

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра Проектирование и эксплуатация автомобилей
(наименование)

13.04.03 Энергетическое машиностроение
(код и наименование направления подготовки)

Энергетические комплексы и системы управления
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка по лицензии гибридной силовой установки транспортного средства на
базе автомобиля Lada XGF

Обучающийся

Проскурин Д.Ю

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

канд. техн. Наук, доцент П.В Ивашин

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

Тольятти 2025

Список терминов и определений

ДВС – двигатель внутреннего сгорания.

ЭСУД – электронная система управления двигателем.

КСУД – контролер система управления двигателем.

VCU – контролер управления электродвигателем

BCM – Body Control Modul (Модуль управления кузовом).

ГРМ – газораспределительный механизм.

КПД – коэффициент подрезного действия.

АКБ – аккумуляторная батарея.

DCDC – преобразователь из постоянного напряжения в постоянное напряжение.

АТ – классический автомат с гидротрансформатором и планетарным редуктором.

АМТ – роботизированная механическая коробка переключения передач.

МТ – механическая коробка переключения передач.

CVT – вариатор, бесступенчатая трансмиссия, в которой крутящий момент передается при помощи конусообразных шкивов и ремня.

e-CVT – вариатор со встроенным электродвигателем, используются в гибридных автомобилях благодаря их способности эффективно управлять мощностью как от двигателя внутреннего сгорания, так и от электродвигателя.

СДПМ – синхронный электродвигатель с постоянными магнитами.

PMSM – permanent magnet synchronous motor (англоязычная аббревиатура СДПМ)

ИИ – искусственный интеллект.

Аннотация

Название дипломной работы: «Разработка по лицензии гибридной силовой установки транспортного средства на базе автомобиля Lada XGF».

Работа состоит из пояснительной записки на 113 страницах, включающей 87 рисунков, 10 таблиц, списка литературы из 35 наименований, 1 приложения.

Ключевым вопросом магистерской диссертации является создание гибридной платформы автомобиля.

Целью работы является получение навыков моделирования гибридной платформы, представленной 1D моделью, предназначенной для моделирования ездовых циклов автомобилей LADA.

Задачами проекта были: анализ актуальных гибридных решений в автомобилестроении, изучение 1D моделей автомобилей для моделирования ездовых циклов, разработка модели гибридного силового агрегата для моделирования ездовых циклов.

В процессе работы была разработана 1D модель, учитывающая важные аспекты для моделирования показатели, которые необходимы для проектирования гибридной платформы автомобиля.

Содержание

Введение.....	4
Глава 1 Изучение литературы для выявления основных подходов для моделирования характеристик автомобильных силовых агрегатов	8
1.1 Состояние вопроса (постановка задачи)	8
1.2 Цели и задачи	9
1.3 Поиск и анализ технических параметров и аналогов.....	9
Глава 2 Обзор существующих гибридных автомобилей	13
2.1 Гибридные автомобили первых поколений.....	13
2.2 Обзор актуальных гибридных решений.....	21
2.3 Анализ таблицы данных.....	27
2.4 АКБ Рэнера, ДВС Gimura.....	29
Глава 3 Искусственный интеллект и нейросеть.....	32
3.1 Применение искусственного интеллекта.....	32
3.2 Использование ИИ при моделировании ездовых режимов.....	32
3.3 Применение искусственной интеллекта в автомобиле.....	34
.4 Схема применения.....	35
Глава 4 Моделирование 1D модели AVL Cruise M и Ладуга Pradis.....	37
4.1 Пример модели гибридного автомобиля	37
4.2 Моделирования ездового цикла гибридного автомобиля.....	63
4.3 Анализ пакета моделирования Pradis.....	67
4.4 Обзор внедренных функции в сравнении Cruise M.....	68
4.5 Моделирование системы и основных параметров.....	69
Заключение.....	77
Список используемой литературы и используемых источников.....	78
Приложение А.....	82

Введение

Актуальность работы и научная значимость исследования.

“В наши дни при стабильном росте количества различных автомобилей и непрерывно растущей необходимости в обеспеченности энергетическими ресурсами, все большую актуальность приобретает проблема снижения расхода топлива и улучшения способности контролировать его расход при эксплуатации автомобиля” [6]

Актуальность данной проблемы обоснована: экономическими факторами в стране, себестоимостью грузоперевозок с использованием автомобильного транспорта, особенно важно при росте цен на топливное сырье.

Гибридные автомобили оснащены двигателями внутреннего сгорания и электромотором. Важнейшим аспектом, на который следует обратить внимание, является силовой агрегат – это то, как двигатель и электромотор взаимодействуют для получения максимальной эффективности сгорания топлива.

В конструкции, гибридные автомобили могут иметь разные вариации силовых агрегатов. Некоторые модели оснащены параллельной гибридной системой, где два источника мощности (двигатель внутреннего сгорания и электромотор) могут вести автомобиль независимо или в совместном режиме. Другие имеют серийную гибридную систему, где внутренне сгорание используется для генерации электроэнергии, которая затем приводит электромотор.

Гибридная тема за последние годы получила довольно широкое распространение. В ближайшей перспективе расширится модельный ряд авторынка, пополнится гибридными автомобилями последнего поколения. Речь идет о транспорте, оснащенный одновременно двигателем внутреннего сгорания и электрическим мотором.

“Моделирование гибридной силовой установки автомобиля – это

процесс создания математической модели, которая описывает работу различных компонентов такой установки, таких как: двигатель внутреннего сгорания, электрический мотор, аккумуляторные батареи и систем управления” [4]

Научная значимость этого моделирования заключается в исследовании эффективности и энергопотребление гибридных автомобилей, а также оптимизации их производство и использование. Гибридные автомобили могут быть ключевым элементом в переходе к более устойчивой и экологически чистой транспортной системе. Исследования в этой области помогут ускорить этот процесс.

“Во время движения на малых скоростях, при маневрировании или в трафике машина может передвигаться на одном электромоторе. Итогом внедрения в автомобиль такого довольно сложного гибридного привода становится заметная экономия топлива, которая в различных моделях колеблется в пределах от 25 до 50%” [8]

Объект исследования.

Автомобильная гибридная силовая установка.

Предмет исследования.

Применения автомобильных гибридных силовых установках.

