электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 004.946

Анализ физических моделей поведения болида с использованием среды разработки rFactor

***Грибов А.С.**, студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана
кафедра «Информационные системы и технологии»

Научный руководитель: Алфимцев А.Н., к.т.н. доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана
alfim@bmstu.ru

Введение в СИМРЕЙСИНГ

Formula One SpeedMAX 2010 [1]. Это игра – спортивный автосимулятор, позволяющий моделировать ситуации приближенной к реальности по пилотированию болидов на различных трассах. При этом моделируются как сами болиды, так и трассы. Испытатель может почувствовать реальное ощущение скорости виражей прохождения трассы как с точностью предлагаемой программой, так и смоделировать свою трассу, усложняя уровень. Сегодня приложение моделирования виртуальной реальности и виртуализации компьютерного интеллекта является одной из важнейших научных задач [2, 3]. Без существенных материальных затрат, человек погружается в атмосферу реалистичных событий. Преимущества виртуальной интеллектуальной среды:

1. Формируются навыки пилотирования.
2. Спортивный азарт.
3. Повышается концентрация, устойчивость, переключаемость внимания.
4. Целесообразность включения спортивного автосимулятора в тренировочный процесс, чтобы мысленно прорабатывать технику движений.
5. Изучение атрибутики спортивных серий.
6. Изучение технической составляющей.
7. Работа с настройками болида как в настоящих гонках, используется телеметрия.
8. Выбор болида, трассы и шлема своего пилота.

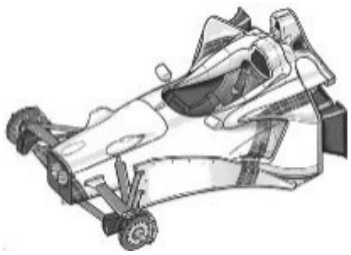
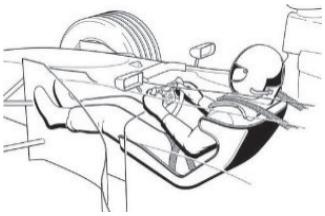
9. Использование в промышленных масштабах для увеличения количества и качества спортсменов – пилотов, возможность поиска талантов путем проведения киберспортивных чемпионатов.

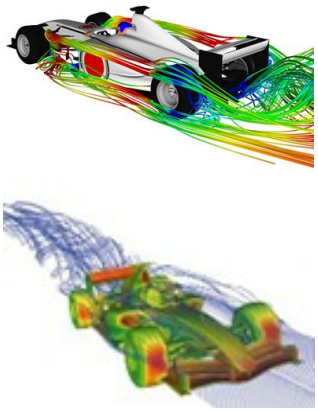
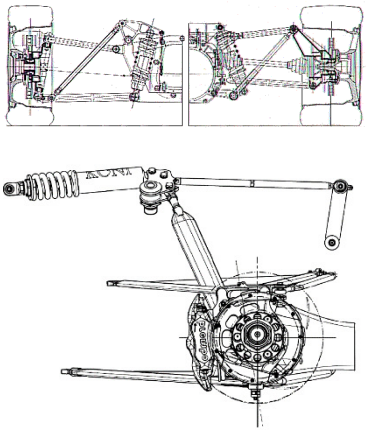
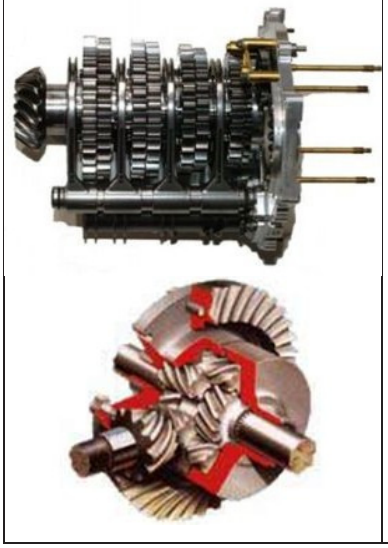
Основные составляющие автосимулятора

Спортивные автосимуляторы, как киберспортивный жанр автогонок. Анализ физической составляющей модели поведения болида на трассе – цель данной статьи. За основу выбрана серия королевских гонок – Формула 1, как самый выдающийся пример автоспорта. Реалистичность поведения болида на гоночном полотне зависит от множества факторов, которые можно условно разделить на три группы: конструкция болида (табл. 1), окружающая среда (табл. 2) и обратная связь (табл. 3). Рассмотрим подробнее болид в разрезе [4] и перейдем к составляющим конструкции.

