно во Франции.

Принято считать, что первая в мире автомобильная гонка, так таковой не считалась, а была своего рода соревнованием, которое позже стали называть испытанием на надежность. Издателем парижской газеты *Le Petit Journal*, Пьером Жиффаром, о таком соревновании было объявлено 19 декабря 1893 г. и, согласно его правил, 22 июля 1894 г., соперники должны были преодолеть 126 км от Парижа до Руана менее чем за восемь с половиной часов. Первый приз (5000 франков) присуждался участнику, чей "безлошадный экипаж", как полагалось, покажет наилучшую комбинацию безопасности, экономичности и удобства в управлении. 102 соперника, к концу подачи заявок, захотели принять участие в данном мероприятии. Бензиновые двигатели, в то время, не пользовались всеобщим признанием, так как среди участников были автомобили, приводимые в движение паром, электричеством и керосином, наряду с бензином.

Первоначально большая часть транспортных средств, заявленных не смогла пройти входного контроля, после которого их осталось всего 25. После проведенного 19 июля предварительного испытания, четыре машины были исключены.

22 июля, в день соревнования, с 30-секундным интервалом 21 соперник покинул Париж, и лидерство над своими конкурентами захватил Бутон на паровом автомобиле De Dion-Bouton. Большая часть пелотона достигла Манта, завершавшего первый участок, с запасом времени, и после перерыва на отдых в 13:30 дня, продолжила свой путь. Все 13 автомобилей Peugeot и Panhard-Levassor добрались до Руана, а 12 из них преодолели дистанцию в пределах предусмотренного времени. Единственный Benz также преодолел

путь за предписанное время, но из семи стартовавших автомобилей с паровыми двигателями до Руана дошли лишь три. После того, как судейская группа исследовала автомобили, она присудила первый приз, предоставленный *Le Petit Journal*, совместно автомобилям Panhard-Levassor и Peugeot, которые были оснащены двигателями Daimler мощностью от 3 до 4 л.с. Паровые автомобили De Dion, по сути, преодолевшие путь за меньшее время, сочли слишком громоздкими, их максимальная скорость составляла 20 км/ч, а средняя скорость была оценена в 17 км/ч.

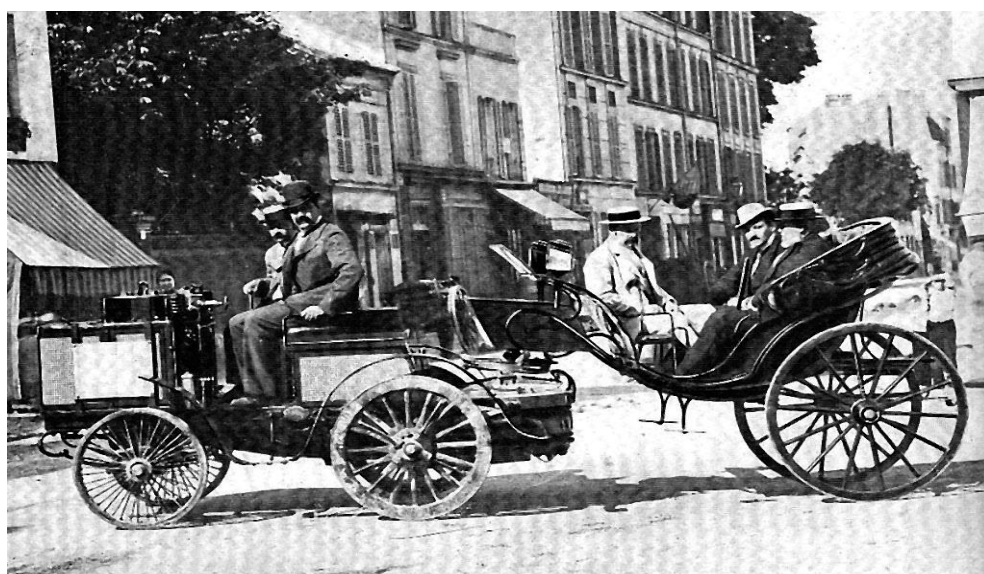


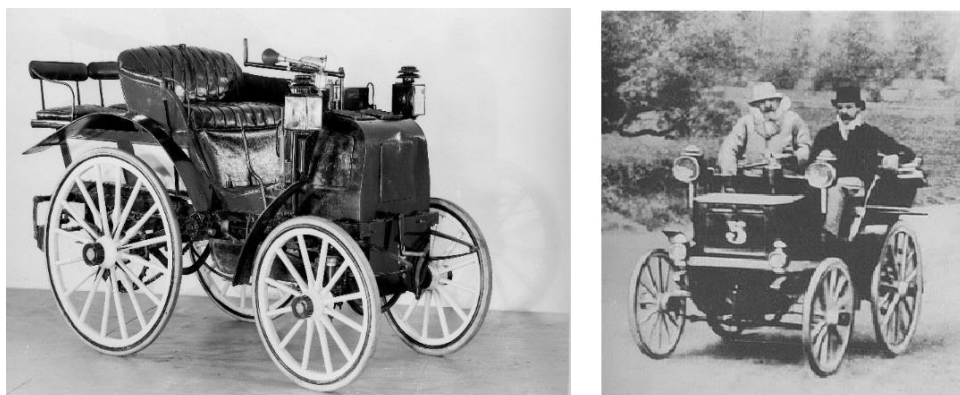
Рисунок 1.1 – Паровой автомобиль De Dion и его рекордный экипаж в пробеге 1895.

Соревнование Париж-Руан 1894 г. дало старта в организации автогонок, и в последующие годы было проведено большое количество гонок между разными европейскими центрами. В первые годы ведущими марками являлись Panhard-Levassor, Peugeot, De Dion-Bouton, Renault, Benz, Daimler и позже, Fiat.

Первой в истории настоящей автогонкой, принято считать, проведённую в 1895 г. на дороге от Парижа до Бордо и обратно, дистанция которой составила 1200 км. Соревнование было организовано группой издателей парижских газет, присоединившихся к Французскому Туристическому Клубу, образовав



*Automobile Club de France*, который и в настоящий момент отвечает во Франции. В гонке Париж-Бордо соперники должны были преодолеть дистанцию за 100 часов, но победитель Левассор на Panhard-Levassor (Рис 1.2)



прошел ее за 48 часов 48 минут со средней скоростью 24,14 км/ч.

Рисунок 1.2 – Panhard –Levassor на гонке 1895 года

Следом за ним финишировали три гонщика Peugeot – Риголо, Кеклен и Дорио – и Тум на Benz. Следующий момент, представляющий исторический интерес – гонка Париж-Бордо-Париж была отмечена первым случаем, когда среди участников впервые был замечен автомобиль с пневматическими шинами. Типичное колесо того времени было той же конструкции, что использовалась на гужевых телегах, с ободом из железа или твердой резины. Андре Мишлен захотел опробовать свои пневматические шины в этой трудной гонке, хотя знал, что безжалостные ухабистые дороги будут для них очень тяжелыми. Поэтому он установил по всему маршруту большое количество сервисных точек, но даже в этом случае он вынужден был останавливаться и менять шины так часто, что его Peugeot, по сути, не смог уложиться в пределы предписанного времени. Поначалу "воздушные шины" подвергались насмешкам, но в течение короткого времени это хитроумное изобретение стало способствовать увеличению комфорта езды, и вскоре пневматические шины стали пользоваться огромным спросом [11].

АКФ (*Automobile Club de France*) был образован в Париже в ноябре 1895 г. Через два месяца *Chicago Times Herald* профинансировала первую

автогонку в Соединенных Штатах. Участие приняли лишь два соперника – Мюллер на Benz и Дюрье на Duryea – и только Benz смог пересечь финишную черту, преодолев 150-километровую дистанцию за 8 часов 44 минуты [11].

В следующем году в гонке "New York Cosmopolitan" участие приняли лишь шесть соперников. Во Франции дистанция гонки Бордо-Ажен-Бордо составила 276 км, но самой длинной гонкой года была организованная осенью АКФ гонка Париж-Марсель-Париж, дистанция которой составила 1710 км. Задуманное в качестве настоящего испытания автомобилей, соревнование было разбито на десять этапов примерно равной протяженности и длилось с 24 сентября по 3 октября. В число 32-ух участников входили 24 автомобиля с бензиновыми двигателями и три с паровыми; кроме того, были еще три трехколесных автомобиля. Гонку выиграл Майад, опередивший Меркеля, оба выступали за рулем Panhard, следом пришел трехколесный De Dion-Bouton, которым пилотировал Вье. Panhard продолжали доминировать в гонках на длинные дистанции до конца столетия. В 1898 г. они одержали победы в 230-километровой гонке Марсель- Ницца, в 574-километровой гонке Париж-Бордо и в нескольких незначительных соревнованиях [11].

Одним из важнейших событий 1898 г. была гонка Париж-Амстердам-Париж, длившаяся с 7 по 13 июля на дистанции 1431 км. Победителем снова был Panhard – Шаррон и Жирардо заняли первые два места. Время Шаррона было 33 часа 4 минуты 34 секунды, а средняя скорость составила 43,31 км/ч. Обладателями всех первых мест были французские автомобили [10].

Первая автомобильная гонка "Тур де Франс" была проведена в следующем году. Длившаяся с 16 по 24 июля, она не являлась испытанием на надежность, чем "Тур" стал позже, это была чистая 2291- километровая гонка. Участие приняли девятнадцать автомобилей, стартовавших с 30-секундным интервалом, и после нескольких дней гонки стало ясно, что победу снова одержат Panhard. Победителем стал де Книфф, опередивший Жирардо, де Шасслу-Лоба и Войгта [11].

Кроме того, в 1899 г. при поддержке журнала *Le Velo* была проведена гонка между Парижем и Бордо. Было зарегистрировано семьдесят четыре соперника, пожелавших принять в ней участие, и 24 мая на стартовом поле стояли 24 автомобиля – все французские – и 37 мотоциклов, готовые уйти в 564.7-километровую гонку. Победитель Шаррон преодолел дистанцию за 11 часов 43 минуты 20 секунд, опередив четыре других Panhard

#### **1.4 Зарождение автоспорта и спортивных автомобилей в царской России и СССР**

Первая важная автогонка в России, маршрут пролегал от Санкт-Петербурга до Москвы (705 км), и Виктор Эмери на Benz преодолел дистанцию за 8 часов 33 минуты 48 секунд, одержав победу со средней скоростью 82,71 км/ч. 25 мая 1908 года Москва встречала победителей пробега СПб – Москва. Гонка была приурочена к проведению 2-й Международной автомобильной выставки. Только из-за организационной неразберихи она не получила статуса Гран-при. Победителем на ней стал Виктор Эмери (Рис 1.10) . В 1907 году Эмери перешел в блиставший тогда Бенц и стал вторым на Кубке Флорио. В 1908 году был приглашен в Россию. На гонке Санкт–Петербург – Москва до Вышнего Волочка шел третьим, а лидировал Альфонс Дюре, вторым был Деможо. Многие гонщики избрали такую тактику: идти вслед за лидером, а потом совершить финишный рывок. Что сделал и Эмери, обогнав главного конкурента за 10 минут до финиша. Время победителя было 8 часов 33 минуты 48 секунд.



Рисунок 1.3 – Виктор Эмери на своем автомобиле Benz в окрестностях Кремля.

Первый русский автомобиль, «заточенный» под гонки, появился во времена Российской империи. «Руссо-Балт» на базе серийного С24/30 создал спортивную версию С24/55. Сделано это было по заказу и при непосредственном участии легендарной личности — Андрея Платоновича Нагеля. Он был автогонщиком, мотогонщиком, а также одним из первых в нашей стране автожурналистом — издавал журналы «Спорт», «Автомобиль», «Аэро и автомобильная жизнь». Базовый мотор С24/30 увеличили до 4,9-литра, а также впервые в автомобильной истории использовали алюминиевые поршни. В итоге мощность мотора возросла до 55 «лошадок». Модернизация затронула и трансмиссию — благодаря замене шестерён удалось понизить передаточные числа. Плюс вместо цепной передачи на заднюю ось использовали вал с карданным шарниром. Для того времени это был настоящий прорыв.

На С24/55 в 1912 году Андрей Нагель поучаствовал в Ралли Монте-Карло. Из 83 гонщиков ему удалось занять девятое место в общем зачете. Этот успех не остался незамеченным — Николай II лично вручил Нагелю орден святой Анны III степени. Дальнейшему развитию автоспорта в России



помещала сначала Первая мировая война, а затем революция и Гражданская война. Стране почти на два десятка лет стало не до гонок. Следующий этап начался уже в 1930 годах.

Первый российский спортивный автомобиль после этого появлялся на еще нескольких гонках. В 1913 году машина пережила доработки, получив прозвище «Русский огурец» (за форму кузова и цвет).

Первый в истории Советского Союза спортивный автомобиль был создан в 1932 году. В Научном автотракторном институте (НАТИ) собрали шесть опытных машин, получивших название НАТИ-2 (Рис. 1.11). Их оснастили 1,2-литровыми моторами, выдающими мощностью в 22 лошадиные силы. Максимальная скорость автомобилей составляла 75 км/ч.

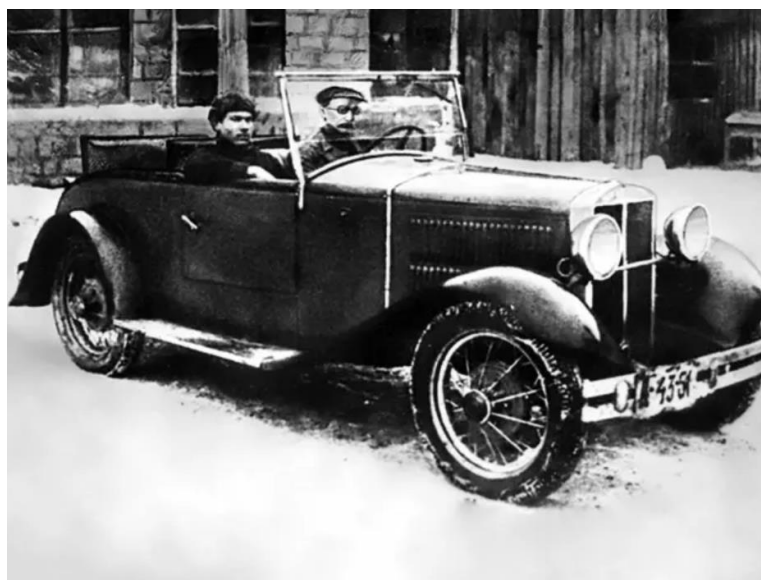


Рисунок 1.4 – Советский родстер НАТИ-2

Спустя пять лет руководство страны осознало, что лучше всего на подготовке военных водителей и танковых механиков сказываются занятия в автоспортивных клубах. Поэтому отношение к гоночным машинам изменилось: советских граждан буквально призывали учиться вождению и участвовать в гонках. Тогда же в стране стали появляться первые спортивные машины, созданные любителями техники. Например, в Ленинграде появился на свет ГАЗ-А-Спорт. Его сконструировал водитель Ленсовета Антон Гирель,

взяв за основу серийный ГАЗ-А. Гирель оснастил свое детище «растянутой» колесной базой и обтекаемым кузовом. 4-цилиндровый мотор объемом 3,2-литра он форсировал до 55 «лошадок». ГАЗ-А-Спорт (Рис. 1.12) смог разогнаться до 129 км/ч, что оказалось рекордной скоростью для Советского Союза.

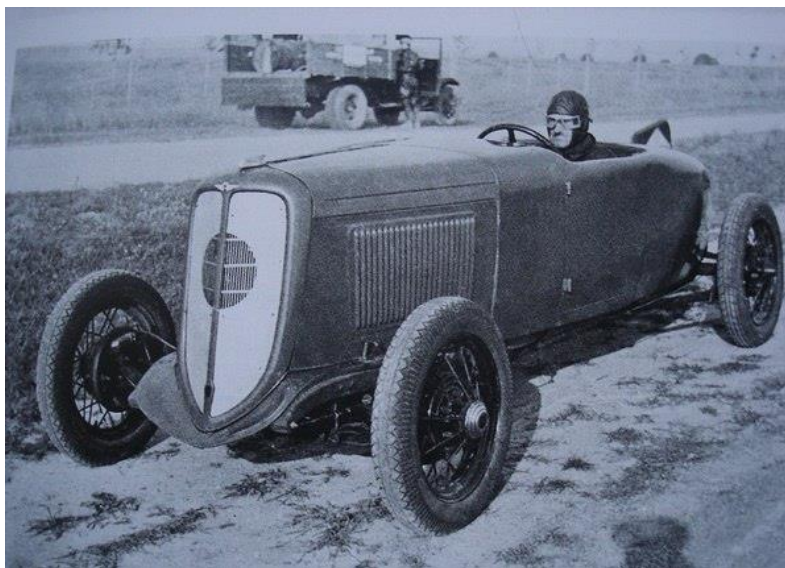


Рисунок 1.5 – ГАЗ А Спорт в первом варианте.

В том же 1937 году, но уже в московском Центральном автомобильном клубе спорта (ЦАКС), сделали собственный спортивный автомобиль. К процессу подошли основательно. ГАЗ-А (Рис. 1.13) подвергся переработке, затронувшей большую часть узлов. Сначала модернизировав раму, затем на все колеса поставили гидравлические амортизаторы, а открытый деревянный кузов закрыли под листами металла. Модернизировали и 3,2-литровый мотор. Его оснастили алюминиевой головкой блока и повысили степень сжатия, что привело к увеличению мощности до 60 лошадиных сил. А максимальная скорость приближалась к отметке в 130 км/ч.



Рисунок 1.6 – ГАЗ А Спорт после доработок.

Всё это были попытки СССР в создании гоночных автомобилей, а соответственно и соревнований к ним, но, к сожалению, в связи с началом Великой Отечественной Войны в 1941 году все соревнования были прекращены.

В послевоенные годы в СССР начали проводиться рекордные заезды, но первая кольцевая гонка прошла лишь в 1955 году. 29 сентября на трассе Большое Минское кольцо прошел чемпионат СССР состоял из одной гонки, общая дистанция составляла 220 км, а длина круга 44 км, всего же было 5 кругов. В гонке было 3 класса: Класс ЗИС-110 состоящий из одного автомобиля, класс автомобилей ГАЗ и класс «Москвичей». С 1960 года Чемпионат СССР состоял уже из двух этапов изменилось разделение по классам, теперь классы разделялись не по марке. Впервые применялись международные правила разделению спортивных автомобилей по классам, включавшую формулу 1, формулу 3 и формулу «Юниор». Также гонки впервые были проведены на коротких трассах- Невское кольцо и Пирита-Козе-Клоостриметса под Таллином.

Далее автоспорт в СССР развивался довольно активно, количество соревнований росло с каждым годом: спартакиады, чемпионаты, кубки. Появлялись новые трассы, возникли международные соревнования: кубок

Дружбы Социалистических Стран. Образовалась сборная СССР по шоссейно-кольцевым гонкам.

Вместе с соревнованиями на автомобилях с открытыми колёсами начали проводиться и соревнования на автомобилях со стандартными кузовами. В Советском Союзе в соревнованиях использовались спортивные автомобили, построенные на базе автомобилей: ГАЗ-21 (позже ГАЗ-24), «Москвич» (позже АЗЛК 412) и ВАЗ 2101. В последствии большинство спортсменов стало отдавать предпочтение автомобилям Волжского автозавода, а не автомобилям «Москвич». Представители Чехословакии выступали на автомобилях Skoda 130 RS, специально построенных для соревнований. В последствии с изменением технических требований они также стали использовать автомобили ВАЗ. Класс автомобилей Волга участия в Кубке Соц. Стран не принимал. Соревнования в рамках Кубка проводились вплоть до 1991 года. После распада «социалистического лагеря» данные соревнования перестали существовать.

Рисунок 1.7 – Перед стартом чемпионата Минавтотранса 1982 г.: С.



Белозеров (70), М. Каюмов (29), Я. Алликс (73).

### 1.5 Возникновение гоночного класса “ Gran Turismo “

В 1997 г. ФИА, в ответ на рост интереса к гонкам ГТ со стороны производителей, таких как Мерседес-Бенц, Порше, Паноз, взяла под свой контроль набирающую популярность Серию BPR Global GT, ограничив длину



гонок в 500 км (вместо прежних 4х часов), выпустив новый, более либеральный технический регламент и передав коммерческие вопросы в руки одного из основателей BPR Global GT, Стефана Рателя, получившего поддержку со стороны европейского кабельного канала Евроспорт. Новые производители строили омологационные партии в 25 машин, чтобы в полной мере пользоваться новыми правилами, допускающими фактически спорт-прототипы. Chrysler, Lister и Marcos, не желавшие втягиваться в новую гонку расходов, перешли в низший класс GT2. Это оказалось мудрым решением, ибо Мерседес полностью доминировал в старшей категории, так что остальные участники после бесперспективной двухлетней борьбы с заводскими Mercedes-Benz CLK-GTR, покинули класс GT1, упразднённый в 1999 г. В оставшейся младшей категории GT2 доминировал Chrysler Viper, изредка встречая конкуренцию со стороны стареющих Porsche 993 GT2 и Lister Storm.[11]

С тем чтобы дать возможность участия для менее подготовленных пилотов была учреждена категория N-GT. Если в старшем классе было представлено несколько марок, то в младшей выступали практически одни Ferrari и Porsche, однако эксплуатационные расходы были низки и это привлекало участников. Для повышения статуса чемпионата SRO добавила в календарь гонку 24 часа Спа, где прежде участвовали кузовные машины. Также FIA запретила участие заводских команд, хотя некоторые команды пользовались у своих производителей преференциями, особенно в стане команд Porsche.

После 2004 г. FIA изменила названия классов с GT и N-GT на GT1 и GT2 соответственно, а также несколько либерализовала технический регламент, допустив центрально-моторные суперкары. Хотя это было сделано с расчетом на участие машин Saleen S7, но наибольшую выгоду извлек Maserati MC12, полу-прототип созданный на базе Феррари Энцо, так что FIA была вынуждена ограничить аэродинамику этих машин. В итоге система весовых балластов

более-менее уравнила участников, сделав борьбу более плотной и позволяя джентльмен-драйверам навязывать борьбу более опытным и профессиональным коллегам, среди которых были и гонщики Ф1.

Машины GT1 являются наиболее мощными и технически сложными. Омологационные партии не столь велики — сначала это было 25 машин, затем 50 — а объем переделок очень велик. Двигатель создаётся на основе серийного блока цилиндров, но вспомогательные системы могут подвергаться полной замене, трансмиссия совершенно новая, в том числе по причине запрета автоматических и полуавтоматических (секвентальных) КПП, а также полного привода. Новой должна являться и подвеска, приближенная к чисто гоночным образцам. Серьёзным изменениям подвергается и кузов — материалы заменяются на пластик, в ряде случаев изготавливаются новые кузовные детали, объединяющие несколько деталей, например, капот. Аэродинамика включает передний сплиттер, плоское днище с диффузором и заднее стандартное крыло. В кабине устанавливается омологированная капсула безопасности. Кроме того, машины оснащены стандартным гоночным оборудованием — системой заправки топливом и пневматическими домкратами, поднимающими машину на пит-стопе (домкраты работают от внешнего источника — на пит-стопе механик подсоединяет машину к компрессору и тот создает давление в домкратах).

Машины GT2 менее сложны и больше приближены к своим дорожным собратьям, объем переделок в них значительно меньше (хотя участники и отмечают, что объем электроники превосходит таковой на спортпрототипах недавнего прошлого). Также машины GT2 обычно несколько меньше машин старшей категории, имеют двигатели меньшего объема. Мощность обычно на уровне 450—520 л.с., масса 1150 кг.

Таблица 1.1 Таблица автомобилей, участвующих в классах GT 1; GT 2

GT 1	GT 2
Ferrari <a href="#">550/575</a>	BMW M3 GTR (e46)
Aston-Martin DBR9, DB9	BMW M3 GT2 (e92)
Chevrolet Corvette C5/C6R, Z06	Ferrari 458 Italia GTE
Lamborghini Murcielago R-GT, Murcielago R-SV	Ferrari F430GT
Maserati MC12	Ferrari 360GT
Saleen S7R	Porsche 911 (993, 996, 997 модификаций GT3)
Chrysler Viper	Spyker C8/C8 Laviolette
Ford GT	Chrysler Viper
Nissan GT-R	Aston Martin Vantage; DBRS9

Кроме FIA GT машины категорий GT1/GT2 допускаются и во множество других гонок на выносливость (таблица 1.1). АСО допускает их в гонки Серии Ле-Ман и 24 часа Ле-Мана, но не допускает туда автомобили Maserati MC12. IMSA допускает эти машины в гонки Американской серии Ле-Ман, но оставляет за собой право изменять рестрикторы и балласт отдельных машин с целью уравнивания шансов участников. Также эти категории допускаются в различные национальные чемпионаты GT — итальянский, французский, бельгийский, английский.[11]

Чемпионат FIA GT изначально являлся гонками на выносливость — продолжительность его гонок достигала 3 часов (или 500км), что, впрочем, было меньше, чем у предшествующей серии BPR Global GT — 4 часа. Особняком стояла гонка 24 часа Спа. При этом чемпионат проводил свои гонки совместно с ETCC (затем WTCC) и освещался одним каналом — Eurosport. Однако по завершении сезона 2005 г. Евроспорт потребовал

сокращения длины гонок до 2х часов, на что Ратель не согласился и чемпионаты разошлись в расписании. Впрочем, уже через год, в сезоне 2007 г. SRO самостоятельно уменьшила длину гонок до 2х часов, в интересах телевидения, в сезоне 2008 г. гонка в Бухаресте была проведена двумя отрезками по 1 часу каждый, а на сезон 2009 г. все этапы запланированы с двумя 1-часовыми гонками. Также с 2007 г. этап в Адрии проводится в вечернее время, на частично освещённой трассе с применением включённых фар.

Старт гонок осуществляется с ходу, финиш дается по временной отсечке, после завершения лидером круга на котором он находился в момент истечения времени гонки. Все классы — GT1, GT2 и G2 — выступают совместно, но имеют отдельный зачет. Всего на старт выходит до трех и более десятков машин, а на суточную гонку в Спа заявляются и отдельные экипажи, не выступающие в чемпионате на полном расписании.



Дороговизна и сложность автомобилей GT1 привела к тому, что новые машины перестали появляться с 2005 г., а число участников старшего класса начало медленно снижаться. Поэтому SRO после долгих обсуждений решила изменить регламент класса с 2010 г. Регламент будет похож на GT2, но для

больших по размерам машин. Увеличатся размеры омологационных партий, объем разрешённых доработок снизится, появятся стандартные узлы. Минимальная масса машин будет составлять 1250—1300 кг (для машин с мотором соответственно в 600 и 650 л.с.), что снизит потребность в дорогостоящих композитных материалах. Их мощность также несколько вырастет, предполагается что отдача мотора будет в районе 600—650 л.с. Под новый регламент в 2009 г. вне зачета уже выставлены машины Ford GT и Nissan GT-R (График 1.1).[12]

Также чемпионат получит статус мирового, для чего он должен будет увеличить число гонок за пределами Европы — в Азии, Южной Америке. Предполагается, что с новыми правилами число участников в обоих основных классах — GT1 и GT2 — возрастет настолько, что они смогут проводить заезды отдельно друг от друга. При этом GT2 выделится в отдельный Чемпионат Европы, игнорируя выездные этапы чемпионата мира GT1.

Таблица 1.2 Сравнительная таблица классов Gt1.GT2.GT3 (2009 год)

	GT1	GT2	GT3
Кол-во участников	25	25	56
Кол-во команд	11	9	15
Кол-во этапов	8	8	12
Средний возраст техники, лет	6	3	4
Средняя стоимость техники, тыс. евро	551	230	190
Кол-во автомобильных производителей	6	3	13

Западный автомобильный клуб Франции уже заявил, что новая категория GT1, скорее всего, будет допущена без ограничений на гонки серии Ле-Ман и 24 часа Ле-Мана.

Также есть предложение сменить классификацию — перевести машины GT2 в категорию GT1, а машины GT3 — в GT2. Кроме соображений удешевления участия организаторы выдвигают также соображения безопасности и необходимости снижения скоростей (таблица 1.2).[12]

Используются удешевленные версии старших категорий авто с запретом доводки на заводах-производителях. Они предоставляют серийные машины доводимые в ограниченных рамках регламента. До начала соревнований автомобиль должен получить разрешение. SRO проводит испытания и



указывает минимальную массу участника для уравнивания шансов при разности мощностей двигателей

Команда может иметь до 3 машин с двумя закрепленными гонщиками.

По решению FIA или SRO участвуют гонщики достижения которых соответствуют заявленным критериям. На этапе FIA GT3 проводится 2 одночасовых гонки. В командах с двумя авто на машину приходится по два пилота

## **Глава 2 Виртуальная среда испытаний**

### **2.1 Описание среды испытаний**

В современном мире роль компьютерных технологий возрастает. Во всё большее количество профессий интегрируется компьютерная техника и программы. Это позволяет не только снизить трудоёмкость работы, но и повысить качество. На сегодняшний день, использование компьютерных симуляций при настройке спортивного автомобиля – распространённое явление. Такие программы позволяют в короткое время опробовать несколько модификаций автомобиля, различные стратегии гонки, подготовить пилота к новой трассе и примерно оценить скоростной потенциал автомобиля.

Речь идёт об виртуальной среде испытаний (симулятор). Виртуальная среда испытаний – некая программа, позволяющая моделировать реальные дорожные условия, правдоподобное взаимодействие автомобиля с дорогой и окружающей средой, основанная на физических законах и показывающая результаты, близкие к реальным. В большинстве сред испытаний имеется большой спектр настройки виртуальной сессии: осадки, облачность, время суток, время года, температура окружающей среды и дорожного полотна, сила и направление ветра. Всё это позволяет произвести большое количество сравнений различных модификаций или настроек автомобиля в ограниченное время, и оценить как различные условия влияют на поведение автомобиля.

## 2.2 Сравнение существующих сред испытаний

На сегодняшний день существует несколько виртуальных сред испытаний в открытом доступе, наиболее технологичные из них: Project Cars 2, Assetto Corsa Competizione, Rfactor 2, iRacing.

Каждая из перечисленных виртуальных сред испытаний имеет свои преимущества и недостатки, поговорим более подробно об каждой из них.

### 2.2.1 Project Cars 2 (2017 г.)

Одна из наиболее свежих виртуальных сред испытаний - Project Cars 2. Особенностью этого симулятора является производительное и реалистичное с точки зрения графики программное обеспечение (рис. 2.2.1.1)



Рисунок 2.2.1.1 – графические возможности программного обеспечения  
MADNESS

Известность MADNESS получил не только благодаря потрясающей картинке, но и наиболее продвинутой физической симуляции. Моделирование шин, физика и управление машин позволяют многим профессиональным пилотам использовать симулятор для тренировок перед реальными

выступлениями. Несколько пилотов помогают команде разработчиков оттачивать системы симуляции с использованием своего реального опыта.[13]

Система физики включает следующие особенности:

- Симуляция с частотой 600 Гц для высокоточного просчета динамики автомобиля
- Передовое моделирование шин (каркас, протектор и распределение тепла с естественными эффектами, такими как проплешины, аквапланирование и непосредственная обратная связь)
- Продвинутое моделирование окружения (смена времени суток, динамические и локальные характеристики и т.д.)
- LiveTrack 3.0 (динамичная трасса с изменением уровня сцепления и температуры, полноценная симуляция дождя с динамичными лужами, перемещение воды и насыщение поверхности, ошметки резины и мусор на трассе)
- Многослойные динамичные сыпучие поверхности, включая грязь, гравий, песок и снег
- Динамично деформируемые поверхности (изменение формы поверхности и ее свойств по ходу игры)
- Система динамичных объектов (поддержка фрагментации, LOD и повреждений)

С самого первого дня программного обеспечения MADNESS создавался с прицелом на многоядерные и многопроцессорные архитектуры. Низкоуровневая поддержка позволяет добиться производительности и стабильности. Подсистемы спроектированы для асинхронного выполнения на разных ядрах, а мосты между ними позволяют всей системе работать синхронно. Наиболее сложные с точки зрения

вычислений сегменты разбиваются на небольшие пакеты для параллельного просчета с использованием нескольких ядер.[13]

Постоянно развивающийся программное обеспечение MADNESS включает наиболее передовые достижения игровой индустрии. Графическая подсистема предлагает продвинутую систему освещения и техники, среди которых HDR, карты смещения, повертексное, попиксельное, объемное и анизотропное освещение, а так же Radiosity.

Отдельное внимание стоит уделить технологии LiveTrack 3.0. Барометрическое давление, температура окружения и дорожного полотна, высота над уровнем моря, погода, ветер, время суток - все это непосредственно влияет на производительность двигателя, аэродинамику, охлаждение радиатора и тормозных дисков, а так же поведение шин.

Дополнение в виде просчета динамики жидкостей означает, что капли дождя будут впитываться поверхностями, на которые они падают. Если поверхность не может абсорбировать количество поступающей воды, то она начинает стекать в области, которые находятся ниже и в конечном итоге образовывать там лужи.

Вкупе с динамически подсыхаемой траекторией, возможностью выносить на трассу грязь и гравий из-за ее пределов, технология LiveTrack 3.0 позволит пилотам приблизиться к автоспортивной атмосфере как никогда близко.[13]

Project Cars 2 имеет солидный список гоночных трасс и конфигураций (около 600) и большое количество как гражданских, так и гоночных автомобилей (180) различных классов.

Из основных и главных недостатков данной виртуальной среды симуляции является её закрытость для сторонних программ и пользователя.

### **2.2.2 Assetto Corsa Competizione (2019 г. – н.в.)**

Самая современная и находящаяся в процессе доработки виртуальная среда.

Благодаря технологии Laserscan каждая официальная трасса воспроизведена с высочайшей точностью: все треки в деталях соответствуют реальным, что позволяет обеспечить игровой опыт, максимально приближенный к действительности.

Глубоко проработанная математическая модель позволяет предельно точно передать сцепление шин, аэродинамику, параметры двигателя, подвески и электронных систем, определяющих баланс автомобиля, а также влияние механических повреждений на то, как автомобиль ведёт себя на трассе.

В рассматриваемой среде испытаний отдельное внимание уделено работе шин и подвески.

Преимуществом данной среды является её официальное сотрудничество с компанией по производству систем сбора данных MoTeC.

### **2.2.3 rFactor 2 (2013 г.)**

rFactor 2 позволяет проводить расширенное физическое моделирование, такое как изгиб шасси, что устраняет типичную бесконечную жесткость виртуального транспортного средства и включает уникальные характеристики шасси в управляемость и характеристики автомобиля, а также высокоточную геометрию подвески и колесные ставки.

Шина динамически укладывается на поверхность трассы в режиме реального времени во время гонки игроком и ИИ. Кусочки шины, оставшиеся на трассе, могут переноситься на следующие сессии, и это требует от игрока постоянной необходимости адаптироваться к новым условиям трассы во время гоночного уик-энда, что в уик-энде сухой гонки означает все более доступное сцепление на протяжении всего уик-энда. Игрок может выбрать одну из различных предварительных настроек резины.[14]

Система Real Road в rFactor 2 уникальна тем, что не написана по сценарию, а полностью rFactor 2 также имеет реалистичный износ и повреждение шин. Использование неправильной техники вождения также наказывает игрока перегревом и неравномерным износом шин. Проколы шин также присутствуют, хотя визуально не представлены в игре.

Данная виртуальная среда испытаний открыта, но не смотря на свою технологичность считается устаревшей.

#### **2.2.4 iRacing (2008 – н.в)**

Считается наиболее реалистичной средой испытаний на сегодняшний день.

Запатентованные технологии построения треков, такие как трехмерное лазерное сканирование, динамические условия трека и активные погодные эффекты, лежат в основе каждой трассы, создавая гоночный опыт, который не похож ни на один другой.

iRacing.com тесно сотрудничает с крупными автопроизводителями и конструкторами гоночных автомобилей для сбора точных масс и размеров реальных компонентов автомобиля, будь то непосредственно из данных САПР, с помощью трехмерного лазерного сканирования или даже путем физической разборки конкретного автомобиля для взвешивания и измерения отдельных компонентов.

Опираясь на собственный физический движок iRacing и системы моделирования шин, эти отдельные компоненты объединяются и трансформируются, создавая нечто, что больше не является простым виртуальным представлением автомобиля. Вместо этого iRacing чувствует себя настолько реальным, насколько это возможно без сжигания реального гоночного топлива. Недостатком данной среды испытаний является её дороговизна и закрытость.

## 2.3 Обоснование выбора виртуальной среды

Таблица 2.1 Сравнительная таблица рассмотренных сред испытаний

Параметр	Характеристика			
	Project Cars 2	Assetto Corsa Competizione	rFactor 2	iRacing
Операционная система	Windows 10 (64 бита)	Windows 10 64-bit	Windows 7, 8, 8.1 or 10,	Windows 8.1 64-Bit, Windows 10 64-Bit
Процессор	Intel Core i7 6700K (3.7 ГГц) или аналогичный AMD	Intel Core i5-8600K or AMD Ryzen 5 2600X	3.0 GHz Intel i5 or 4.0 GHz AMD FX	8 core or more CPU (some examples but not limited to: Intel Core 9-10980XE @ 3.0GHz, Intel Core i9-9900KS @ 4.00GH



				z, AMD Ryzen 9 3900X, or AMD Ryzen 9 3950X)
Оперативная память	16 Гб ОЗУ	16 GB ОЗУ	8 GB ОЗУ	32 GB ОЗУ
Видеокарта	NVIDIA GeForce GTX 1080 или AMD Radeon RX 480	GeForce GTX 1070 8 GB, Radeon RX 580 8GB	nVidia GTX 760 or AMD 7870	Gaming graphics card with at least 8GB of DEDICATED memory
DirectX	Версия 11	Версии 11	Версия 11	Версии 11
Свободное место, Гб	50	50 GB	60 GB	32 GB
Стоимость, руб	3000	2300	36000	450 руб./мес.
Открытость системы	Нет	Нет	Да	Нет

Возможность сбора данных	Да	Да (официальное сотрудничество)	Да	Да
Год производства	2018	2019	2013	2008 – н.в.

Исходя из анализа таблицы 2.1 можно видеть, что с точки зрения технических требований к компьютеру, rFactor наиболее лоялен. Но с точки зрения новизны, стоимости, а главное качества реализации виртуальной среды на первый план выходит Assetto Corsa Competizione. Технические требования данной виртуальной среды так же не столь высоки, поэтому это является наиболее оптимальным вариантом.

## **2.3 Модель трассы в среде симуляции**

### **2.3.1 Визуальная модель**

На этом этапе приходит добавление динамичных и разрушаемых объектов - конусов, рекламных щитов, табличек. Много времени уходит на размещение деревьев и кустарников. При этом нужно сохранять баланс между реалистичностью картинки и производительностью. На этой же стадии трасса наполняется людьми, которые так же создаются вручную.

Дальше рядом с трассой расставляются машины, автобусы, служебный транспорт. Плюс анимированные предметы - экраны с трансляцией, вертолеты, флаги и прочее. Ну и конечно же освещение для ночных гонок. Не забудем и про различное гоночное оборудование (инструменты для механиков, моторхоумы, командные трейлеры).

Далее настраиваются специфичные параметры погоды. Трасса в неное время суток, в дождь и бурю будет выглядеть по-разному, причём, по-разному

и в различных уголках мира при одних и тех же условиях. На этом этапе идёт детальная работа с освещением.[15]

Существует огромное количество условий освещения и визуальных стилей, зависящих от места расположения трассы в мире и от климата, ведь реализована полная симуляция. На этом этапе нужно удостовериться, что различные элементы и текстуры должным образом сбалансированы. Настройка детализации так же производится на этом этапе.