Целью работы является изучение перспектив применения автомобильных гибридных силовых установках.

Гипотеза исследования состоит в том, что применение гибридной силовой установки позволяет повысить топливную экономичность и снизить выбросы вредных веществ.

Достижение поставленной цели обеспечивается решением следующих задач:

1. провести обзор проблемных источников и наработать материал для изучения перспектив применения электромотора в автомобильных силовых установках;

2. выявить возможности улучшения характеристик двигателя легкового автомобиля за счет применения гибридной конструкции силового агрегата.

Методы исследования.

Метод аналитического исследования, метод моделирования рабочего процесса, метод экспериментальных исследований.

Научная новизна исследования заключается в предложении о повышении эффективности ДВС легкового автомобиля за счёт гибридной конструкции.

Личное участие автора состоит в том, что автор принимал непосредственное участие в анализе на примере уже существующих гибридного автомобиля, а также разрабатывал модель для исследования и анализа полученных результатов.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течении всего периода исследования. Результаты были представлены на следующих конференциях и семинарах:

- на семинарах кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей» в 2023, 2024 и 2025 г;

- на первой научно-практической конференции АВТОВАЗа для молодых специалистов инжиниринга 21.09.24 г;

- Аверин Б.Е. Тенденции цифровизации социальных процессов [Текст] // Научная инициатива: проблемы и перспективы внедрения инновационных решений: сборник статей Международной научно–практической конференции (г. Магнитогорск, РФ, 27 ноября 2024г.). – Уфа: Omega science, 2024. – 133-139 С.

На защиту выносятся:

1. анализ перспектив применения в автомобилях гибридных силовых установок;
2. возможности повышения эффективности двигателя легкового автомобиля за счет применения электромотора в паре с ДВС автомобильных силовых установках.

Структура магистерской диссертации.

Диссертации состоит из введения, 4 глав, заключения с основными результатами и выводами, содержит 87 рисунков, 10 таблиц, списка использованных источников (35 источник), 1 приложения. Основной текст изложен на 113 страницах.

Глава 1 Изучение литературы для выявления основных подходов для моделирования характеристик автомобильных силовых агрегатов

1.1 Состояние вопроса (постановка задачи)

“В последнее время увеличился рост автомобилей на душу населения. Рост количества автомобилей связано с общей тенденцией к потребительству в современном обществе. На сегодняшний день автомобиль – это не просто средство передвижения, это также статусный символ и способ удовлетворения потребностей, способ выделиться” [9]

“Все это факторы приводят к росту спроса и увеличению автомобилизации населения, что неминуемо ведет к таким проблемам, как расточительство ресурсов и загрязнению окружающей среды. Рассмотрим последнюю проблему подробнее” [9]

“Перспективы развития рынка электротранспорта на долгосрочной перспективе неизменно остаются оптимистическими, хотя и с некоторым замедлением темпов роста в ближайшие годы. Большое количество новых моделей электромобилей различных классов, расширение рынка и увеличение инвестиций в эту отрасль продолжают подталкивать электромобили к постепенному вытеснению автомобилей, работающих на ископаемом топливе. С удешевлением аккумуляторов, масштабированием производства и уменьшением их стоимости, они становятся более доступными для потенциальных покупателей” [6]

“Эксперты прогнозируют, что к 2025 году продажи Гибридных автомобилей могут достичь 10% от мировых продаж легковых автомобилей, а к 2030 году уже до 18%, а к 2040 году эта цифра может вырасти до 32% начиная с 2015 года лидером по производству гибридных автомобилей стал Китай, где доля продаж пассажирских гибридных автомобилей в мировых масштабах увеличилась с 5% в 2015 году до 20% в 2023 году, а в первой

половине 2024 года выросла до 32%.” [15]

1.2 Цели и задачи

Задачи данной выпускной квалификационной работы:

- Создание концепции гибридного силового агрегата для импортозамещения;
- Подбор компонентов для построения, получение параметров силового агрегата;
- Моделирование силового агрегата и определение параметров работы (КПД, коэффициент мощности).

Все полученные данные помогут спроектировать прототип и для построения силового агрегата, который будет соответствовать техническим требованиям.

1.3 Поиск и анализ технических параметров и аналогов

В современной автомобиле строении существуют основные 3 типа построения гибридных силовых агрегатов.

Существуют три типа конфигурации гибридного силового агрегата:

- Параллельные гибриды. ДВС и электромотор работают параллельно и передают крутящий момент на колёса автомобиля, схема представлена на рисунке 1;
- Последовательные гибриды. Электрический двигатель обеспечивает движение автомобиля, а двигатель внутреннего сгорания используется для зарядки аккумуляторов, вращаясь в режиме генератора, схема представлена на рисунке 2;
- Комбинированные гибриды. ДВС и электромотор расположены в ряд и могут работать как независимо, так и совместно, схема представлена на рисунке 3.