Таблица 1

Конструкция болида

	**Монокок:** внешняя оболочка, являющаяся несущей конструкцией и частью аэродинамики, формуется из углепластика и пористых композитных материалов. В него помещается кокпит, и к нему крепятся все остальные аэродинамические элементы корпуса.
	**Кокпит:** съёмное анатомическое сиденье гонщика из углепластика с ремнями безопасности. Важным является реальный угол обзора и правильная установка камеры автосимулятора. После посадки в кокпит гонщик устанавливает руль.

	**Аэродинамические элементы корпуса:** кожух мотора, носовой обтекатель, передние и задние антикрылья, диффузор, боковые понтоны, днище, дефлекторы, различные пластины, закрылки, элероны и т.д. Эффективность аэродинамики на скоростях свыше 120 км/ч имеет решающее влияние на результат при прохождении скоростных поворотов.
	**Движимые элементы механики подвески:** системы рычагов, тяг или толкателей, взаимодействующих с торсионными пружинами, балками, балансирами и системой амортизаторов, смонтированной внутри корпуса, а также стабилизаторов и буферов сжатия. Эффективность механики подвески обеспечивает оптимальное положение колес для лучшего сцепления с гоночным полотном и прохождением неровностей, поребриков.
	**Трансмиссия:** объединяющий элемент двигателя и ведущих колес. В состав входит коробка передач, сцепление, дифференциал. Сцепление используется только на старте, в дальнейшим им управляет бортовой компьютер. Передаточное соотношение в коробке передач определяется заранее, исходя из конфигурации трассы, и устанавливается перед гонкой. 7 передач и одна задняя. Полуавтоматическая секвентальная коробка передач переключает скорости за одну тысячную секунды без выжимания сцепления.

	Тормозная система: имеет не менее важное влияние на результат прохождения поворотов. Тормоза снижают скорость машины с 350 км/ч до нуля менее чем за 3 с, заставляя переживать колоссальные перегрузки. Тормозные колодки и диски при это подвергаются быстрому нагреву до 1000 С за секунду, что заставляет тщательно следить за их температурой.
	Колеса и шины: первый связующий элемент гоночного полотна с болидом. Шины, точнее, компаунды – специальные гоночные резиновые смеси. Выход компаундов на рабочий температурный режим является наиболее важным. Отклонение на десять градусов в меньшую сторону резко ухудшает сцепление с асфальтом, в большую – приводит к гранулированию и быстрому износу.
	Двигатель и топливо: наиболее сложный и дорогостоящий элемент конструкции, обладающей колоссальной мощностью в 750 л. с. при 18 тыс. об/мин, имея при этом объем 2,4 л. и вес 95 кг при атмосферной подаче набегающего воздуха.

Шесть типов резины для разных условий. Четыре из них – слики, предназначенные для сухой погоды и различающиеся жесткостью. Мягче тип – больше скорость и износ. Промежуточный тип с небольшим протектором для мокрой трассы и слабых осадков. Дождевой тип для пилотирования в дождь. Переходим к окружающей среде.