На этом этапе происходит оптимизация геометрии, исправление ошибок и подключение отдел качества, чтобы убедиться, что все работает верно.



Наконец, готовый вариант необходимо показать владельцам трассы для одобрения и окончательного подписания всех бумаг.

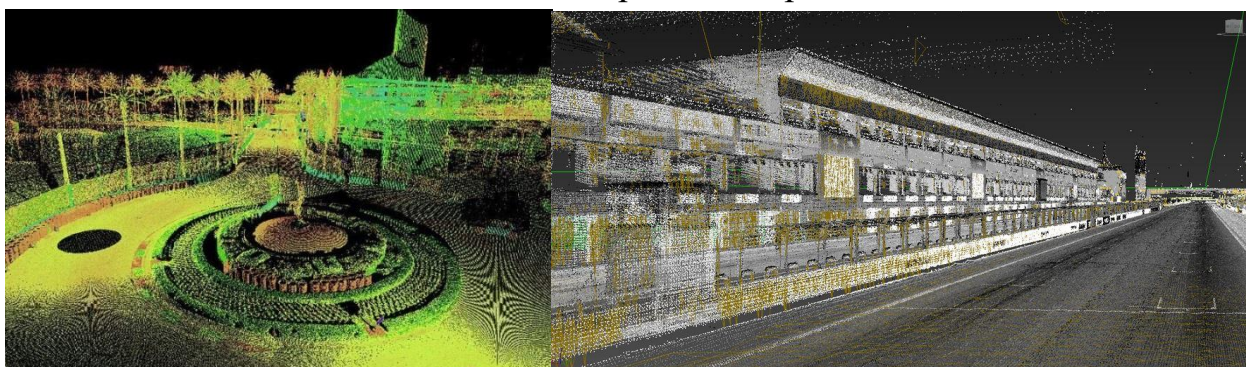
### 2.3.2 Физическая модель

В прежние годы трассы моделировались на основе данных, полученных при измерении. Для детального изучения трассы необходимо было проехать на трассу с измерительными приборами и просто измерить все что можно было. Например, измеряли ширину дорожного полотна, перепады высот, высоты зданий и т.д., Кроме этого, делалось фотографирование местности и

складывалось все по кусочкам воедино. Если была такая возможность, то получали топографическую карту местности. Таким образом кропотливо собирая всевозможную информацию, удавалось создавать трек, но часто случались ошибки.

Рисунок 2.3.2.1 Лазерное сканирование трассы при помощи трёхмерного лазера Leica Geosystems

Тем не менее этого было достаточно, чтобы трасса выглядела довольно правдоподобно, по крайней мере настолько, насколько позволяли вычислительные мощности компьютеров того времени. Но необходимость в



создании более точного метода измерения напрашивался сам собой. К варианту с лазерным сканированием пришли не сразу. Сначала были протестированы несколько альтернативных возможностей получения данных для моделирования трасс, в том числе монтаж камер на автомобилях, фотографирование, съемка местности с самолета. Однако ни один из этих способов нас не удовлетворил в полной мере, и, в конце концов, перешли на использование технологии лазерного сканирования (рис. 2.3.2.1). [16]

Рисунок 2.3.2.2 – Результаты сканирования

У некоторых гоночных студий сбором данных о трассах занимается отдельная команда специалистов, оснащенная дорогим оборудованием для лазерного сканирования рельефа.

Лазерные сканеры, закрепленные на штативах или крыше автомобиля, способны проецировать на трассу миллионы точек и в реальном времени замерять расстояние до каждой из них, формируя таким образом точнейший

«слепок» трассы. Впоследствии разработчики превращают массив точек в трехмерную модель: для того, чтобы вставить эту модель в игру, изначальную детализацию приходится снижать в разы: ведь лазерное сканирование способно воспроизвести рельеф с точностью до миллиметра, (рис. 2.3.1.2). Даже самый мощный компьютер не сможет просчитывать такую детализацию в симуляторе.

Но лазерное сканирование имеет и свои недостатки. Покрытие трасс каждый год ремонтируют, появляются новые заплатки, бордюры и трещины. Тщательно отсканированная игровая версия трассы стремительно устаревает и уже не соответствует реальности. А для внесения изменений ее приходится целиком сканировать заново. Это очень трудоемкий процесс, да и заметить разницу между обычной и сделанной при помощи лазерного сканирования трассой способны далеко не все.[16]

Руководство автодромов охотно предоставляет разработчикам географические данные и доступ на трассу. Правда, это стоит отдельных денег, а расписание у трасс довольно плотное: вы должны приехать в строго определенное время, обязательно иметь с собой страховку и оборудование. Владельцы трасс, как правило, рады сотрудничеству: договариваться с ними намного проще, чем с производителями автомобилей. Проблемы начинаются, если у трассы нет конкретного владельца, и она принадлежит, скажем, муниципальным властям. Тогда бывает не очень понятно, с кем вести переговоры, и получение лицензии затягивается.



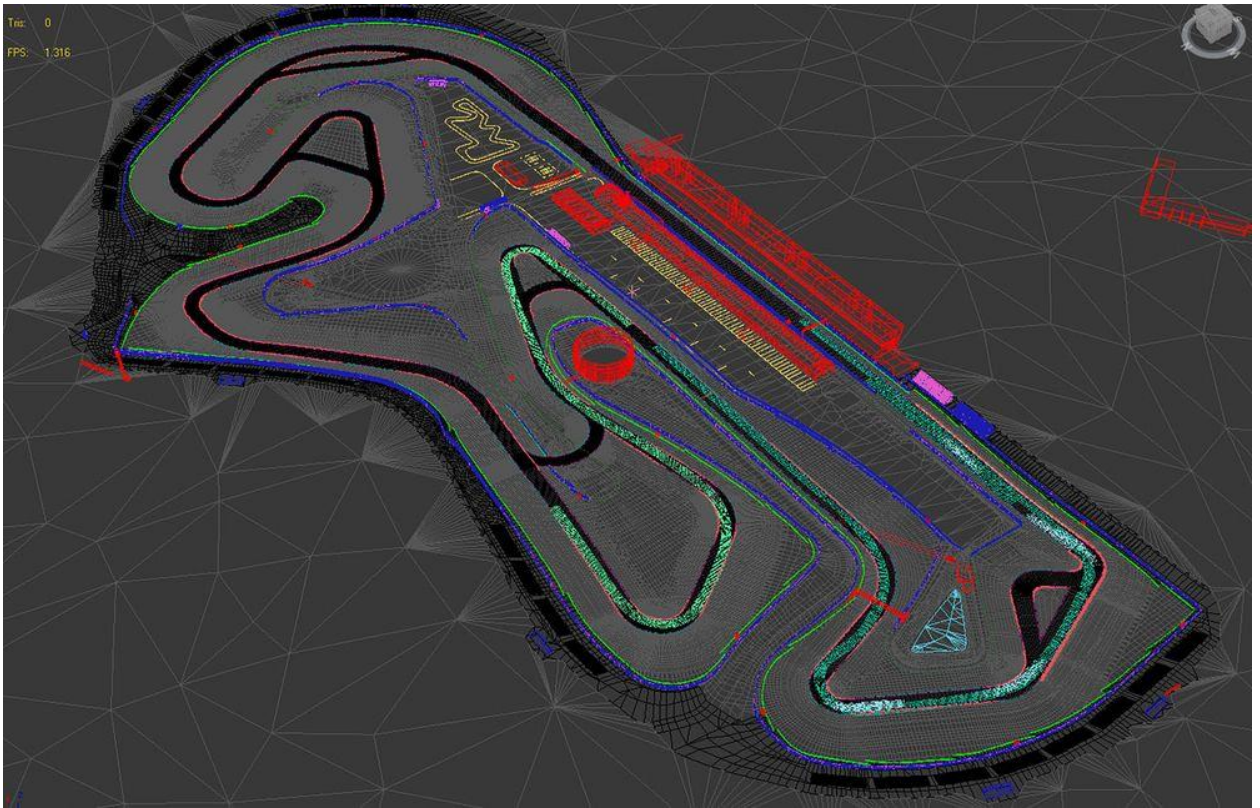


Рисунок 2.3.2.3 – Облако точек и лофт трассы

Далее следует обработка данных. Необходимо сгенерировать облако точек после лазерного сканирования, либо данные фотограмметрии. Все это конвертируется в высокоточную сетку. На этой же стадии необходимо обработать данные о прилегающих территориях. Первая фаза представляет собой гигантский объем работы.

Первым делом на этом этапе создается лофт - непосредственно поверхность гоночной трассы, которая используется для вождения. Художники используют облако точек или данные фотограмметрии в качестве шаблона и вручную создают внутриигровую модель.[14]

Обычно создаётся базовый лофт и сразу экспортируется в симулятор (рис. 2.3.2.3). В это же время другие художники работают над достопримечательностями и ключевыми сооружениями, а также над внутренним ландшафтом - пит-лейном, сервисными дорожками, зоной паддока, гравийными ловушками. В общем, всеми теми местами, где машина физически может оказаться во время игры.

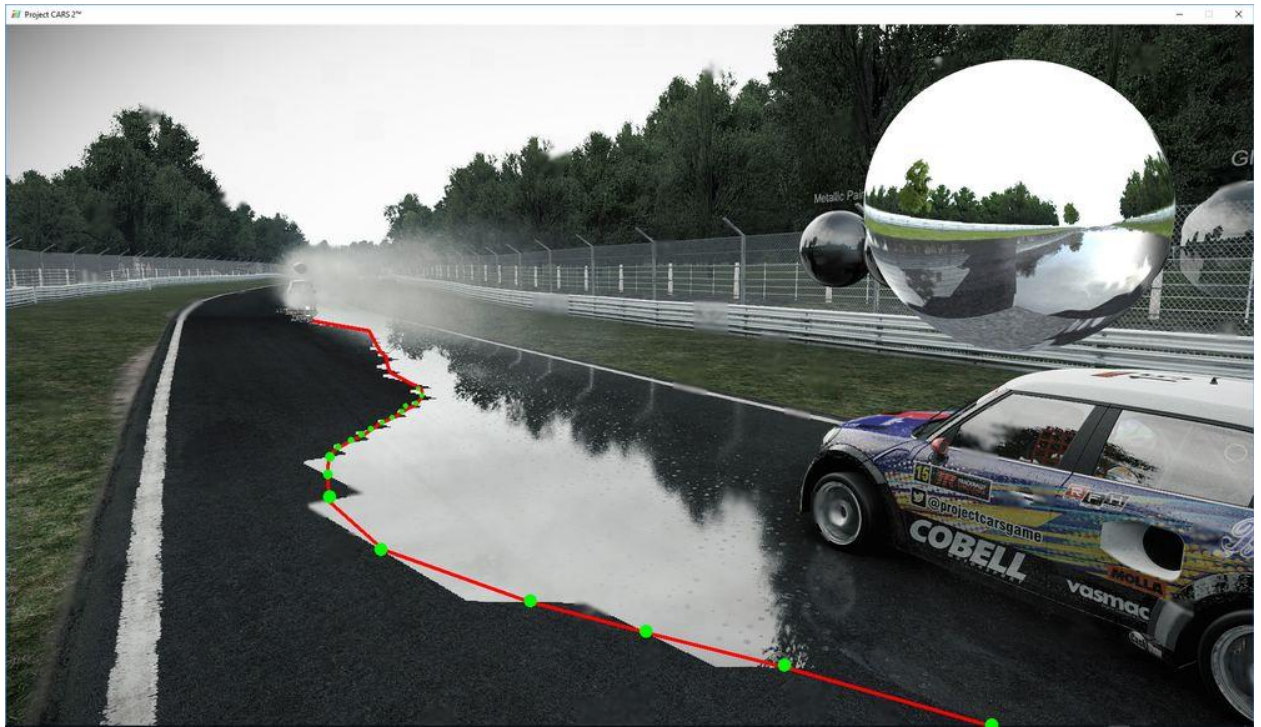


Рисунок 2.3.2.4 – пример проработки геометрии физического окружения

Далее необходимо создать все поребрики, зоны вылета, а также настроить физическое окружение (Рис. 2.3.2.4). Каждой поверхности назначаются определенные параметры - если это гравийная ловушка, значит алгоритм должна понимать, что это гравийная ловушка. Назначенные параметры передаются в физический и звуковой программный компонент. У каждого материала так же имеются различные параметры для того, чтобы машина реагировала на процессы, происходящие в физическом движении. Границы трассы, ограждения, и барьеры так же добавляются на этом этапе. Плюс к этому добавляются второстепенные сооружения и отдаленный ландшафт. Таким образом трасса начинает принимать узнаваемый вид.

На этом этапе создаются боковые дорожки и наложения текстур для плавного перехода, прорисовывается разметка и тому подобные вещи. Все текстуры, включая все разновидности травы, создаются именно сейчас. Здесь же идет настройка системы динамической погоды.[14]

Все это должно быть технически настроено с учетом сезонных изменений. Нам так же необходимо поработать над травой - добавить сорняки,



небольшие кустарники и прочие мелочи. Все создается вручную, поэтому занимает так много времени.

Примерный срок создания просто трассы – 3-4 месяца для команды из 4-х человек. Сложная, городская трасса займёт 6 месяцев.

## **2.4 Модель автомобиля в среде симуляции**

### **2.4.1. Визуальная модель**

Создание визуальной модели – немаловажная часть виртуального автомобиля. Качественная и проработанная визуальная модель не только приближает симуляцию ближе к реальности в визуальном плане, но и несёт физический характер. Детали кузова взаимодействуют с воздушным потоком, шины контактируют с дорожным полотном. Влияет правдоподобность результатов.

Моделирование начинается с определения характеристик и размеров кузова автомобиля. Иногда, за основу берутся модели из проектировочных программ, предоставляемых создателями автомобилей, иногда удаётся получить некоторые чертежи, но чаще всего на руках имеется просто физический автомобиль, все характеристики которого необходимо измерить.



Рисунок 2.4.1 Полигональная сетка на носовом обтекателе, Эстония-25, класс 1600

Одни из самых распространённых способов получения качественной модели обтекателей автомобиля это применение полигональной сетки (Рис 2.4.1). Метод заключается в том, что на корпус автомобиля наносится сетка определённой кратности и чем эта кратность меньше, тем точность будет выше. Далее делаются фотографии во всех плоскостях и зная расстояние между пересечениями можно рассчитать длину и радиус скругления той или иной детали.

Также существует метод сканирования кузова. Их бывает несколько видов. От полного сквозного сканирования, до сканирования лишь поверхности автомобиля. Этот метод в десятки раз дороже метода полигональной сетки, но является самым точным способом перенесения поверхности автомобиля в виртуальную среду.

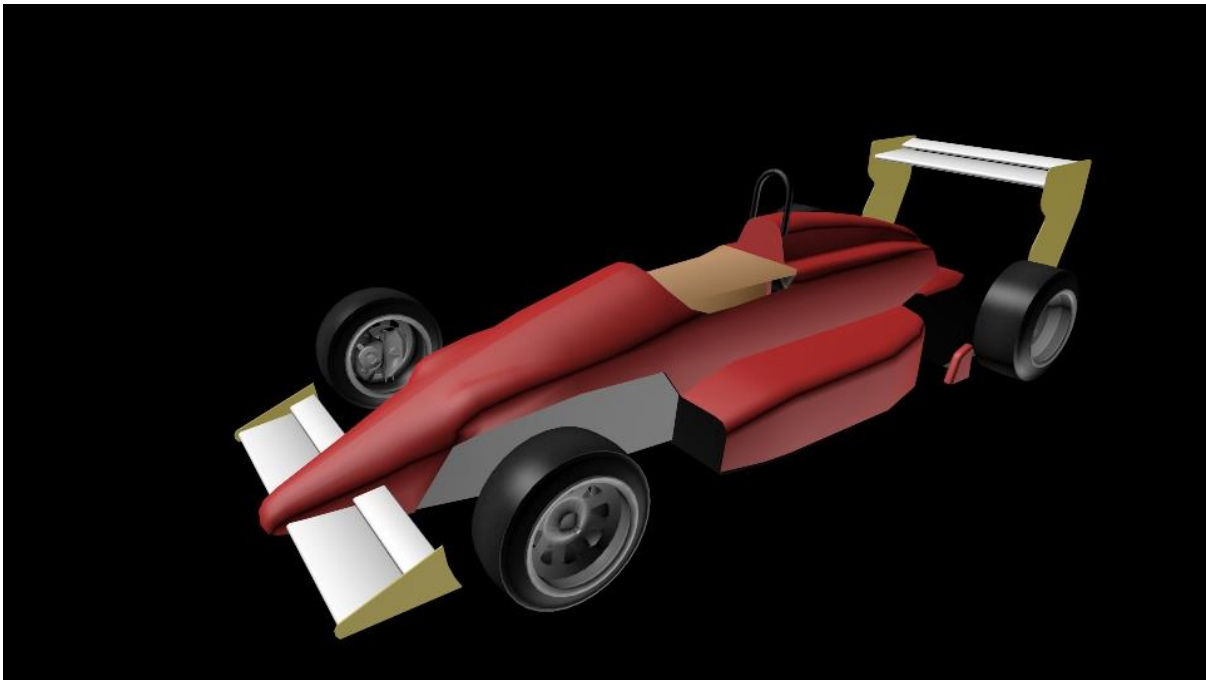


Рисунок 2.4.2 Первая итерация виртуальной модели, Эстония-25, программа 3Ds max

Следующим этапом будет создание приблизительной модели автомобиля на основе полученных данных (Рис 2.4.2). Программ для 3Д моделирование огромное множество, но нужно понимать, что создание 3Д модели нужно производить в формате, который можно будет потом сконвертировать в файл, доступный прочтению среде симуляции.

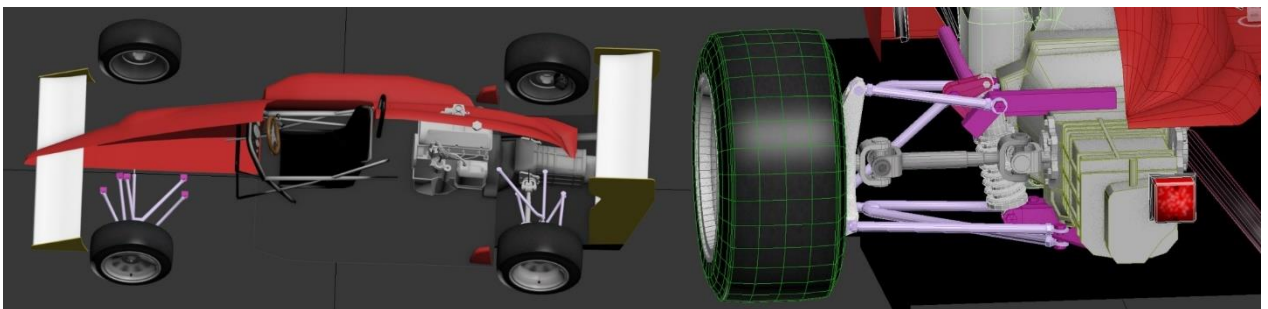


Рисунок 2.4.3 Продольное сечение визуальной модели, Коробка передач и задняя подвеска, Эстония-25

После этого идёт прорисовка деталей и внутренностей автомобиля (Рис 2.4.3). Это не менее важный аспект при подготовке модели. Рычаги подвески, расположение топливного бака, рулевое колесо и тд. Всё это имеет динамические характеристики при прохождении трассы, имеют свою массу и

габариты, которые позднее будут описаны физической моделью и обязательно повлияют на поведение автомобиля в итоге.



Рисунок 2.4.4 Итоговая модель автомобиля Эстония-25

Последним этапом будет рендеринг модели, конвертация её в среду симуляции и тесты.

## 2.4.2 Физическая модель

### 2.4.2.1 Двигатель и коробка передач

Графики с динамометрических стендов — это золотой стандарт для создания модели двигателя. Их используют, когда это возможно, для получения точной кривой крутящего момента, а затем слегка калибруют под известный уровень мощности (поскольку все динамометры имеют некоторый встроенный калибровочный коэффициент и ставят своей задачей построить именно кривую крутящего момента, получая ее в относительных величинах, а не в абсолютных).

Модель двигателя работает на объемной системе, т.е. в зависимости от количества воздуха, проходящего через нее, поэтому настройка системы впуска — это следующий шаг, обеспечивающий правильную реакцию на нажатие педали газа. Также пристальное внимание уделяется правильной работе систем, ограничивающим доступ воздуха в двигатель (рестрикторов).

Двигатели с турбонаддувом используют график давления наддува, построенный для всего диапазона оборотов двигателя, что особенно важно для современных гоночных автомобилей, поскольку баланс производительности в

значительной степени достигается за счет контроля того, какое давление турбокомпрессора можно использовать при различных оборотах.

Модель трансмиссии представляет собой модульную систему, в которой каждый элемент автомобиля, от коленчатого вала двигателя до колес, собран из ряда строительных блоков: сцепления, дифференциалов, подшипников, коробок передач, тормозов, муфт, валов и т.д.

Каждый компонент каждого автомобиля имеет инерцию, жесткость и демпфирующие свойства. Учитываются и различные типы дифференциала (повышенного трения, вязкостный, заблокированный). В простом виде это можно смоделировать так:

Двигатель -> Сцепление -> Коробка передач -> Приводной вал -> Дифференциал -> Мосты -> Тормоза -> Колеса

Сложный полноприводный автомобиль может передавать момент от коробки передач через межосевой дифференциал. При этом один вал межосевого дифференциала соединен с другим дифференциалом на передней оси, а другой вал проходит через разьединитель, активируемый ручным тормозом, до третьего дифференциала на задней оси. Наша система позволяет совершенно произвольно проектировать модели трансмиссии, используя столько конструктивных блоков, сколько необходимо для подключения двигателя к колесам. Это позволяет нам создавать точные модели для всего - от среднестатистического переднеприводного хэтчбека до Lotus 56 с газотурбинным мотором и полным приводом, а также Ford Bronco «Brocky» с раздаточной коробкой, которая может переключаться между полным и задним приводом.

Гибридная система, по существу, добавляет электродвигатели параллельно к двигателю внутреннего сгорания. Задаются основные характеристики, такие как максимальный крутящий момент и выходная

мощность, емкость батареи, характеристики зарядки и т.д., а затем подключение ее к трансмиссии для помощи в управлении автомобилем.

Современная стартовая решетка LMP1Н представляет собой настоящий вызов в этом отношении, главным образом потому, что большая часть технологий «совершенно секретна». Тем не менее, регламент диктует достаточно подробностей (например, максимальную выходную мощность, общую энергию на круг в Ле-Мане), что позволяет нам перепроектировать системы на основе бортовой телеметрии и получить максимально точную игровую модель. Здесь нельзя не отметить наши рабочие отношения с автопроизводителями: они рады поделиться подробной информацией, но некоторые гоночные технологии всегда будут оставаться в секрете, иногда даже спустя годы после того, как автомобиль будет снят с соревнований.

#### 2.4.2.2 Аэродинамика



Рисунок 2.4.2.2.1 – Эпюра аэродинамического сопротивления Mercedes AMG GT-3

Справочные данные автомобиля включают полную аэродинамическую карту, показывающую, как он реагирует на изменение высоты дорожного



просвета и изменение настроек в отношении лобового сопротивления, прижимной силы и центра давления (рис. 2.4.2.1).



Рисунок 2.4.2.2 – Представление модулей аэродинамических элементов, Mercedes AMG GT-3

Задача состоит в том, чтобы сопоставить поведение в нашей системе, которая состоит до 8 отдельных аэроэлементов (рис. 2.4.2.2), каждый из которых имеет уникальную реакцию на изменение настроек, высоту дорожного просвета, наклон шасси, эффекты рыскания и не поступательное движение.

### 2.4.2.3 Тормоза и модель шин

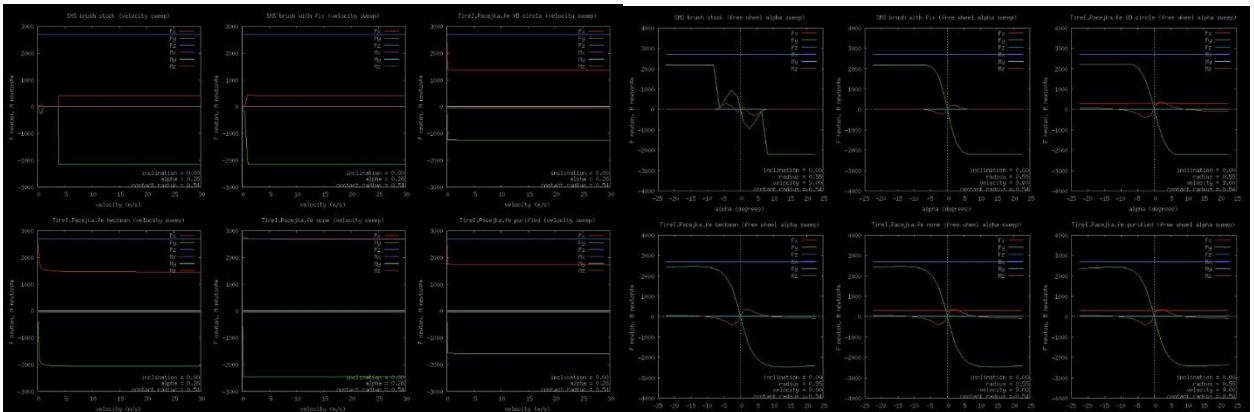


Рисунок 2.4.2.3 – запись различных параметров шины.



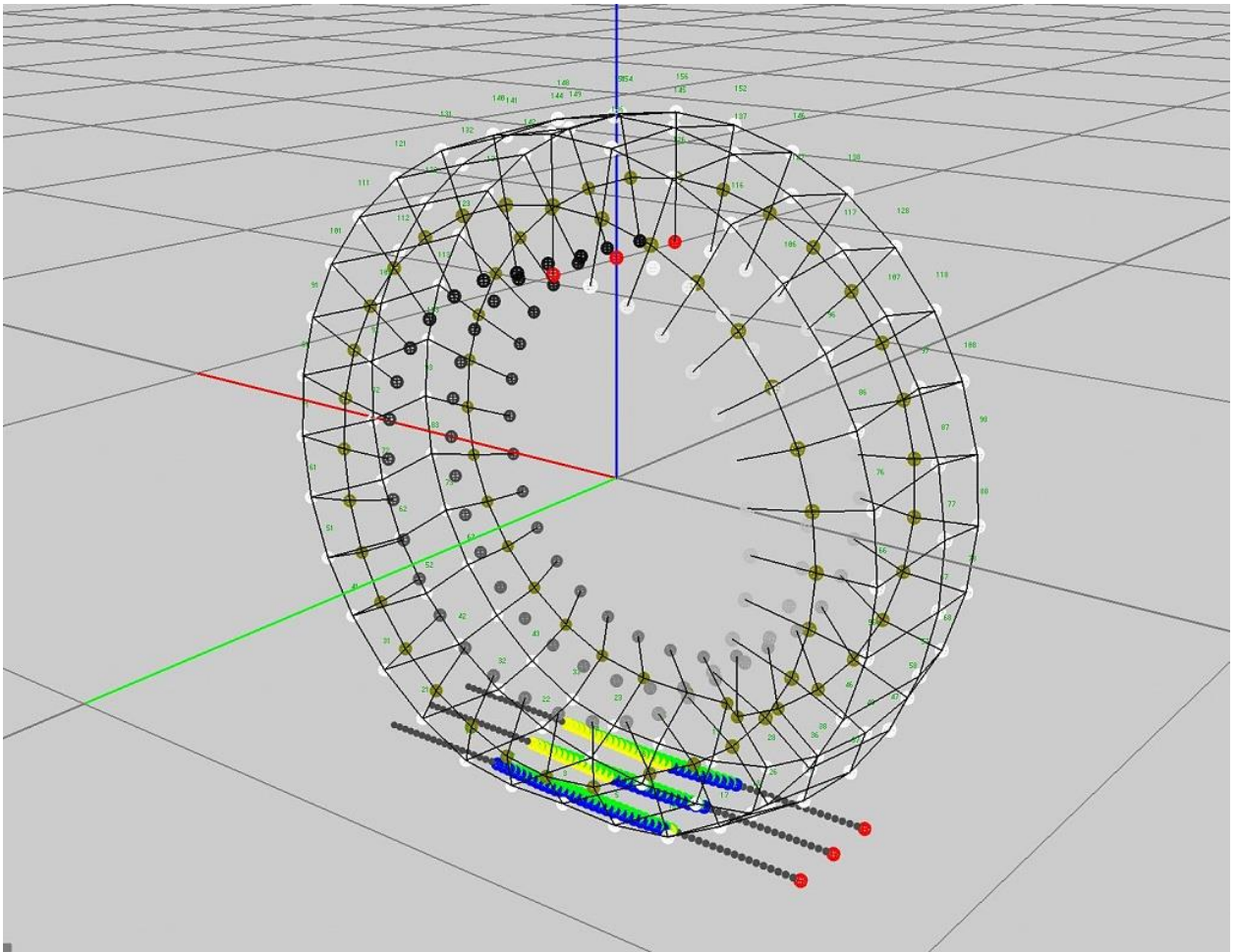


Рисунок 2.4.2.3.2 – симуляция каркаса шины

Обычно при разработке автомобиля начинается свой путь на «донорских» шинах от схожего автомобиля. Когда другие элементы встают на свои места, фокус смещается на конструкцию шины, чтобы каркас соответствующим образом реагировал на вертикальные и поворотные нагрузки. Контролируется отклонение в модели и изменяется конструкция боковин и протектора, чтобы величина этих отклонений была в правильном диапазоне, а шины вели себя в соответствии со своей конструкцией, будь то радиальный корд, диагональный или гибридный. После этого составу резины задаются адгезионные, термические и износостойкие свойства. Этот процесс повторяется несколько раз для уточнения деталей, пока все аспекты производительности не будут соответствовать реальным данным настолько близко, насколько это возможно (рис. 2.4.2.3.1).

Один из методов создания реалистичных шин – STM.

**Seta Tire Model (STM)** представляет собой полноценную динамическую симуляцию. На самом деле, сочетание трех: одна для каркаса шины, одна для протектора и пятна контакта и одна для симуляции передачи тепла. Все они модульные и могут заменяться в зависимости от потребностей. Например, езда по бездорожью требует использования отличной от дорожной симуляции протектора.

Симуляция каркаса, используемая в виртуальной среде, это моделирование конечных элементов с учетом специфичных вычислительных оптимизации для моделирования шин в режиме реального времени. Каркас разбивается на мелкие соединенные между собой "элементы", каждый из которых изгибается и деформируется под действием сил (Рис. 2.4.2.3.2).

Особенности:

- Эластичность меняется в зависимости от скорости, температуры и давления
- Сопротивление качению меняется в зависимости от скорости, температуры и давления
- Стенки изгибаются при низком давлении
- Используется диагональная, радиальная или гибридная конструкция корда
- Гироскопические эффекты
- Динамические реакции, такие как вибрация, телескопирование и скручивание
- Симуляция протектора, используемая в симуляторах, представляет собой моделирование разницы между пятном контакта и протектором, "проникающим" сквозь пятно контакта. Весь протектор разбивается на элементы, подобно каркасу, но само пятно контакта представляет собой результирующую сетку.

## Особенности:

- Flash Heating (молниеносный нагрев) - изменение температуры внешних слоев резины через пятно контакта
- Модель сцепления, состоящая из нескольких компонентов. На каждый компонент по отдельности влияет состояние дорожного полотна, влажность и температура
- Деформация - резина деформируется на неровностях, сопротивляется скольжению
- Адгезия - резина прилипает к прорезиненной части полотна и другим материалам
- Липкость - приклеивание, которое вы можете чувствовать, когда шагаете по прорезиненной трассе (связано с адгезией)
- Гранулирование - отрывание кусочков резины от шин
- Срез - сцепление, зависящее от геометрии протектора (края, пазы и ламели) с особым эффектом от грязи и гравия
- Глубина протектора и поведение на воде
- Дискретизированный и чувствительный к температуре износ
- Восстановление
- Эластичные свойства, чувствительные к температуре
- Симуляции каркаса и протектора объединены таким образом, что в результате нет никакой шероховатости или ступенчатости, но при этом сохраняются особенности обеих моделей. Размер пятна контакта, форма и распределение давления определяются симуляцией каркаса и затем используются при симуляции протектора. Силы, передающиеся пятну контакта от дорожного полотна, симулируются в модели протектора и затем передаются как внешние силы в симуляцию каркаса.
- Симуляция передачи тепла управляет потоками тепла между тормозами, колесной аркой, диском, каркасом и пятном контакта. Передача тепла между элементами протектора, от протектора к дорожному полотну и от

элементов протектора в воздух обрабатывается непосредственно при моделировании протектора (включая адвекцию и испарение). Давление в шине определяется при симуляции каркаса по законам идеального газа.

Полученные эффекты:

большинство эффектов просто "выпадают" из STM, без необходимости отдельного кода для получения этих эффектов

$F_y$ ,  $F_x$ , и  $M_z$  против кривых угла скольжения, в комплекте с реалистичными оттенками, такими как инверсия  $M_z$

Эффекты наклона, такие как осевое усилие от развала колес

Сложные и иногда тонкие изменения в поведении, связанные с загрузкой, нагревом, давлением и скоростью

Правильное поведение в состоянии покоя и на малых скоростях (однако из-за ограничений функции обратной связи многих рулей колебания все же могут присутствовать). Состояние покоя - ахиллесова пята многих моделей шин  
Проплешины, аквапланирование

Разница в поведении в зависимости от поверхности, будь то шероховатость, прорезиненность, влажность или загрязненность

#### 2.4.2.4 Шасси и топливный бак

Наиболее важными аспектами самого шасси являются масса, центр масс и моменты инерции на каждой оси. Первое относительно просто измерить на реальной машине, а вот измерение момента инерции является гораздо более сложной задачей.

Для точного измерения требуется большая поворотная платформа и установка автомобиля без жидкостей и с жесткой подвеской для устранения динамических эффектов - все это наряду со сложной калибровкой испытательной установки для получения точных значений.

Все это довольно нетривиальная задача и, хотя иногда удаётся получить такие данные, бывает это очень редко. Намного более распространенный подход, состоит в том, чтобы разбить автомобиль на семь или восемь компонентов, чтобы их размер и масса создавали разумное приближение к известным характеристикам и размерам реального автомобиля. Результат этого подхода может быть очень близок к измерениям момента инерции на реальном автомобиле.

Другим немаловажным элементом шасси является топливный бак, который играет значительную роль в управлении автомобилем. Современные конструкторы гоночных автомобилей уделяют первостепенное внимание расположению топливного бака, стараясь расположить его как можно ниже и как можно ближе к центру тяжести, так чтобы управляемость существенно не изменялась при сгорании топлива на дистанции.

Однако проектирование гоночных автомобилей, конечно же, не является точной наукой, поэтому всегда можно встретить такие невероятные экземпляры как Aston Martin DBR1, топливный бак которого установлен совершенно не так, как это принято делать сегодня - огромная цистерна на 182 литра подвешена далеко позади над задней осью. Таким образом, распределение веса в этом автомобиле изменяется от 40:60 до 50:50, в зависимости от загрузки топливом, поэтому динамика шасси значительно изменится в долгосрочной перспективе. Получение такой точности смоделированных автомобилях очень важно.

#### 2.4.2.5 Подвеска



Рисунок 2.4.2.5.1 – геометрия подвески Mercedes AMG GT-3

Хорошей отправной точкой для создания любого автомобиля является взгляд на геометрию подвески. В случае с современными автомобилями, часто анализируются подробные модели CAD от партнеров. Все необходимые данные из этих моделей могут быть перенесены непосредственно в нашу динамическую модель подвески. Подобная точность позволяет нам быть уверенными в том, что такие вещи, как поперечный (КРП) и продольный (Caster) угол наклона оси поворота, центры крена и т.д., а также их изменение с учетом хода подвески - все соответствует поведению настоящего автомобиля (рис. 2.4.2.5.1).

Геометрия рулевого управления здесь также играет непосредственную роль в расчете сил, которые передаются на игровой руль через обратную связь (FFB), давая игрокам почувствовать, как реагирует автомобиль. Так что это ключевая область внимания и основа того, что позволяет отличить в повороте заднеприводный прототип от переднеприводного

Эти данные как правило приходят от производителей. К примеру, омологационные формы для современных машин GT3 включают

предостаточно информации, включая характеристики пружин, графики зависимости силы амортизатора от скорости и размеры стабилизатора поперечной устойчивости. Эти данные вносятся напрямую в модель, либо легко аппроксимируется для соответствия реальной машине с учетом всего диапазона возможных настроек туринага.

## Глава 3. Гоночный автомобиль Mercedes AMG GT3

### 3.1 Описание испытуемого автомобиля Mercedes AMG GT3



Рисунок 3.1.1 - Фото Mercedes AMG GT3 во время гонки

Таблица 3.1.1 Эксплуатационные характеристики

Средний расход топлива в гоночном темпе, л/100 км	61,7
Объём топливного бака (л)	120
Экологический стандарт	EURO V
Время разгона до 100 км/ч (сек)	3,09
Время торможения 100 – 0 (сек)	1,82
Максимальная скорость (км/ч)	285

Рекомендуемое топливо	АИ-100
-----------------------	--------

### **3.2 Описание настраиваемых параметров автомобиля Mercedes AMG GT3 и их влияние на поведение автомобиля.**

Настройка гоночного автомобиля представляет собой обширный процесс со множеством параметров, каждый из которых имеет свои основные эффекты, а также тонкие нюансы, которые могут проявляться, скажем, намного позже, в конце длительного отрезка дистанции.

Настройка гоночной машины в жизни и в наиболее реалистичных симуляторах, по сути, представляет собой задачу по извлечению максимально возможной производительности автомобиля для конкретного пилота и конкретной трассы.

Пилоты имеют разнящиеся уровень мастерства, стиль пилотажа и предпочтения, поэтому настройка также подразумевает, чтобы машина соответствовала мастерству, недостаткам, потребностям и предпочтениям конкретного пилота так, чтобы пилот чувствовал себя комфортно и имел возможность атаковать, показав собственный максимум.

Это означает получение максимальной отдачи на круге или гоночной дистанции от резины, подвески и шасси, тормозов, дифференциала, двигателя и трансмиссии, а также аэродинамики.

Обычно это включает в себя уступки и компромиссы между тем, что лучше, скажем, для квалификационного круга или для 90-минутной гонки, или, возможно, что лучше для одного сектора трассы против другого, или же, что лучше для пилотажа на свежей резине или изношенной, или же в гонках на выносливость, что лучше для одного пилота, но чтобы и его напарник смог управляться с авто, или же чтобы авто или резина смогли продержаться в течение нескольких часов гонки. Будет хорошо, когда эти компромиссы будут



включать в себя слаженную работу всех этих параметров, а не только некоторых из них.

Настройка автомобиля — это совокупность настроек механических компонентов транспортного средства, которые оптимизируют его работу и его способность поддерживать скорость и траекторию, установленную водителем. Настройка автомобиля тесно связана с его подвеской, рулевым управлением, шинами, шасси и с аэродинамическими элементами, такими как антикрылья. Изменение любого регулируемого параметра узлов и элементов автомобиля, незамедлительно оказывает влияние на поведение других компонентов, что в конечном итоге затрудняет работу по достижению идеального баланса автомобиля. Любые изменения настроек автомобиля — это всегда компромисс. Все манипуляции должны производиться исходя из принципа достижения оптимального баланса, что позволит избежать непредсказуемого поведения машины и как следствие внезапной потери контроля над ней.

Во время движения автомобиля по трассе происходит перераспределение веса. Во время поворота большая часть веса машины под воздействием центробежной силы, перемещается на сторону, противоположную направлению поворота загружая либо правые, либо левые колёса. То есть при повороте направо загружается левая сторона машины и наоборот. При ускорении или торможении, вес автомобиля перемещается соответственно к задней, либо передней части загружая соответствующую ось машины.