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ СХЕМА

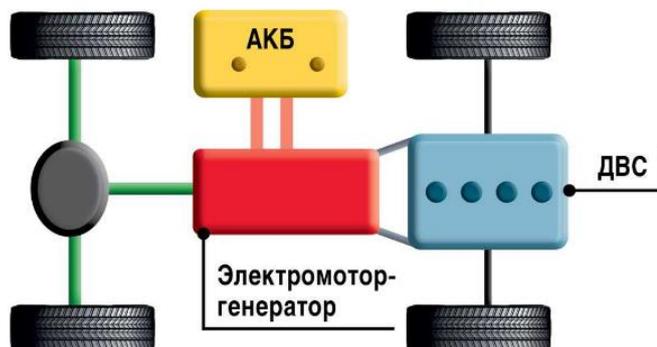


Рисунок 1 – Параллельная схема конструкции гибрида

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ СХЕМА

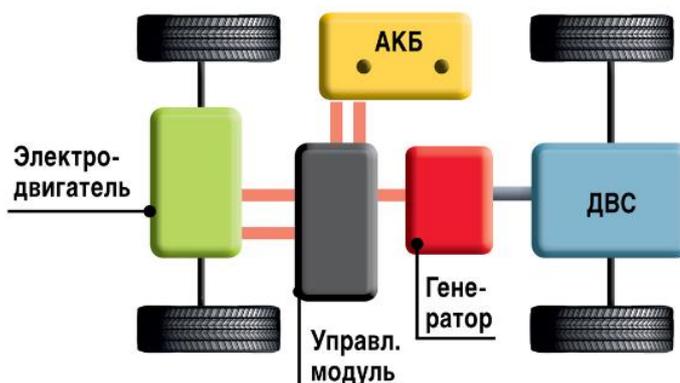


Рисунок 2 – Последовательная схема конструкции гибрида

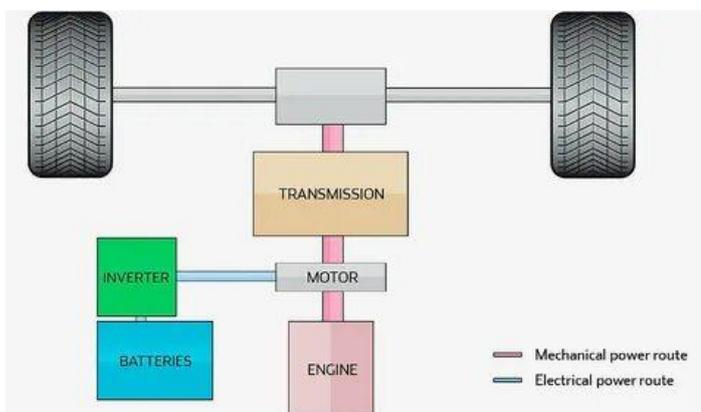


Рисунок 3 – Комбинированная схема конструкции гибрида

Положительные стороны конструкции:

- Высокий крутящий момент с низких оборотов;
- Меньший расход топлива около 3 л. на 100км;
- Модернизация конструкции, гибридного силового агрегата.

“Недостатки гибридных автомобилей:

- Гибридные автомобили обычно дороже автомобилей с ДВС. Во-первых, они оснащены двумя двигателями. Во-вторых, им нужна специальная автоматическая трансмиссия, способная работать с двумя источниками энергии (но можно выбрать модели с механической трансмиссией). В-третьих, им требуется сложная электроника, которая контролирует работу двигателей, трансмиссии и аккумуляторов, оптимизируя их работу для достижения максимальной эффективности и производительности. Правда, с развитием технологий и масштабированием производства, стоимость гибридных автомобилей постепенно снижается;
- Использование двух двигателей, аккумулятора и систем управления приводит к увеличению массы и габаритов гибридных автомобилей. Но и тут автопроизводители работают над улучшением характеристик, поэтому в ближайшие несколько лет можно ожидать положительных изменений, представлено на рисунке 4 ” [25].

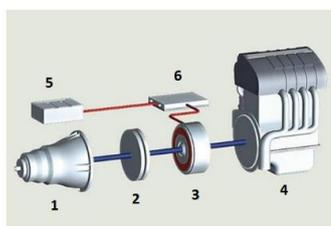


Рисунок 4 – Схематичная конструкция гибридного силового агрегата
(1 - трансмиссия, 2 - муфта, 3 - электромотор, 4 - ДВС, 5 - АКБ, 6 - VCU
электромотора)

“Ограничениями для развития электромобильного рынка являются недостаточный уровень развития зарядной инфраструктуры и ограниченность производства. Напротив, гибридные автомобили не требуются станции электрозарядки, а может использовать стандартные заправочные станции АИ-95.” [12].

“Для достижения массового производства гибридных автомобилей главным ограничителем в настоящее время являются тяговый аккумуляторные батареи. Технические ограничения, связанные с меньшим пробегом на одной зарядке по сравнению с традиционными автомобилями, падением емкости на 30-40% в условия низких температур и продолжительным временем зарядки, а также экономические ограничения, связанные с высокой стоимостью батарей и снижением общей эффективности транспортного средства при увеличении массы батарей, остаются значительными” [10].

“Таким образом, можно сделать выводы, что складываются некоторые тенденции по востребованности гибридных автомобилей. Исходя из вышеописанных факторов, в перспективе ожидается рост рынка электромобилей на рынке России и на импорт в дружественные страны. Развитие технологий и инфраструктуры продолжит стимулировать переход на гибридные автомобили, особенно в городском и коммерческом сегментах” [10].

Глава 2 Обзор существующих гибридных автомобилей

2.1 Гибридные автомобили первых поколений

“Больше всего на рынке из представленных: Toyota Prius, Ford Fusion Hybrid, Toyota Camry Hybrid, Honda Accord Hybrid, Kia Niro Hybrid.

2.1.1 Toyota Prius



Рисунок 5 – “Toyota Prius пятого поколения” [7]

“Гибридный силовой привод построен таким образом, что позволяет и бензиновому двигателю, и электромотору непосредственно подключаться к ведущим колёсам автомобиля и взаимодействовать между собой. При такой схеме каждый из моторов работает в режиме наибольшей эффективности, за счёт чего и обеспечивается низкий расход топлива и малая токсичность выхлопа бензинового двигателя. Кроме этого, в приводе имеются генератор, преобразователь электрического тока и аккумуляторная батарея. Автомобиль показан на рисунке 5.



Рисунок 6 – Схема гибридного силового привода Toyota Prius: двигатель (Engine) и электромотор (Electromotor) вращают колёса и взаимодействуют между собой” [10]

“При начале движения на малой скорости, когда эффективность бензинового двигателя низка, автомобиль едет на электротяге, с помощью электромотора, разряжая батарею. С ростом скорости, в работу вступает двигатель внутреннего сгорания, который одновременно крутит ведущие колёса и генератор, заряжая батарею. При резком нажатии на педаль газа, в работу вступают оба двигателя, бензиновый и электрический, обеспечивая интенсивный разгон. А при торможении, совместно с обычной тормозной системой задействуется электромотор, работающий в режиме генератора: он создаёт дополнительный тормозной момент на колёсах и подзаряжает батарею. При остановке, даже кратковременной, всё выключается. Переход от одного режима работы к другому происходит автоматически и практически не заметен. Схема гибридного силового привода показана на рисунке 6.



Рисунок 7 – Совмещенная система силового агрегата (ДВС и электромотора)” [10].