Таблица 2

Окружающая среда

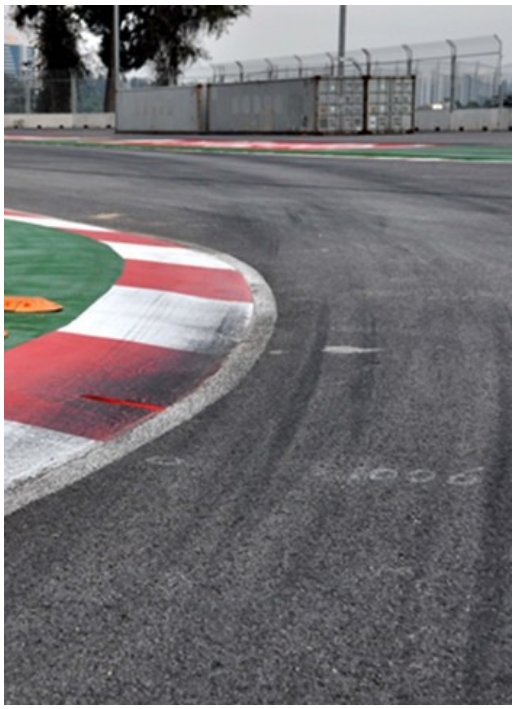
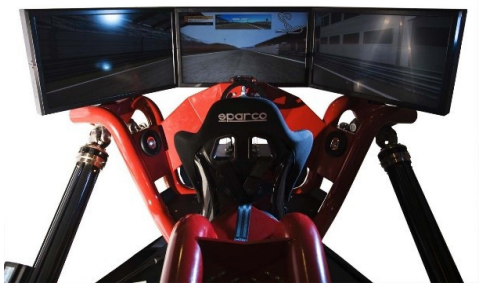
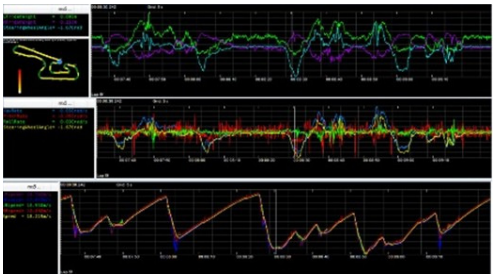
	**Состояние гоночного полотна трассы:** температура и абразивность асфальта, влажность, накат, «червячки». Ключевые параметры контроля оптимальной работы шин. Зернистость асфальта может привести к быстрому износу резины, а слишком гладкий асфальт может оказаться скользким. Недостаточный прогрев или перегрев тоже уменьшает ресурс и качество сцепления шин. Накат трассы сильно увеличивает сцепление засчет прорезинивания гоночного полотна на траектории, а вот отработанные остатки шин вне траектории – «червячки» могут стать причиной аварии из-за резкой потери сцепления.
	Состояние воздуха: скорость ветра, температура воздуха, осадки. Прижимная сила аэродинамических элементов на скорости за 320 км/ч будет варьироваться от температуры воздуха, которая изменяет его плотность. Плохая видимость в дождь сильно затрудняет пилотирование.
	Перепады высот: наклон полотна, уровень перепада, изменение давления. Уровень наклона полотна сильно влияет на прижимную силу в повороте и выбор траектории. Перепады высот вносят дополнительные и без того огромные перегрузки, а изменение давления влияет на прижимную силу.

Таблица 3

Обратная связь

	**Контроллер:** может быть самым разным от гоночного стенда, руля, джойстика до клавиатуры и мыши. Главная задача контроллера – это хорошая обратная связь, т.е. полное контролирование передачи действий пилота с контроллером в поведение виртуального болида на трассе.
	**Телеметрия:** измеряемые и контролируемые параметры болида в реальном времени. Огромная система отслеживания изменений самых разных параметров, таких как перемены в давлении, высоте подвески в любом повороте, температуре резины и многие другие. Нанесение специальной краски для отслеживания воздушных потоков. Создается полная картина поведения болида на трассе, возможность сопоставлять полученные данные и оценивать реакцию машины на поворот руля, её стабильность на торможении, предвидеть возможные проблемы.

Развитие от Challenge к rFactor. Переход к rFactor 2

rFactor — компьютерная игра в жанре автосимулятор. Игра представляет собой платформу для написания модов, благодаря чему стал наиболее массовой игрой в симрейсинге появившийся в 2006ом году от студии Image Space Incorporated. Игра поддерживает встраивание разнообразных плагинов, усовершенствования физики, добавление телеметрии, абсолютно любых новых трасс и автомобилей, для создания самых разных гоночных соревнований.