### 3.4.1. Аэродинамика

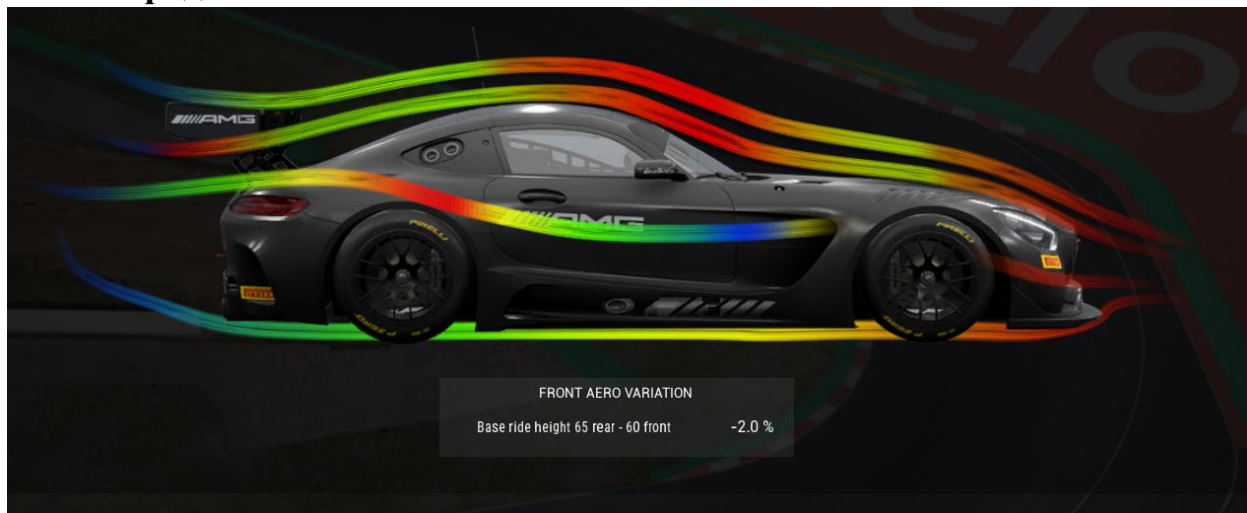


Рисунок 3.4.1.1. – Фронтальная эпюра аэродинамики Mercedes AMG GT-3

Для управления курсовым и боковым движениями автомобиля водитель, поворачивая управляемые колеса, создает управляющие силы. Параметры этих сил регулируются водителем таким образом, чтобы получить желаемые изменения курсового угла и траектории движения. Однако, кроме управляющих сил, на автомобиль действуют различного рода случайные силы, вызываемые различными причинами: взаимодействием колес с неровностями дороги, аэродинамическими силами, наклоном дороги и др. Движение под действием заданных сил называют невозмущенным.

Влияние возмущений на характер движения может быть различным в зависимости как от параметров невозмущенного движения, так и от особенностей движущейся системы, в данном случае конструктивных особенностей автомобиля.

При одних параметрах невозмущенного движения после временного отклонения вызванного возмущением, параметры возвращаются к исходным — асимптотически устойчивое движение

При других параметрах отклонение, вызванное возмущением, с течением времени увеличивается даже после прекращения действия возмущения; параметры движения не возвращаются к исходным - неустойчивое движение.

Движение может быть одновременно устойчивым по одним параметрам и неустойчивым по другим.

Неустойчивость по угловой скорости поворота может быть вызвана: боковыми деформациями шин с частичным проскальзыванием отдельных элементов их контактных площадок, полным скольжением передних и задних колес, или полным скольжением задних колес. Последний случай называют заносом.

**Устойчивость** — совокупность свойств, определяющих критические параметры по устойчивости движения и положения автомобиля.

Под аэродинамикой понимают взаимодействие окружающего воздуха с кузовом автомобиля. Такое взаимодействие вносит свои коррективы в управляемость и динамику разгона. Воздух и порывы ветра играют ключевую роль в управляемости автомобиля на высоких скоростях.

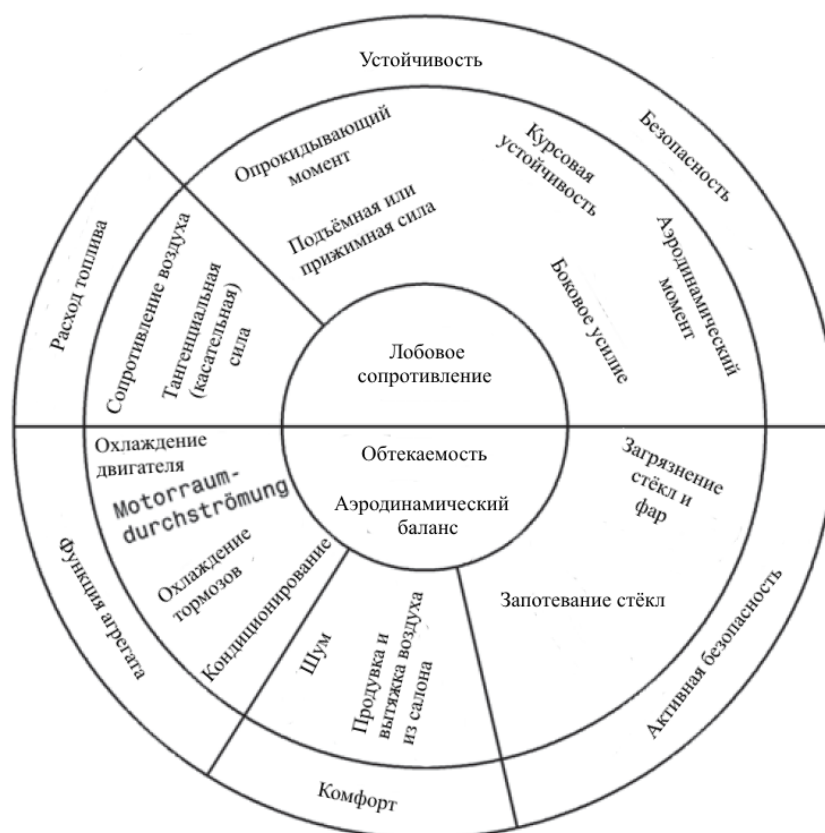


Рисунок 3.4.1.2. Аэродинамические воздействия на функции автомобиля.

Влияние воздуха на движущееся автомобиль многогранно и выражается не только в прижимной силе и сопротивлении. [17]

Как сильно прижимная сила влияет на ходовые качества автомобиля можно понять из рисунка 3.4.1.2.

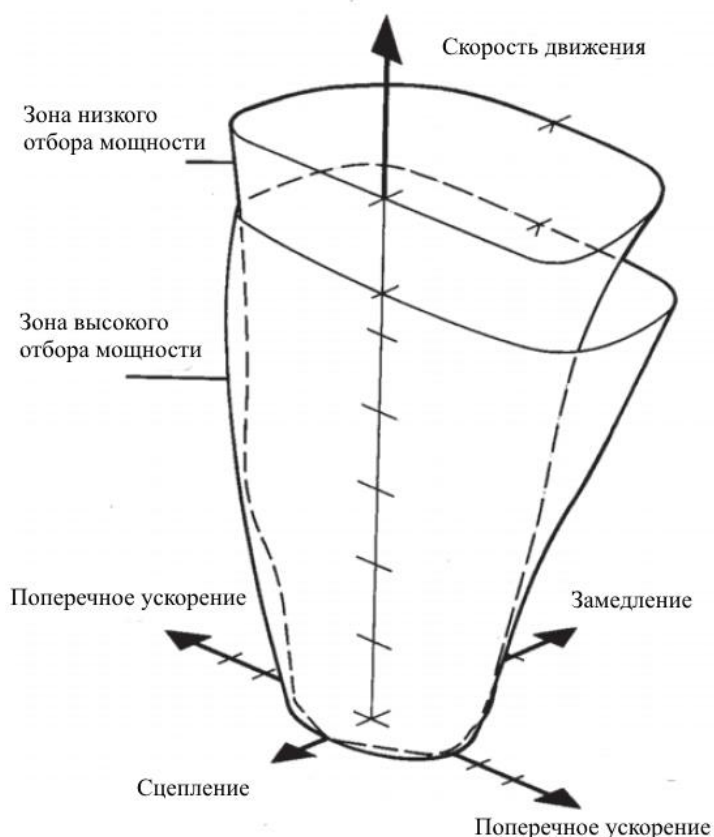


Рисунок 3.4.1.3. Отличие аэродинамических характеристик дорожного автомобиля от гоночных.

При низкой прижимной силе достигается более высокая скорость, но при это ухудшается управляемость. Зона высокого отбора мощности ( большее лобовое сопротивление ) реализует большие поперечные ускорения, жертвую максимальной скоростью (рис. 3.4.1.3).

Прежде всего, управляемое поперечное ускорение и Тормозные способности резко увеличиваются с увеличением скорости движения. Но приёмистость падает, а разгон до максимальной скорости прекращается по мере равенства тягового усилия и сил сопротивления движению. [17]

Аэродинамическое поведение автомобиля также изменяется при наклонном потоке воздуха, например при спусках, или подъёмах.

Эффект Бернулли играет ключевую роль в аэродинамике автомобиля. Эффект Бернулли выражается уравнением, известным как "Уравнение Бернулли", которое утверждает, что общая энергия данного объема вещества не изменяется; и это опирается на принцип консервативности энергии. Когда мы рассматриваем относительное движение, то энергия делится на три части:

1. Давление в воздухе.
2. Кинетическая энергия воздуха (энергия движения).
3. Потенциальная энергия воздуха

$$P + \frac{1}{2}rv^2 + r gh = a \quad (1.1)$$

Где:

$p$  = давление;

$r$  = плотность;

$v$  = скорость воздуха;

$g$  = ускорение силы тяжести;

$h$  = высота относительно опр. Уровня

$a = \text{const}$

Задача антикрыльев (или Спойлеров) заключается в создании прижимной силы, которая возникает в результате воздействия аэродинамических сил прижимающих автомобиль к земле. Прижимная сила примерно пропорциональна квадрату скорости, т.е. с увеличением скорости аэродинамические плоскости становятся, более эффективны. Чем больше прижимная сила, тем сильнее эта сила прижимает автомобиль к трассе и тем лучше сцепление шин с полотном трассы. В результате применения

аэродинамических плоскостей увеличивается скорость прохождения поворотов, что как правило, увеличивает среднюю скорость прохождения всей трассы.

Таким образом, для быстрых трасс используются меньшие значения углов аэродинамических плоскостей (крыльев), чем для более медленных и извилистых конфигураций с более короткими прямыми, где логично использовать большие значения спойлеров для того, чтобы увеличить стабильность автомобиля в повороте и сцепление его шин с дорожным полотном.

Заднее антикрыло настраивается исходя из принципа нахождения хорошего компромисса между сцеплением и максимальной скоростью.

Регулировками переднего антикрыла добиваются желаемого баланса в высокоскоростных поворотах.

Прижимная сила и сила сопротивления - это как раз те две силы, которым посвящена практически вся аэродинамическая конструкция гоночного автомобиля. Конструкции антикрыльев и самого болида должны быть совершенно оптимальны, то есть обеспечение прижимной силы должно быть реализовано так, чтобы это не вызывало силы сопротивления, мешающей скоростному движению, да и сам болид обязан быть наиболее приспособлен к преодолению этой самой силы. Для вычисления силы сопротивления используется следующая формула:

$$F = \frac{1}{2} S * C * D * A * v_2^2 \quad (2.2)$$

Где:

F = аэродинамическая сила сопротивления;

C = коэффициент силы сопротивления;

V = скорость данного объекта;

$A$  = лобовая площадь;

$D$  = плотность воздуха.

В этом уравнении  $D$  как плотность воздуха выражается в  $\text{kg/m}^3$ .

Таблица 3.4.1.1 Изменяемые параметры и получаемый эффект

<i>Изменение углов антикрыльев и получаемый эффект</i>									
<i>Аэродинамика</i>	<i>Настраиваемый параметр</i>	<i>Передняя ось</i>		<i>Задняя ось</i>		<i>Наибольший эффект</i>			
		<i>Сцепление</i>	<i>Стабильность</i>	<i>Сцепление</i>	<i>Стабильность</i>	<i>Торможение</i>	<i>Вход</i>	<i>Середина поворота</i>	<i>Выход</i>
<i>Передняя ось</i>	<i>Увеличение прижимной силы</i>					*	*	*	*
	<i>Уменьшение прижимной силы</i>					*	*	*	*
<i>Задняя ось</i>	<i>Увеличение прижимной силы</i>					*	*	*	*
	<i>Уменьшение прижимной силы</i>					*	*	*	*

<i>Маркер</i>	<i>Эффект</i>
	<i>Положительный эффект</i>
	<i>Отрицательный эффект</i>
*	<i>Наибольший эффект</i>
*	<i>Второстепенный эффект</i>

### 3.4.2. Углы установки колёс

Угол продольного наклона оси поворота (Кастер) – это угол между вертикалью и проекцией оси поворота колеса на поперечную плоскость автомобиля. Благодаря этому углу при повороте колеса появляется стабилизирующий момент, стремящийся вернуть колесо в плоскость его качения, особенно заметный при средних и повышенных скоростях движения. Тем самым управление автомобилем значительно облегчается. Увеличивая кастер мы увеличиваем разницу в развале колёс при повороте, кроме того

происходит увеличение колёсной базы автомобиля (расстояние между передними и задними колесами). Это делает автомобиль более стабильным, но менее чувствительным. И наоборот снижение кастера сокращается колёсная база, что сопровождается улучшением манёвренности и снижением стабильности.

Развал — это угол между вертикалью и плоскостью вращения колеса. Если развал в статическом положении равен нулю, то при прохождении поворотов он изменится к положительным углам развала и деформируя покрышку в направлении наружной стороны поворота, уменьшит сцепление шин с полотном трассы. Увеличивая отрицательный развал можно улучшить сцепление шин в поворотах, но это уменьшит пятно контакта шин с дорогой на прямой, что ухудшит сцепление покрышек с полотном трассы при разгоне и тормозной путь автомобиля. В таких условиях мы должны принимать во внимание жесткость подвески и давление шин. Очевидно, что автомобилю с мягкой подвеской потребуются большие отрицательные углы развала, в отличии от чем машин с жесткой подвеской. В гоночных автомобилях всегда используется отрицательный развал. Исключением являются настройки для овальных треков. Предпочтительнее подходить к настройке этого параметра исходя из уравнивания внешней и внутренней температуры шин, что приведёт к максимальному сцеплению и равномерному износу покрышек.



Таблица 3.4.2.1 Изменяемые параметры и получаемый эффект

<i>Изменение параметра и получаемый эффект</i>									
<i>Угол развала</i>	<i>Настраиваемый параметр</i>	<i>Передняя ось</i>		<i>Задняя ось</i>		<i>Наибольший эффект</i>			
		<i>Сцепление</i>	<i>Стабильность</i>	<i>Сцепление</i>	<i>Стабильность</i>	<i>Торможение</i>	<i>Вход</i>	<i>Середина поворота</i>	<i>Выход</i>
<i>Передняя ось</i>	<i>Увеличение угла</i>							*	
	<i>Уменьшение угла</i>							*	
<i>Задняя ось</i>	<i>Увеличение угла</i>							*	
	<i>Уменьшение угла</i>							*	

<i>Маркер</i>	<i>Эффект</i>
	<i>Положительный эффект</i>
	<i>Отрицательный эффект</i>
*	<i>Наибольший эффект</i>
*	<i>Второстепенный эффект</i>

Схождение - это угол между продольной осью колеса автомобиля и его центральной осью. Схождение корректируется, для облегчения входа в поворот и перераспределение нагрузки, но оказывает влияние на скорость в поворотах и на прямых участках трассы. При перераспределении веса на ось, отрицательное схождение стремится ускорить реакцию и снижает устойчивость автомобиля. В случае, когда на эту ось действует значительная вертикальная нагрузка, отрицательное схождение имеет тенденцию создавать дополнительное трение, несколько снижать скорость и приводить к повышенному нагреву краёв шин. В середине поворота, снижение веса на противоположной оси в купе с отрицательным сходом является одной из причин недостаточной поворачиваемости. Противоположное поведение достигается путём установки положительного схождения колёс внутрь. При нейтральном сходе, когда колёса расположены параллельно друг другу,

у нас будет минимальное трение производимое шинами в отличии от случаев использования положительного или отрицательного схождения потому, что направление качения шин совпадает с направлением движения автомобиля.

Таблица 3.4.2.2 Изменяемые параметры и получаемый эффект

<i>Изменение параметра и получаемый эффект</i>									
<i>Угол схождения</i>	<i>Настраиваемый параметр</i>	<i>Передняя ось</i>		<i>Задняя ось</i>		<i>Наибольший эффект</i>			
		<i>Сцепление</i>	<i>Стабильность</i>	<i>Сцепление</i>	<i>Стабильность</i>	<i>Торможение</i>	<i>Вход</i>	<i>Середина поворота</i>	<i>Выход</i>
<i>Передняя ось</i>	<i>Увеличение угла</i>					*	*		
	<i>Уменьшение угла</i>					*	*		
<i>Задняя ось</i>	<i>Увеличение угла</i>						*	*	
	<i>Уменьшение угла</i>						*	*	

<i>Маркер</i>	<i>Эффект</i>
	<i>Положительный эффект</i>
	<i>Отрицательный эффект</i>
*	<i>Наибольший эффект</i>
*	<i>Второстепенный эффект</i>

### 3.4.3. Тормозная система и рулевое управление

Изменение распределения тормозного усилия по осями получаемый эффект: Смещение в сторону передней оси = недостаточная поворачиваемость при торможении, возможность блокировки передних колёс.

Смещение в сторону задней оси = избыточная поворачиваемость при торможении, возможность блокировки задних колёс.

Передаточное отношение рулевого механизма – это отношение между углом поворота рулевого колеса и передних колес машины. Низкое отношение даёт больше точности при повороте в то время, как высокие отношения сделают поворот колёс прогрессивным, а сам автомобиль более управляемым.

### 3.4.4. Электронные помощники.



Рисунок 3.4.4.1 – окно настройки электроники в ACC

TC предназначен для контроля тяги. Контроль тяги ограничивает вращение колеса под действием мощности. Более высокие значения дают больше вмешательства компьютера, что позволяет стабилизировать автомобиль, но делая потенциально более медленным время прохождения круга. Более низкие значения допускают больше пробуксовки, позволяя водителю управлять крутящим моментом с помощью дроссельной заслонки, что может привести к более неустойчивому автомобилю при ускорении.

ABS предотвращает блокировку колёс при сильном торможении, что позволяет лучше контролировать автомобиль, сокращать тормозной путь и уменьшать износ шин.

Более высокий уровень означает большее вмешательство компьютера.

### 3.4.5. Дифференциал

Дифференциал – это механическое устройство, которое позволяет ведущим колесам вращаться с различной скоростью друг относительно друга.

Числа (30...85) это углы, под которыми расположены шестерни в дифференциале. В зависимости от угла определенная сила будет действовать в радиальном направлении на ось и диски сцепления (не сжимая их) и другая сила будет действовать в осевом направлении, сжимая диски сцепления между собой. Сила, действующая под углом больше, чем 0 градусов и меньше 90 градусов (т.е. действующая не прямо по осям X или Y) имеет два значения, по X и по Y. Как показано ниже, рисунок 3.4.2.1.



Рисунок 3.4.5.1. Углы шестерен блокировки.

Величина значений зависит от угла, под которым действует сила. Под углом 85 градусов (почти вертикально вверх) горизонтальное значение очень мало. Теперь вернемся к дифференциалу в ГПЛ. При установке значений дифференциала 85/85 означает, что блокировка при ускорении и замедлении имеет очень маленькую силу, действующую на диски сцепления. При установке дифференциала 60/30 с большей силой действующая на диски при ускорении и еще больше при замедлении.[18]

Таблица 3.4.5.1 Изменяемые параметры и получаемый эффект

<i>Изменение углов антикрыльев и получаемый эффект</i>									
<i>Дифференциал</i>	<i>Настраиваемый параметр</i>	<i>Передняя ось</i>		<i>Задняя ось</i>		<i>Наибольший эффект</i>			
		<i>Сцепление</i>	<i>Стабильность</i>	<i>Сцепление</i>	<i>Стабильность</i>	<i>Торможение</i>	<i>Вход</i>	<i>Середина поворота</i>	<i>Выход</i>
<i>Coast (накат)</i>	<i>Увеличение значения</i>					*	*	*	*
	<i>Уменьшение значения</i>					*	*	*	*
<i>Power (Блокировка)</i>	<i>Увеличение значения</i>					*	*	*	*
	<i>Уменьшение значения</i>					*	*	*	*
<i>Preload (преднагрузка)</i>	<i>Увеличение значения</i>					*	*	*	*
	<i>Уменьшение значения</i>					*	*	*	*

<i>Маркер</i>	<i>Эффект</i>
	<i>Положительный эффект</i>
	<i>Отрицательный эффект</i>
*	<i>Наибольший эффект</i>
*	<i>Второстепенный эффект</i>

### 3.4.6. Стабилизаторы поперечной устойчивости

Стабилизатор поперечной устойчивости (Anti-roll bar) — устройство в подвеске автомобиля, служащее для уменьшения боковых кренов в поворотах. Цель настройки ARB - найти оптимальный баланс между недостаточной и избыточной поворачиваемостью в поворотах. При использовании жесткого стабилизатора крены автомобиля будут меньшими, а сама машина приобретает оперативность и точность при изменении направления движения. Однако, это уменьшает сцепление с полотном трассы колеса находящегося ближе к внутренней части проходимого поворота.

Таблица 3.4.6.1 Изменяемые параметры и получаемый эффект

Изменение параметра и получаемый эффект									
Стабилизаторы	Настраиваемый параметр	Передняя ось		Задняя ось		Наибольший эффект			
		Сцепление	Стабильность	Сцепление	Стабильность	Торможение	Вход	Середина поворота	Выход
Передняя ось	Увеличение жёсткости						*	*	
	Уменьшение жёсткости						*	*	
Задняя ось	Увеличение жёсткости							*	*
	Уменьшение жёсткости							*	*

Маркер	Эффект
	Положительный эффект
	Отрицательный эффект
*	Наибольший эффект
*	Второстепенный эффект

### 3.4.7. Пружины, амортизаторы клиренс



Рисунок 3.4.7.1 – Меню настройки механического сцепления

Амортизатор является демпфирующим элементом, служит для гашения колебаний и поглощения толчков и ударов, действующих на корпус (раму).

В спортивном амортизаторе гораздо больший объем масла, поэтому он более громоздкий и имеет выносную камеру, резервуар. Наличие выносного резервуара позволяет увеличить рабочий ход амортизатора, т.к. газ и разделительный поршень не находятся на оси движения штока амортизатора. Работа амортизатора обычного автомобиля осуществляется практически по линейным зависимостям, а именно, чем выше колебания в подвеске, тем выше сопротивление перемещению поршня. Но любой гражданский амортизатор имеет ограничение по работе гидравлики, и при скоростях перемещения поршня около 2 м/с амортизатор «пробивает», гидравлика не справляется.[19]



## Совместная работа амортизатора и пружины

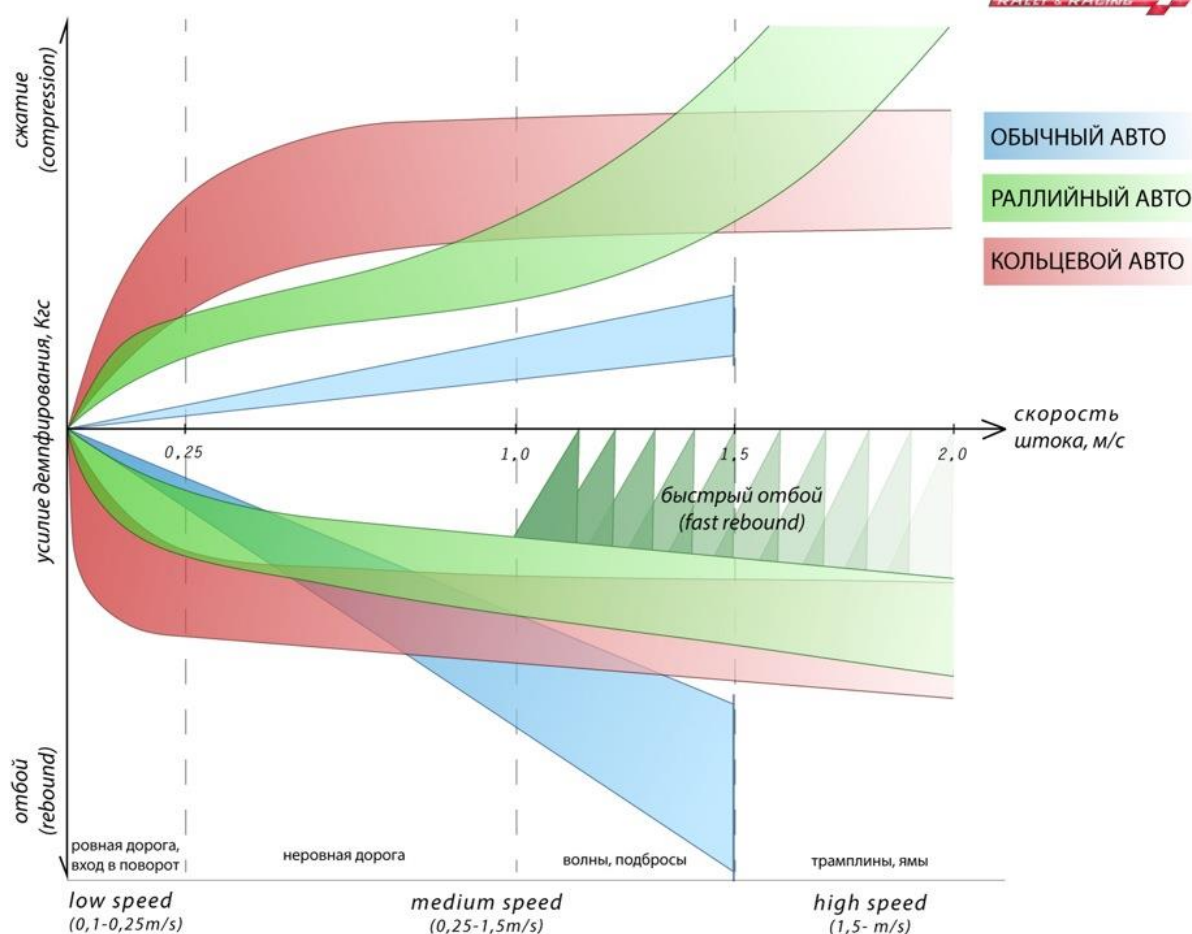


График 3.4.7.1 – график совместной работы пружины и амортизатора различных типов автомобилей

Спортивный амортизатор рассчитан на гораздо большие нагрузки. На рисунке ниже схематически показаны алгоритмы работы подвески (пружина и амортизатор) на гражданском, раллийном и кольцевом автомобиле.[19]

**Сжатие** – способность подвески сжиматься при внешнем воздействии на колесо.

**Диапазон 1** (см. рисунок) – «**Low speed**» или низкая скорость перемещения штока поршня. Пусть это будут скорости от 0 до 0,25 м/с. На практике это движение по ровной дороге или вход в поворот.

Кольцевой автомобиль должен быть пропорционально жестким в этом режиме. Вся энергия должна уходить в разгон или поддержание скорости,

а не теряться на «отработку» раскачки. Если на входе в поворот подвеска мягкая на сжатие, то выберется весь ход амортизатора (который достаточно короткий) и машину «сорвет».[19]

**Диапазон 2а** – «**Medium Speed**», скорость перемещения штока поршня от 0,25 до 1 м/с.

Для кольцевого автомобиля задача – уменьшить сопротивление сжатию, т.к. любая неровность может начать его подбрасывать и разбалансировать. Конструктивно усилие уменьшить практически невозможно (только сложной системой клапанов с электронным управлением), поэтому сопротивление сжатию стараются сохранить хотя бы на постоянном уровне.[19]

**Диапазон 2b** – «**Medium Speed**», скорость перемещения штока поршня от 1 до 1,5 м/с.

Волны, подбросы и поребрики – враги кольцевого автомобиля. Характеристику в этом диапазоне стараются также сохранить ровной.

**Отбой** – способность подвески выталкивать колесо при потере пятна контакта.

Если сопротивление отбою настроено слишком мягко, то возникает раскачка автомобиля, т.к. колесо слишком энергично выталкивается. Если сопротивление отбою слишком велико, колесо «подвисает» и не возвращается на землю. А дальше может возникнуть эффект «сбора» подвески, когда сопротивление отбою значительно превышает динамическую характеристику пружины и подвеска перестает отрабатывать.[19]

**Диапазон 1** – «**Low Speed**», скорость перемещения штока поршня от 0 до 0,25 м/с.

При движении по относительно ровной дороге (кольцо) задача отбоя «успокоить» колесо при наличии жесткой пружины, поэтому величина сопротивлению отбоя очень высокая при практически нулевой скорости

хода штока. То есть пружина всегда стремится вытолкнуть колесо, гидравлика удерживает, компенсируя жесткость.[19]

**Диапазон 2** – «**Medium Speed**», скорость перемещения штока поршня от 0,25 до 1,5 м/с.

Таблица 3.4.6.1 Изменяемые параметры и получаемый эффект

<i>Изменение углов антикрыльев и получаемый эффект</i>									
Амортизаторы	Настраиваемый параметр	Передняя ось		Задняя ось		Наибольший эффект			
		Сцепление	Стабильность	Сцепление	Стабильность	Торможение	Вход поворота	Середина поворота	Выход поворота
Передняя ось (сжатие)	Увеличение жёсткости					*	*		
	Уменьшение жёсткости					*	*		
Задняя ось (сжатие)	Увеличение жёсткости						*	*	
	Уменьшение жёсткости						*	*	
Передняя ось (отбой)	Увеличение жёсткости						*	*	
	Уменьшение жёсткости						*	*	
Задняя ось (отбой)	Увеличение жёсткости						*	*	
	Уменьшение жёсткости						*	*	

Маркер	Эффект
	Положительный эффект
	Отрицательный эффект
*	Наибольший эффект
*	Второстепенный эффект

**Статическая функция** пружины – поддержание высоты кузова автомобиля относительно дороги, **динамическая** – обеспечение плавности его перемещения при движении

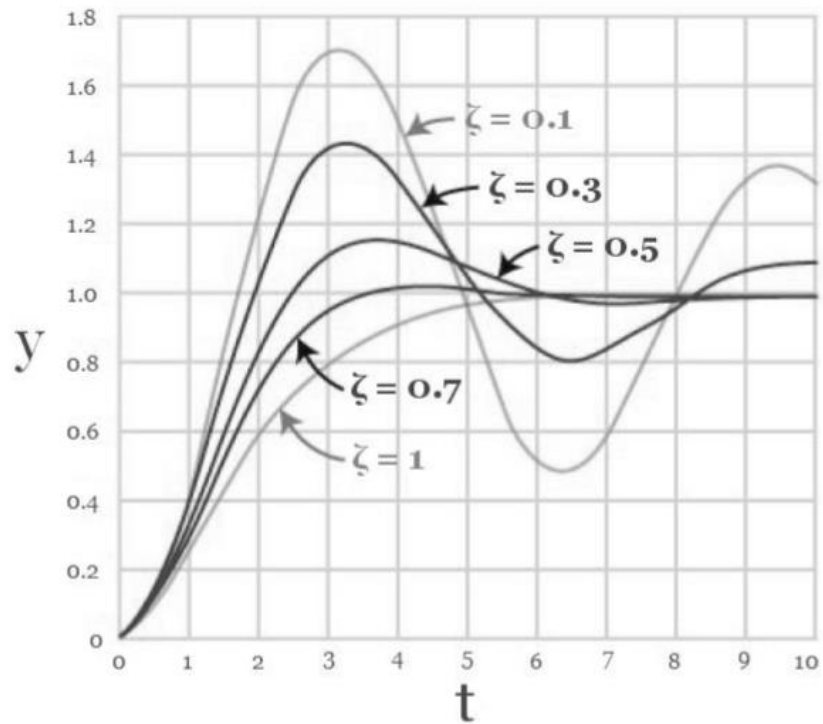


Рисунок 3.4.3.2 - Зависимость вертикальных перемещений подвески во времени при различных коэффициентах затухания.



Рисунок 3.4.7.2 – рисунок автомобильной стойки

Задача пружин состоит в том, чтобы воспринимать на себя вес автомобиля, поглощать неровности дорожного покрытия, обеспечивать исходный дорожный просвет и баланс между передней и задней осями. Мягкие пружины обеспечивают большее сцепление с трассой, нежели более жёсткие. В тоже время мягкие пружины увеличивают склонность автомобиля к скольжениям, кренам и не стабильному поведению в поворотах. В результате автомобиль будет более труден и менее точен в управлении. Использование мягких пружин подвески подразумевает использование большего клиренса, чтобы избежать пробоя подвески и контакта кузова (монокока) с дорожным полотном и элементами шасси. Конечной целью корректировки жесткости пружин является максимально эффективная передача мощности с ведущих колёс, обеспечение приемлемого сцепления в поворотах и сопротивление вертикальным перемещениям поддрессоренных масс автомобиля. [19]

Таблица 3.4.7.1 Таблица изменяемых параметров и получаемый эффект

<i>Изменение углов антикрыльев и получаемый эффект</i>									
<i>Пружины</i>	<i>Настраиваемый параметр</i>	<i>Передняя ось</i>		<i>Задняя ось</i>		<i>Наибольший эффект</i>			
		<i>Сцепление</i>	<i>Стабильность</i>	<i>Сцепление</i>	<i>Стабильность</i>	<i>Торможение</i>	<i>Вход</i>	<i>Середина поворота</i>	<i>Выход</i>
<i>Передняя ось</i>	<i>Увеличение жёсткости</i>					*	*	*	*
	<i>Уменьшение жёсткости</i>					*	*	*	*
<i>Задняя ось</i>	<i>Увеличение жёсткости</i>								
	<i>Уменьшение жёсткости</i>								

Так как корпус автомобиля подвешен на пружинах подвески и шинах, то по определению является генератором колебаний. Частота колебаний показывает нам насколько жёсткие наши пружины, независимо от веса машины. Эта единица измерения помогает нам стандартизировать и обобщить параметр «жесткость подвески» для различных автомобилей без учёта их веса и нагрузки на пружины подвески, как отдельных факторов. Если бы мы просто использовали для анализа значение нагрузки

действующей на пружины, чтобы выразить жёсткость подвески автомобиля, то эта величина не принимала бы во внимание другие факторы, а самое главное вес автомобиля. Так, например автомобиль весом 500 кг с пружинами жесткостью 20 Н / мм, будет гораздо жестче, чем автомобиль весом 1000 кг с пружинами той же жесткости. Эта многофакторность, преодолевается использованием в качестве единицы измерения Герца. Если подвеска нашего автомобиля подвержена колебаниям с частотой 2 Гц мы можем составить представление о происходящем с машиной независимо от веса и значения жёсткости самой пружины. [19]

Пример чтения параметров и анализа настроек жёсткости пружин подвески: - Одинаковая частота колебаний передней и задней подвески = сбалансированный автомобиль. - Больше частота колебаний передней подвески = недостаточная поворачиваемость автомобиля. - Больше частота колебаний задней подвески = избыточная поворачиваемость автомобиля.

Рекомендуемые значения частоты колебания пружин подвески для различных категорий автомобилей. - От 0,5 до 1,5 Гц = стандартный автомобиль. - От 1,5 до 2,5 Гц = гоночный автомобиль без крыльев или граунд эффекта. - От 2,5 до 3,0 Гц = гоночные автомобили с низкой прижимной силой и автомобили GT. - От 3,0 до 4,5 Гц = гоночный автомобиль с умеренной прижимной силой. - От 4,5 до 8,0 Гц + = гоночный автомобиль с большой прижимной силой.

Как правило, в большинстве автомобилей используется частота колебаний задней подвески на 10-20% больше нежели, чем спереди. Это правило не всегда применим к автомобилям с крыльями, где частота часто выше спереди, чем сзади. Причина применения такого рода настроек состоит в том, что передняя подвеска имеет значительно меньшие

динамические перемещения по высоте, под воздействием лобового сопротивления и прижимной силы. В то время как «осадка» задней подвески будет значительно влиять на изменение дорожного просвета на быстрых участках трассы. Разница в высоте между передней и задней частями автомобиля, когда передняя часть автомобиля ниже, чем задняя, позволяет получить дополнительную прижимную силу, тем самым увеличивая возможную скорость прохождения ходовых поворотов. Также для достижения данной цели можно использовать более высокие буфера ограничения хода (Packers), чтобы уменьшить ход подвески, сохраняя при этом пружины относительно мягкими. Некоторые автомобили используют третью пружину для достижения того же эффекта.

Устройство регулировки дорожного просвета представляет собой стержень, который соединяет колесо подвески с корпусом автомобиля. Его регулировка приводит к изменению дорожного просвета (клиренса). Изменение этого параметра, также влияет на прижимную силу, действующую на автомобиль. Чем ближе нижняя часть автомобиля к земле, тем больше прижимной силы, будет создаваться. Также важным следствием уменьшения клиренса можно назвать снижение центра тяжести. Для автомобилей с крыльями ситуация, когда дорожный просвет сзади больше, чем спереди. Это объясняется тем, что прижимная сила, действующая на заднюю ось таких машин больше, чем аэродинамическая нагрузка на заднюю ось автомобилей без антикрыльев. Высота клиренса может использоваться для настройки недостаточной и избыточной поворачиваемости. Предпочтительнее, чтобы дорожный просвет был минимальным, так как это позволяет увеличить прижимную силу и сцепление автомобиля с полотном трассы. Очевидно, что автомобилю с маленьким клиренсом потребуются более жесткие пружины, амортизаторы и стабилизаторы поперечной устойчивости чтобы избежать контакта кузова с дорожным полотном на неровностях трассы и при перераспределении веса.



Изменение параметров клиренса и получаемый эффект:

Увеличение спереди = центр тяжести автомобиля смещается назад. Для компенсации недостаточной поворачиваемости возникающей из-за меньшей нагрузки на переднюю ось, можно смягчить пружины подвески спереди.

Уменьшение спереди = центр тяжести автомобиля смещается вперёд. Увеличивается сцепление передних шин с полотном трассы. Увеличение избыточной или снижение недостаточной поворачиваемости может наложить ограничения на использование мягких пружин на передней оси.

Увеличение сзади = центр тяжести автомобиля смещается вперёд. Машина начинает проявлять склонность к избыточной поворачиваемости. Чтобы её скомпенсировать, можно смягчить задние пружины подвески.

Снижение сзади = центр тяжести автомобиля смещается назад. Проявляется тенденция к возникновению недостаточной поворачиваемости или уменьшению избыточной. Может ограничить использование мягких пружин на задней оси.

Увеличение спереди и сзади = высота центра тяжести увеличивается. Увеличение дорожного просвета в результате данной манипуляции может позволить применение мягких пружин. Это поможет сохранить управляемость и курсовую устойчивость автомобиля на неровных поверхностях, а также при выходе из поворотов.

Уменьшение спереди и сзади = возможны касания кузовом дорожного полотна. Может наложить ограничения на использование мягких пружин. Положительным моментом является снижение центра тяжести, а также общее увеличение прижимной силы за счёт возникновения под днищем автомобиля разряжения.