“Иногда бензиновый двигатель работает на стоящем автомобиле, например, если ему необходимо прогреться или, если разряжена батарея и её надо подзарядить. Когда в баке мало бензина, то автомобиль не тронется с места, несмотря на заряженную батарею, его необходимо заправить так, чтобы погасла контрольная лампочка низкого уровня топлива. При длительном хранении аккумуляторная батарея разряжается, поэтому автомобиль необходимо заводить, хотя бы раз в несколько месяцев. Расположение ДВС показаны на рисунках 7 и 8” [10].



Рисунок 8 – Двигатель Toyota Prius

“В конструкции гибридной силовой установки Toyota используется два электромотора — управляющий мотор-генератор (MG1) и тяговый мотор-генератор (MG2). Мощность тягового электромотора показаны на рисунке 9



Рисунок 9 – Слева управляющий мотор-генератор (MG1) и справа тяговый мотор-генератор (MG2)” [27].

Отличия e-CVT и CVT представлены на рисунке 10

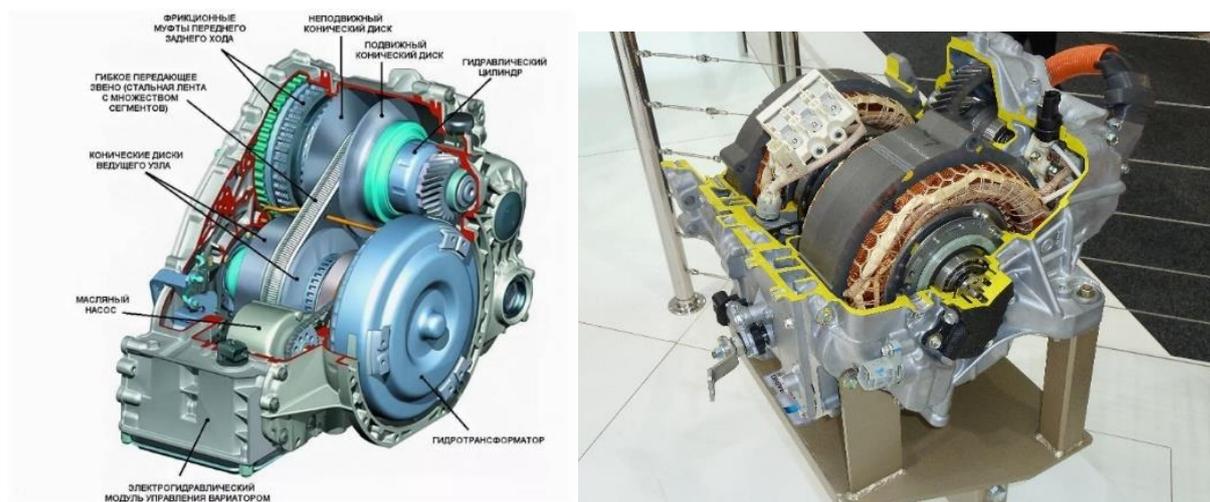


Рисунок 10 – Слева – CVT, справа – e-CVT

2.1.2 Ford Fusion Hybrid

“В Ford Fusion Hybrid — это бензиново-электрическая гибридная версия средне размерного седана Ford Fusion, выпускаемая и продаваемая Ford, теперь уже во втором поколении. Версия подключаемого гибрида, Ford Fusion Energi, была выпущена в США в феврале 2013 года показана на рисунке 11.



Рисунок 11 – Ford Fusion Hybrid” [12].

“Агентство по охране окружающей среды США (EPA) оценило Ford Fusion Hybrid 2010 года в 39 миль на галлон для США (6,0 л / 100 км; 47 миль на галлон-imp) в сочетании город / шоссе. Гибрид второго поколения улучшил показатели экономии топлива до 42 миль на галлон-US (5,6 л / 100 км; 50 миль на галлон-imp) для комбинированной езды по городу и шоссе. Агентство по охране окружающей среды оценило комбинированную экономию топлива Energi в городе и на шоссе в полностью электрическом режиме на уровне 88 миль на галлон бензинового эквивалента (миль на галлон-e) (2,7 л бензинового эквивалента / 100 км; 106 миль на галлон-imp). В гибридном режиме (без подзарядки) комбинированная экономия топлива Energi составляет 38 миль на галлон-US (6,2 л / 100 км; 46 миль на галлон-imp)” [13].

2.1.2.1 Smart Gauge для экологичного вождения

“Fusion Hybrid оснащен датчиком Smart Gauge с Eco Guide, который оснащен двумя 4,3-дюймовыми полноцветными ЖК-экранами высокого разрешения по обе стороны от аналогового спидометра автомобиля. Цель этих панельных дисплеев — научить водителей тому, как оптимизировать производительность гибрида, отслеживая улучшения в области экологического вождения показано на рисунке 12” [31].



Рисунок 12 – Цифровые панели для отслеживания эко-стиля вождения (вверху) и текущей тяги (внизу).

Эти экраны можно настроить для отображения различных уровней информации для водителя, включая уровни топлива и заряда батареи, а также среднюю и мгновенную экономию топлива. “В режиме обучения на правой панели приборов «вырастают» листья и виноградные лозы, поощряя экономичное вождение. Чем больше листьев и лоз появляется, тем эффективнее поведение водителя и тем больше экономится топлива. Долгосрочную эффективность использования топлива также можно отобразить в виде традиционной диаграммы. Левый боковой дисплей показывает, когда автомобиль находится в чисто электрическом режиме, и показывает состояние заряда аккумулятора” [13].

2.1.3 Lexus RX Hybrid

“Lexus RX 450h — это гибридный автомобиль, силовая установка которого представлена 3,5 литровым бензиновым двигателем и тремя электромоторами продуцирующими совместными усилиями комбинированную мощность в 313 лошадиных сил. С их помощью автомобиль может развивать максимальную скорость в 200 км/ч, разгоняясь до сотни за 7,9 секунд. Благодаря установленным электромоторам и правильному распределению рабочих усилий, расход топлива Lexus RX 450h Hybrid в смешанном цикле составляет порядка 6 литров на 100 км, что является невероятным результатом для автомобиля с таким объемом ДВС, показан на рисунке 13” [24].



Рисунок 13 – Lexus RX 450h

“Для Лексуса RX 450h в четвертом поколении предлагается 3.5-литровый атмосферный двигатель V6, действующий по циклу Аткинсона, который отвечает за вращение передних колес, а помогают ему два электромотора – в ведении одного числятся задние колеса, а второй оказывает содействие бензиновому ДВС. Суммарный потенциал гибридной силовой установки насчитывает 300 л/с, а передачу тяги на колеса обеспечивает автоматическая коробка передач e-CVT с электронным управлением” [14].