Это доработанный игровой движок F1 Challenge 99-02, вышедший в 2003 году, которая была лучшей в своем роде и обрела множество фанатов, которые не утихают и по сей день. rFactor прямой наследник F1 Challenge 99-02, благодаря чему многие моды можно портировать почти без потерь с одной игры на другую. Основа для моддинга была сформирована именно на Challenge и большинство качественных модов тоже были на Challenge. Многие мододелы и игроки виртуальных сообществ упорно не хотели воспринимать давно уже вышедший rFactor с довольно слабыми пока еще на тот момент модами. Объединив все наработки модов Challenge и изучив новые возможности в rFactor я получил одну из главных особенностей SPEEDMAX – самая реалистичная модель масс и инерций (взаимодействия между собой и окружающей средой конструкционных масс), модель гоночной шины и наиболее полное (в пределах возможностей движка) в остальных элементах соответствие официальному регламенту F1 2010 [5]. Новая игровая платформа rFactor 2 предполагает новый движок с глобальными изменениями и большими возможностями по визуальной и физической отработке и геометрии подвески, вращение колес, новая модель шины, моделированию дождя, повышение производительности и качества графики. Всё это с учетом сохранения преемственности физики предыдущих лет. Но по ряду причин этого не происходит, и новая версия игры rFactor 2 на стадии бета-тестирования уже более двух лет.

Моделирование факторов автосимулятора

Разберемся как моделируются основные составляющие автосимулятора перечисленные в (табл. 1-3).

Рассмотрим подробнее геометрическую конструкцию. Геометрическая конструкция подвески состоит из монокока и всех жестко закрепленных конструкций: элементов аэродинамики (антикрылья, диффузор, дефлекторы, закрылки и т.д.), коробки передач, двигателя. Топливо в баке не может быть закреплено жестко. Имитация его движения в баке моделируется при помощи пружин и амортизаторов. К конструкции посредством рычагов подвески прикрепляются колеса. Колеса содержат в себе тормозные колодки и шины.

Рассчитывается жесткая масса геометрической конструкции и её инерционные свойства по всем осям. Размещаются и рассчитываются массы и инерции для передних правых и левых полуосей – рулевых сошек. Аналогично размещаются задние правые и левые полуоси. На каждую полуось размещается колесо. Соединения колес с полуосями устанавливаются как шарниры (устраняет 5 степеней свободы).

Каждое из колес крепится 2умя А-образными рычагами + 1 полуось. Каждый рычаг – это ограничение смещения одного тела от смещения другого тела на фиксированном расстоянии (устраняет 1 степень свободы). Соединение рычагов с креплением колес и корпусом (рис. 3.). Подвеску, выполненную в 3D можно увидеть в [6].