Ограничители хода подвески – это резиновые прокладки (буфера) используемые для ограничения хода подвески. Они могут предотвратить

касание кузовом земли без увеличения клиренса и как результат, предотвратить потерю сцепления колёс с полотном трассы

## Глава 4. Системы сбора данных

### 1.2 Сравнение существующих на рынке системы сбора данных.

На сегодняшний момент на рынке существует несколько измерительных комплексов, которые различаются между собой программным интерфейсом, особенностями лицензии, функционалом программ и анализом данных.

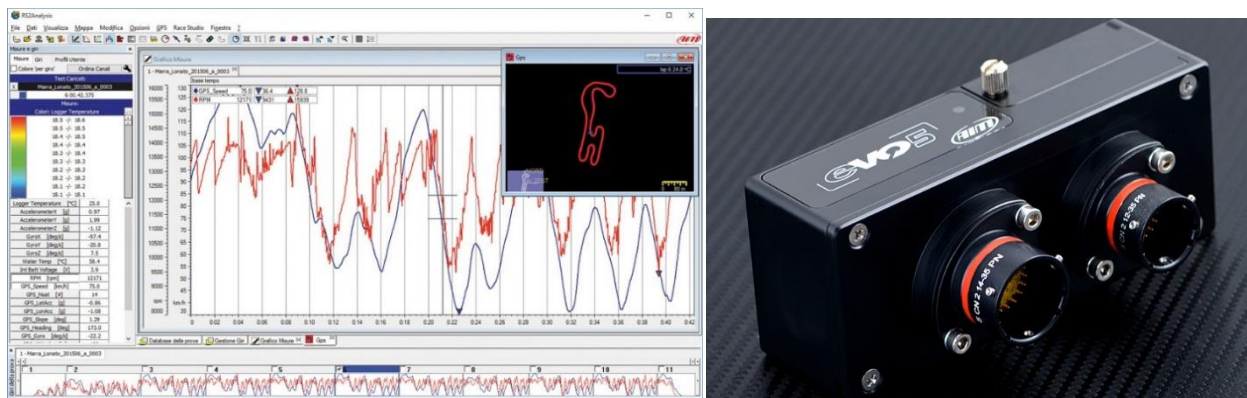


Рисунок 4.1.1 – программный интерфейс AIM и интерфейс подключения

Система сбора данных, разработанная компанией AIM – распространена и является обязательной судейской системой сбора данных на многих соревнованиях. [20]

На Mercedes AMG GT-3 была установлена модель EVO 5, которая позволяет собирать информацию такую как данные, поступающие от автомобильного ЭБУ через CAN, RS232 или K-line, от внутренних акселерометров и гироскопа, от модуля GPS08, входящего в комплект. [20]

И от аналоговых/цифровых входов, внешних расширений, а также predetermined математических каналов. Датчики могут быть подключены к 8 настраиваемым аналоговым каналам, входу оборотов в минуту и 4 входам скорости вращения колес.

EVO5 имеет два цифровых выхода. Два цифровых выхода (Dout) имеют тип (переключатель на землю): они могут быть сконфигурированы для включения/выключения в зависимости от значения аналоговых или цифровых

входов. Они позволяют автоматически запускать внешние системы, то есть включать/выключать дополнительное освещение, активировать отключите охлаждающий вентилятор или циркуляционные насосы и т. д., [20]

Модули:

Расширение канала. Он позволяет добавить 4 аналоговых канала 0-5вольт для датчиков давления, температуры и потенциометров. Два из этих каналов могут быть сконфигурированы для приема цифровых входов, таких как скорость вращения колеса.[20]

LCU-One CAN. Широкополосный лямбда-контроллер LCU-One с зондом Bosch LSU 4.9, обеспечивающим все данные о топливно-воздушной смеси и значение лямбды, позволяет идеально настроить карбюратор. 4.2 Основы работы в MoTeC i2 PRO и Теоретические основы обработки данных спортивного автомобиля[21]

SmartyCam HD камеры. Бортовые камеры, которые накладывают на видео данные, отображенные вашим регистратором.

Модуль памяти. Модуль памяти представляет собой небольшой держатель SD-карты, который может быть подключен через CAN-шину к вашему регистратору AiM для записи данных во время тестов.[21]



Рисунок 4.1.2 – Программный интерфейс MoTeC и интерфейс подключения

Компания MoTeC так же разрабатывает не менее популярные системы сбора данных. Особенностью программного интерфейса является его способность к более гибкой настройке, и наличие чуть большего функционала. Особенностью разъёмного интерфейса является высокая пропускная способность.

В отличии от MoTeC и AIM, Программный интерфейс WinDarab Bosch не находится в открытом доступе. Система представляет собой несколько программ, каждая из которых отвечает определённые функции. Например, для того чтобы смонтировать видео с параллельно записанными транслируемыми данными нужно открыть дополнительную программу, в то время как в других системах сбора данных это происходит в одной программе. Интерфейс имеет очень большую иерархическую цепочку, что упрощает восприятие интерфейса на первом уровне, но усложняет ориентацию и поиск конкретной функции. Также, в данной системе не все функции доступны изначально, например, чтобы создавать собственные зависимости, основанные на математических моделях, необходимо докупить эти самые модели и функции, в то время, как в других системах это доступно с самого начала и в большом ассортименте. [21]

На основе всего вышеперечисленного, наиболее оптимальным вариантом для выбора используемой системы сбора данных является система производства компании MoTeC. Эта система находится в открытом доступе, является функциональной и понятной. К тому же, это компания официально сотрудничает с выбранной нами ранее средой испытаний.

## **Глава 5. Разработка методики настройки спортивного автомобиля**

### **5.1 Описание условий проведения испытаний**

Подготовка к испытаниям включает следующие этапы:

1. Составление программы и методики испытаний.
2. Выбор объекта испытаний и места проведения испытаний.

3. Диагностирование и устранение неисправностей, которые препятствуют нормальной работе компьютера и специального оборудования (рули) и могут отразиться на результатах испытаний.
4. Установка испытательной аппаратуры и выполнение подготовительных работ по настройке программ.
5. Тестовые заезды
6. Основные заезды

Программа и методика испытаний разрабатываются исходя из цели и задач конкретных испытаний.

При выборе объекта испытаний необходимо исключить выбор наиболее простых с точки зрения конструкции и настройки автомобилей. В подготовку испытательного участка входит его выбор, обеспечение необходимого состояния дорожной поверхности. При выборе места проведения испытаний, нужно отдать приоритет стационарным и популярным с точки зрения количества проводимых на них соревнований, автодромам. Если эти условия соблюдены, то такой автодром будет наиболее приближен к реальности с точки зрения конфигурации, в отличие от “временных” городских трасс, а инфраструктура будет находиться в хорошем состоянии.

Условия проведения испытаний определяются программой и методикой, которые разрабатываются исходя из целей и задач конкретных испытаний.

### 5.1.1 Составление программы и методики испытаний.

Симуляция будет проходить при следующих настройках сессии:

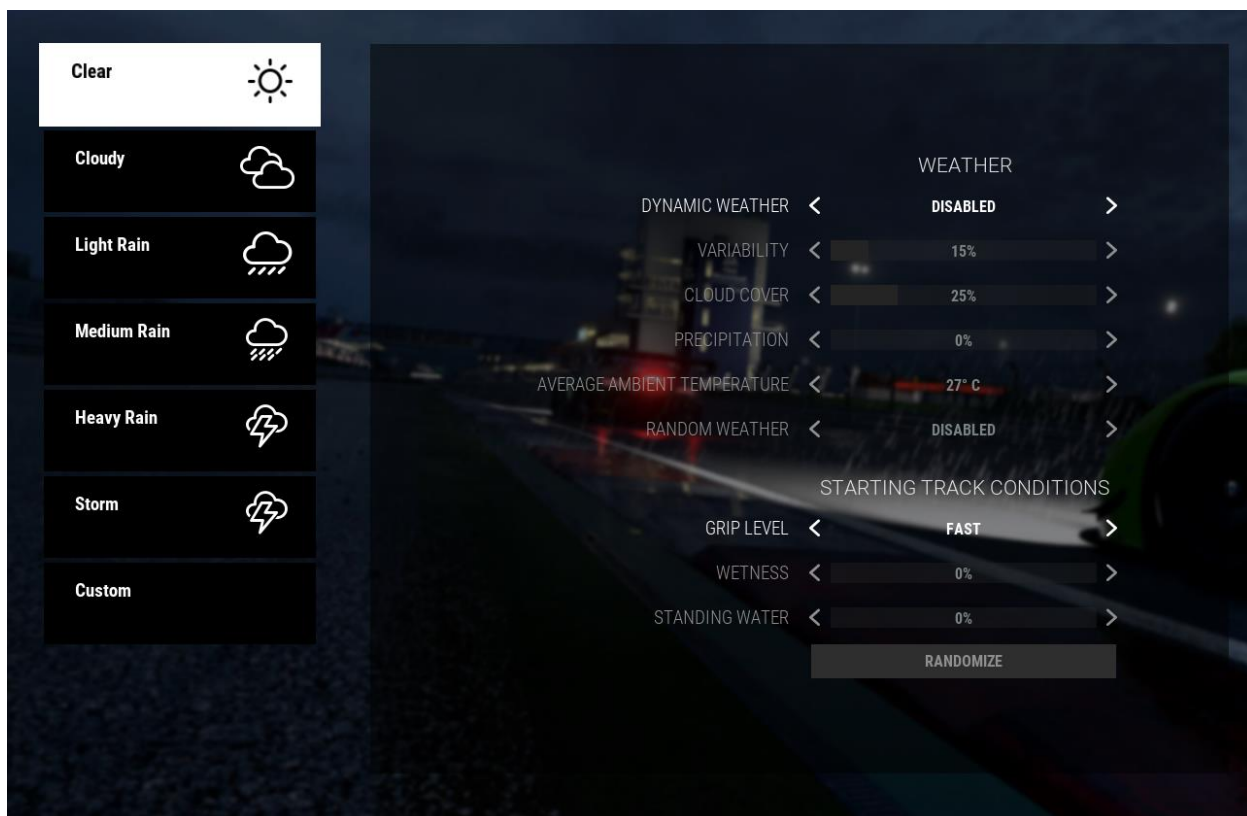


Рисунок 5.1.1.1 – меню настройки погодных условий сессии

Погодные условия:

- Динамическая погода – выкл.
- Уровень сцепления дорожного полотна – быстрый

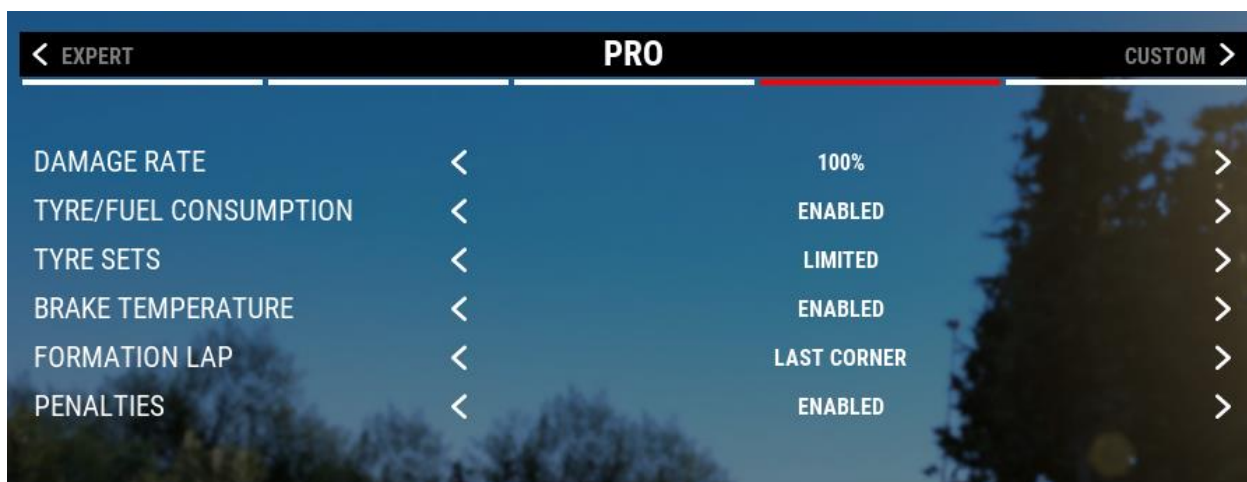


Рисунок 5.1.1.2 – меню настройки реализма

Уровень реализма выставлен на следующих настройках:

- Уровень повреждений – 100%
- Расход шин/топлива – присутствует
- Количество комплектов шин – ограничено (в рамках тестов – неограниченно)
- Температура тормозных механизмов – присутствует
- Штрафы – включены

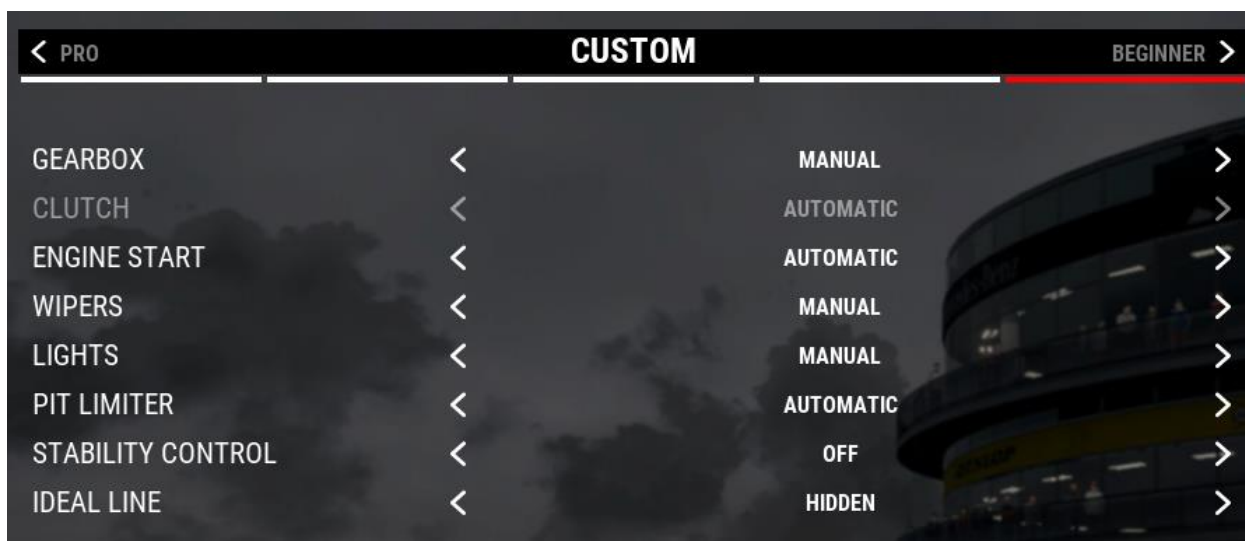


Рисунок 5.1.1.3 – меню настройки помощников

Наличие помощников:

- Коробка передач – ручное переключение
- Сцепление – автоматическое
- Запуск двигателя – автоматически
- Щётки лобового стекла – ручное управление
- Свет – ручное управление
- Ограничение скорости на пит лейне – автоматический режим
- Система стабилизации – выключена
- Идеальная линия – скрыта

Как видно из этих настроек, некоторые параметры переведены в автоматический режим. Это сделано по причине того, что такие настройки



позволят упростить жизнь испытателю, никак не отразившись на результате испытаний (рис. 5.1.1.3).

Влияние внесённых изменений на автомобиль будут оцениваться по результатам зачётных сессий.

Засчитанной сессией будем считать сессию, если в ней выполнены следующие условия:

- Минимальное количество “чистых” кругов сессии – 10
- Разница между наилучшим и наихудшим кругом < 1 секунды.
- Анализ результатов сессии будет вестись по 10 лучшим кругам.
- При анализе сессии будет двигаться по ходу движения от 1-го поворота к последнему.

### 5.1.2 Выбор объекта испытаний и места проведения испытаний.

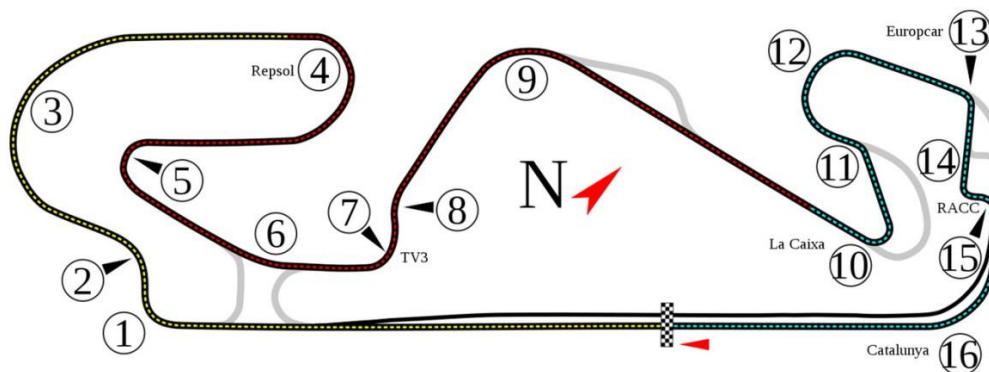


Рисунок 5.1.2.1 – схема трассы трасса Барселона – Каталунья

Местом проведения испытаний была выбрана Испанская трасса Барселона – Каталунья. Эта трасса является популярным стационарным автодромом, на котором проходят гонки Формулы 1, Moto GP и гонки класса GT-3.

Расположение: Монмело, Барселона, Испания.

Протяжённость: 4,655 км

### 5.1.3. Установка испытательной аппаратуры и выполнение подготовительных работ по настройке программ.

Таблица 5.1.3.1 – характеристики используемого компьютера

Параметр	Характеристика
Операционная система	Windows 10 (64 бита)
Процессор	Intel Core i5-3470 (3.0 ГГц)
Оперативная память	8 Гб ОЗУ
Видеокарта	NVIDIA GeForce GTX 1050Ti

Таблица 5.1.3.2 – характеристики используемого руля (манипулятора):

Параметр	Характеристика
Наименование	Trustmaster T150
Тип подключения	проводной
Совместимые платформы	PC, PlayStation 3, PlayStation 4, PlayStation 5
Интерфейс	USB
Угол поворота руля (градус)	1080°
Обратная связь	есть
Вид передачи обратной связи	комбинированная
Виброотдача	есть
Материал оплетки руля	резина
Тип крепления	винтовое
Диаметр руля	28 см
Количество педалей	2
Коробка передач	нет
Подрулевые лепестки	есть
Ручник	Нет

Вес	5.12 кг
Количество кнопок	14
Угол поворота регулируется в диапазоне от 270° до 1080°!	

## 5.2 Анализ установочной сессии и основы работы с данными

Проехав установочную сессию на стандартных настройках автомобиля, представляется возможность проанализировать данную сессию и подчеркнуть нюансы пройденных кругов и сделать выводы об работе машины и пилота в одной связке.

### 5.2.1 Шины

Для начала стоит обозначить диапазон работы шин, в котором обеспечивается максимальная производительность шины. (табл. 5.2.1.1)

Таблица 5.2.1.1 Рабочие характеристики шины

Горячее давление, атм	Температура, градусы Цельсия
1.8-2.0 ± 0.1	85-95

Из руководства к шинам следуют рабочие характеристики шины, указанные выше. Это диапазоны, которые могут немного сдвигаться в зависимости от внешних условий, и особенностей трассы. Чтобы подтвердить или опровергнуть предлагаемый рабочий диапазон производителем для этой трассы, необходимо проехать несколько заездов, пробуя различные сочетания давлений.

Перед проездом установочной сессии необходимо выставить давление для данной настройки. Для этого необходимо проехать несколько кругов и сравнить пиковые значения по давлению всех колёс. Эти значения должны быть равны на всех колёсах в пределах 0.1 атм. Зная давления в прогретых шинах, выставляем давление в холодных шинах таким образом, чтобы при нагреве давление выровнялось.

Изначально было выставлено следующее давление, начиная от переднего правого колеса и далее по часовой стрелке: 1.72,1.72,1.71,1.71. При нагреве давление изменилось на следующие показатели: 1.88, 1.78,1.72,1.81

Как видно, давление на всех колёсах разное, с довольно большим разбросом, что недопустимо. Чтобы выровнять давление и получить нужные показатели в пределах погрешности вносим следующую корректировку:1.74, 1.84,1.86,1.8. При нагреве получаем следующие значения: 1.91.1.92,1.91,1.91. Теперь давление нагретых шин лежит в допустимом диапазоне и равно между собой во всех шинах. Давление 1.91 возьмём как отправную точку для следующих корректировок.

Следующим этапом, после выставления давления будет контроль температуры шин. Это не менее важный параметр, чем давление ибо перегретая шина будет скользить и быстрее разрушаться, несогретая шина не сможет использовать весь свой сцепной потенциал.

В первую очередь проезжаем ещё несколько установочных кругов на выбранном давлении, чтобы определить допуск на фактор “пилота” в нашем

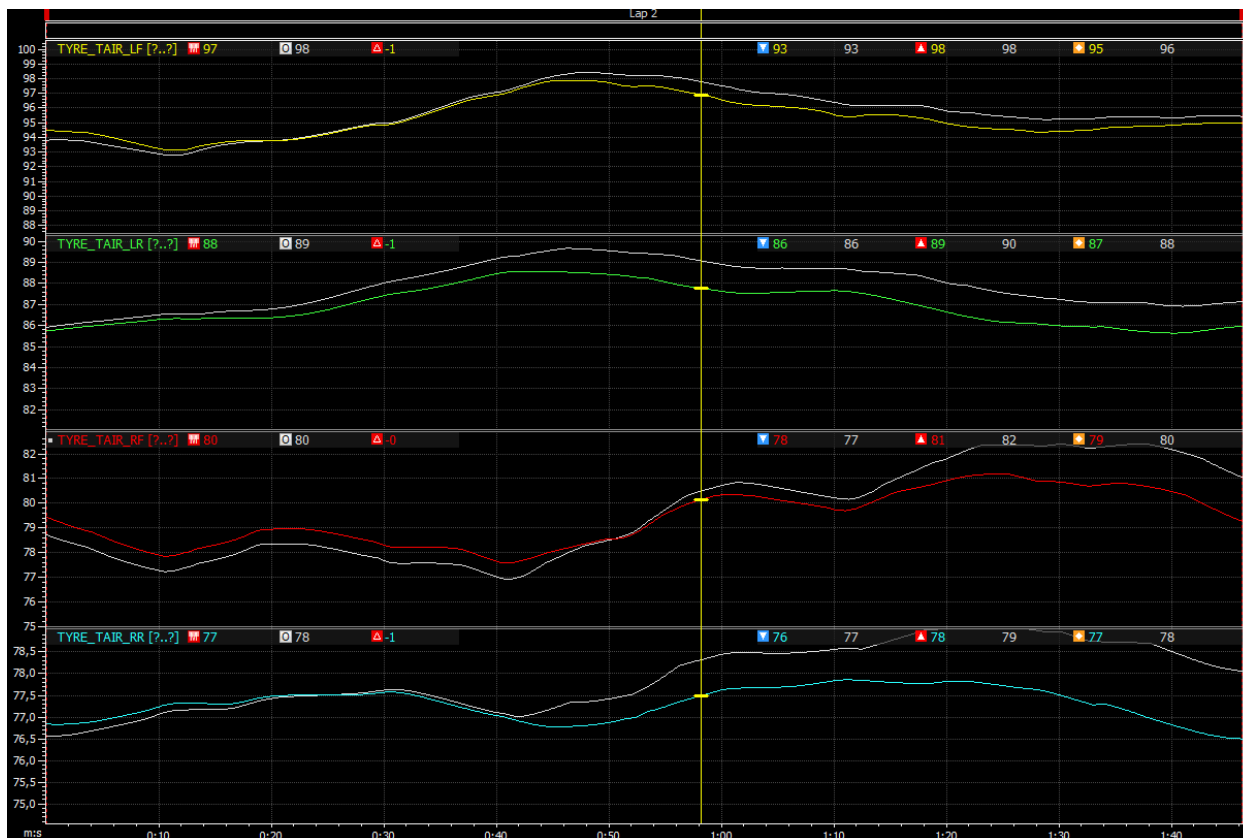


График 5.2.1.1 - сравнение двух кругов на одинаковом давлении 1.91.

Как видно из приведённого графика 5.2.1.1, разница между средней температурой и пиковой не колеблется в среднем около 1 градуса по всем колёсам. Минимальная температура идентична. Примем допуск на фактор пилота при анализе температуры шин равным 1-му градусу.

Из графика видно, что пиковые значения температуры шин на оси для передней и задней оси лежат примерно на одной линии. Шины правого борта недогружаются в среднем на 10 градусов, относительно левого. Шины на передней оси имеют температуру в среднем на 8 градусов выше шин задней оси. Исходя из этого графика можно сразу же сделать 2 вывода:

Так в среднем температура шин на передней оси выше температуры шин на задней оси на 8 градусов, это означает, что автомобиль имеет недостаточную поворачиваемость, что подтверждается словами пилота.

Разница температур по бортам автомобиля также присутствует, в среднем левый борт нагревается на 10 градусов сильнее левого. Также можно увидеть примерно одинаковую зависимость для графика левого борта и другую для правого. Температурный диапазон работы шин левого борта вписывается в норматив, в отличии от правого. Шины правого борта даже в пиковых значениях не догреваются до нужных показателей.

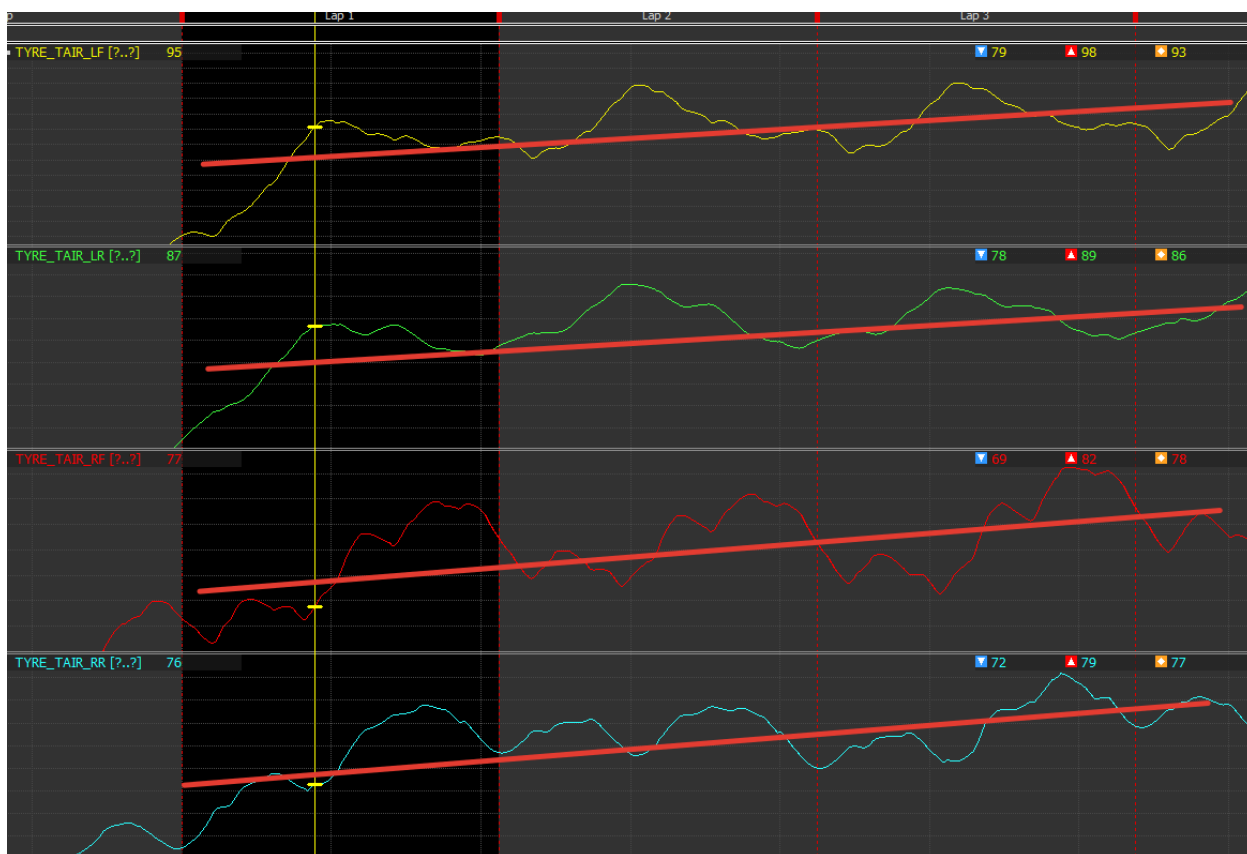


График 5.2.1.2 - Тенденция нагрева шины по кругам.

Из рисунка 5.2.1.2 видно, что с каждым последующим кругом температура шин начинает расти, в среднем разница в температуре шин между первым и один из последних кругов составляет около 2-х градусов, это уже несколько выходит за рамки рабочего теплового диапазона шины.

Задача по сведению к минимуму разницы в температуре нагретых шин по бортам автомобиля является трудной и практически не исправимой. Для того, чтобы попробовать свести на нет или хотя бы минимизировать эту

разницу, необходимо провести несколько тестовых заездов с изменённым давлением.

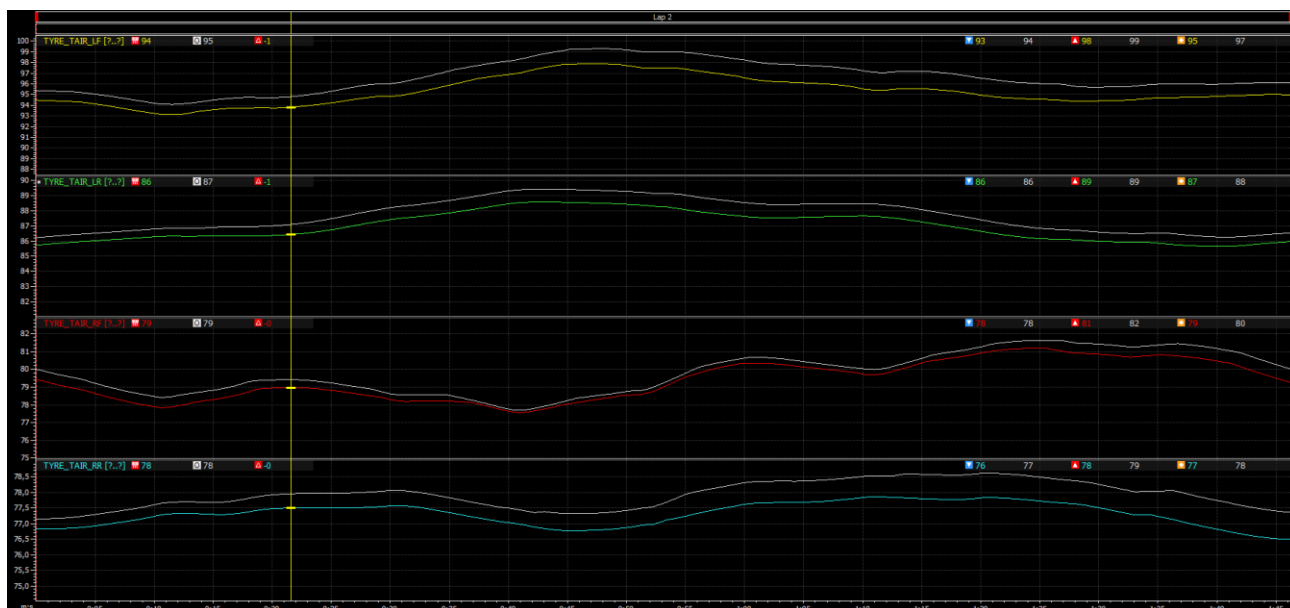


График 5.2.1.3 - сравнение температуры прогретых шин при давлении 1.91 (цветные линии) и 1.9 (серая линия) после 3-го круга.

На Графике 5.2.1.3 представлено сравнение температуры холодных шин при давлении 1.72,1.82,1.84,1.78. Прогретое давление в среднем упало на 0.1 атм. Разница в средней температуре практически неотличима, укладывается в принятый нами ранее допуск 1 градус. То же самое можно сказать и про пиковые значения. Если сравнивать температуру по бортам автомобиля, то температура левого борта выросла в среднем на 1.5 градуса, пиковое значение осталось неизменным. Средняя температура правого борта осталась прежней. Исходя из этого можно сделать вывод, что понижать давление – скорее всего ошибочный путь.



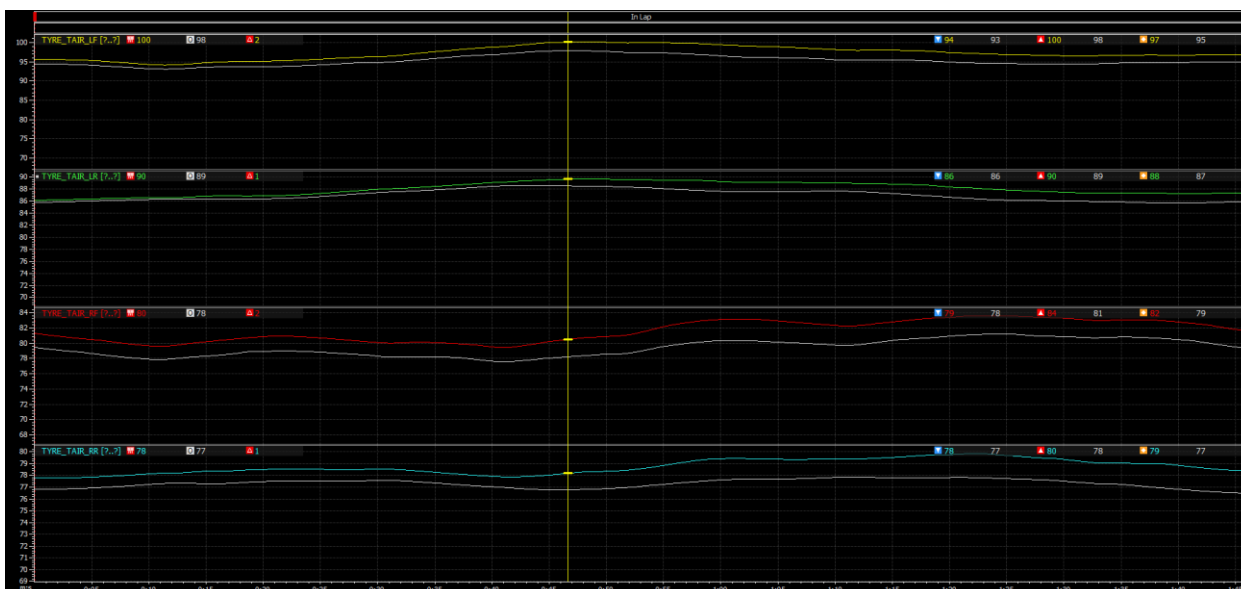


График 5.2.1.4 - сравнение температуры шин при давлении 1.93 (цветные линии) и 1.91 (серая линия) после 3-го круга.

На Графике 5.2.1.4 представлено сравнение температуры холодных шин при давлении 1.76,1.86,1.88,1.82. Прогретое давление в среднем возросло на 0.2 атм.. Разница в средней температуре увеличилась на 2 градуса, как и пиковые значения, низшая температура осталась прежней. Если сравнивать температуру по бортам автомобиля, то температура левого борта выросла в среднем так же на 1.5 градуса, как и в случае с пониженным давлением, пиковые значения так же увеличились на 1.5 градуса. Средняя температура правого борта увеличилась на 2 градуса, а пиковые значения на 2.5 градуса. Исходя из этого можно сделать вывод, что повышение давление однозначно привело к увеличению температуры шин, особенно недогретых.

Далее, инженеру необходимо принять решение об возможном пути решения проблемы на грани нагретых колёс левого борта и недогретых правых. Было принято решение подкачать шины по правый борт автомобиля на величину 0.02 атм., относительно давления 1.91 атм. и посмотреть на результат. В теории температура левых шин должна остаться прежней, а температура правых немного повыситься.

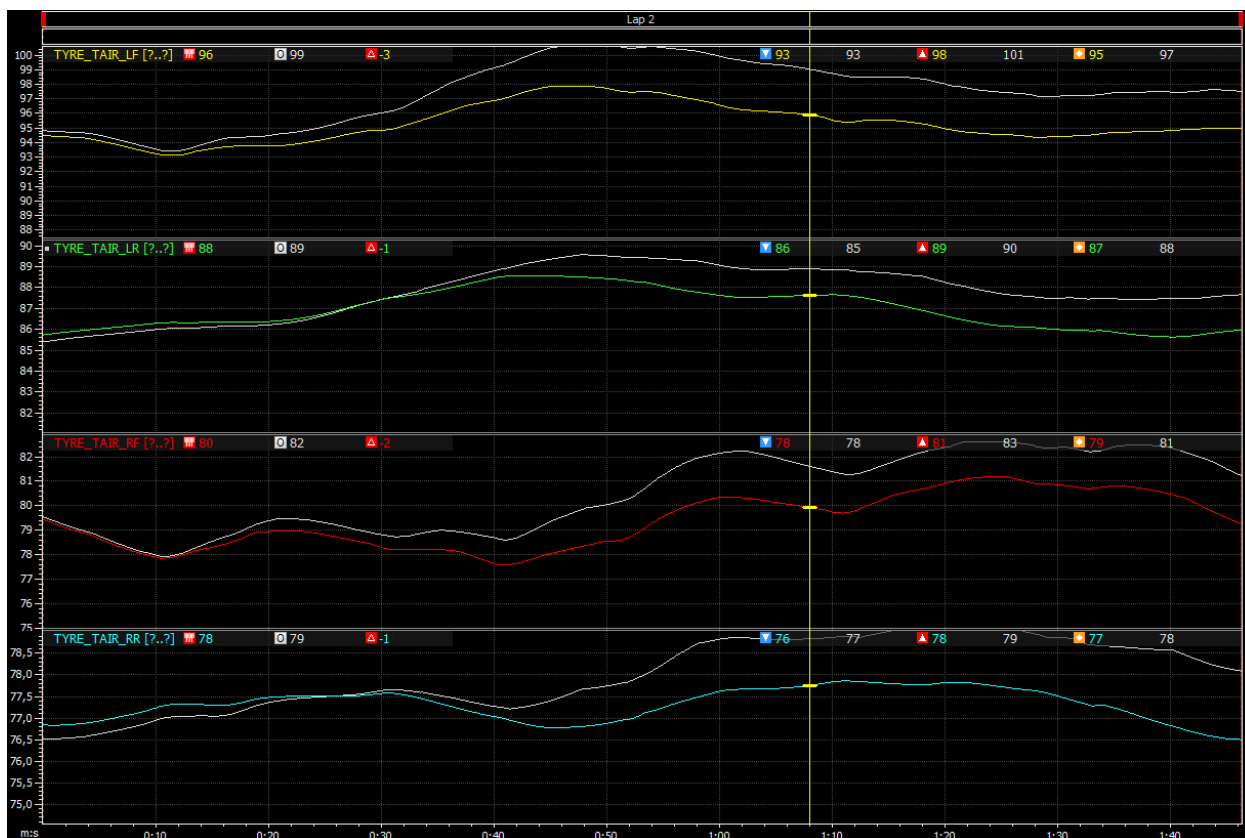


График 5.2.1.5 – температура шин при выставленном давлении на правом борту 1.93, на левом 1.91 (серая линия) и при давлении всех шин равным 1.91 (цветная линия)

Результат не оправдал ожиданий. На Графике 5.2.1.6 видно, что прогретое давление в среднем возросло на 0.2 атм.. Разница в средней температуре увеличилась на 3 градуса, пиковые значения выросли на 2 градуса, низшая температура осталась прежней. Если сравнивать температуру по бортам автомобиля, то температура левого борта выросла в среднем так же на 1.5 градуса, пиковые значения так же увеличились на 1.5 градуса. Средняя температура правого борта увеличилась также на 1,5 градуса, как и пиковые значения. Введение асимметрии в давлении шин автомобиля по продольной оси хоть и позволило повозить температуру несогретых шин, но также и повысило температуру шин левого борта, что в критических ситуациях лишь отрицательно скажется на результате. По итогам данных заездов было принято решение оставить оптимальные значения давления шин на всех колёсах равным 1.91 атм..