2.1.4 Kia Niro Hybrid

“Kia Niro — гибридный компактный кроссовер, созданный корпорацией Kia Motors в 2016 году. Является первым гибридным кроссовером марки. Kia Niro второго поколения будет представлен на фотографиях в Сеуле 25 ноября 2021 года на автосалоне в Сеуле, показан на рисунке 14.



Рисунок 14 – Kia Niro

“Автомобиль комплектовался гибридной силовой установкой общей мощностью 139 л. с., при этом расход топлива снизился до 4,7—5,5 л на 100 км благодаря легким материалам, использованным в конструкции кузова (высокопрочные стали и алюминиевые сплавы). Объем батареи составил 1,56 кВт·ч, а масса около 33 кг” [19].

“Автомобиль позиционировался как «негибридный» («un-hybrid») в смысле большего удобства в сравнении с другими гибридами. Продажи Kia Niro в Южной Корее стартовали 31 Марта 2016 года и за первый месяц было реализовано рекордное количество экземпляров для гибридных автомобилей, в том числе превышен результат Hyundai Ioniq. В 2018 году появилась версия автомобиля с возможностью подзарядки батареи, объем которой увеличился до 8,9 кВт·ч” [15].

“Гибридная трансмиссия кроссовера представляет собой электродвигатель (он же генератор), прикрепленный к валу шестиступенчатой коробки передач с двойным сцеплением. Преимуществом данной системы является то, что она ведет себя адекватно бензиновому двигателю, беря на себя только необходимые усилия при увеличении скорости автомобиля, помогая топливному мотору в наборе крутящего момента и поддержке стабильных оборотов. ДВС показан на рисунке 15” [14].



Рисунок 15 – Гибридный двигатель Kia Niro

2.1.4.1 Управление электрокара Kia Niro

“На «чистой» энергии электромотора Kia Niro в состоянии ехать только со скоростью до 40 км/ч, поэтому чтобы достичь нулевого выброса CO₂ и расхода топлива, на педаль акселератора нужно нажимать аккуратно. Разумеется, такая езда годится только в тягучем трафике городского потока, во всех других ситуациях без бензинового двигателя не обойтись” [15]

2.2 Обзор актуальных гибридных решений.

“Voyah Free — полноразмерный электромобиль-кроссовер и подзаряжаемый гибрид (E-REV), последовательный гибрид, выпускаемый компанией Lantu под брендом Voyah с 2021 года. Lantu является дочерней

компанией холдинга Dongfeng предствлен на рисунке 16.

Автомобиль Voyah Free впервые был представлен на Пекинском автосалоне в сентябре 2020 года под брендом Voyah. Дизайн автомобиля создан при участии Italdesign Giugiaro. Серийно автомобиль выпускается с 3 квартала 2021 года компанией Lantu.

Первый предсерийный экземпляр был представлен 18 декабря 2020 года. Автомобиль базируется на платформе Dongfeng Electric Smart Secure Architecture (ESSA). Запас хода составляет 860 км



Рисунок 16 – Voyah Free

Voyah Dreamer — электромобиль-минивэн и подзаряжаемый гибрид (PHEV), выпускаемый компанией Dongfeng под брендом Voyah с 2021 года. Продажи начались в марте 2022 года представлен на рисунке 17” [7].



Рисунок 17 – Voyah Dreamer

“Автомобиль Voyah Dreamer впервые был представлен в 2021 году в Гуанчжоу. Он базируется на платформе Dongfeng Electric Smart Secure Architecture (ESSA), на которой также выпускается Voyah Free. В России автомобиль называется Voyah Dream. Его конкурентом является Toyota Alphard представлен на рисунке 18. Запас хода составляет 750 км.



Рисунок 18 – Toyota Alphard” [13].

“Li Auto L9 впервые был представлен в марте 2022 года. Серийно автомобиль выпускается с июня 2022 года. В августе 2022 года первые экземпляры Li Auto L9 поступили в Китай. Конкурентами модели являются Mercedes-Benz GLS и BMW X7. В Россию официально не поставляется, однако на российском рынке планируется замена автомобилей Range Rover. Заказ автомобиля возможен только в онлайн-приложении. Модель автомобиля представлена на рисунке 19 и 20.



Рисунок 19 – Range Rover четвертого поколения



Рисунок 20 – Mercedes-Benz GLS и BMW X7

Автомобиль Li Auto L9 оснащён двумя электродвигателями мощностью 174 и 268 л. с., включая четырёхцилиндровый бензиновый двигатель объёмом 1,5 литра с турбонаддувом. Объём бака составляет 65 литров. Автомобиль показан на рисунке 21.



Рисунок 21 – Li Auto L9 (Lixiang L7/L9)” [7].

“Мощность двигателей автомобиля составляет 449 л. с., а крутящий момент — 620 Н*м. Заявленный запас хода по циклу NEDC составляет 1315 км. До 100 км/ч автомобиль разгоняется за 5,3 секунды. До 80% автомобиль заряжается за 40 минут. Ёмкость аккумулятора составляет 40,6 кВт*ч” [21]

“Li Auto One — среднеразмерный люксовый кроссовер, производившийся китайской компанией Li Xiang с 2019 по 2022 год, первый автомобиль компании. Вытеснен с конвейера моделью Li Auto L8. По состоянию на 2021 год, автомобиль занимает второе место по запасу хода на тяговом электродвигателе, после BMW i3, показан на рисунке 22.



Рисунок 22 – BMW i3 электромобиль

Автомобиль Li Auto One впервые был представлен в апреле 2019 года на автосалоне в Шанхае. С ноября 2019 года автомобиль выпускается в Чанчжоу. Продажи автомобиля начались в Китае в начале 2020 года. В октябре 2022 года автомобиль был снят с производства в связи с запуском новой модели Li Auto L8 показан на рисунке 23.



Рисунок 23 – Li Auto L8.



Рисунок 24 – Li Auto One” [10].