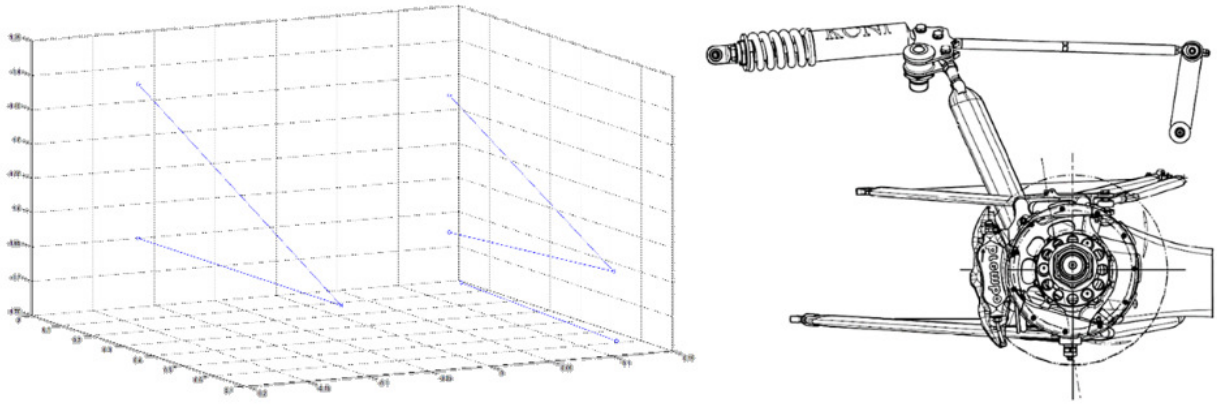


Рис. 3. Крепление 2умя А-образными рычагами:
слева моделирование в MatLab; справа подвеска формулы 1

Голова пилота в шлеме на плечах также имеет массу и подвержена инерциям, но она не влияет на автомобиль. Устанавливаются стабилизаторы поперечной устойчивости, схождение и развал колес, касторы для передних колес.

Производятся настройки третьей пружины [7]): ход системы удар-отскок в мм, начальная жесткость пружины и её повышение до остановки (число, умноженное на отклонение в квадрате), аналогично для амортизатора: начальная жесткость и повышение до остановки. Во время работы пружины определяют силу крена, а амортизаторы контролируют скорость, с которой крен происходит. Регулируется быстрый и медленный ход сжатия и отбоя для пружин и амортизаторов соответственно. Медленные характеристики оказывают влияние на продольный и поперечный крен, быстрые характеристики отвечают за подскок на кочках колес.

Каждое колесо в rFactor описывается отдельно. Аналогично третьей пружине настраиваются пружины и амортизаторы. Дополнительно указываются: трение между шпинделем и колесом, инерция направления в любой оси, совмещение графического и физического центра колеса, соединение пружины и амортизатора с осью геометрической подвески и с корпусом болида. Настройки по умолчанию и диапазон значений: развала, давления в шинах, жесткость пружины, жесткость поломанной пружины, высота подвески, медленный и быстрый ход сжатия и отбоя.

Настройка тормозной системы. Настраивается толщина тормозного диска, инерция тормозного диска на метр толщины, диапазон сжатия тормозных колодок и значение по умолчанию, кривая отклика тормозов в зависимости от температуры в трех состояниях: холодный, оптимальный, перегретый. Износ тормозов в секунду при оптимальной температуре, изменение толщины диска при аварии, максимальный тормозной момент при нулевом износе и оптимальной температуре, добавление тепла линейно с частотой вращения колеса при толщине макс диска, минимальное охлаждение тормозов по умолчанию и от скорости при толщине макс диска, охлаждение от тормозного воздуховода при толщине макс диска, диапазон свечения тормозов при перегреве. Аэродинамическое сопротивление и подъемная сила тормозного воздуховода относительно его размера.

Трансмиссия формулы 1 – объединяющий элемент двигателя и ведущих колес, подробнее [8]. Коробка передач [9] представляет собой набор из 110 передаточных чисел и 3 варианта редуктора. Удлиненные передачи приводят к увеличению потенциальной максимальной скорости, но ухудшение скорости разгона, с укороченными наоборот. Оценивается скорость переключения сцепления, инерция сцепления, крутящий момент, износ, трение. Настраивается ручной или полуавтоматический режим, устанавливается время переключения на повышенную передачу и время срабатывания сцепления (для формулы 1 равно нулю) и аналогично для понижения передачи. Устанавливаются ведущие задние колеса. Выстраиваются настройки передаточных чисел и редуктора по умолчанию.

Дифференциал служит для распределения момента от входного вала коробки передач, который поровну делится между полуосями правого и левого колеса. Подробнее о настройке блокировки и работе [10].