## 5.2.2 Воздухозаборники

Следующим этапом определения оптимального температурного режима работы узлов и агрегатов автомобиля является определение сечения воздухозаборников и радиатора.

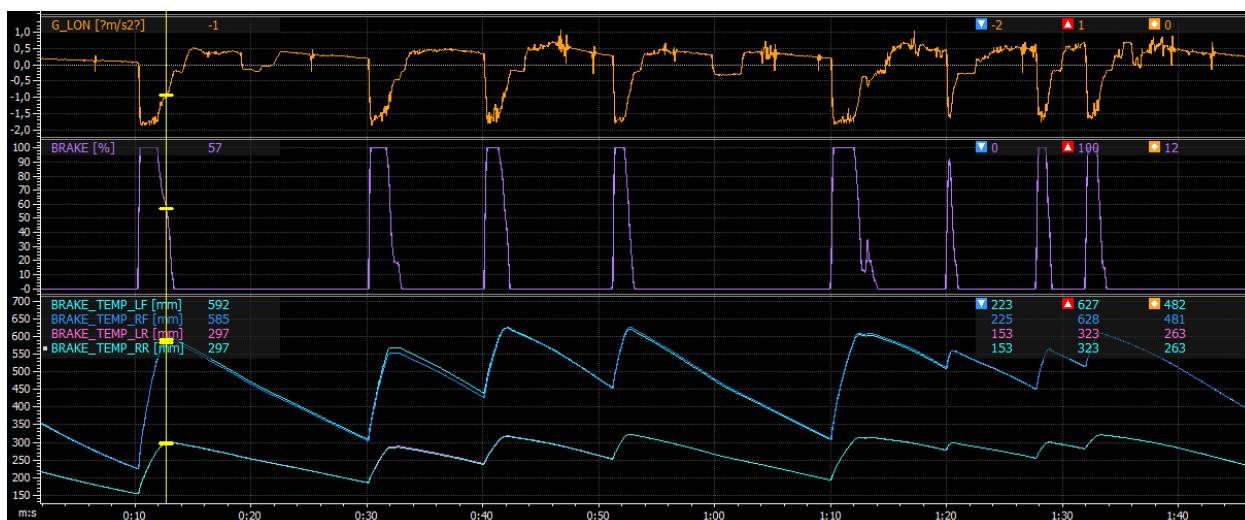


График 5.2.2.1 - температура тормозных дисков

Как видно из графика 5.2.2.1, пиковые значения передних тормозных дисков равны 628 градусам. Пиковые значения задних тормозных дисков равны 323 градуса. Из руководства к тормозным механизмам, рассмотренного в разделе 3.2.3, пиковые значения температуры не должны превышать 610 градусов. Рабочий диапазон тормозного диска лежит в пределах от 430 до 560 градусов и 610 в пике.

Исходя из этих данных можно сделать вывод, что передние тормозные диски слегка перегреваются, а задние сильно недогреваются. Увеличим слегка сечение переднего воздухозаборника и сильно ограничим поток проходящего воздуха через тормозные механизмы сзади.

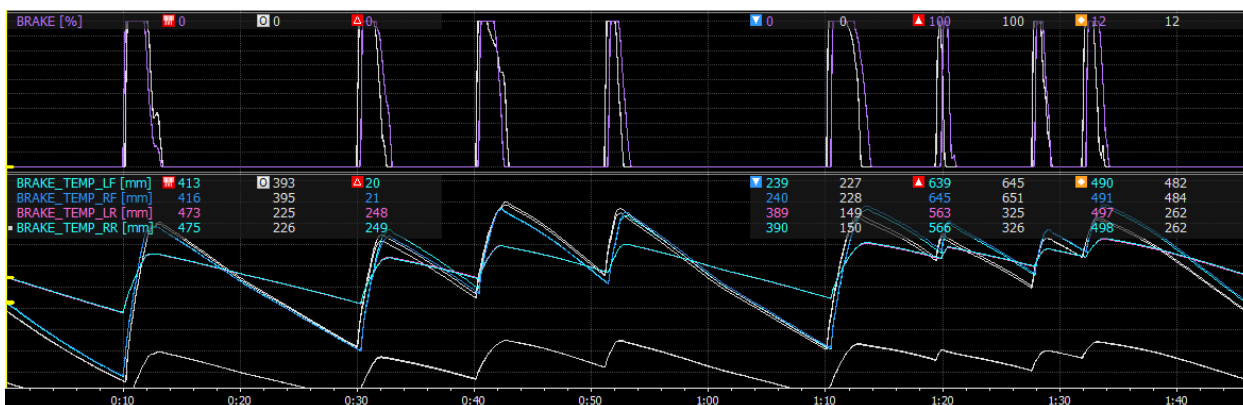
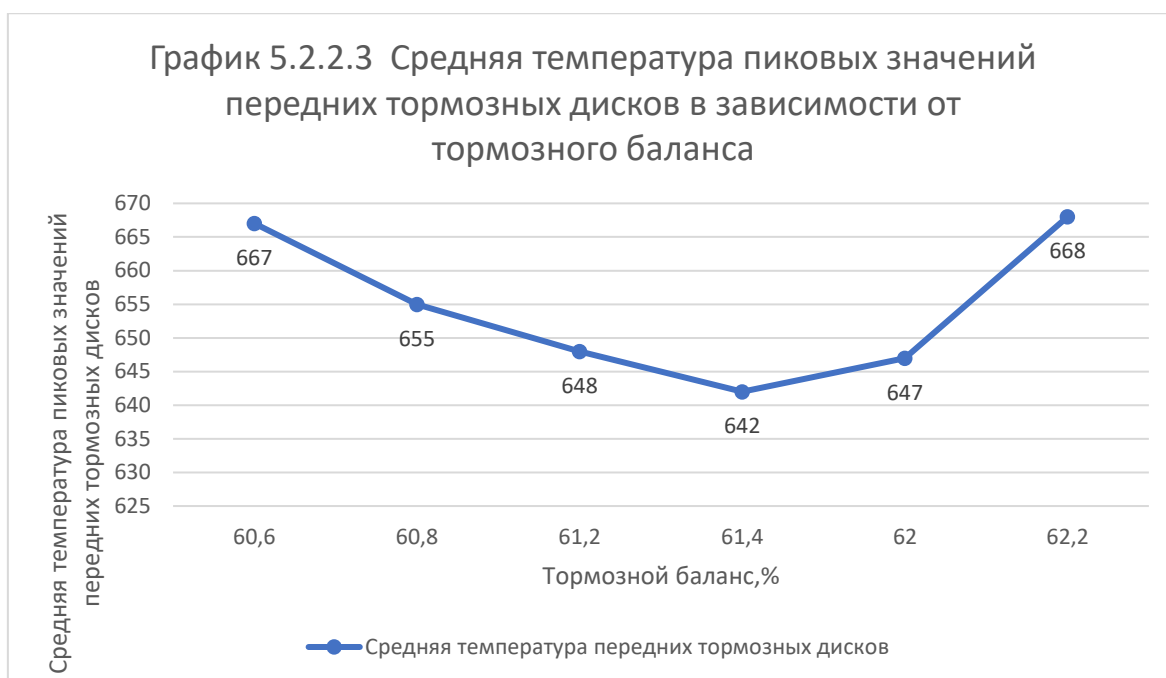


График 5.2.2.2 – сравнение температуры тормозных дисков с изменённым сечением заднего воздухозаборника и смещённым тормозным балансом вперёд на 0.2% (цветные линии) и стандартные настройки воздухозаборника и тормозного баланса (серая линия)

После нескольких сессий удалось установить, что сечение переднего воздухозаборника необходимо оставить прежним. А сечение заднего уменьшить в 2 раза. Это позволит добиться выхода в рабочий температурный диапазон задних тормозных дисков. Проблему с перегревом передних тормозных дисков удалось несколько минимизировать за счёт изменения тормозного баланса.

При изменении тормозного баланса удалось вывести следующую характеристику:



Погрешность пилота – 40гр

### 5.2.3 Обратная связь от пилота

При настройке автомобиля также является не маловажной обратная связь пилота. При качественной обратной связи можно устранить некоторые проблемы не смотря на записи данных.

При формировании обратной связи от пилота введём следующие показатели автомобиля, которые будут оцениваться от 0 до 10, где 0 – очень плохо, а 10 – очень хорошо: управляемость, манёвренность, стабильность, простота управления.

Также введём ещё несколько показателей, которые будут нести описательный характер: медленные повороты, быстрые повороты, торможение и вход в поворот, разгон и выход из поворота.

### 5.2.4 Карта настроек

В итоге, в конце каждой зачётной сессии мы будем получать следующую карту настроек, рисунок 5.2.4.1:

Date	Track	Driver	Car
27,04,2021	Barcelona-Catalunya	A. koudrin	Mercedes AMG Gt-3
	88,91,93	75,73,72	
-0,1	4		-0,1
-2,4	1,74/1,91	100%	1,84/1,92
12,1	60,60%		12,1
	0,4/0,4/0,4	14	0,2/0,2/0,2
	0,3/0,3/0,3	35	0,2/0,2/0,2
0,05			0,05
-2,3	1,8/1,91	30 nm	1,86/1,91
	4		-2,3
	84,86,88	78,76,74	
<b>Внесённые настройки</b>			
	Управляемость	Манёвренность	
	7	5	
	Стабильность	Простота управления	
	7	8	
<b>Медленные повороты</b>			
В медленных поворотах ( 14.15) ощущается некая вялость и медлительность в управлении, приходится делать очень широкие манёвры и и не нажимать лишний раз на педаль газа, чтобы вписаться в поворот. На выходе из 7 и 12, 2 поворотов под газом возникает недостаточная поворачиваемость.			
<b>быстрые повороты</b>			
на выходе из сложных скоростных поворов возникает недостаточная поворачиваемость (3, 16, особенно			
<b>Торможение, вход в поворот</b>			
Торможение стабильное, но немного сложно предсказуемое в момент треилбрейкинга, но это тонкости управления.			
<b>Разгон, выход из поворота</b>			
на выходе иногда возникает недостаток			

Рисунок 5.2.4.1 – карта настроек

	88,91,93	75,73,72	
-0,1	4		-0,1
-2,4	1,74/1,91	100%	1,84/1,92
12,1	60,60%		12,1
	0,4/0,4/0,4	14	0,2/0,2/0,2
	0,3/0,3/0,3	35	0,2/0,2/0,2
0,05			0,05
-2,3	1,8/1,91	30 nm	1,86/1,91
	4		-2,3
	84,86,88	78,76,74	

Пиковые значения температуры по дорожкам шины  
 Угол схождения  
 Угол кастера  
 давление в тормозной системе,% и тормозной баланс,%  
 передаточное отношение рулевой рейки  
 угол развала  
 Давление в шине холодное/горячее  
 Преднагрузка дифференциала  
 стабилизатор  
 Настройка заднего антикрыла

Рисунок 5.2.4.2 – Область настраиваемых параметров автомобиля

В первую очередь, перед проездом установочной сессии необходимо выставить давление для данной настройки. Для этого необходимо проехать несколько кругов и сравнить пиковые значения по давлению всех колёс. Эти значения должны быть равны на всех колёсах в пределах 0.1 атм. Зная давления в прогретых шинах, выставляем давление в холодных шинах таким образом, чтобы при нагреве давление выровнялось.

	88,91,93		75,73,72	
-0,1		4		-0,1
-2,4	1,72/1,88	100%	1,72/1,8	-2,4
12,1		60,60%		12,1
	0,4/0,4/0,4	14	0,2/0,2/0,2	
	0,3/0,3/0,3	35	0,2/0,2/0,2	
0,05				0,05
-2,3	1,71/1,82	30 nm	1,71/1,77	-2,3
		4		
	84,86,88		78,76,74	

Рисунок 5.2.4.3 – Стандартное давление в шинах.

Следующим этапом будет анализ полученных данных по итогам зачётной сессии.

### 5.2.5 Определение круга проблем и пути решения.

По результатам зачётной сессии мы получили следующую карту настроек, рисунок 5.2.5.1.

Date	Track		Driver	Car	
27,04,2021	Barcelona-Catalunya		A. koudrin	Mercedes AMG Gt-3	
	3 мм		BEST	1:45.828	AVG 1:46.245
	88,91,93	73,72,70	Внесённые настройки		
-0,1	4		-0,1		
-2,4	1,74/1,91	100%	1,84/1,91	-2,4	
12,1	61,40%		12,1		
	0,4/0,4/0,4	14	0,2/0,2/0,2		
	0,3/0,3/0,3	35	0,2/0,2/0,2		
0,05			0,05	Управляемость	Манёвренность
-2,3	1,8/1,92	30 nm	1,86/1,91	7	5
	4			Стабильность	Простота упрвления
	89,90,92		81,79,77	7	8
	6				
Медленные повороты					
В медленных поворотах ( 14.15) ощущается некая вялость и медлительность в управлении, приходится делать очень широкие манёвры и и не нажимать лишний раз на педаль газа, чтобы вписаться в поворот. На выходе из 7 и 12, 2 поворотов под газом возникает недостаточная поворачиваемость.					
быстрые повороты					
на выходе из сложных скоростных поворотов возникает недостаточная поворачиваемость (3, 16, особенн					
Торможение, вход в поворот					
Торможение стабильное, вход в поворот предсказуем					
Разгон, выход из поворота					
на выходе иногда возникает недостаток					

Рисунок 5.2.5.1 - карта настроек по итогу первой сессии.

Первым делом нужно проанализировать состояние шин. Как видно из схемы на рисунке 5.2.5.1. Давление на всех колёсах находится в рабочем диапазоне, и равно на всех колёсах при нагреве. Температура по дорожкам шин также лежит в рабочем диапазоне, а равномерный износ говорит о том, что угол развала установлен верно. Как следовало из предыдущих анализов, левый борт автомобиля загружен сильнее правого, это видно по износу. На левом борту износ практически в 2 раза больше, чем на правом. Это не



является тем результатом, к которому нужно стремиться и возможно, его получится устранить за счёт настройки шасси в сторону большей жёсткости, что поможет несколько снизить влияние высоты центра масс.

Далее обратимся к впечатлениям пилота от вождения. Анализировать слова гонщика о поведении автомобиля начнём по порядку. В 14 и 15 поворотах (связка самых медленных поворотов) присутствует вялость и медлительность в управлении, широкие манёвры, недостаток под газом. Это ключевые слова, описывающие оправление автомобилем в это связке поворотов. Обратимся к записанным данным.

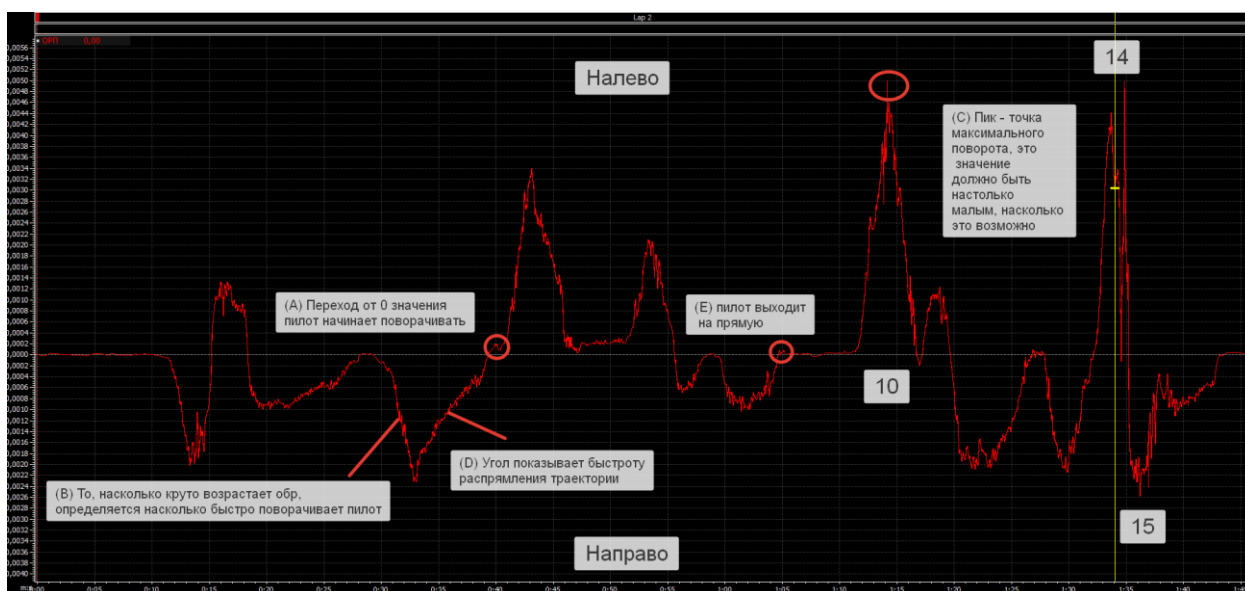


График 5.2.5.1 – График Кривизны траектории (КТ)

График 5.2.5.1 - представляет собой то, как сильно поворачивает машина имеет отношение к тому, как сильно пилот поворачивает руль, но это не одно и то же.

В зависимости от маневренности машины, угол поворота руля и угол поворота машины могут отличаться. Например, машина с недостаточной поворачиваемостью поворачивает меньше, чем задает рулем водитель. Обратный радиус поворота показывает: (A) - где водитель начинает поворот, (B) - как быстро водитель начинает поворот, (C) - где точка наибольшего поворота, (D) - как быстро водитель выходит из поворота, (E) - где

происходит распрямление траектории машины. Среди всей этой информации на самом деле вы должны сконцентрироваться только на точке максимального поворота и величины значения этой точки.

Поскольку оптимальная траектория та, которая имеет наибольший радиус, то это почти всегда будет та траектория, которая имеет наименьший пик на графике КТ.

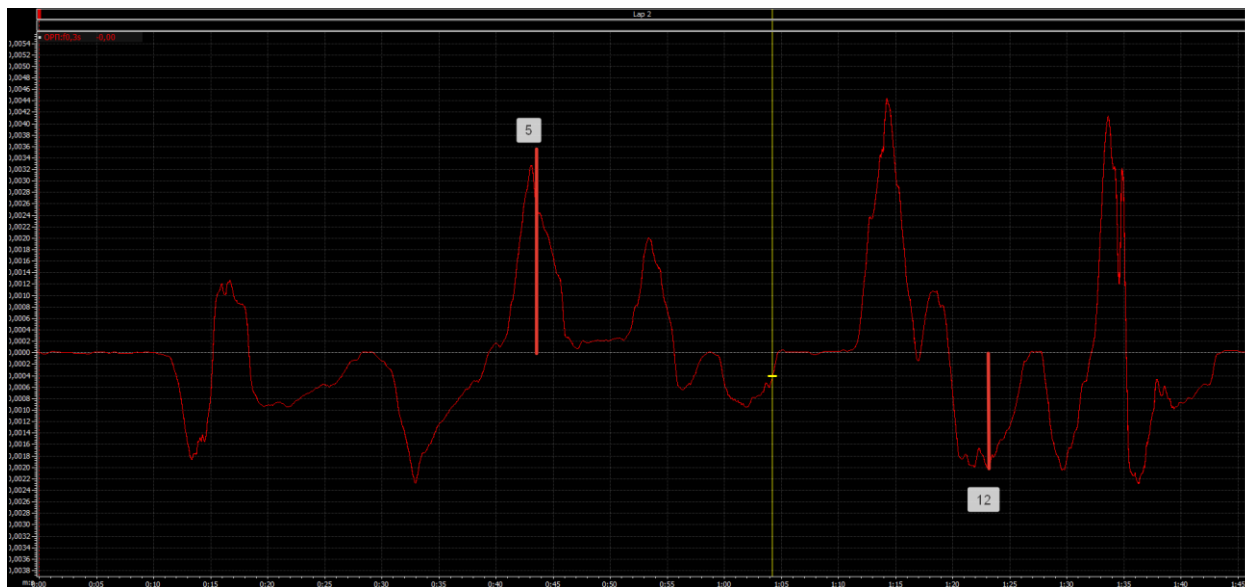


График 5.2.5.2 - повороты с постоянным радиусом на трассе Барселона.

График 5.2.5.2 – Apex поворота 5 на трассе Барселона.

Существует несколько основных видов поворотов. Знание их поможет вам быстрее найти оптимальную траекторию. Эти основные виды такие: “поворот с постоянным радиусом”, “поворот с увеличивающимся радиусом (раскрывающийся)”, “поворот с уменьшающимся радиусом (закрывающийся)”, “шпилька”. Повороты с постоянным радиусом имеют одинаковый Обратный радиус поворота Дистанция радиус на входе и на выходе.

Апекс находится в середине поворота. Поскольку радиус поворота не меняется, то и радиус гоночной траектории в первой и второй половине поворота одинаков, и угол поворота машины на входе зеркально отображается на выходе. По этой причине обратный радиус для поворота с постоянным

радиусом симметричен, как видно на графике ниже. Поворот с постоянным радиусом — это особый случай, когда апекс расположен в геометрическом центре поворота. В этом случае точка максимального поворота совпадает с апексом.

Второй вид поворотов - с увеличивающимся радиусом (раскрывающийся). Такие повороты имеют более тесный радиус в первой половине и раскрывающийся во второй. Оптимальная траектория в повороте достигается меньшим поворачиванием в первой части и большим во второй части поворота.

В результате меньшего поворачивания в первой части, пилот берет ранний апекс, до центральной точки поворота.

То, насколько ранним будет апекс зависит от конкретного поворота. Если радиус поворота в первой и второй половинах примерно одинаков - апекс будет прямо перед центром поворота. Если радиус второй половина намного больше, то апекс будет намного раньше центра.

Поворот с увеличивающимся радиусом показан ниже. Радиус второй половины немного больше первой, поэтому пилот берет апекс немного раньше центра поворота и поворачивает больше во второй половине поворота.

Поскольку пилот поворачивает больше во второй половине поворота, то пик графика обратного радиуса поворота скошен вправо, как видно на графике ниже. Это характеризует поворот с увеличивающимся радиусом или ранним апексом.

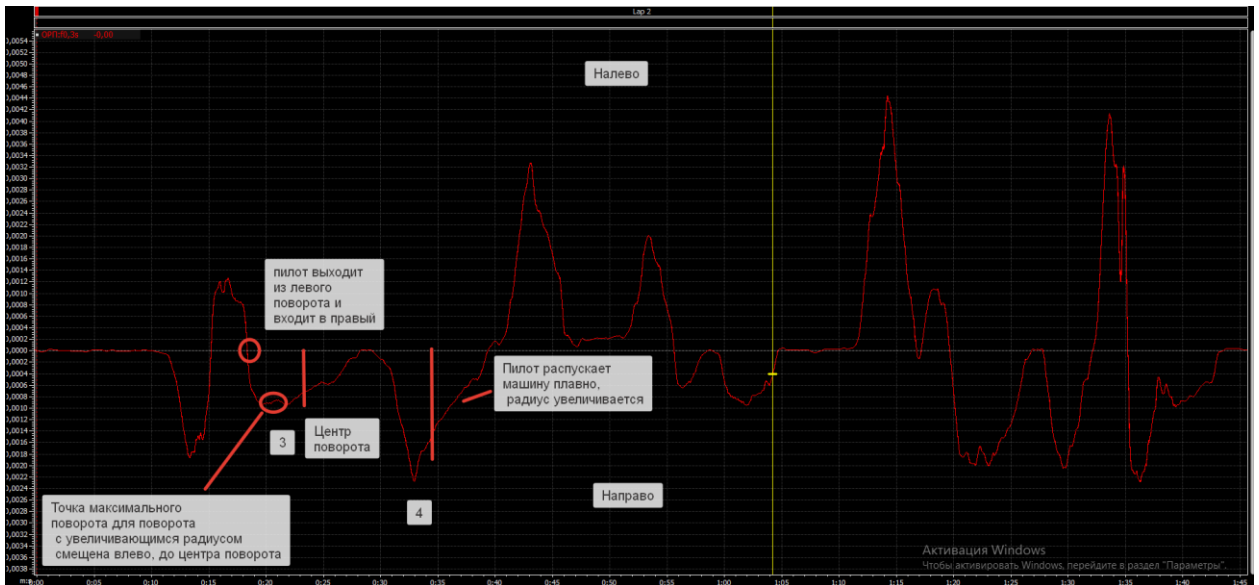


График 5.2.5.3. - повороты с увеличивающимся радиусом на трассе Барселона.



График 5.2.5.4 –Кривизна траектории в поворотах 14 и 15

График 5.2.5.4 показывает, как выглядит обратный радиус поворота, когда пилот изменяет траекторию уже в повороте. Он имеет многочисленные выступы, показывающие, что во время поворота пилот изменяет радиус траектории.

$$KR = \frac{a_y}{2}; (1.1)$$

Где:

$a_y$  – поперечное ускорение автомобиля,  $м/с^2$

$v$  – скорость движения автомобиля,  $км/ч$

Идеальный поворот не содержит таких выступов. Руление должно быть таким чтобы машина плавно заходила и затем выходила из поворота. Исключением является шпилька с двойным апексом, где радиус траектории может меняться в самом повороте.

Существует множество причин, по которым пилот может изменить траекторию в повороте, например трафик или обломки на трассе. Тем не менее это должно быть исключением, а не правилом. Изменение траектории стоит времени, если это случается каждый круг, то стоит пересмотреть подход, с которым пилот проходит поворот.

Повороты 14 и 15 являются связкой поворотов под 90 градусов, на внутренней части которых, расположены искусственные препятствия, наезд на которые может значительно изменить траекторию автомобиля и сбросить скорость.

График должен выглядеть подобно повороту с постоянным радиусом, с учётом связки между поворотами. Причина вида графика может быть попыткой адаптивования пилота под машину, корректировка руля связана с тем, что пилот не вписывался в поворот 15 и изменил траекторию. График в повороте 15 имеет такую форму по причине недостаточной поворачиваемой, о которой говорит пилот.

Такие же корректировки и поправки в управлении можно наблюдать на протяжении всего 3-го сектора, в отличии от первых двух.

Главное целью при прохождении поворота является уменьшение времени круга путем поддержания максимально возможной скорости.

Определение скорости для конкретной машины и поворота может быть упрощено использованием данных поперечного ускорения.

Поперечное ускорение — это комбинация скорости и крутизны поворота. Поскольку радиус оптимальной траектории постоянен, пилот может увеличивать поперечное ускорение только увеличением скорости прохождения поворота.

Максимальная скорость, которую машина способна поддерживать в повороте, будет затем иметь отношение к максимальному поперечному ускорению, которое может быть достигнуто в повороте.

Если машина имеет хороший аэродинамический пакет, то максимальное поперечное ускорение будет увеличиваться со скоростью.

Если такого пакета нет, то поперечное ускорение будет достаточно постоянным на любой скорости.

Неравномерная поверхность трека (различный материал, дождь на участке, масло и т.п.) также влияет на поперечное ускорение, которое может развить пилот в повороте.

Наклонный поворот (бэнкинг) будет влиять на поперечное ускорение. На бэнкинге датчик GPS зафиксирует большее поперечное ускорение, чем акселерометр. Это типичная ошибка регистраторов типа GPS и она может создать ложное впечатление, что пилот не достигает максимального поперечного ускорения в других поворотах

В высокоскоростных поворотах, как плоских, так и бэнкинге, поперечное ускорение может быть меньше просто потому, что машина не может развить достаточную скорость для максимального поперечного ускорения

Телеметрия поперечного ускорения может быть использована для индикации того, насколько пилот близко к грани максимального поперечного ускорения и, следовательно, максимальной скорости в повороте.

Если график поперечного ускорения плавный, значит пилот не борется за сцепление, он не достиг предела поперечного ускорения для машины.

Если график зазубренный, то это означает, что пилот прошел поворот на пределе сцепления. Первым поворотом для анализа следует выбрать тот, который имеет наибольшее поперечное ускорение. Выглядит ли график так, что пилот на грани сцепления?

Когда вы идентифицируете, где пилот проходит на грани сцепление, вы можете сравнить это с другими поворотами.

Если машина не имеет аэродинамического обвеса (или он не очень эффективный) и поверхность трека однородна, то максимальное поперечное ускорение, достигаемое в любом повороте, можно напрямую сравнивать, независимо от формы поворота.

Иначе можно сравнивать повороты с похожей относительной скоростью и одинаковыми условиями поверхности.

Так как рассматриваемый автомобиль обладает развитой аэродинамикой, то разобьем повороты на несколько категорий: Медленные повороты, среднескоростные повороты, скоростные повороты.

Таблица 5.2.5.1 Таблица градации поворотов по скоростному признаку

Тип поворота	Номер поворота	Особенности
Медленные повороты	10,12,14,15	Скорость ниже 105 км/ч
Среднескоростные	1,5,13	Скорость от 105 до 145 км/ч
Скоростные повороты	2,3,4,9,16	Скорость выше 145 км/ч

Первым делом определяем предельные ускорения в поворотах на данной скорости. Нужно принять к сведению, что форма и радиус поворота не столько важны при анализе графика поперечного ускорения.

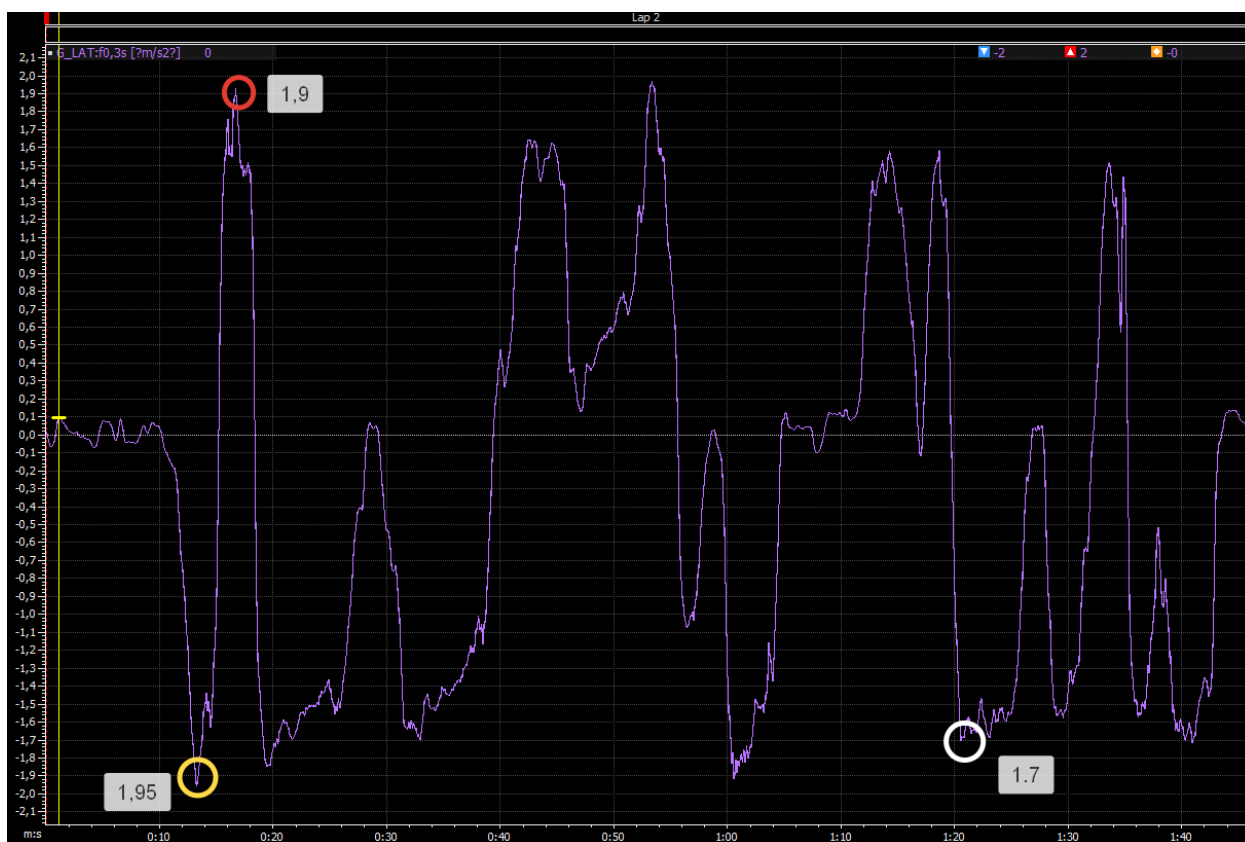


График 5.2.5.5 - график поперечных ускорений, жёлтый – среднескоростные повороты, красный – скоростные повороты, белый – медленные повороты.

Как видно из графика 5.2.5.5 - график поперечных ускорений в поворотах 1,2 и 10 имеют пиковые значения и ярко выраженную вершину, что говорит о том, что пилот проходил эти повороты на пределе сцепления. Разница, оказываемая прижимной силой равна 0.15 g.

Разница между скоростными и среднескоростными поворотами, а вернее практически её отсутствие может быть вызвана тем, что пилот не использует весь потенциал по сцеплению в этих поворотах, либо предел данных шин уже достигнут.



Анализ графика поперечного ускорения для полного круга - это быстрый способ увидеть, постоянно ли поддерживает пилот максимальную скорость в поворотах.

Если поперечное ускорение непостоянно, проверьте зазубрен или плавлен график, в качестве определения достижение максимального ускорения для конкретного поворота. Если пилот прошел на пределе, то разница в ускорении может быть из-за трека. Если пилот не добрался до предела, то разница из-за пилота.

График выше показывает данные для полного круга из предыдущего примера. Машина не имеет эффективного аэродинамического обвеса, поэтому скорость не влияет на максимальное поперечное ускорение машины, но трек очень холмистый, поэтому нельзя игнорировать влияние уклонов и бэнкинга.

Быстрый анализ показывает, что в целом пилот постоянно достигает большего поперечного ускорения в левых поворотах, чем в правых. Возможно, что это особенность вождения, либо машина неправильно настроена. Это требует дальнейшего исследования.

Из графика видно, что как в правых, так и в левых пилот достигает максимума по сцеплению, но это далеко не во всех поворотах. Адекватным окном работы по сцеплению считается 0.2 g. Проанализировав график можно заключить, что пилот едет не на грани сцепления в поворотах 4, 5, 10, 14. В поворотах 4,5 это может быть вызвано углом бенкинга, в таком случае данные зарегистрированы не совсем корректно.

Телеметрия положения педали газа - важный и простой для проверки канал данных. Он может показать нерешительность, моменты сноса (understeer) и скорость, с которой пилот добавляет/убирает газ. В каждом случае это легкий путь найти места для улучшения.

Иногда даже лучшие пилоты “забывают” использовать педаль газа на 100% на прямых. Это может быть вследствие усталости, нерешительности или

просто нетренированной правой ноги. Если машина на прямой и шины имеют достаточно сцепления - газ должен использоваться на 100%, с исключением в виде повышения передач.

Повышение передачи легко распознать как острый провал на графике позиции педали газа, который прерывает 100% газ. Некоторые водители отпускают при повышении передачи газ полностью, если вы видите это, то время проанализировать, может ли пилот вместо этого отпускать газ только частично для лучшего управления оборота при переключении.

Когда пилот разгоняется, вы должны видеть, как график позиции педали газа быстро и равномерно растет до 100%. В не очень мощных машинах он может быть почти вертикальным, т.к. пилоты нет необходимости беспокоится о потере сцепления, в мощных машинах рост графика будет с большим уклоном.

В зоне торможения пилот должен отпустить газ, поэтому позиция педали газа должна равно нулю или около нуля. Если машина имеет педаль сцепления, то вы также можете видеть подгазовки (blip) при понижении передач.

Длительные спады на графике, которые не опускаются до нуля, означают что пилот приотпускает газ для восстановления сцепления. Если вы видите это из круга в круг в одних и тех же местах, то это можно идентифицировать как участок, который можно улучшить. Если эти случаи не постоянны, то может быть это вследствие трафика или состояние трека на конкретном круге.

Сброс газа для перехода к торможению должен быть очень быстрым, с вертикальным падением кривой графика. Если положение педали газа уменьшается постепенно, когда пилот входит в зону торможения, то пилот нерешителен.

Графики на следующих нескольких страницах показывают различные ситуации, на которые стоит обращать внимание.

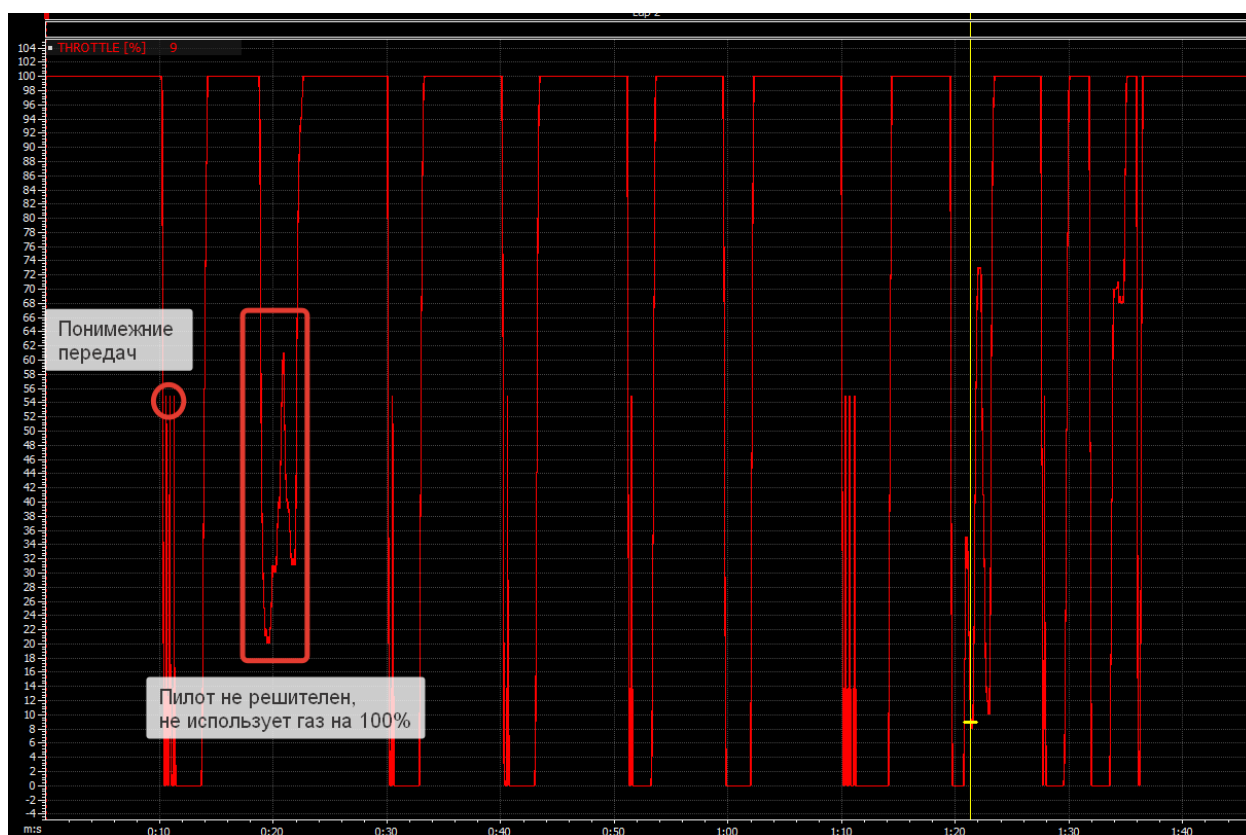


График 5.2.5.6 – график положения педали газа.