“Li Auto One позиционировался как гибридный автомобиль с двумя электродвигателями мощностью 134—188 л. с. Дополнительно устанавливался 1,2-литровый трёхцилиндровый бензиновый двигатель внутреннего сгорания с турбонаддувом. Запас хода по циклу NEDC составляет 800 км, а на тяговом электродвигателе — 180 км. До 80% автомобиль заряжается за 40 минут. Полная зарядка при напряжении 200 вольт отнимает 6 часов, автомобиль показан на рисунке 23.” [4]

2.3 Анализ данных таблицы

Анализ данных таблицы показ на какие аспекты требуется внимание установки слогового агрегата для применения в гибридных системах.

Таблица 1 – Сравнение характеристик

	Voyah Free	Voyah Dreamer	Li L7 / L9	Li One
Двигатель				
Тип гибрида	Последовательный	Последовательный	Последовательный	Последовательный
Тип ДВС	Бензин АИ-92	Бензин АИ-95	Бензин АИ-95	Бензин АИ-95
Объём двигателя	1498 см ³	1476 см ³	1496 см ³	1199 см ³
Тип наддува	турбонаддув	турбонаддув	турбонаддув	турбонаддув
Мак. мощность	108 л. с. (80 кВт)	194 л. с. (150 кВт)	154 л.с. (113 кВт)	131 л.с. (96 кВт)
Расположение цилиндров	рядное	рядное	рядное	рядное
Кол-во цилиндров	4	4	4	3
Число клапанов на цилиндр	4	4	4	4
Система питания двигателя	непосредственный впрыск (прямой)	непосредственный впрыск (прямой)	непосредственный впрыск (прямой)	непосредственный впрыск (прямой)
Общие силовые характеристики				
Тип привода	4x4	4x4	4x4	4x4
Передний	110-255кВт (148-342 л. с.)	394 л.с. (290 кВт) об/мин	130 кВт (174 л. с.)	326 л.с. (240 кВт) при 5500 об/мин
Задний	200—255 кВт (268—342 л. с.)		200 кВт (268 л. с.)	
Крутящий момент	от 192 Нм до 320 Нм	610 Нм	620 Нм	530 Нм
Максимальная скорость	200 км/ч	200 км/ч	180 км/ч	172 км/ч

Продолжение таблицы 1 – Сравнение характеристик

Аккумуляторная батарея									
Запас хода на электричестве	110 км		82 км		215 км		180 км		
Время зарядки быстрая / медленная	3ч	4,5 ч	4,5 ч	30 ч	0,5 ч	10 ч	4,5ч	6 ч	
Ёмкость батареи	39.0 кВт·ч		25.6 кВт·ч		42,8 кВт·ч	44,5 кВт·ч	40.5 кВт·ч		

2.4 АКБ Рэнера, ДВС Gimura

Компания Рэнера готовит открытие двух гигафабрик к 2026г. с производством полного цикла аккумуляторных батарей. В 2025г - Калининградская фабрика, к 2026г - Московская фабрика, показаны на рисунках 25 и 27.

РЭНЕРА готовит открытие двух гигафабрик к 2026 г. с производством полного цикла



217 000

Количество электротранспорта в РФ согласно Концепции развития электротранспорта к 2030 г в РФ



2 фабрики производят
100 000

ТАБ в год для электромобилей

КАЛИНИНГРАДСКАЯ ФАБРИКА (2025 г)

Площадь: 23,6 га

Работники: >1000 чел

г. Неман (восток Калининградской области)



МОСКОВСКАЯ ФАБРИКА (2026 г)

Площадь: 20,4 га

Работники: >1000 чел

Новая Москва



2023

2025

Калининградская фабрика, г. Неман, Калининградская обл.

- ✓ Роботизированные производственные линии
- ✓ Скорость производственных линий – на уровне мирового максимума
- ✓ Производство полного цикла

2026

Московская фабрика, Новая Москва

Рисунок 25 – Калининградская фабрика и Московская фабрика.

Аккумуляторные батареи будут применяться как в общественном транспорте (электробус), так частных автомобилях (электромобили, гибриды).

Конструкция показана на рисунке 26.



Рисунок 26 – Тяговые аккумуляторные батареи



Рисунок 27 – Калининградская фабрика и Московская фабрика.

Подбор ДВС для построения гибридной платформы. Мотор Gimura 1000s позволяет снять 105 л.с. и 106 Нм с литра рабочего объема.

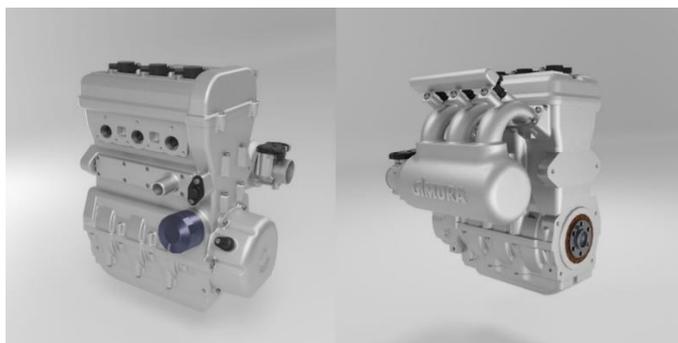


Рисунок 28 – Двигатель Gimura

На выставке «Мотовесна-2024» в Москве был представлен уникальный отечественный бензиновый двигатель. Новинку, получившую название Gimura 1000s, разработали казанские энтузиасты во главе с Рустемом Зариповым. ДВС показан на рисунке 28.

Главной особенностью двигателя является его выдающаяся удельная мощность. С одного литра рабочего объема он способен выдавать 105 л. с. и 106 Н·м крутящего момента. Турбированная версия демонстрирует еще более впечатляющие показатели – 215 л. с.

Таблица 2 – Технические характеристики двигателя

Тип двигателя	4-тактный
Рабочий объем	1000 см ³
Количество цилиндров	3
Количество клапанов на цилиндр	4
Мощность	105 л.с. (77 кВт.)
Топливная система	EFI
Вес	60 кг
Дроссельная заслонка	Электронная

Благодаря своим компактным размерам и малому весу, Gimura 1000s может устанавливаться на квадроциклы. Кроме того, он теоретически может быть использован и в автомобилях.

Глава 3 Искусственный интеллект и нейросеть

3.1 Применение искусственного интеллекта

“Нейросеть — это программа для обработки данных с помощью математической модели, которая имитирует нейронные связи человеческого мозга.