Двигатель состоит из набора крутящего момента и соответствующей ему мощности. Расходом топлива, которое влияет на положение дроссельной заслонки и оборотов двигателя. Топливная оценка, для вероятностного расчета топлива на круг и пит-стоп планирования. Инерция вращения узлов и деталей двигателя. Положение дроссельной заслонки для поддержания холостого хода. Удержание холостого хода между указанными оборотами. Наличие контроля запуска, который удерживает мотор между указанными оптимальными оборотами для старта (не используется). Ограничитель по крутящему моменту и его регулировка. Картография мотора – максимальная управляемость или максимальная мощность на низких передачах. Картография торможения мотора. Обогащение топливной смеси: повышение оборотов, увеличение

мощности, потребления топлива, износа двигателя. Оптимальная температура масла. Выделяемое тепло при сжигании литра топлива. Тепло, добавляемое линейно с числом оборотов двигателя. Потери тепла масла без радиатора. Передача тепла от масла к воде, зависящая от частоты вращения двигателя. Потери тепла воды без радиатора. Охлаждение от радиатора в зависимости от скорости набегающего потока воздуха. Благоприятные режимы работы двигателя: оптимальные обороты и температура масла. Средний срок службы двигателя по времени + величина разброса. Расположение эмиссии двигателя и звукам.

Шины – промежуточное звено между гоночным полотном и болидом. Боковые и продольные коэффициенты сцепления в сухую и мокрую погоду. Радиус шины, увеличение радиуса с повышением оборотов двигателя. Ширина шины, радиус колесного диска, жесткость и амортизация, минимальная скорость к искрообразованию. Жесткость шины без давления и увеличение жесткости с повышением давления, амортизация шины. Скорость падения сцепления до половины. Чувствительность нагрузки для бокового и продольного сцепления (наклон, множитель, нагрузка). Скольжения, где боковое и продольное пиковые усилия происходят в зависимости от нагрузки. Набор углов кривой скольжения, кривая коэффициентов скольжения при торможении, кривая коэффициентов скольжения при ускорении. Угол развала, боковые усилия на пике и продольные потери при 90градусах. Сопротивление вращению (Нм) на единицу отклонения (м) на земле. Пневматический след на единицу нагрузки (м / Н) , регулируется на основании скольжения. Динамическое вычисление тепла от трения базового пика скольжения. Нагрев от вращения и трения. Передача тепла полотну, воздуху и набегающему потоку воздуха. Распределение тепла максимальный угол развала и максимальное давление. Тепло между протектором и воздухом внутри. Константа скорости износа. Набор коэффициентов сцепления от износа. Шина взрывается при 100% износе. Оптимальная и начальная рабочие температуры. Оптимальное давление. Зависимость сцепления от давления. Упрощенные параметры для ботов: жесткость шины, сцепление, угол пика скольжения, коэффициент схожести модели шины скольжения с аналогичной моделью игрока, постоянная скорость износа. Все эти характеристики могут применяться для каждого колеса и комплекта в отдельности.

Рассмотрим аэродинамические элементы. Аэродинамические элементы машины должны работать, как единое целое, но ключевым остается переднее антикрыло. Когда в 2009 году ширина антикрыла была увеличена, инженерам потребовалось немало времени, чтобы оптимизировать воздушный поток. В результате на антикрыле появились торцевые

пластины сложной формы. Теперь края крыла будут смещены к центру машины, на них иначе повлияет вращение передних колес – оптимизацию придётся начинать заново. Среди настроек переднего антикрыла указываются: передний диапазон регулировки антикрыла и его значение по умолчанию, максимальная высота, базовое сопротивление и уровень подъемной силы с каждым уровнем регулировки, эффект влияния тяги на подъем переднего антикрыла, эффект текущей высоты на коэффициент прижимной силы, прижимная сила по бокам (эффект рыскания), угол пика рыскания, смещение от аэродинамических сил влево, вправо, вверх, вниз, назад, вперед, аэродинамические турбулентные потоки, смещение от центра передней оси в плоскости. Настройки заднего антикрыла настраиваются аналогично.