Из графика можно видеть, что пилот неуверенно себя ведёт в поворотах 3, 12, 14, 15. Повороты 3, 12 представляют собой полукруг и пилот не нажимает газ на 100% по нескольким причинам: достигнут предел по сцеплению, неверная траектория. Первая причина может быть связана с неверной настройкой шасси или не особенностями шасси в целом.

## 5.3 Первая итерация

### 5.3.1 Аэродинамика

Первым делом необходимо определиться с углами установки антикрыльев. Как правило, этот параметр редко подвергается частым корректировкам процессе настройки. Он влияет на работу всей подвески и скорость прохождения поворотов. Если мы имеем развитую аэродинамику и нерегулируемую коробку передач, то за счёт регулировки антикрыльев можно достичь небольшой корректировки скорости на прямых.

Проведя несколько испытаний с различными углами установки антикрыльев и различным балансом можно составить

следующую таблицу:

Таблица 5.3.1.1 Сравнительная таблица времени прохождения круга от выбранной настройки.

Настройка	Лучший круг	Среднее время.
Стандартная настройка	1:45.807	1:46.511
Увеличенная прижимная сила, баланс -2.0%	1:45.876	1:46.246
Увеличенная прижимная сила, баланс -2.2%	1:45.663	1:46.165
Увеличенная прижимная сила, баланс -2.6%	1:46.080	1:46.462
Увеличенная прижимная сила, баланс -1.6%	1:45.681	1:46.354
Уменьшенная прижимная сила, баланс -1.7%	1:45.984	1:46.546

На рассматриваемой трассе преобладают среднескоростные повороты, поэтому первым шагом будет попытка увеличить прижимную силу и посмотреть, что из этого выйдет. Как видно из таблицы лучшим вариантом с точки зрения скорости и стабильности оказался вариант с увеличенной прижимной силой и смещённым балансом на 0.2% назад. Карта настроек для данной настройки будет следующая:

Date	Track		Driver	Car	
06,05,2021	Barcelona-Catalunya		A. Koudrin	Mercedes AMG Gt-3	
	6 мм		BEST	1:45.663	AVG 1:46.165
	88,90,92	78,77,75	Внесённые настройки		
-0,1	4	4	-0,1		
-2,4	1,74/1,91	100%	1,79/1,91		
12,1	61,40%	14	12,1		
	0,4/0,4/0,4	0,2/0,2/0,2			
	0,4/0,4/0,4	35	0,2/0,2/0,2		
0,05	1,78/1,92	30 nm	1,82/1,91	Управляемость	Манёвренность
-2,3	4	4	-2,3	8	6
	86,87,89	82,80,79		Стабильность	Простота упрвления
	7			6	8
Медленные повороты					
быстрые повороты					
Если заранее корректировать траекторию и перераспределение веса, то управляемость стала лучше, но если немного ошибиться, то на выходе под газом сильно не хватает держака на передней оси					
Торможение, вход в поворот					
Разгон, выход из поворота					

Рисунок 5.3.1.1 - карта настроек

Из карты настроек видно, что с большей частью проблем нам удалось справиться. Видно, что по ощущениям управляемость и манёвренность немного увеличились, но стабильность стала хуже. Пилот жалуется на недостаточную поворачиваемость в среднескоростных и высокосортных поворотах, (рис. 5.3.1.1).

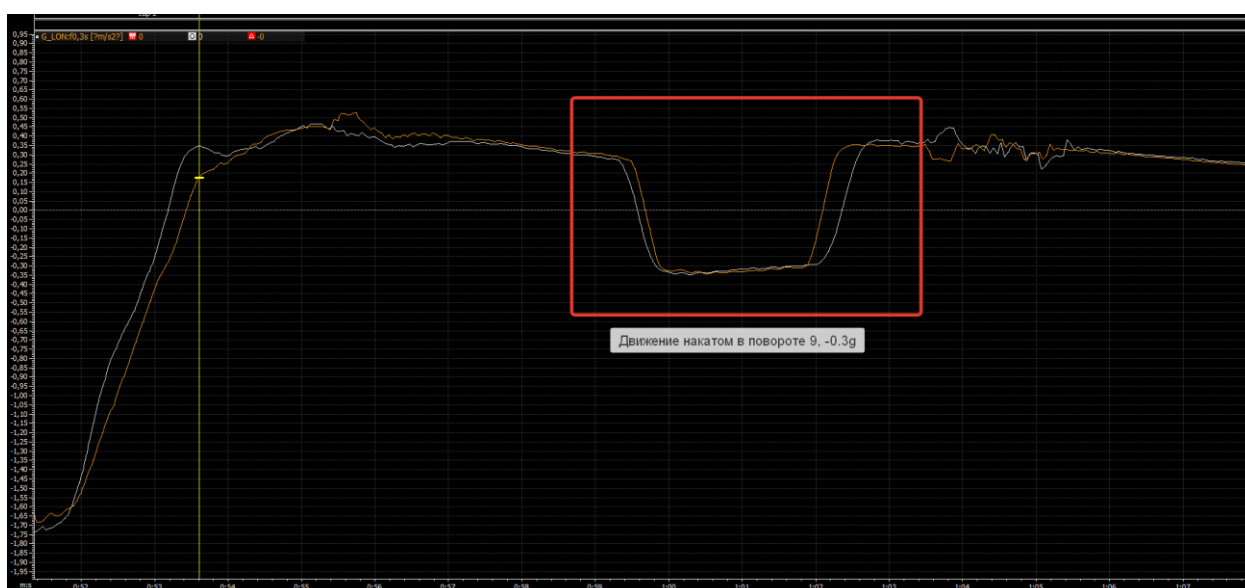
В идеале пилот должен либо разгоняться, либо тормозить. Когда пилот не нажимает ни на тормоз, ни на газ, то машина идет накатом.

Движение накатом обычно случается перед поворотом, например, когда пилот отпускает газ и идет накатом перед торможением, или когда тормозит слишком рано и затем идет накатом ко входу в поворот

Есть только единственный случай, когда идти накатом допустимо, это так называемая “передышка” (the breathe). В этом случае пилот отпускает газ на очень короткое время для стабилизации машины перед входом в поворот. Обычно это высокоскоростной поворот, который не требует торможения, но стабилизация машины перед ним будет полезной. “Передышка” должна длиться меньше секунды, если больше, то пилоту следует пересмотреть свой подход к повороту.

За исключением “передышки”, двигатель не должен использоваться для замедления машины, торможением двигателем не делает торможение более эффективным. Двигатели разработаны для ускорения, тормоза сделаны для замедления.

Движение накатом легко определить в графике продольного ускорения. Оно характеризуется отрицательным ускорением, которое значительно меньше чем пик отрицательного ускорения в результате торможения.



Отрицательное ускорение при движении накатом генерируется в результате торможения двигателем, аэродинамического сопротивления и трения.

В повороте 9 отрицательное ускорение в  $-0,3g$  гораздо меньше отрицательного ускорения в результате торможения, которое может достигать как минимум  $-2g$ . Оно также длится дольше.

Различные двигатели и аэродинамические обвесы могут показывать различные степени замедления для различных машин. Смотрите на отрицательное продольное ускорение, которое значительно ниже максимального, которое может достигаться в результате использования тормозов.

Как видно, движение накатом длится около 2-х секунд. Это мы попробуем исправить корректировкой настроек шасси в дальнейшем.

Теперь попробуем определить в какие моменты возникает недостаточная поворачиваемость автомобиля на примере настройки с увеличенной прижимной силой и уменьшенной.

Снос возникает, когда в повороте оказывается превышен предел сцепления передних колес. В результате машина больше не может развивать прежнее поперечное ускорение и расширяет траекторию. Это отображается впадиной на графике поперечного ускорения. Практика показывает, что моменты сноса “долгоживущи” и продолжаются обычно больше, чем полсекунды. Не стоит беспокоиться о событиях короче этого времени, если пилот не говорит обратного.

На треке не всегда легко определить разницу между нейтральным поведением и сносом. Положение педали газа поможет идентифицировать это, т.к. реакцией на снос будет ее приотпускание.

Если у вас нет сенсора положения педали газа, то может помочь сравнение с другими кругами. Если снос происходит постоянно, значит пилот перепилотирует машину. Результатом будет худшее время круга. Поэтому меняйте либо настройки машины, либо стиль вождения.

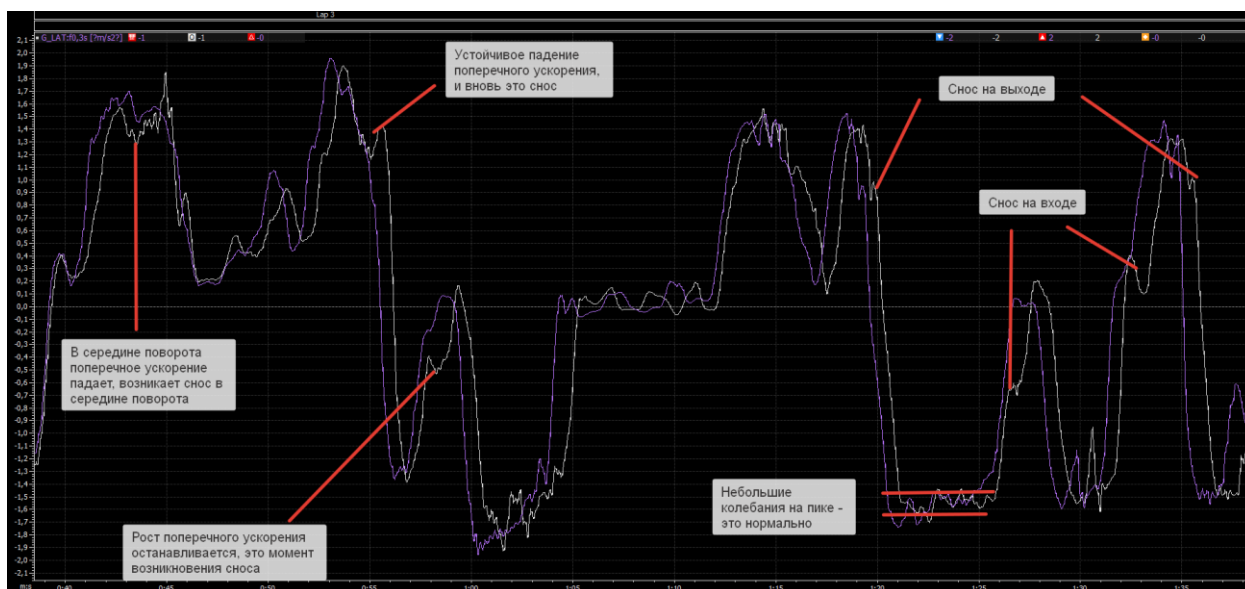


График 5.3.1.3 сравнение поперечных ускорений лучшего и худшего круга с увеличенной прижимной силой.

Снос на входе вызывается слишком быстрым входом в поворот.

График 5.3.1.3 показывает, как выглядит снос на входе на телеметрии. Поперечное ускорение вначале быстро возрастает, но затем останавливается — это момент сноса. Быстрый рост после этого показывает, что пилот восстановил сцепление

Снос в середине поворота может быть вызван слишком большой скоростью для данного радиуса поворота.

График показывает, как машина быстро достигает максимального поперечного ускорения, но в середине поворота пилот слишком сильно поворачивает для своей скорости и поперечное ускорение уменьшается, т.к. машину сносит. Впадина в графике — это снос в середине поворота.



Снос на выходе может быть вызван тем, что пилот дает слишком много газа при выходе из поворота.

График выше, что начало и середина поворота пройдены хорошо, но на выходе пилот дает газ слишком быстро и в результате сталкивается со сносом на выходе.

Далее сравним как отразилось увеличение прижимной силы на скорости на прямых.

Переключение передач при правильных оборотах важно для максимально возможного ускорения. Если пилот переключается слишком рано или слишком поздно, то максимальное ускорение машины не достигается, ухудшая время круга.

Правильная точка для повышения передачи та, в которой продольное ускорение машины на текущей передаче равно продольному ускорению, которое может быть достигнуто на следующей повышенной передаче. Это справедливо вне зависимости от характеристик двигателя или соотношения передаточных чисел КП.

В этой точке, если пилот продолжает движение на текущей (низкой) передаче, то ускорение машины будет меньше, чем то, которое могло бы быть достигнуто на следующей передаче.

Если же пилот повышает передачу до этой точки, то большее ускорение на предыдущей передаче заменяется на меньшее ускорение на более высокой передаче

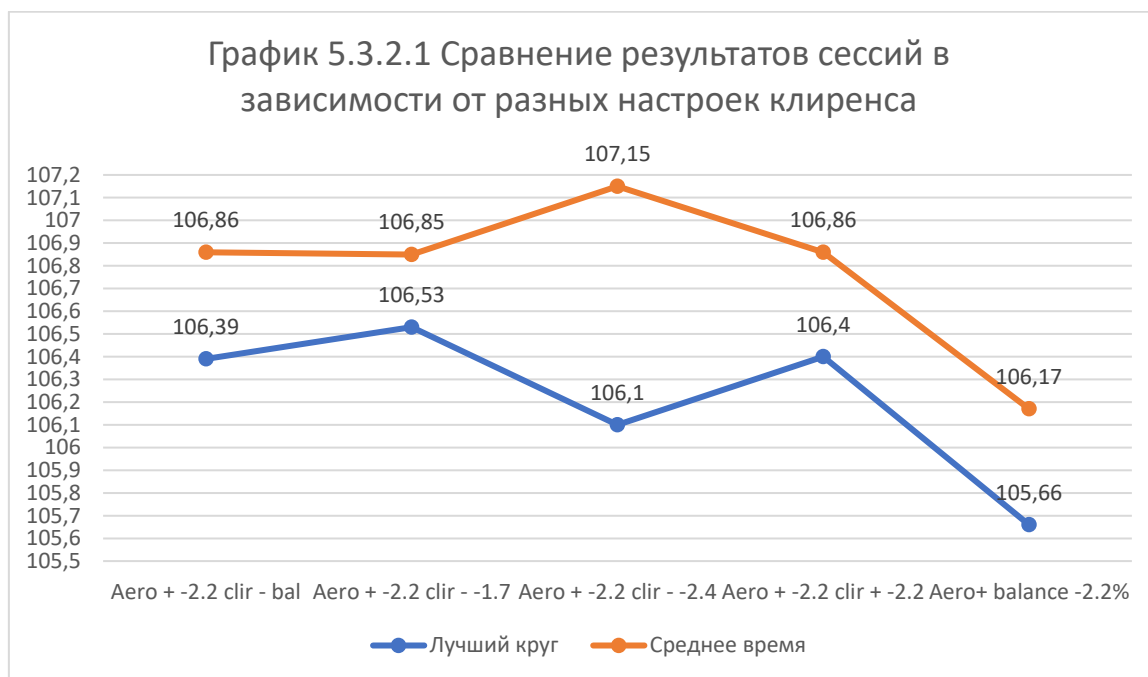
В данных продольного ускорения правильные точки переключений могут быть обнаружены путем рисования линий тенденций ускорения для каждой передачи. Пересечение этих линий будут являться наилучшими точками для повышения передачи.

На графике ниже, если линии будут продолжены, то они пересекутся в центре повышения передачи, т.е. пилот переключается при правильных RPM.

### 5.3.2 Клиренс

Следующим шагом базовой настройки будет являться определение клиренса автомобиля. По идеи, клиренс должен быть настолько низким, насколько это возможно, пока днище автомобиля не начнёт чиркать неровности трассы. В этом случае мы получаем более низкий центр тяжести, меньшее перераспределение веса по колёсам, лучшую аэродинамику. Но нельзя забывать про геометрию подвески, которая также изменится. Изменение геометрии подвески и кинематики как следствие может нанести лишь вред.

Взглянем на итоговую график результатов с различными положениями клиренса автомобиля:



В целом, тенденция изменения клиренса автомобиля не пошла на пользу. Как видно из результатов, увеличение или уменьшение дорожного просвета лишь ухудшало время прохождения круга, в сравнении со стандартным клиренсом (последняя точка графика 5.3.2.1). При изменении

баланса автомобиля, наблюдалась та же тенденция, что и при изменении баланса при помощи аэродинамики.

### 5.3.3. Дифференциал

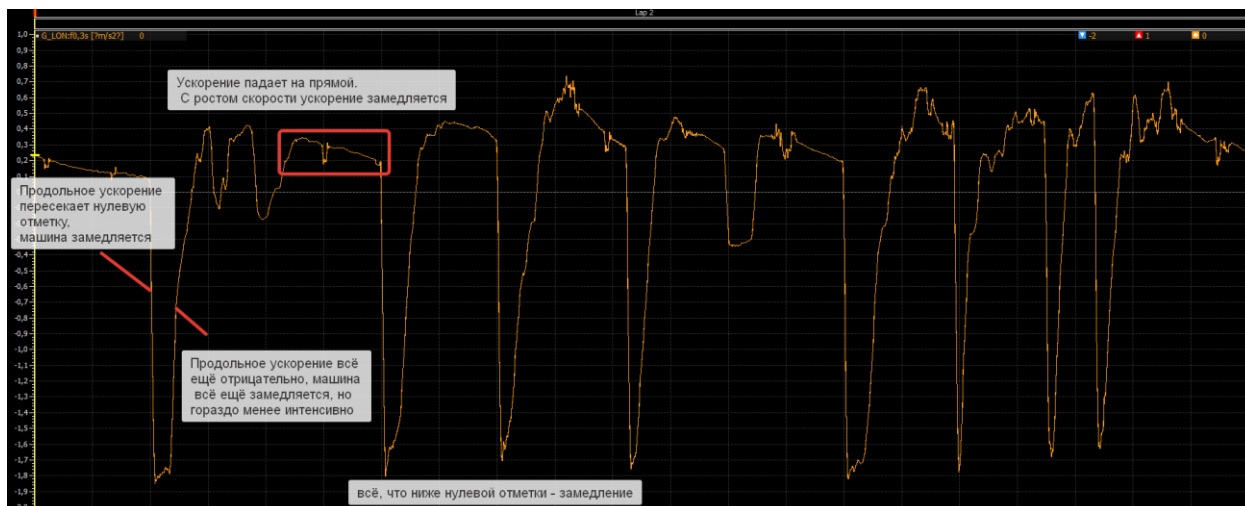


График 5.3.3.1- График продольного ускорения

Продольное ускорение - результат сил, действующих на машину в направлении движения или против него. Таких как ускорение или торможение.

График 5.3.3.1 показывает типичную телеметрию продольного ускорения для одного круга. Все что выше нулевой линии - это ускорение машины по ходу движения и, следовательно, увеличение скорости. Данные около нулевой отметки означают, что машина не ускоряется и, следовательно, движется с постоянной скоростью. Если данные ниже нуля - машина замедляется и, следовательно, теряет скорость.

Некоторые датчики могут показывать инвертированные данные, проверьте свой, сравнивая с картой трассы

Данные продольного ускорения не содержат информацию о скорости. Чтобы иллюстрировать это, рассмотрим следующую секцию из предыдущего графика

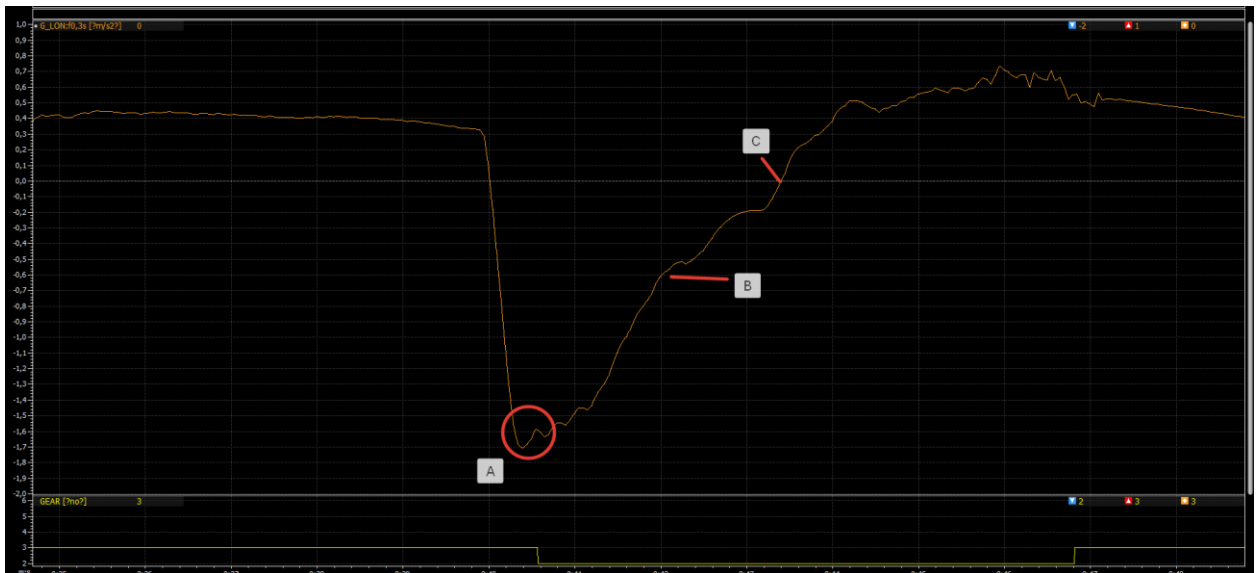


График 5.3.3.2 – График продольного ускорения

Данные относятся к ускорению на прямой, торможение для входа в поворот и затем ускорение на следующей прямой.

В точке В почти, естественно, подумать, что машина набирает скорость, поскольку график увеличивается. Тем не менее, график все еще ниже нулевой отметки, поэтому машина по-прежнему замедляется. Просто это не такое интенсивное замедление, как в точке А. Машина начинает ускоряться только в точке С, где график пересекает нулевую отметку

График замедления должен быть настолько резким, насколько это возможно. Быстро уходить из положительного значения в отрицательное и так же быстро возвращаться.

Поперечное ускорение — это результат сил, действующих на машину в направлении левой или правой сторон. Например, при повороте

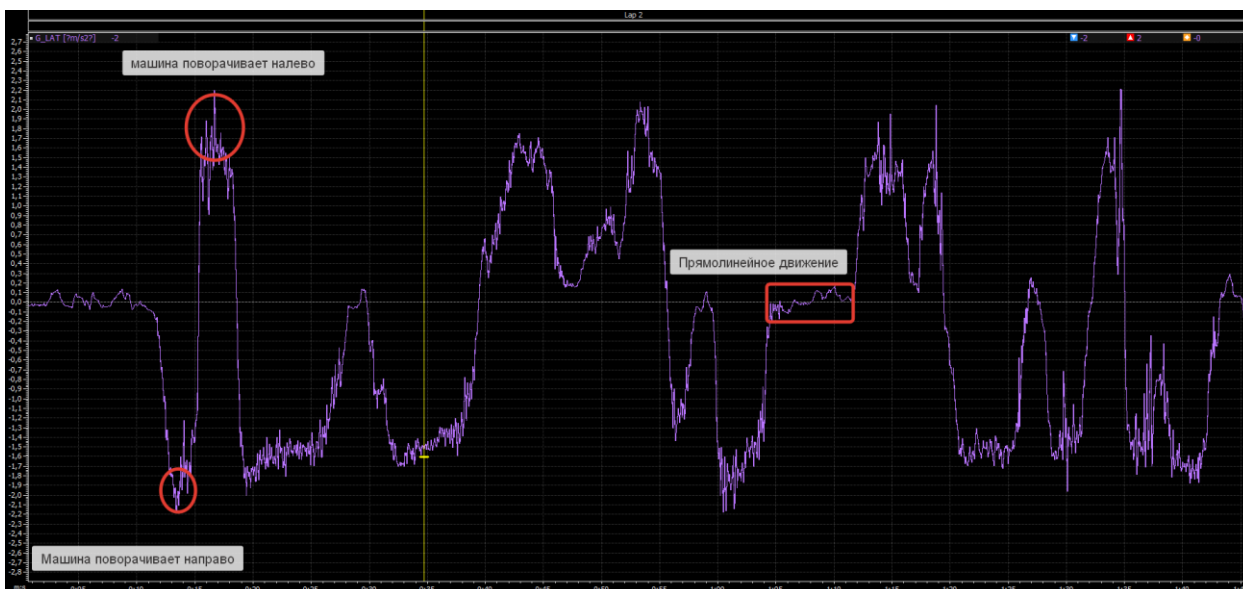


График 5.3.3.3 – график поперечного ускорения

График 5.3.3.3 показывает типичную телеметрию поперечного ускорения для одного круга. Всегда, когда данные выше нулевой отметки, машина поворачивает направо. Если данные близки к нулю, то машина не поворачивает и, следовательно, движется по прямой. Если данные ниже нулевой отметки, то машина поворачивает налево.

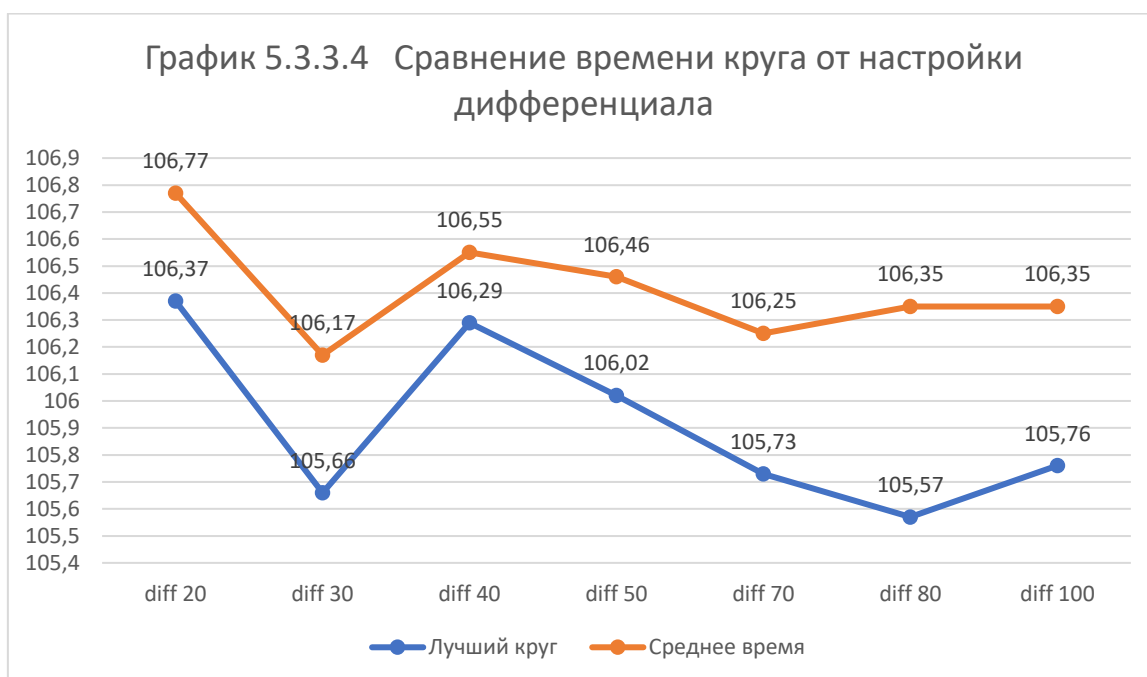
Некоторые датчики могут показывать инвертированные данные, поэтому проверьте свой, сверяясь с картой трека.

Этот график сам по себе не содержит информацию о том, насколько круто поворачивает пилот.

Крутой поворот, пройденный на малой скорости, где водитель очень сильно поворачивает, может генерировать такое же поперечное ускорение, как пологий поворот, пройденный на высокой скорости, где пилот только немного поворачивает. Так происходит потому, что поперечное ускорение - это комбинация скорости автомобиля и радиуса поворота.

Прохождение поворота можно условно разбить на 5 частей: торможение на прямых колёсах, вход в поворот, вершина поворота, выход из поворота и разгон на прямых колёсах. Дифференциал главным образом работает на 2,3 и 4 этапах поворота.

Преднатяг дифференциала определяет степень нагрузки, при которой дифференциал начинает свою работу. Чем выше преднатяг, тем позднее и в более нагруженных поворотах начинает работать дифференциал. Увеличение этого параметра может привести к недостаточной поворачиваемости при сбросе газа и избыточной поворачиваемости при разгоне. Так же эта настройка позволит несколько быстрее разогнаться на выходе из поворота, так как крутящий момент будет равномерно распределён по ведущим колёсам.



Как видно из графика 5.3.3.4, лучшие времена удалось поставить при настройке дифференциала 30 нм и 80 нм. С учётом погрешности пилота эти времена можно считать одинаковыми, но вот стабильность во втором случае 0.3 секунды ниже. Нужно принять решение, какая из настроек даёт наибольшее преимущество и можно ли как-то скомпенсировать эту разницу в темпе другими настройками.

Таблица 5.3.3.1 сравнение лучших секторов сессий прохождения трассы с различными настройками дифференциала и теоретический лучший круг

Преднатяг, н*м	Сектор 1	Сектор 2	Сектор 3	Теоретический лучший круг
Diff 30	00:29.748	00:40.536	00:35.379	1:45.663
Diff 40	00:29.775	00:40.638	00:35.382	1:45.795
Diff 50	00:29.769	00:40.575	00:35.364	1:45.708
Diff 70	00:29.766	00:40.494	00:35.349	1:45.609
Diff 80	00:29.790	00:40.488	00:35.061	1:45.339
Diff 100	00:29.829	00:40.515	00:35.196	1:45.540

Трасса условно разделена на 3 сектора. В первом секторе преобладают высокоскоростные повороты, во втором секторе среднескоростные и в последнем медленные повороты. Как видно из таблицы в высокоскоростных поворотах изменение настроек дифференциала не оказывает никакого влияние. В среднескоростных поворотах разница лежит в пределах погрешности пилота, а вот в третьем секторе разница составляет целых 0.3 секунды. Как раз в таких поворотах лучше всего и видна работа дифференциала. В отличие от скоростных поворотов с большим радиусом поворота, извилистые связки и большая сила тяги влияют на включение дифференциала в работу, перераспределение крутящего момента по колёсам и, как следствие, ухудшают разгон.

Несмотря на немного большую разницу между лучшим кругом и средним временем сессии, предпочтём настройку дифференциала равную 80 нм. Это связано с большой разницей между теоретическим лучшим кругом, равной 0.4 секунды. Стабильность постараемся улучшить корректировкой дальнейших настроек.

#### 5.3.4 Стабилизаторы

Фрикционный круг - простой способ быстро определить эффективность пилота. Он составляется смещением данных поперечного ускорения по оси X с данными продольного ускорения по оси Y.

Форма фрикционного круга примерно одинакова для всех машин, вне зависимости от типа машина и трассы. Это хороший инструмент для определения, насколько хорошо пилот ведет машину по всему треку.

Принцип фрикционного круга основан на максимальном сцеплении, которое могут генерировать шины. В конце концов, шины - это то, что формирует пятно контакта между машиной и треком, поэтому предел эффективности определяется сцеплением (или трением) между шинами и трассой. Шины имеют определенный запас сцепления, как только достигается его 100%, шины не могут дать ничего больше. Например, если пилот использует 100% возможности сцепления для торможения (это называется *threshold braking*), то шины не способны в это же самое время поворачивать. Если пилот использует 100% из их возможностей для поворота, то шины не способны в то же самое время тормозить или разгоняться. Если пилот использует 100% для разгона, то они не способны поворачивать. Или пилот может использовать шины для выполнения комбинации задач, которые в сумме будут использовать 100% возможностей шин

Снос или недостаточная поворачиваемость( *understeer*) - это классический пример превышения 100% способностей шин. Например, недостаточная поворачиваемость на выходе из поворота возникает, когда пилот пытается поворачивать и затем разгоняться слишком интенсивно так, что 100% возможностей сцепления шин оказываются превышены

Возможности сцепления шин могут быть видны в телеметрии продольного и поперечного ускорения. Объединяя эти два канала в один график, легко проанализировать, насколько хорошо пилот использует шины

Если пилот использует 100% возможностей сцепления шин, то фрикционный круг будет идеальным кругом. График ниже показывает последовательность идеального поворота. Ключевые моменты: (а) пилот



разгоняется на прямой. Продольное ускорение максимально, в то время как поперечное ускорение равно нулю (пилот движется прямолинейно)

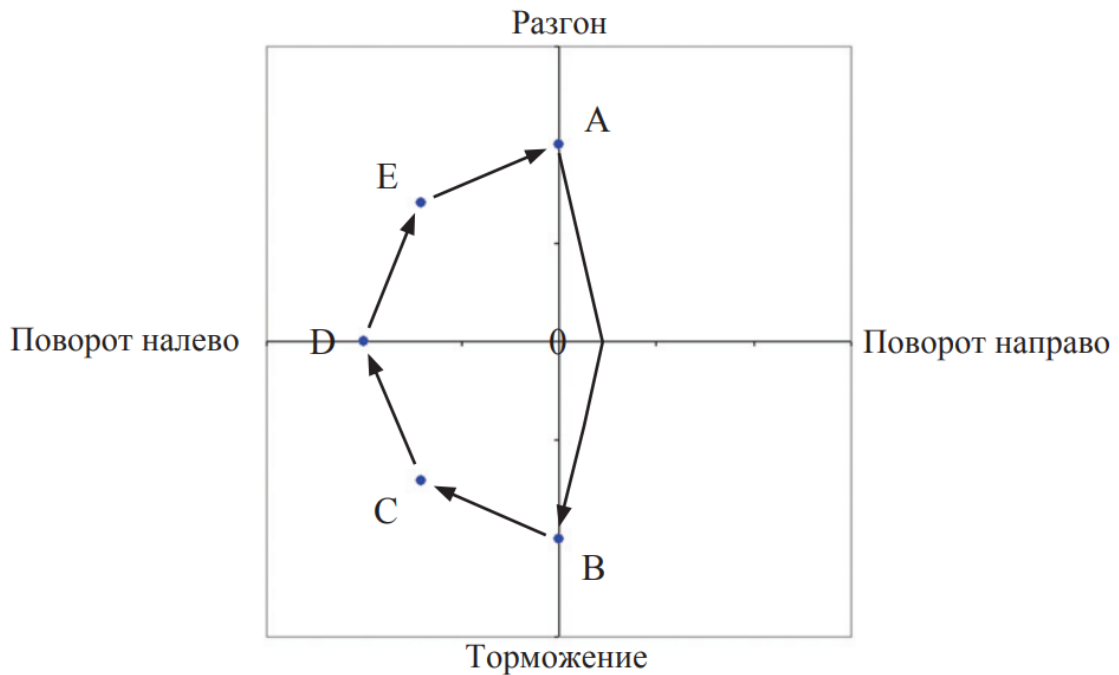


Рисунок 5.3.4.1 – расшифровка фрикционного круга

(б) пилот переходит от полного газа к интенсивному торможению (threshold braking) с ничтожным временем перехода. Продольное ускорение здесь на максимуме отрицательного значения, в то время как поперечное ускорение равно нулю (пилот тормозит на прямой). Обратите внимание, что идеальная эффективность шин позволяет пилоту разгоняться и тормозить с равными по абсолютной величине ускорениями.

(с) Пилот все еще тормозит (отрицательное продольное ускорение), но уже не на пределе максимальной возможности торможения. Пилот отнимает немного возможностей шин от торможения для способности поворота (поперечное ускорение уже не равно нулю). Объединенное ускорение из торможения и поворота дает 100% возможностей шин.

(d) Пилот больше не ускоряется и не замедляется, что показывает нулевое продольное ускорение, все сцепление шин используется для поворота. Это пик поперечного ускорения

(e) Выходя из поворота, пилот больше не нуждается во всей возможности сцепления шин для поворота. По мере выхода из поворота (поперечное ускорение начинает уменьшаться), оставшееся сцепление шин используется для разгона.

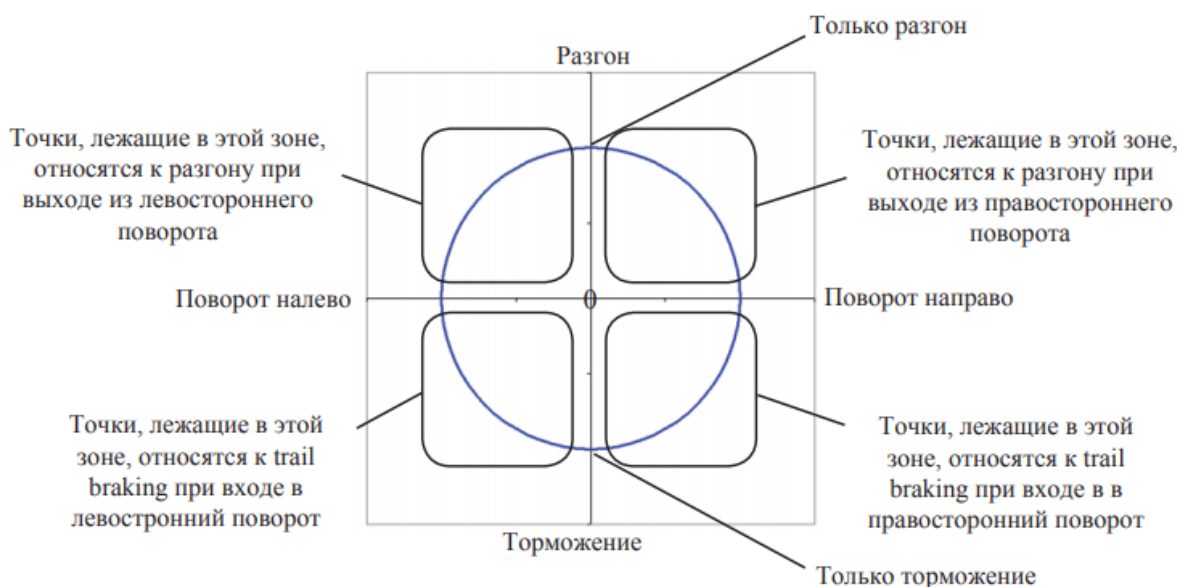


Рисунок 5.3.4.2 – Зоны фрикционного круга

Предыдущая диаграмма показывает только 5 точек данных. Тем не менее, запись данных для целой гонки будет содержать множество точек, которые будут создавать форму круга, отсюда и название “фрикционный круг”. В этом случае пилот использует всю возможность сцепления шин на полном треке, невозможно вести машину хоть насколько-то быстрее.

Реальный фрикционный круг не будет таким же хорошим, как идеальный. Например, ускорение машины на прямой никогда не будет таким же большим, как при торможении или повороте. В результате верхняя часть графика всегда будет более плоской в сравнении с остальным кругом.