Главная особенность нейросетей в том, что они умеют принимать решения на основе прошлого опыта. Обычно для решения задач программы используют заданный алгоритм — точную последовательность операций, которая ведёт к определённому результату, нейросеть показана на рисунке 29.

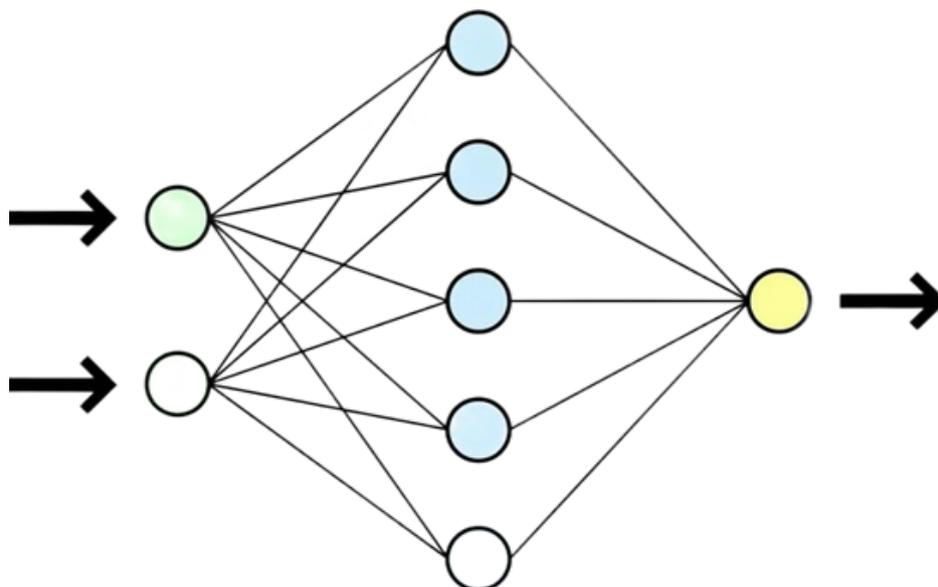


Рисунок 29 – Модель нейронной сети для обработки данных” [25].

3.2 Использование ИИ при моделировании ездовых режимов

Основной задачей, которую можно поручить нейросети – это генерация калибровочных данных таблиц для максимально эффективного передвижения автомобиля из пункта А в пункт Б.



Рисунок 30 – стендовые испытания ездовых циклов

Ездовые циклы применяются при тестировании на стендах для получения максимально эффективного режима работы ДВС и трансмиссии, тестовый стенд показаны на рисунке 30. Моделирование ездовых циклов в ПО показаны на рисунках 31 и 32.