Базовое аэродинамическое сопротивление, увеличение сопротивления со средней высотой посадки, увеличение сопротивления засчет разницы высоты между передней и задней частью болида, эффект влияния газа на аэродинамическую прижимную баланса болида, влияние газа на подъемную силу корпуса болида, смещение от аэродинамических сил влево, вправо, вверх, вниз, назад, вперед, аэродинамические турбулентные потоки, смещение от центра задней оси в плоскости. Диапазон размеров радиатора и его значение по умолчанию, сопротивление от размера радиатора, подъемная сила радиатора. Базовое аэродинамическое сопротивление болида, аэродинамическое сопротивление лидера и последователя (для создания эффекта слипстрима). (Слипстрим – поток разряженного воздуха позади идущего болида. В слипстриме сопротивление воздуха уменьшается и для лидера, и (в большей степени) для последователя. У последователя в слипстриме будет недостаточная поворачиваемость, из-за уменьшения плотности потока набегающего воздуха, а также сниженное воздушное охлаждение.) Коэффициент, который помогает определить базовую ширину следа. Базовое боковое аэродинамическое сопротивление болида, аэродинамическое боковое сопротивление лидера и последователя.

Диффузор [11]. Элемент аэродинамики, работающий по закону Бернулли. Воздух, засасывающийся под болидом, проходит сложную систему каналов и ответвлений, в результате чего тормозится, вызывая увеличение давления и, как следствие, дополнительную прижимную силу. Настраиваются: базовая подъемная сила относительно высоты передней и задней части болида, высота передней части, оптимальная разница передней и задней части, угол расширения потока воздуха, снижение рысканья задней части, влияние сопротивление на прижимную силу диффузора, функция работы диффузора от просвета, центр сил диффузора (смещение от центра задней оси).

Заключение

В статье рассмотрены +основные параметры моделирования факторов симулятора и сопоставлены с реальной гоночной серией – формулой 1. В будущем планируется добавить описание параметров моделирования окружающей среды и обратной связи. Проанализировать физику на платформе rFactor и сделать сравнительный анализ применительно к конкурирующим симуляторам и оценить особенности уникальной физики SPEEDMAX.

Список литературы

1. SPEEDMAX. Режим доступа: // Режим доступа: http://speedmax.ucoz.ru/ (дата обращения: 20.02.2014).
2. Уэббер М. Видео: Гран При Испании: Круг по трассе с Марком Уэббером. Режим доступа: // http://www.f1news.ru/news/f1-57562.html (дата обращения: 20.02.2014).
3. Алфимцев А.Н. Разработка и исследование методов захвата, отслеживания и распознавания динамических жестов : дис. ... канд. техн. наук. М., 2008. 167 с.
4. Клапан В. Гоночный болид Формулы 1 показали в разрезе. Режим доступа: // http://www.autocentre.ua/news/autosport/47630.html (дата обращения: 20.02.2014).
5. Официальный технический регламент формулы 1. Режим доступа: // http://argent.fia.com/web/fia-ublic.nsf/4ADA53A7369DCE8EC12576C700535E67/$FILE/1-2010%20TECHNICAL%20REGULATIONS%2023-06-2010.pdf (дата обращения: 20.02.2014).
6. CTDP F1 1994. Модель подвески. Режим доступа: // http://www.virtualr.net/ctdp-f1-1994-suspension-model (дата обращения: 20.02.2014).
7. Третья пружина. Режим доступа: // http://www.gurneyflap.com/Resources/rearsus.jpg (дата обращения: 20.02.2014).
8. Трансмиссия. Режим доступа: // http://i1.8000vueltas.com/2008/07/componentes-del-sistema-de-traccion-en-un-f1.jpg (дата обращения: 20.02.2014).
9. Коробка передач // http://formula1-dictionary.net/Images/gearbox_layout_cluster.gif (дата обращения: 20.02.2014).
10. Блокировка дифференциала. Режим доступа: // http://www.newlink.ru/tuning/setup-matrix.htm (дата обращения: 20.02.2014).

11. Диффузор. Режим доступа: // http://sp0rt-life.ru/wp-content/uploads/2012/08/wpid-10-glavnyih-tehnicheskih-zapretov-v-Formule-1-za-poslednie-20-let-7.jpg (дата обращения: 20.02.2014).