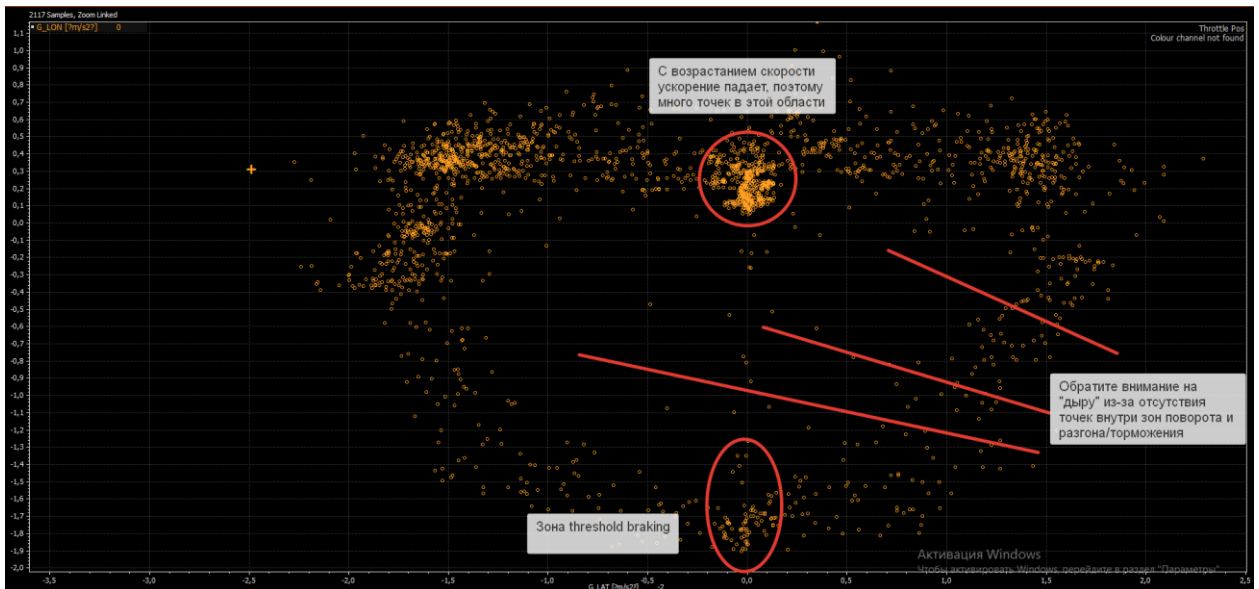


Рисунок 5.3.4.1 – Фрикционный круг виртуального заезда

Выше показан фрикционный круг для случая, когда пилот использует шины эффективно.

Наиболее важный момент - “дыра” в нижней половине круга. Это иллюстрирует то, что пилот использует шины на максимум. Обратите внимание, что чем больше дыра, тем лучше, но нет какого-то абсолютного значения, насколько большой она должна быть.

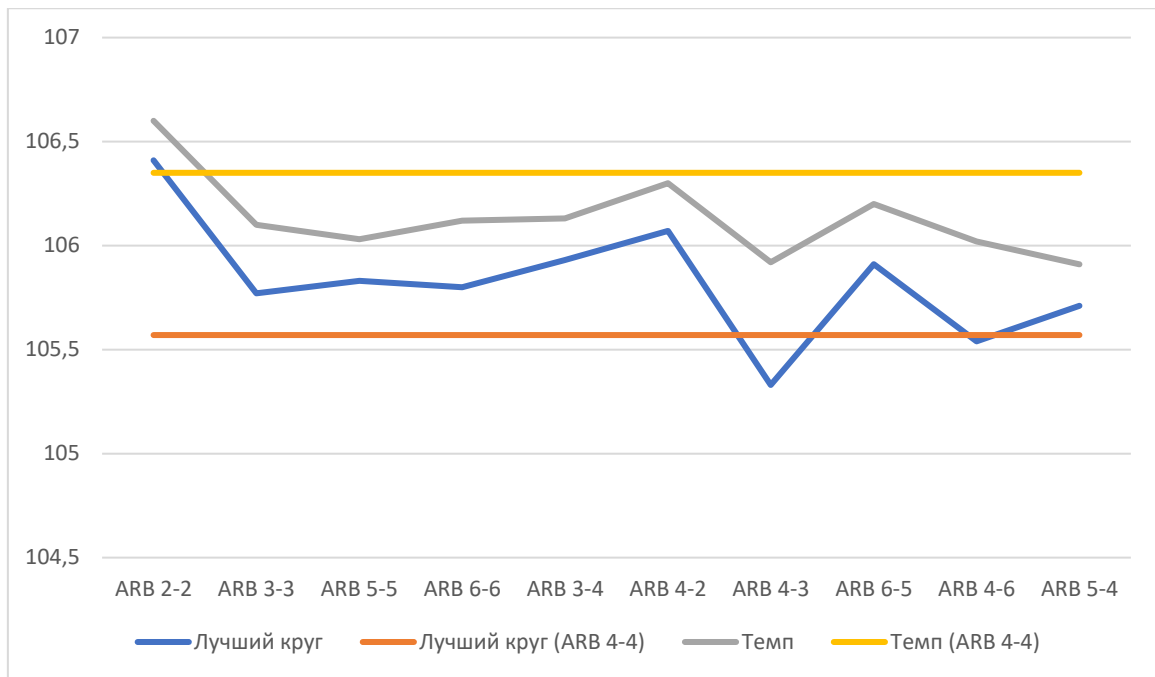


График 5.3.2 – график изменений времени и темпа в зависимости от внесённых настроек

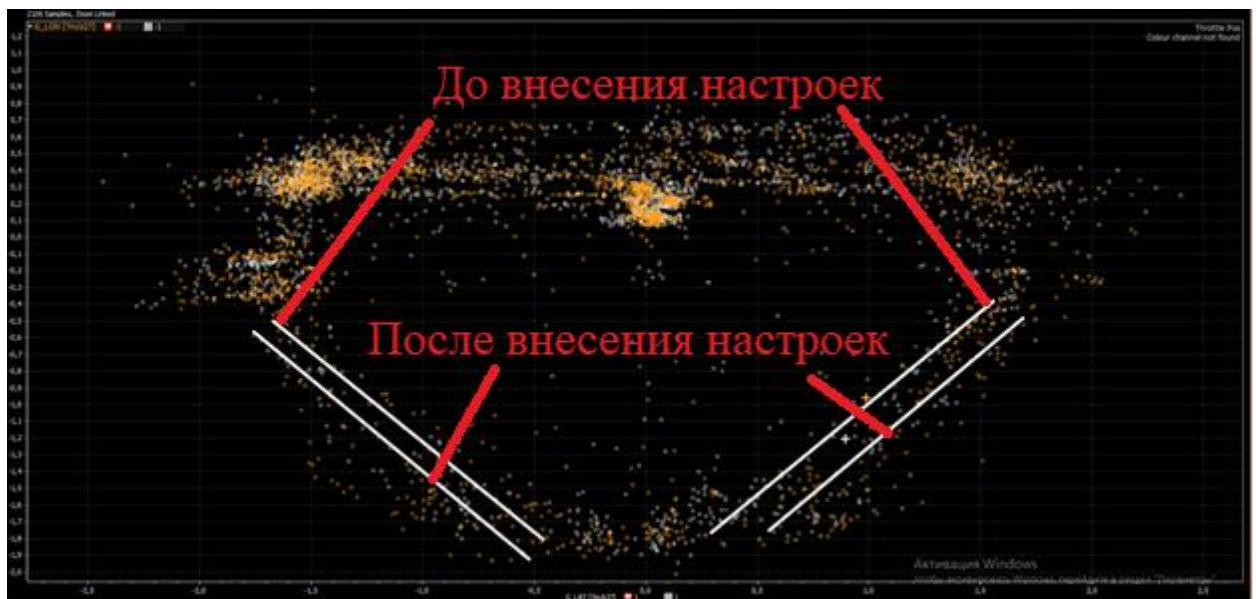


Рисунок 5.3.3 – Фрикционный круг до внесения настроек и после

Как видно из графика при настройке заднего стабилизатора в моменте треилбрейкинга шины стали больше реализовывать сцепные свойства. За счёт того, что задняя часть стала более мягкой, повысились сцепные свойства шин с дорогой.

### 5.3.5 Пружины и амортизаторы

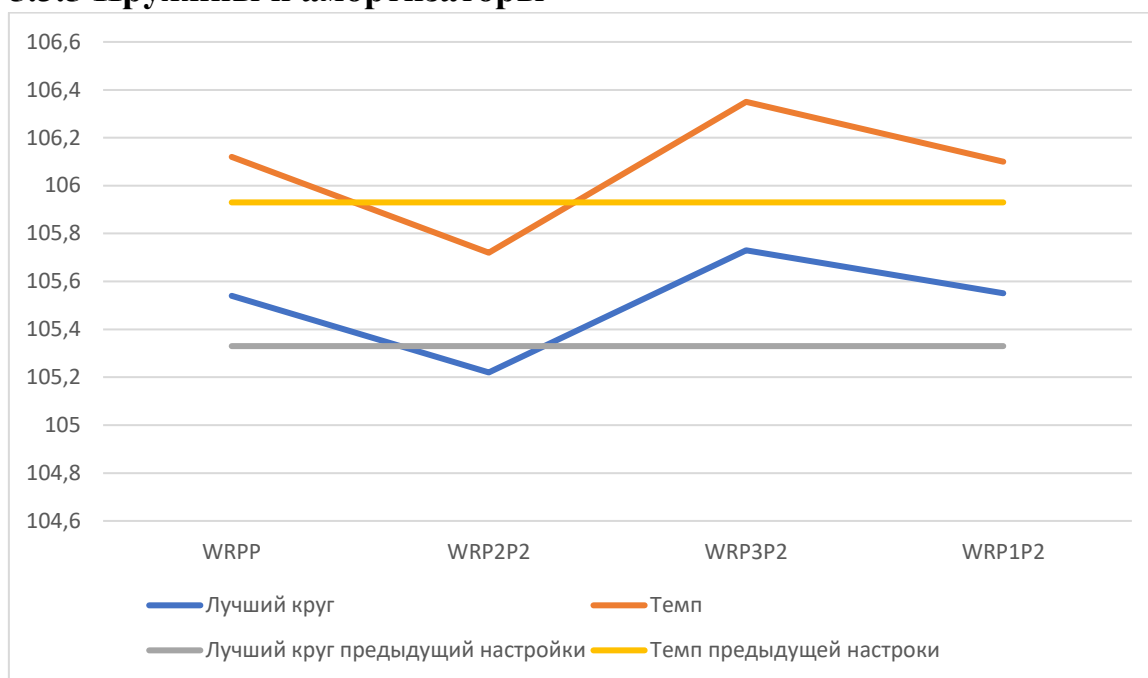


График 5.3.5.1 - график зависимости выбранной настройки от времени прохождения круга

Теперь мы переходим к более тонким параметрам настройки, которые имеют множество регулировок. Настройка этих параметров несёт заключительный характер и должна решить оставшиеся проблемы, возникающие при управлении автомобилем.

Основная проблема, прослеживающаяся на протяжении всех вышеперечисленных регулировок, - недостаточная поворачиваемость на выходе из поворота.

Для того, чтобы решить этот вопрос теоретически необходимо сделать мягче передние пружины, но в нашей настройке передние пружины и так установлены самые мягкие, поэтому придётся искать другое решение.

Так же, ещё одной проблемой можно считать неудовлетворительный темп пилота. Разница между лучшим и средним кругом чаще всего оказывалась около 0.6 секунды, а пилот часто жаловался на те или иные огрехи в управлении автомобилем, которые являлись причинами ошибок.

Чтобы решить эту проблему попробуем увеличить жёсткость передних и задних пружин. И действительно, как видно из графика ( WRPP – wheel rate plus plus, жёсткость пружины спереди и сзади увеличена.) при увеличении жёсткость пружин сцепление с трассой стало выше.

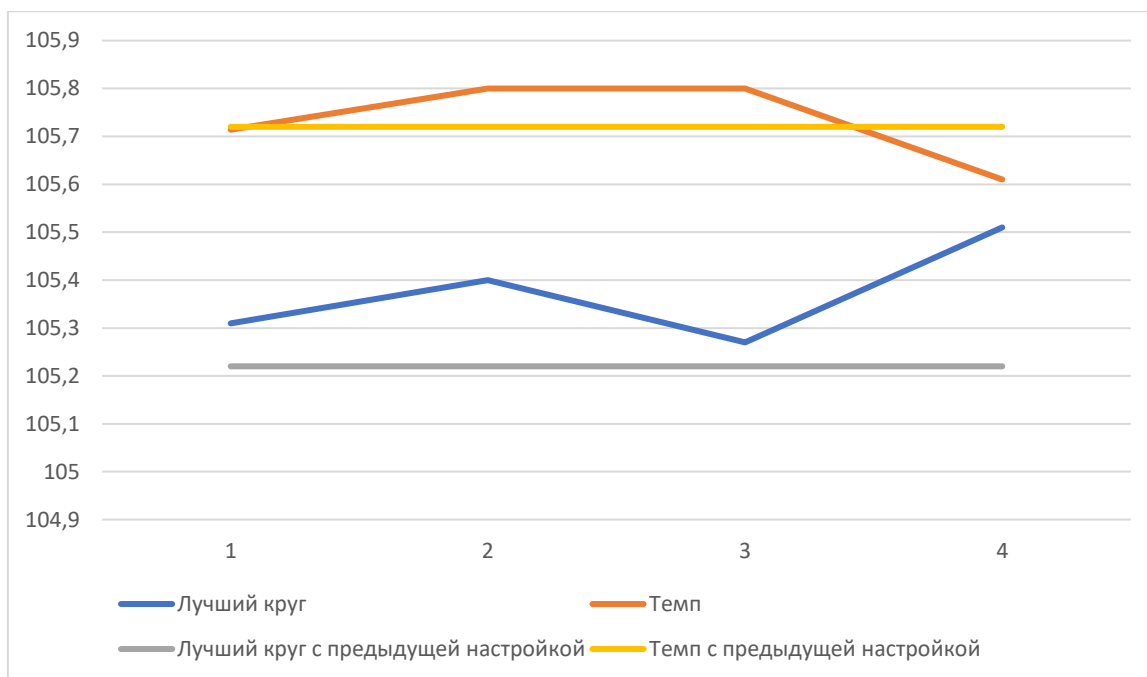


График 5.3.5.2 - график зависимости выбранной настройки от времени прохождения круга

При настройке амортизаторов исходим из следующей логики: трасса является ровной, без ям и кочек, трассе равномерно разделена на 3 сектора: скоростные повороты, среднескоростные повороты и медленный сектор. Исходя из этого попробуем наставить амортизаторы жёстче.

При торможении заметен клевок автомобиля, а в скоростных поворотах заметный крен, попробуем увеличить жёсткость сжатия спереди и сзади (настройка 4), жёсткость отбоя сзади сделаем чуть мягче (настройка 1), а спереди чуть жёстче (настройка 2). Также пилотом была замечена особенность, что при таком комплекте пружин и более жёстких амортизаторах нужно избегать наезда на поребрики, попробуем сделать мягче настройку быстрого сжатия (настройка 3).

Из графика видно, что настройка более мягкого быстрого сжатия, чуть более мягкого отбоя сзади, более жёсткого сжатия спереди является лучшим решением, но всё равно немного недотягивает, то стандартной настройки. Чтобы в таком случае принять решение, обратимся к времени по секторам.

Таблица 5.3.5.1 – время прохождения участков трассы в зависимости от настройки

Настройка	Сектор 1	Сектор 2	Сектор 3	Теоретический лучший круг
Настройка 3	00:29.644	00:40.507	00:35.122	1:45.017
Предыдущая настройка	00:29.695	00:40.672	00:35.221	1:45.222

Настройка 3 имеет больший потенциал по скорости, поэтому она будет утверждена.

### 5.3.6 Углы установки колёс

Настройка кастора (продольный угол наклона поворотной оси) в текущей ситуации не требуется, но всё же проведём несколько заездов с изменённым кастором, чтобы понять, как его изменение влияет на время круга.

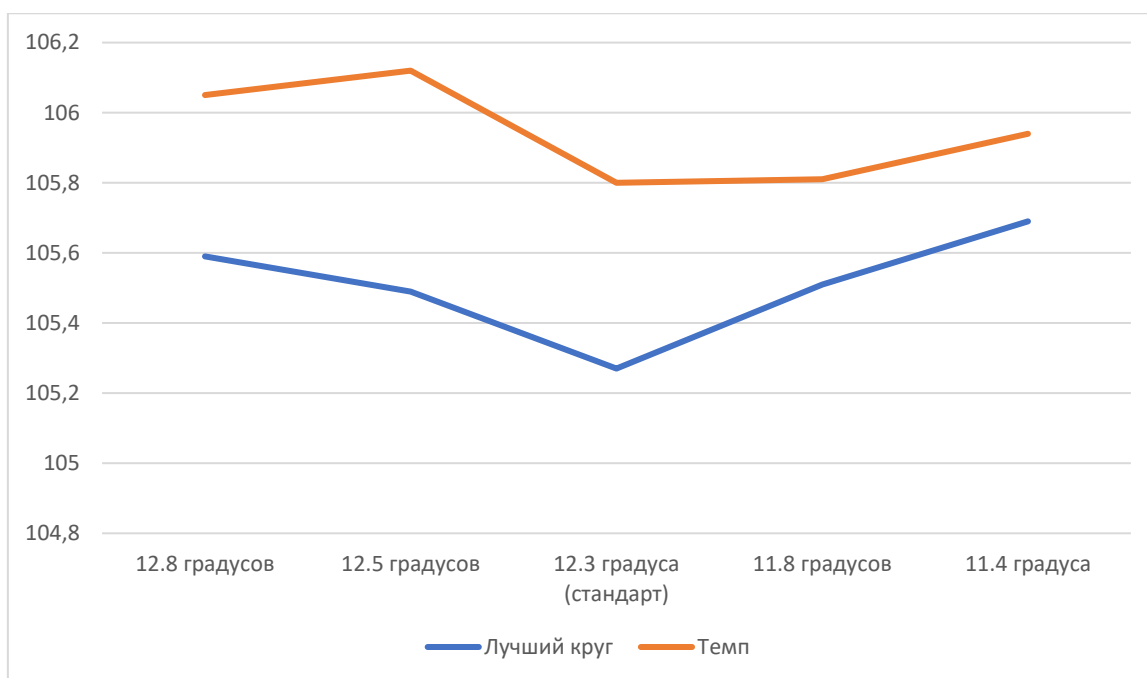


График 5.3.6.1 - график зависимости выбранной настройки от времени прохождения круга

Как видно из графика, изменение кастера в сторону уменьшения или увеличения привело к увеличению времени круга. Причём при увеличении наблюдается большой скачок падения темпа, это может быть вызвано тем, что в скоростных поворотах, небольшое изменение угла кастера привело к менее контролируемому движению по траектории. При уменьшении кастера наблюдается обратная картина, темп стал лучше (что от части подтверждает предыдущее предположение), но время круга сильнее упало по сравнению с увеличением кастера. Данная трассе имеет такую особенность, что больше всего времени можно потерять именно на третьем секторе (сектор мелких поворотов) где как раз важен угол кастера.



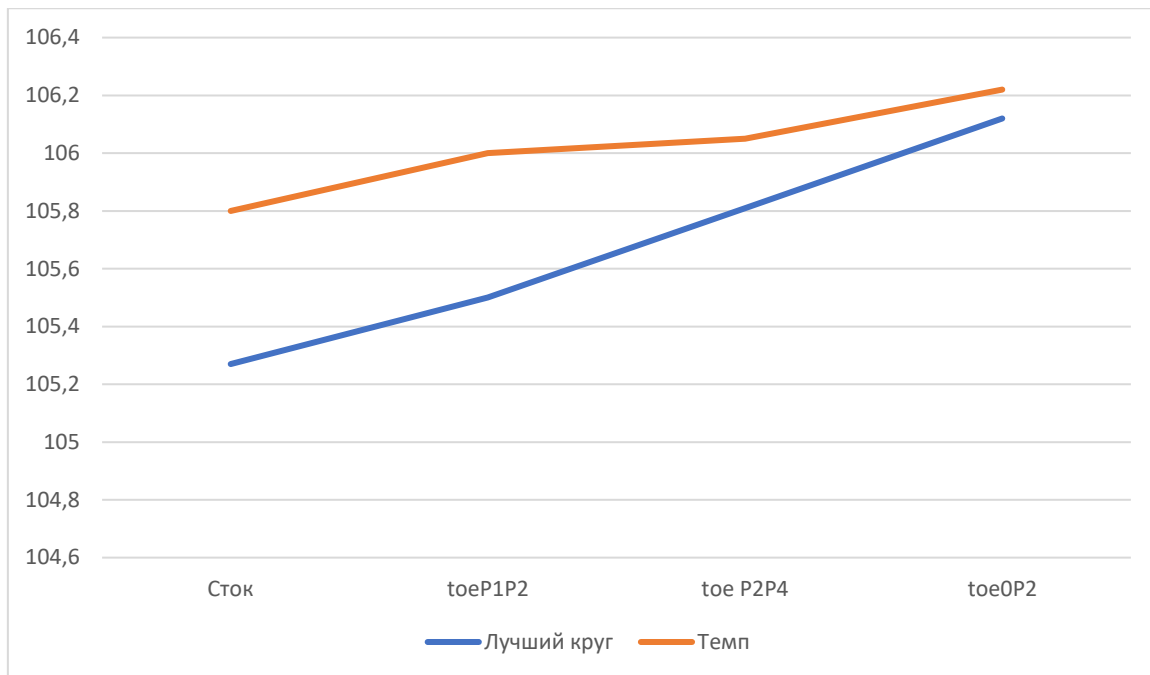


График 5.3.6.2 - график зависимости выбранной настройки от времени прохождения круга

Исходя из отзыва пилота, настройка схождения также не требуется. Посмотрим, как изменение схождения повлияет на время прохождения круга и темп.

Как видно из графика, увеличение схождения привело к увеличению стабильности, но к ухудшению времени круга. Настройка переднего схождения в основном влияет на стабильность при торможении, а настройка заднего на вход в поворот. С этими параметрами было всё в порядке ещё до внесения настроек, поэтому изменение схождения привело к ухудшению времени круга.

## 5.5 Сравнение данных реального и виртуального заезда

Таблица 5.5.1 Сравнительная таблица входных параметров реального и виртуального круга.

Входной параметр	Реальные данные	Данный, полученные в процессе симуляции
Лучший круг	1:48.76	1:45.384
Сектор 1	00:31.004	00:29.664
Сектор 2	00:40.2	00:40.314
Сектор 3	00:37.5	00:35.247
Максимальное давление в шине. атм	1.89	1.93
Максимальная скорость, км/ч	265	264

Из сравнительной таблицы видно, что разница между лучшим виртуальным и реальным кругом составила 2.4 секунды. Основные потери времени были на первом и третьем секторе.

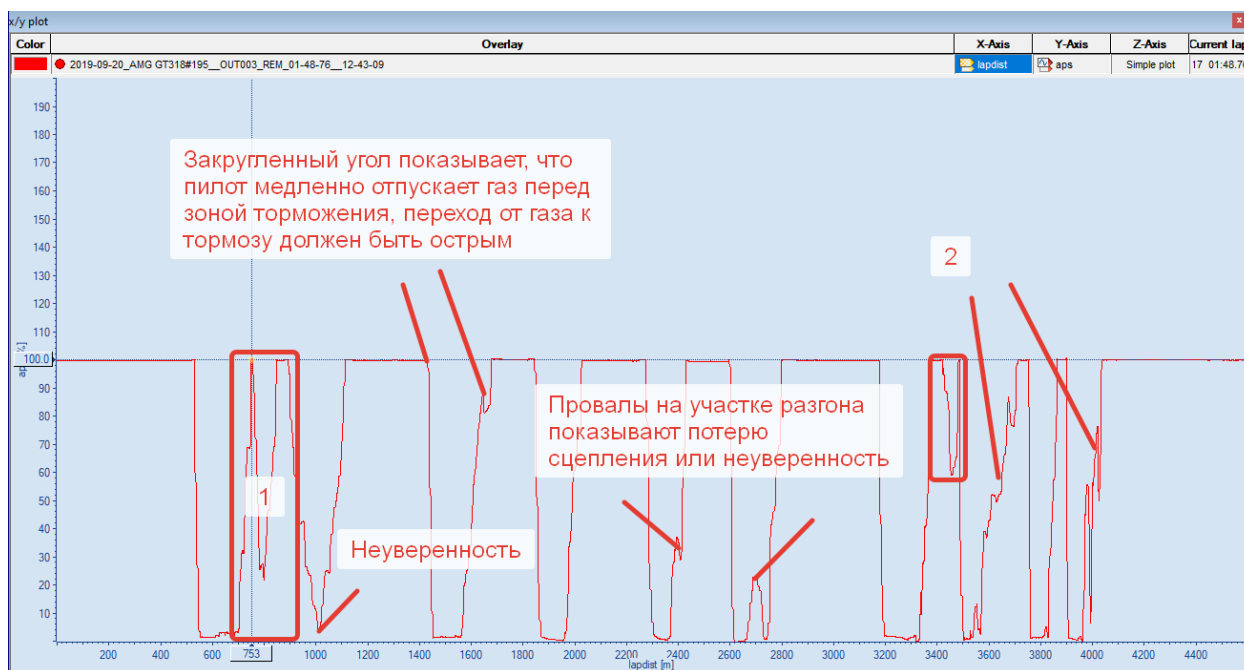


График 5.5.1 – График положения педали газа реального заезда

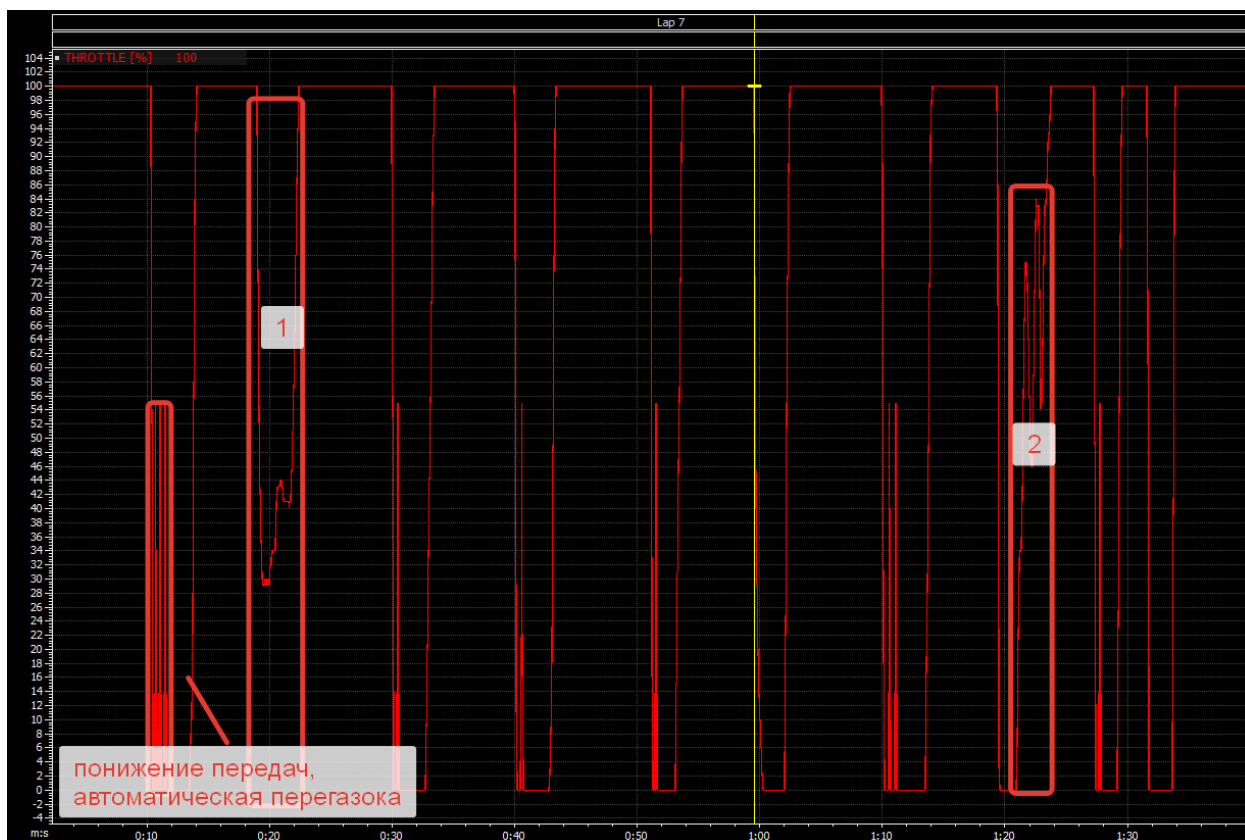


График 5.5.2 – график положения педали газа виртуального заезда.

Как видно из графиков 5.5.1 и 5.5.2 основная разница заключается в том, что пилот реального заезда демонстрирует большую неуверенность как раз в первом и третьем секторе. В части трассы, выделенной цифрой (1) пилот реального заезда дважды отпускает педаль газа, в то время как в виртуальном заезде это пришлось делать всего один раз. Отпускание педали газа виртуального заезда соответствует дистанции круга 1060 метров (реального 890). В реальном заезде отпускание газа во второй раз является более плавным и доходит практически до полного отпускания педали газа, в то время как в виртуальном заезде эта манипуляция более резкая и доходит лишь до 70% отпускания газа.

В зоне (2) наблюдается схожая тенденция, но в случае реального заезда, пилот совершает больше ошибок и менее уверен. Это может быть связано с психофизическими особенностями пилота

## 5.6 Формулирование и обоснование итоговой методики



Рисунок 5.3.1.1. Краткий алгоритм методики настройки автомобиля.

Настройка автомобиля представляет собой замкнутый круг, где изменение одного параметра непременно повлечёт за собой изменение другого. Задача инженера – постоянно отслеживать параметры автомобиля и

корректировать их, если изменились дорожные условия, стиль пилотирования или что-то иное.

Задача разработанной методики заключается в том, чтобы достичь оптимальных параметров настройки автомобиля под конкретного пилота и трассу за короткий период. Возможно, эта методика не является ключом к идеальной настройке, но она точно позволит улучшить время прохождения круга за короткий период.

Целью данной методики являлась разработка понятного и простого алгоритма, который будет применим как в виртуальной среде, так и на натуральных тестах.

Методика включает в себя несколько последовательных действий. На первом этапе пилот привыкает к автомобилю и трассе, его задача показать стабильную сессию, которая будет соответствовать условиям программы испытаний. Задача инженера состоит в том, чтобы определить оптимальный рабочий диапазон шины по давлению и температуре, а также тормозных механизмов, угла развала колёс и клиренсу.

Следующим этапом будет является настройка угла атаки антикрыла и высоту сплитера и передаточное отношение в коробке передач. Тут необходимо обеспечить максимальную динамику разгона и скорость прохождения поворотов, не в ущерб максимальной скорости.

Настройка пружин выполняет сразу несколько функций. Во-первых, настройкой пружин можно откорректировать температуру нагретых шин, во-вторых, пружины влияют на крен кузова автомобиля, который необходимо снизить. Амортизаторами можно откорректировать динамическое перераспределение веса, его скорость. Если амортизаторы будут недостаточно жёсткими, то автомобиль будет раскачиваться. Нужно уметь правильно подобрать настройки амортизатора под выбранную пружину.

Настройкой стабилизаторы можно скорректировать траекторию прохождения поворота, недостаток или избыток в вершине поворота. Изменить управляемость в сторону манёвренности или наоборот.

Заключительным этапом будет являться корректировка итоговой настройки автомобиля, такими многошаговыми параметрами как углы установки схождения и кастера и настройка дифференциала в зависимости от комфорта пилота.

## **Глава 6. Производственная и экологическая безопасность**

Влияние применения виртуальных испытаний на загрязнение окружающей среды.

### **6.1 Выбросы вредных веществ при проведении тестов**

Автотранспорт является одним из основных загрязнителей атмосферы оксидам азота и угарным газом, содержащихся в выхлопных газах. Автомобили с каждым годом подвергаются всё более строгим требованиям экологической безопасности. Это касается загрязняющих веществ, поступающих в воздух от автомобилей такие как: Оксид углерода (CO), оксиды азота NO<sub>x</sub>, углеводороды (CH), сажа, диоксид серы (SO<sub>2</sub>). Диоксид серы антропогенного происхождения образуется при сгорании угля и нефти, в металлургических производствах, при переработке содержащих серу руд (сульфиды), при различных химических технологических процессах. Большая часть антропогенных выбросов диоксида серы (около 87%) связана с энергетикой и металлургической промышленностью. Общее количество антропогенного диоксида серы, выбрасываемое за год превышает его естественное образование в 20-30 раз. Также большой вред природе наносят твёрдые частицы, которые являются продуктом износа тормозных механизмов и шин. [23]

Высокая концентрация вредных веществ, содержащихся в выхлопах автомобилей, в атмосфере представляет серьезную опасность для здоровья.

Одним из самых быстродействующих и наиболее опасных компонентов автомобильных выхлопов является угарный газ. Он не имеет вкуса и запаха, а при высокой концентрации в замкнутом объеме вызывает тошноту, головокружение, удушье, обмороки и смерть. Сажа и бензапипен, накапливаясь в организме человека, способны вызвать появление опухолей, в том числе и недоброкачественных. Пути проникновения бензапирена в организм разнообразны: с пищей и водой, через кожу и путем вдыхания.

Во время эксплуатации транспортных средств образуется большое количество отходов, большую опасность среди которых представляют собой изношенные автомобильные шины, которые сложно собирать и утилизировать. [23]

Кроме выбросов отработанных газов, транспортный поток создаёт облако пыли, состоящее более чем на 60 % из микроскопических и ультрамикроскопических частиц радиусом 10,0–0,25 мкм, которые образуются в результате стирания автомобильных шин. Высокая экологическая опасность изношенных шин обусловлена, с одной стороны, токсическими свойствами материалов, из которых они изготовлены, с другой — свойствами более ста химических веществ, выделяемых в окружающую среду во время эксплуатации, обслуживания, ремонта и хранения шин.[23]

В наибольших количествах выделяются продукты разложения каучуков (мономеры), реакционные и токсичные химические соединения (ароматические углеводороды — бензол, ксилол, стирол, толуол), предшественники канцерогенов (алифатические амины), канцерогены (сероуглерод, фенолы). В воздух также поступают соединения хлора, серы и азота, оксиды металлов.

В мире автоспорта на первом месте стоит результат, а не экологичность, поэтому на специально отведённых трассах и территориях разрешена

эксплуатация транспорта без катализаторов, настройка двигателей под максимальную производительность, а не экономичность, специальные составы шин, которые изнашиваются буквально через несколько десятков километров, но обеспечивающие повышенное сцепление с дорогой.

Применение виртуальных испытаний позволит значительно снизить выбросы как твёрдых частиц, так и отработавших газов.

### **6.1.1 Снижение выбросов от сгорания топлива.**

Для определения разности выбросов загрязняющих веществ автомобилем с применением виртуальных испытаний и без, воспользуемся следующей методикой расчёта:

Выброс  $i$ -го загрязняющего вещества автотранспортными средствами соответствующего расчётного типа  $M_{ipj}$  рассчитывается по формуле:

$$M_{(p)} = g_{(p)} \cdot Q_{pj} \cdot 10^{-3}, \text{ т,}$$

Где  $Q_{pj}$ - потребление моторного топлива  $p$ -го вида автотранспортными средствами  $u$ -го расчётного типа при движении по городским улицам и дорогам за определённый период, т;

$g_{(p)}$ - удельный выброс  $i$ -го загрязняющего вещества автотранспортными средствами  $u$ -го расчётного типа при использовании  $p$ -го вида топлива, г/кг

Выброс  $i$ -го загрязняющего вещества всеми автотранспортными средствами при использовании моторного топлива определённого вида  $M_{ip}$  рассчитывается по формуле:

$$M_{ip} = \sum_{j=1}^j M_{(p)}, \text{ т}$$

Выброс  $i$ -го загрязняющего вещества всеми автотранспортными средствами при использовании всех видов моторного топлива  $M_i$  рассчитывается по формуле:



$$M_l = \sum_{p=1}^4 M_{(p),T}$$

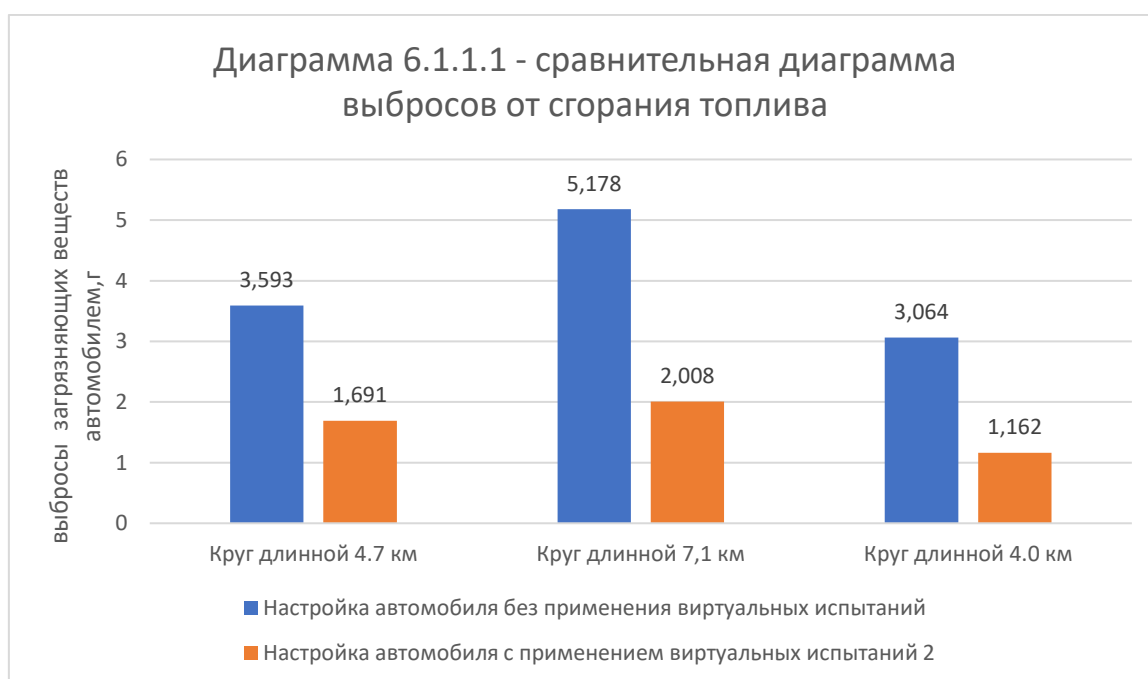
Проведём расчёт для автомобиля, участвующего только в натуральных испытаниях и в испытаниях с применением виртуальной части согласно вышеперечисленному алгоритму. [25]

Начальные данные:

- Километраж натуральных испытаний – 2123 км
- Километраж при применении виртуальных испытаний – 1032 км
- Расход топлива – 63,8 литра на 100 км, спортивное топливо с-102(fia)
- Удельные выбросы *i*-го загрязняющего вещества согласно таблице

Таблица 6.1.1.1 - Удельные выбросы *i*-го загрязняющего вещества

Тип АТС	Экологический класс АТС	СО, г/кг	VOC, г/кг	NOx, г/кг	SO2, г/кг	CO2, г/кг
Легковой автомобиль	2	35	3.1	7	0.1	2950



Из диаграммы видно, что количество выбросов значительно меньше в случае методики с применением виртуальных испытаний. Так же заметна тенденция того, что методика с применением виртуальных испытаний менее чувствительна с точки зрения выбросов к длине круга.

### 6.1.2 Снижение количества твёрдых частиц, выделяющихся при износе тормозных механизмов и шин.

Изнашиваемый слой шины, установленной на исследуемом автомобиле равен 3-м миллиметрам, но зачастую, шину списывают гораздо раньше по причине сильной потери сцепных свойств. В наших испытаниях важна максимальная точность результатов, поэтому мы будем рассматривать вариант, при котором шина будет списываться после примерно 50 км (примерно 0.5 мм). Пробега. На этом интервале шина ещё способна реализовывать максимальные сцепные свойства, при дальнейшем износе эти свойства начнут падать.[24]

Таким образом можно посчитать примерное количество изношенной резины, которая попадёт в окружающую среду, в миллиметрах.

Таблица 6.1.2.1 Максимальные значения износа каждого колеса при испытаниях после одной зачётной сессии.

Износ шины, мм			
Переднее правое колесо	Переднее левое колесо	Заднее левое колесо	Заднее правое колесо
0,2	0,5	0,4	0,3
Общий расход		1,4 миллиметра	

Из таблицы видно, что автомобиль за 50 км (примерная длинная одной зачётной сессии) в гоночном режиме может израсходовать около 1,4 миллиметра резины в сумме на 4 колеса.

Если умножить эту величину на количество комплектов, необходимых для проведения полноценных тестов, то мы получим общее количество резины, выброшенной в окружающую среду во время испытаний. Для тестов с применением виртуальных испытаний эта величина будет равна 15,4 миллиметра, а при проведении полноценных реальных испытаний эта цифра будет равна 30.8 миллиметров.

Таблица 6.1.2.2 – износ шин

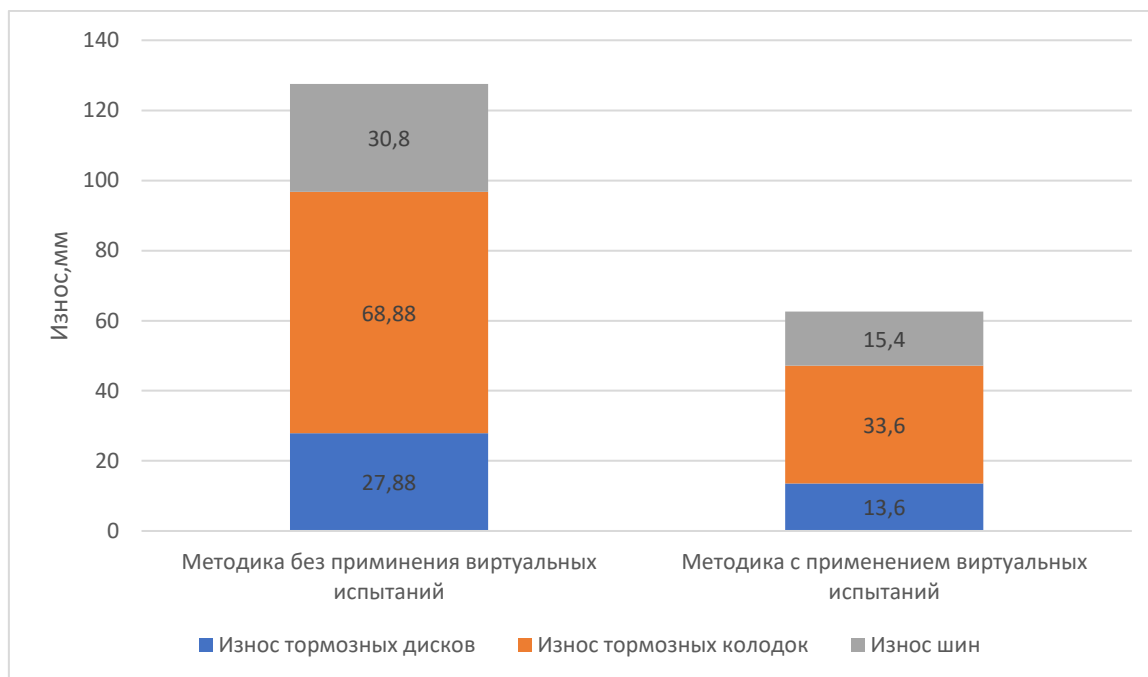
Износ шины по окончании одной зачётной сессии (50 км), мм	Износ шины при проведении полноценных тестов (2123 км),мм	Износ шины при проведении тестов с применением виртуальных испытаний (1032 км), мм
1,4	30,8	15,4

Износ тормозных дисков и колодок также влияет на экологическую безопасность.

Таблица 6.1.2.3 - Максимальные значения износа тормозных дисков и колодок по окончании зачётной сессии.

Износ тормозных механизмов, мм			
Тормозные диски			
Переднее правое колесо	Переднее левое колесо	Заднее левое колесо	Заднее правое колесо
0,14	0,14	0,2	0,2
Тормозные колодки			
0,4	0,4	0,44	0,44

Диаграмма 6.1.2.1 – сравнительная диаграмма по выбросам твёрдых веществ



В общей сложности износ тормозных механизмов и шин в случае применения виртуальных испытаний снизился примерно на 50%.

## 6.2 Вывод

Экологическая безопасность начинает играть всё большую роль в нашей жизни, и в том числе в автоспорте. Современная тенденция такова, что некоторые гоночные серии начинают оборудоваться катализаторами и применять экологические шины. Применение виртуальных испытаний, как видно из расчётов, значительно сокращает выбросы отработавших газов и продуктов износа шин и тормозных механизмов.

## Глава 7. Техничко-экономическое обоснование

### Введение

Целью данной части является сравнительный расчёт стоимости всех необходимых ресурсов и времени до интеграции в процесс настройки компьютерных технологий и после.

## 7.1 Расчёт стоимости настройки автомобиля с применением виртуальных испытаний.

### 7.1.1 расчёт стоимости виртуальных испытаний.

При расчёте времени стоимости виртуальных испытаний примем, что гоночная трасса и модель автомобиля уже имеется в наличии.

Таблица 7.1.1.1 - Стоимость и комплектация вычислительной машины и навесного оборудования.

Наименование	Тип	Стоимость, руб.
Операционная система	Windows 10 64-bit	3 000
Процессор	Intel Core i5-8600K	20 000
Оперативная память	16 GB ОЗУ	8 500
Видеокарта	GeForce GTX 1070 8 GB	30 000
DirectX	Версии 11	Бесплатно
Свободное место, Гб	50 GB	3 000
Прочее	Материнская плата, блок питания, система охлаждения, Компьютерная мышь, клавиатура комплект проводов, корпус, звук	55 000
База руля	Fanatec CSL	65 050
Руль	Fanatec CSL	33 450
Педали	Fanatec CSL	37 325
Динамический кокпит	2dof	140 000
Монитор	LG	25 000 x 3
Итого		470 325

Расходы, перечисленные в таблице, являются единовременными и необходимы лишь для создание корректной рабочей комнаты.

Начальные данные:

- Сессией будет считаться 1 выезд из 10 кругов. Короткая сессия – 3 круга.

- Пробег одной шины до значительных потерь характеристик – 100 км
- Расход топлива – 63,8 литра на 100 км, спортивное топливо с-102(fia)

Таблица 7.1.1.2 - Время, затрачиваемое на различные операции при настройке автомобиля с применением виртуальных испытаний.

Время, минуты	
Время на внесение настройки в автомобиль	40
Время сессий с учётом выезда и заезда	20 минут * 61+6 минут* 15=1 310
Время на трапезу и отдых, сон	1 800
Время на анализ данных	1 200
Итого	4 350 (3 дня)

Расходы, руб.	
Зарплата инженера	45 000 * 3 = 135 000
Зарплата тренера	50 000 * 3 = 150 000
Расходы на еду	3 000 * 3 * 3 = 27 000
Итого	312 000

Комплектующие из таблицы были подобраны исходя из рекомендуемых требований симулятора и качества продукции производителей навесного оборудования.

## 7.1.2 Расчёт стоимости доводочных реальных испытаний

Таблица 7.1.2.1 – Расчётная таблица для доводочных натурных тестов

Километраж	
Количество сессий, необходимых, чтобы привыкнуть пилоту к трассе и автомобилю	3 сессий (141 км)
Количество коротких сессий, необходимых для подготовительной настройки или же этап сбора данных	10 (141 км)
Количество сессий для доводочной настройки	15 (750 км)
Итого	1032 км (11 комплектов шин),
Время, минуты	
Время на замену шин	11*5 минут = 55
Время на сборку/разборку бокса	300
Время на внесение настройки в автомобиль	565
Время одной сессии с учётом выезда и заезда	20 минут * 25+6 минут* 10=560
Время на ремонт и обслуживание автомобиля	30
Время на трапезу и отдых, сон	600
Итого	2 110 (2 дня)
Расходы, руб.	
Работа инженера	45 000 * 2 = 180 000
Работа тренера	50 000 * 2 = 200 000
Работа механиков и водитель тяжёлой технички	5 000 * 2 * 2 + 3 000 * 2 = 26 000
Работа менеджера команды	Оклад (150000)
Аренда бокса	15 000 * 2 = 30 000
Расходы на еду	3 000 * 7 * 2= 28 000
Аренда трассы	35 сессий * 5 000 = 175 000
Шины	11 * 80 000 = 880 000
Топливо	16 (бочка 50л) * 11 500 = 184 000
Стоимость запасных частей	20 000
Итого	1 723 000

Из таблицы 7.1.2.1 и таблицы 7.1.1.1 видно, что 60% времени и километража будет проведено в виртуальной среде, в таком случае, основной статьёй расходов будет являться расходы на шины (880 тыс. руб), расходы на топливо (184 тыс. руб) и оплата работы наёмных сотрудников (691 тыс. руб)

## **7.2 Расчёт стоимости настройки автомобиля без применения виртуальных испытаний.**

При расчёте стоимости настройки автомобиля без применения виртуальных испытаний не будут учитываться транспортные расходы, потому что это индивидуально ка каждой команды и стратегия самих тестов может быть разбита не несколько выездов, а может и нет.

Методика проведения испытаний будет аналогична виртуальным испытаниям.

Начальные данные:

- Сессией будет считаться 1 выезд из 10 кругов. Короткая сессия – 3 круга.
- Пробег одной шины до значительных потерь характеристик – 100 км
- Расход топлива – 63,8 литра на 100 км, спортивное топливо с-102(fia)



Таблица 7.2.1 – Расчётная таблица полностью натуральных тестов

Километраж	
Количество сессий, необходимых, чтобы привыкнуть пилоту к трассе и автомобилю	6 сессий (282 км)
Количество коротких сессий, необходимых для подготовительной настройки или же этап сбора данных	15 (211 км)
Количество сессий для основной настройки автомобиля с учётом испорченных сессий	40 (1 880 км)
Количество сессий для доводочной настройки	15 (750 км)
Итого	2 123 км (22 комплекта шин),
Время, минуты	
Время на замену шин	22*5 минут = 111
Время на сборку/разборку бокса	300
Время на внесение настройки в автомобиль	1 130
Время одной сессии с учётом выезда и заезда	20 минут * 61+6 минут* 15=1 310
Время на ремонт и обслуживание автомобиля	60
Время на трапезу и отдых, сон	2 340
Итого	5820 (4 дня)
Расходы, руб.	
Работа инженера	45 000 * 4 = 180 000
Работа тренера	50 000 * 4 = 200 000
Работа механиков и водитель тяжёлой технички	5 000 * 4 * 2 + 3 000 * 4 = 52 000
Работа менеджера команды	Оклад (150000)
Аренда бокса	15 000 * 4 = 60 000
Расходы на еду	3 000 * 7 * 4= 84 000
Аренда трассы	76 сессий *5000= 380 000
Шины	22 * 80 000 = 1 760 000
Топливо	29 (бочка 50л) * 11 500 = 333 500
Стоимость запасных частей	40 000
Итого	3 089 500

В случае проведения тестов полностью реальных, без применения виртуальной среды, то основные статьи расходы будут: Шины (1760 тыс. руб), аренда трассы (380 тыс. руб) и зарплата наёмных сотрудников (432 тыс. руб)

### 7.3 Выводы

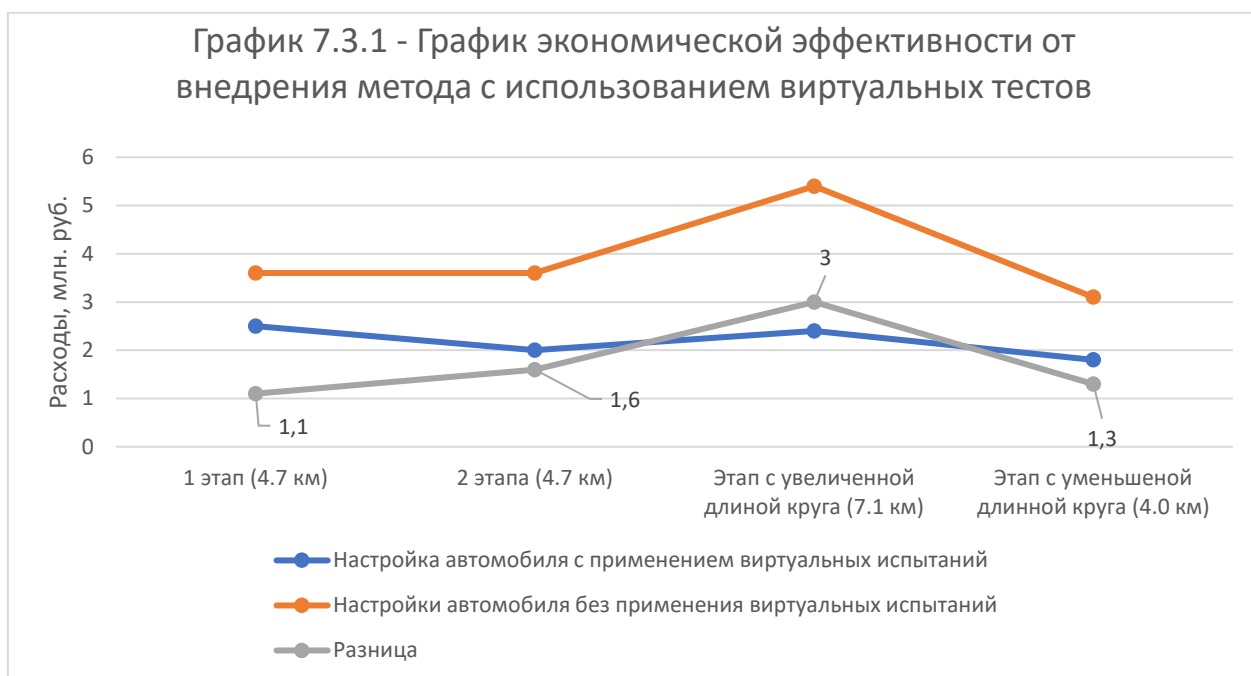
Таблица 7.3.1 - Сравнительная таблица проведения тестов с применением виртуальной среды и без

Статья расходов	Тесты с применением виртуальной среды, тыс. руб.	Тесты без применения виртуальной среды, тыс. руб.	Прибыль, (убыток) от применения виртуальных испытаний, тыс. руб.
Затраты на оплату работы наёмных сотрудников	691	432	(259)
Расходы на трассе, аренда боксов, пропитание, аренда трассы и тп.)	233	524	291
Затраты на запасные части и расходные материалы	1084	2134	1050
	Тесты с применением виртуальной среды	Тесты без применения виртуальной среды,	Разница во времени
Время пилота на трассе, час.	9,3	21,8	12,5
Общее время, затраченное на настройку автомобиля, дни	5	4	(1)
Стоимость одного дня настройки, тыс. руб./сут.	345	772	427

Как видно из таблицы 7.3.1 затраты на оплату работы наёмных сотрудников в случае применения виртуальных испытаний возросли, это

связано с тем, что общее количество дней, затрачиваемых на настройку автомобиля стало больше, а так как зарплата данным сотрудникам выплачивается посуточно, то и общие затраты возросли. В остальных случаях затраты уменьшились по сравнению с полностью реальными тестами, особенно заметна разница в расходных материалах.

Из отрицательных факторов можно отметить, что заметно сократилось общее время нахождения пилота на реальной трассе, что не лучшим образом скажется на его подготовке к соревнованиям, но изменение этого параметра укладывается в допустимые границы и не несёт критический характер.



Если посмотреть на график 7.3.1, то можно увидеть, что уже на первом этапе применение виртуальных испытаний позволит сэкономить около 1-го миллиона рублей. На следующем этапе, когда единовременных затрат на оборудование ассимиляционной комнаты не будет, эта прибыль увеличится до 1.6 млн. В случае, когда длина круга будет увеличена, применение виртуальных испытаний даст огромный результат в плане сэкономленных средств и на примере трассы SPA, Бельгия, протяжённостью 7.1 км эта разница будет больше, чем стоимость самого компиляционного подхода. А вот в случае уменьшения длины круга разница будет сокращаться и на коротких

трассах, длинной в пару километров, эффекта от применения виртуальных испытаний в финансовом плане будут не столь велики.

### **Выводы**

В данной работе были разобраны физические основы настройки спортивного автомобиля и принцип работы симуляторов. Проведён ряд виртуальных испытаний, на основе которых, была разработана методика настройки спортивного автомобиля с применением виртуальной среды. Был проведён сравнительный анализ виртуальных и реальных заездов и было определено, что симуляцию можно считать правдоподобной и на основе неё можно получить правдоподобные данные.

Выводы по данной работе:

- 1) Виртуальная копия исследуемого автомобиля соответствует реальному автомобилю и демонстрирует близкие характеристики и измеряемые параметры.
- 2) Разработанная методика может являться лишь дополнением к реальному тесту и может быть актуальна по причине ограничения тестовых километров и бюджетов. На данном этапе развития технологий, виртуальные испытания не могут заменить натурные.
- 3) Применение описанной методики можно использовать для обучения молодых инженеров и для ознакомления пилота с новыми трассами или инженерными новинками.
- 4) Виртуальная среда позволяет более объективно выбирать настройки автомобиля. Пилот может не переживать о возможности попасть в аварию и разбить автомобиль, а использовать его потенциал на максимум.
- 5) Разработанная методика даст большой экономический выигрыш на длинных трассах, на коротких целесообразнее применять полностью натурные испытания. При применении комбинированной методики

удалось сократить выброс твёрдых частиц в два раза, а выброс вредных веществ в результате сгорания топлива в 2.2 раза.

## Список литературы

1. А.М. Иванов, Н.П. Квасновская, под редакцией В.И. Осипова, Автомобили: Конструкция и рабочие процессы: учебник. – М.: Академия, 2012, 384 с.
2. А.М. Иванов, А.Н. Солнцев, В.В. Гаевский, П.Н. Ключкин, В.И. Осипов, А. И. Попов, Основы конструкции современного автомобиля: учебник для ВУЗов. – М.: ООО «Издательство «За рулём», 2012, 336 с.
3. А.М. Иванов, В.В. Гаевский, Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Теория эксплуатационных свойств АТС». – М.: МАДИ, 2007, 53 с.
4. А.М. Иванов, В.И. Осипов, Проектирование автомобилей: конспект лекций для направления подготовки специалистов 190109 «Автомобильная техника в транспортных технологиях». –М.: МАДИ, 2014, 39 с.
5. А. Чимарости Полная история гонок автогонок Гран-при/Пер. и ред. А. Краснов, – М.: «AURUM», 2010, 380 с.
6. Спортивный кодекс Российской Автомобильной Федерации. – М.: РАФ, 2018, 19 с.
7. Автоспорт в СССР [Электронный ресурс]: [http://www.ussrautosport.ru/drivers\\_index.html](http://www.ussrautosport.ru/drivers_index.html)
8. Спортивный кодекс Российской Автомобильной Федерации. – М.: РАФ, 2018, 19 с.
9. Автоспорт в СССР [Электронный ресурс]: [http://www.ussrautosport.ru/drivers\\_index.html](http://www.ussrautosport.ru/drivers_index.html)
10. Истории мировых гоночных серий. FIA GT. [Электронный ресурс]: <https://www.drive2.ru/b/1975329/>
11. FIA GT [Электронный ресурс]: [https://ru.wikipedia.org/wiki/FIA\\_G](https://ru.wikipedia.org/wiki/FIA_G)
12. Технологии MADNESS [Электронный ресурс]: <https://www.wmdcars.ru/projectcars2/technology>

13. rFactor2 [Электронный ресурс]: [https://en.wikipedia.org/wiki/RFactor\\_2](https://en.wikipedia.org/wiki/RFactor_2)
14. Как разработчики игр создают виртуальные трассы [Электронный ресурс]: <https://1gai.ru/publ/519050-kak-razrabotchiki-igr-sozdayutvirtualnye-trassy.html>
15. Как создаются трассы и города в гоночных играх [Электронный ресурс]: [https://games.mail.ru/pc/articles/feat/kak\\_sozdajutsja\\_trassy\\_i\\_goroda\\_v\\_gonochnyh\\_igrah/](https://games.mail.ru/pc/articles/feat/kak_sozdajutsja_trassy_i_goroda_v_gonochnyh_igrah/)
16. М. Trzesniowski, Rennwagentechnik. Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme Mit 1228 Abbildungen. – Vieweg+Teubner, 2008, 857 с.
17. Блок дифференциала Grand Prix Legends [Электронный ресурс]: <https://simracing.su/55-blok-differentsiala-grand-prix-legends.html>
18. Подвеска спортивного автомобиля. Часть #1: теория [Электронный ресурс]: <http://www.kramar-motorsport.ru/podveska-sportivnogoavtomobilya-chast-1-teoriya/>
19. AIM Technologies [Электронный ресурс]: <https://www.aimtechnologies.com/aim-software/>
20. Motec i2 standard 1.1 [Электронный ресурс]: <http://www.motec.com.au/i2/i2downloads/>
21. Учебные дорожные испытания автомобиля: методические указания к лабораторным работам по курсу «Теория наземных транспортнотехнологических средств» / А.Р. Спинов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов. – М.: МАДИ, 2015. – 48 с.
22. Шулякова, К. А. Воздействие автомобильных шин на окружающую среду и здоровье человека / К. А. Шулякова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 20 (124). — С. 472-477. — URL: <https://moluch.ru/archive/124/34317/> (дата обращения: 27.05.2021).



23. Загрязнение атмосферы выхлопными газами: влияние на человека и окружающую среду [Электронный ресурс]: <https://bezotxodov.ru/jekologija/vyhlopnye-gazy#i-9>
24. Разработка комплексной методики исследований и оценки экологической безопасности автомобилей: диссертация ... кандидата технических наук: 05.05.03 / Азаров Вадим Константинович; [Место защиты: Центр. науч.-исслед. автомобил. и автототот. ин-т "НАМИ"]. - Москва, 2014. - 138 с. : ил. Колесные и гусеничные машины



## Разработка методики настройки гоночного автомобиля на основе компьютерного моделирования

Студент: А. Б. Кудрин  
Группа: 5А3  
Руководитель: М. А. Топорков

Москва 2021

### Развитие технологий в автомобильном спорте

2



- В период с 1950 по 2017 во время тестовых заездов погибло около 400 гонщиков.
- С 90-х годов инженеры начали активно пользоваться программами САПР
- Начиная с 10-х годов 21 века интеграция гоночного симулятора в спортивную команду стало нормальной практикой
- FIA вводит ограничения бюджетов и снижение километража тестов.

## Проблемы, с которыми сталкивается молодой инженер

3



## Цели и задачи дипломного проекта

4

### Цель:

Разработка методики настройки гоночного автомобиля на основе компьютерного моделирования.

### Задачи:

1. Ознакомится с принципом работы гоночных симуляторов, виртуальной копии автомобиля и трассы и выбрать оптимальную среду для моделирования.
2. Установить влияние тех или иных настраиваемых параметров гоночного автомобиля на время прохождения круга.
3. Провести ряд виртуальных тестов с целью определения оптимальных настроек автомобиля.
4. Разработать последовательность настройки автомобиля на основе виртуальных тестов с применением анализа полученных данных.
5. Сравнение результатов реальных тестов с виртуальными.

## Выбор оптимальной среды испытаний

5

	Project Cars 2	Assetto Corsa Competizione	rFactor 2	iRacing
Операционная система	Windows 10 64-bit	Windows 10 64-bit	Windows 10,8 64-bit	Windows 10,8 64-bit
Видеокарта	NVIDIA GeForce GTX 1080	GeForce GTX 1070 8 GB	NVIDIA GTX 760	Не меньше 8 Гб видеопамяти
Оперативная память	16 Гб ОЗУ	16 Гб ОЗУ	8 Гб ОЗУ	32 GB ОЗУ
Процессор	Intel Core i7 6700K (3.7 GHz)	Intel Core i5-8600K	3.0 GHz Intel i5	8 core или больше CPU , 3.0 GHz
Особенности	Является требовательной, не дешёвой, закрытой средой	Официальное сотрудничество с MoTeC, новейшая среда, средний ценовой сегмент	Устаревшие технологии, не требовательная, средний ценовой сегмент	Самая технологичная, закрытая и дорогая среда

### Преимущества Assetto Corsa Competizione



#### Шины и подвеска

Отдельное внимание уделено работе шин и подвески



#### Доступность

Цена в среднем сегменте рынка



#### Технология Laserscan

Все трассы отсканированы новейшей технологией



#### Физическая модель

Глубоко проработанная математическая модель



#### Комплекс сбора данных

Официальное сотрудничество с MoTeC



#### Требования к компьютеру

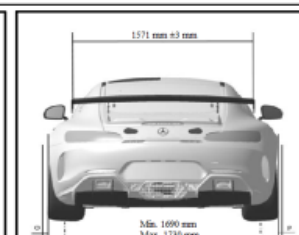
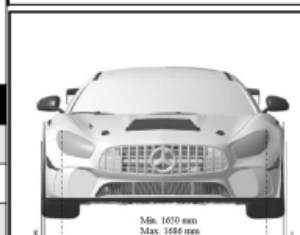
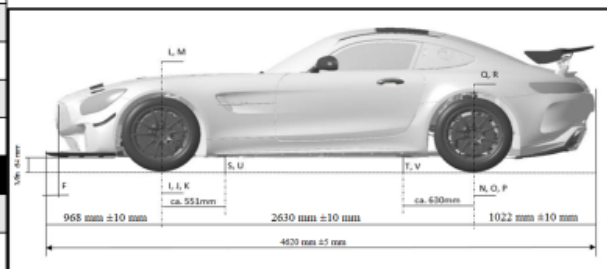
Лояльные требования к компьютеру

## Гоночный автомобиль Mercedes AMG GT3

6

Силовая установка	
Количество цилиндров	8
Максимальный крутящий момент (Н·м)	580
Конфигурация двигателя	V образный
Мощность двигателя (л.с.)	510
Объём двигателя (см³)	6208
Тип наддува	Twin Turbo
Трансмиссия	
Привод	На заднюю ось
Коробка передач	6-ти ступенчатая с последовательным механизмом переключения передач, переключение осуществляется подрулевыми лепестками
Общие характеристики	
Каркас безопасности	Омологирован по тех. Требованиям FIA
Вес автомобиля, кг	1390
Тип подвески	Двухрычажная, независимая

### Габаритные размеры автомобиля Mercedes AMG GT3



## Анализ тестовой сессии

7



### Условия проведения тестов:

- Минимальное количество "чистых" кругов зачётной сессии – 10
- Разница между наилучшим и наихудшим кругом зачётной сессии < 1 секунды.
- Расход шин/топлива – присутствует
- Температура тормозных механизмов – присутствует
- Погода: Ясно, 12:00, 27 градусов цельсия (температура окружающей среды)

## Алгоритм настройки гоночного автомобиля

8

### Этап 1 Подготовительный этап

Определение холодного давления шин, углов развала колёс, клиренса.



### Этап 2 Настройка аэродинамического обвеса и КП

Определение оптимальной скорости прохождения поворотов с учётом динамики разгона и максимальной скорости.



### Этап 3 Настройка пружин и амортизаторов

Вывести в рабочий диапазон шины, минимизировать крен кузова, обеспечить максимальное сцепление и стабильность.



### Этап 4 Настройка стабилизаторов поперечной устойчивости

Обеспечить максимальное сцепление в вершине поворота.



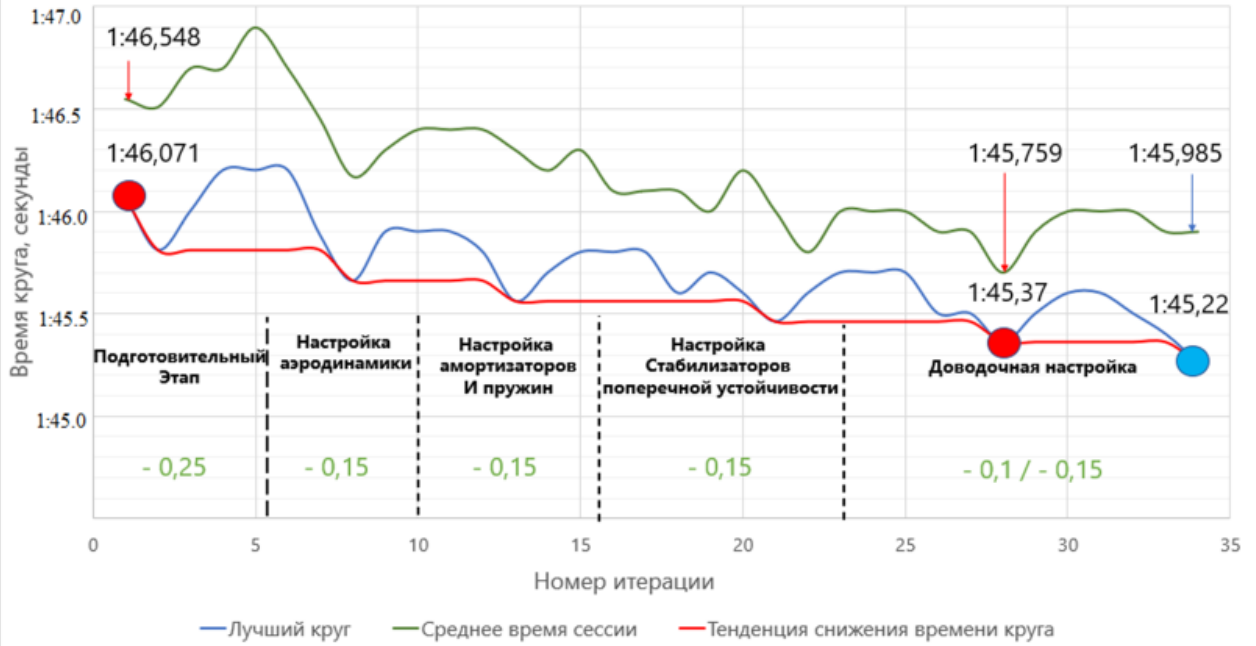
### Этап 5 Доводочная настройка

Устранение оставшихся проблем путём корректировки углов установки колёс, настройки дифференциала, корректировки клиренса.



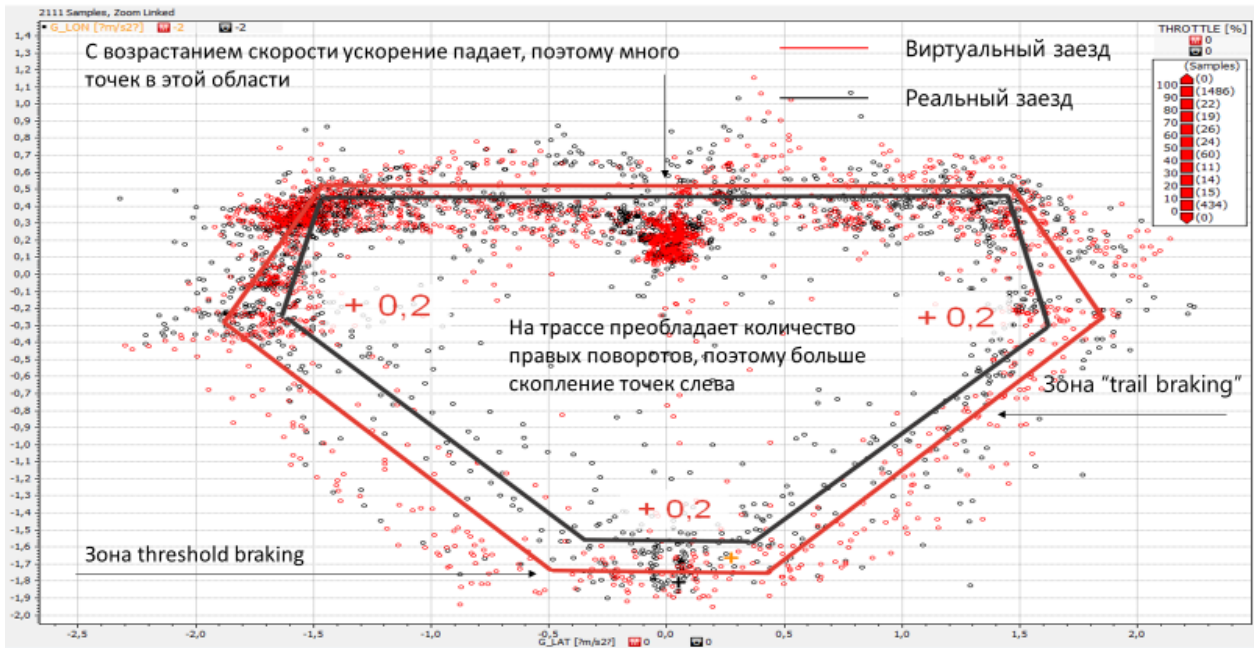
## Алгоритм настройки

9

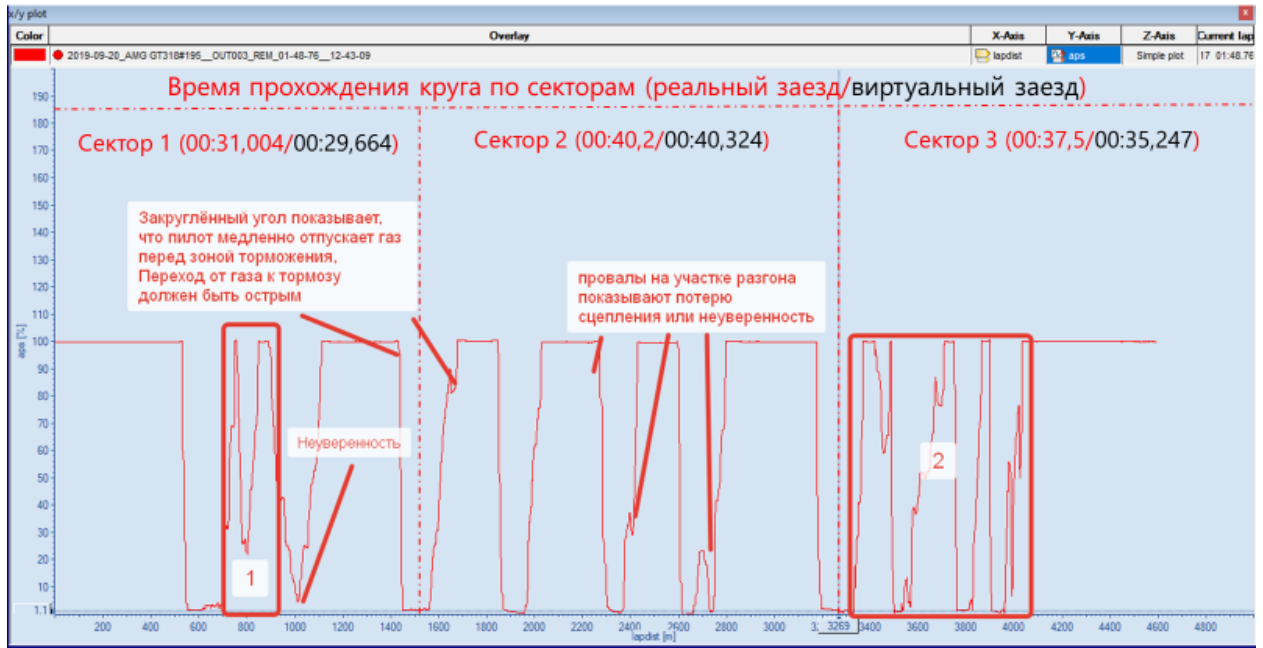


## Сравнительный анализ реального и виртуального заезда

10







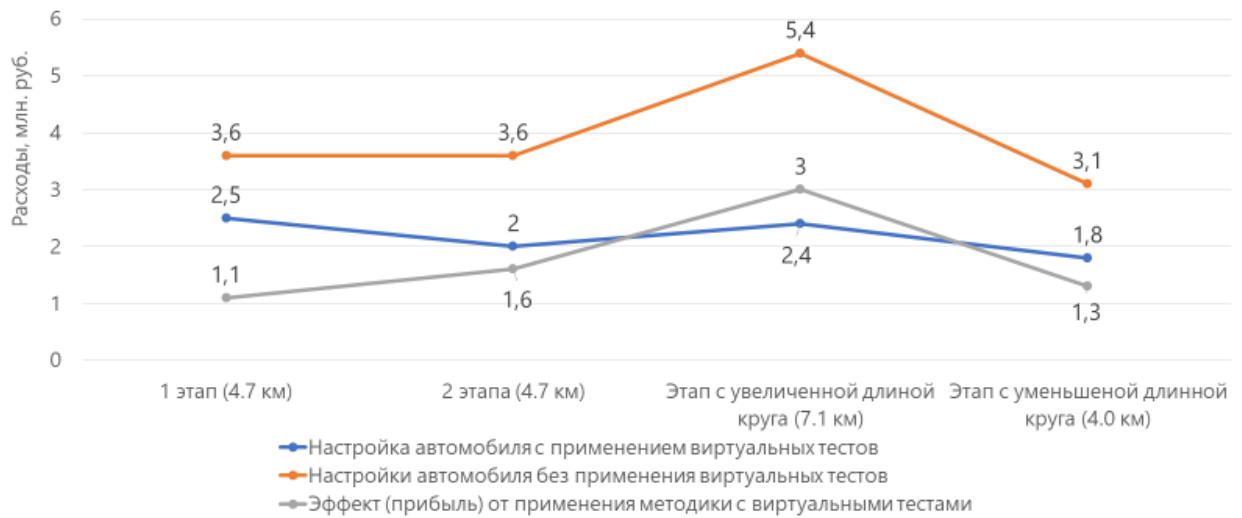
## Этапы настройки гоночного автомобиля с применением компьютерного моделирования



## Технико-экономическое обоснование

13

График экономической эффективности от внедрения метода с использованием виртуальных тестов



**Проведение тестов с комбинированной методикой позволят сократить расходы на процесс настройки автомобиля в среднем на 90%.**

## Производственная и экологическая безопасность

14

График износа тормозных механизмов и шин

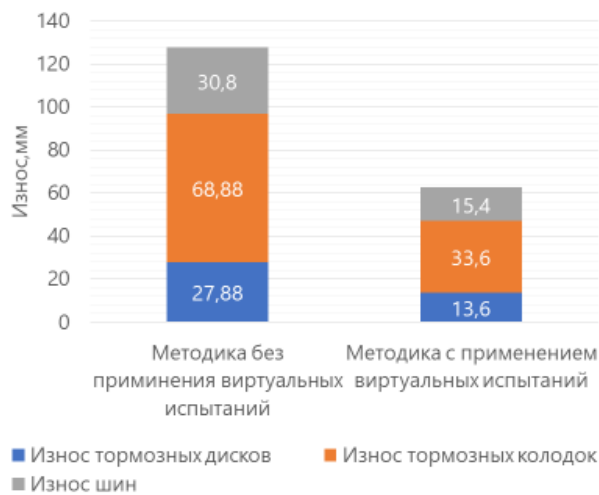


График выбросов вредных веществ от сгорания топлива



**Выбросы твёрдых частиц при применении методики с виртуальными тестами сократятся в 2 раза, а выбросы от сгорания топлива в 2,5 раза**



- 1) Виртуальная копия исследуемого автомобиля соответствует реальному автомобилю и демонстрирует близкие характеристики и измеряемые параметры.
- 2) Разработанная методика может являться дополнением к реальному тесту и актуальна по причине ограничения тестовых километров и бюджетов. На данном этапе развития технологий, виртуальные испытания не могут заменить натурные.
- 3) Применение описанной методики можно использовать для обучения молодых инженеров и для ознакомления пилота с новыми трассами или инженерными новинками.
- 4) Виртуальная среда позволит объективно выбирать настройки автомобиля. Пилот может не переживать о возможности попасть в аварию и разбить автомобиль, а использовать его потенциал на максимум.
- 5) Разработанная методика даст экономический выигрыш на длинных трассах, на коротких целесообразнее применять полностью натурные испытания. При применении комбинированной методики удалось сократить выброс твёрдых частиц в два раза, а выброс вредных веществ в результате сгорания топлива в 2.2 раза.

**Спасибо за внимание!**