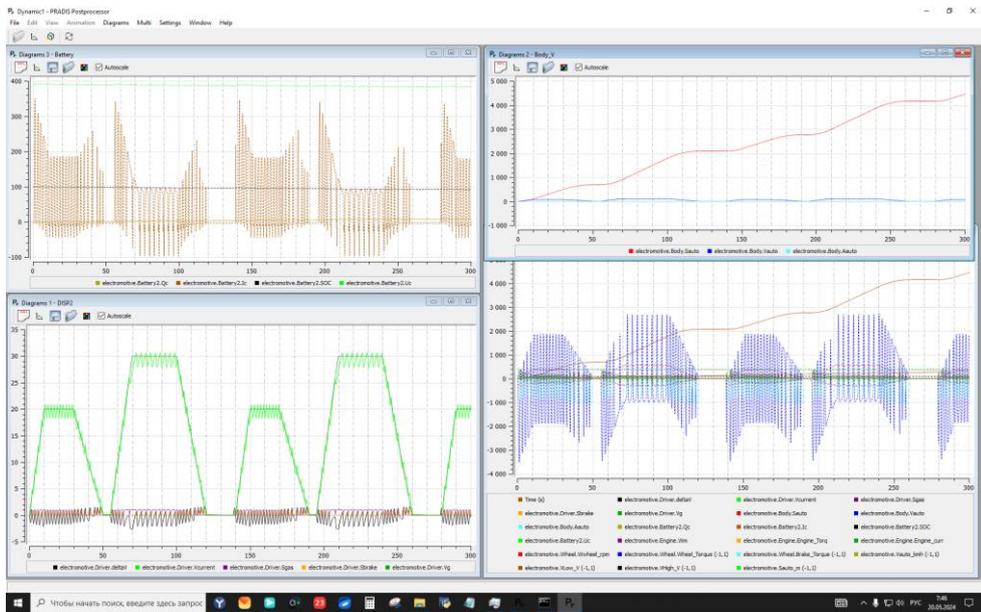


Рисунок 31 – симуляция ездового цикла в Pradis

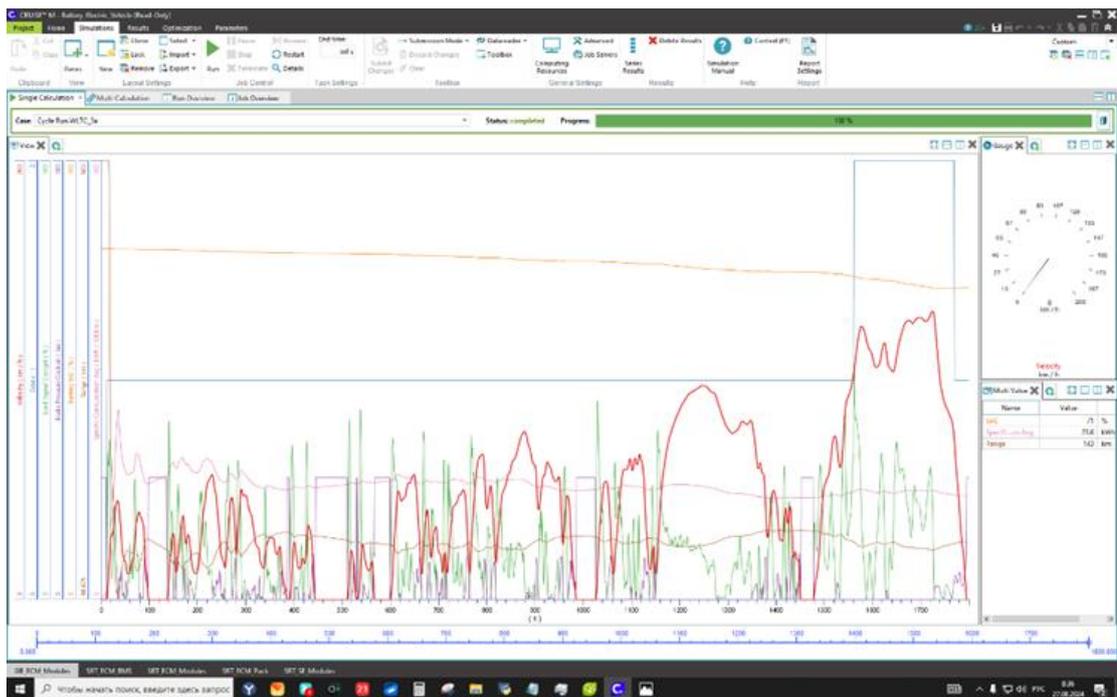


Рисунок 32 – симуляция ездового цикла в Cruise M

3.3 Применение искусственной интеллекта в автомобиле

Можно представить в виде алгоритма представлены на рисунке 33.

- Выбирается задача для проработки данных.
- Нейросеть использует данные предыдущих расчетов или загруженные данные со стендовых испытаний.

- После расчёта выдается ответ от сети сравнивается с таблицей.

Если значение, данное сетью, попадет в рамки используемых и положительно влияет на работу двигателя, то сеть обучена, значение заносится в базу данных для последующего использования.

А если значения приводит к нарушению работы двигателя, проводится расчёт ошибки и подбираются новые настройки сети.

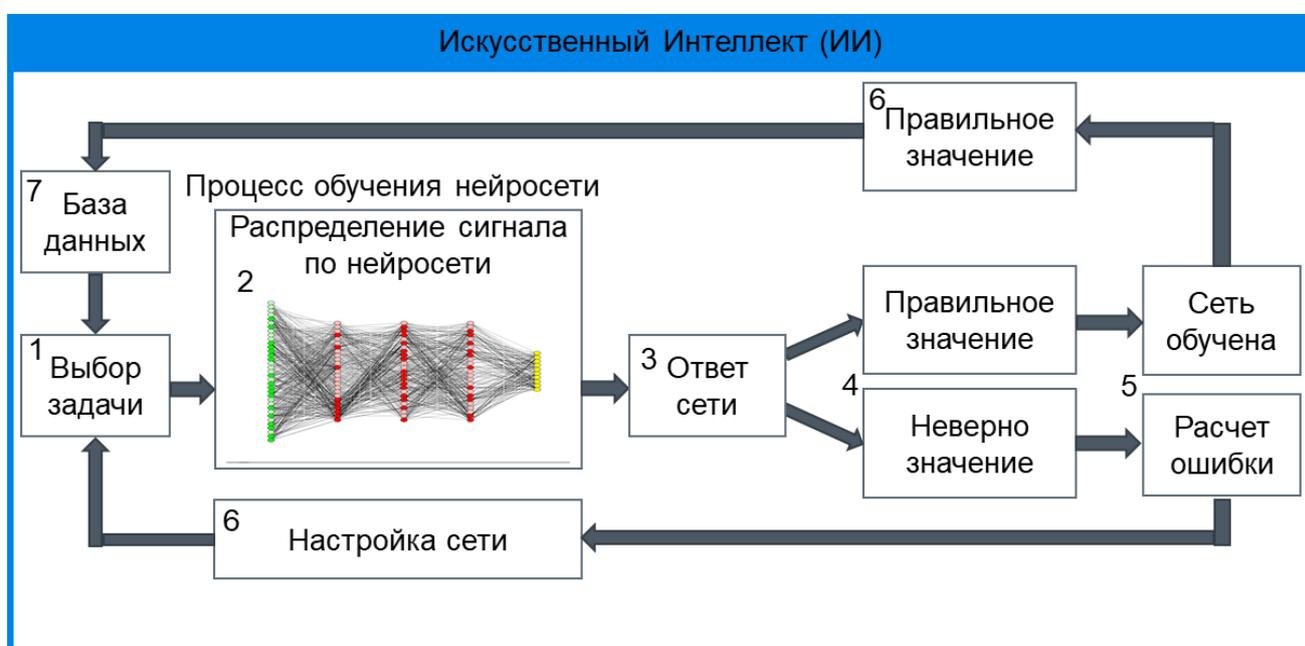


Рисунок 33 – Блок схема алгоритма подбора калибровок двигателя

Схема применения

Были выдвинуты три модели использования, представлены на рисунках

- 1) Модуль установлен в разрыв между контроллером двигателя и самим двигателем. Отсутствует напрямую управление, сам модуль ИИ подбирает калибровочные данные из базы.
- 2) Модуль встроен в контроллер двигателя. Модуль является часть контролера и помогает более точно подбирать характеристики от обстановки на дороге.
- 3) Модуль находится в облачном хранилище. Удаленный контроль, база данных больше для более точно прогнозирования ситуаций. Сбор данных происходит от большого количества пользователей этой системы.

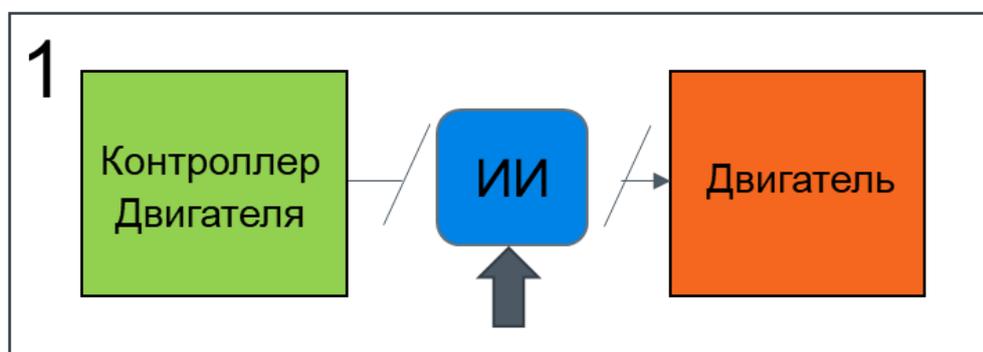


Рисунок 34 – Блок схема первого решения

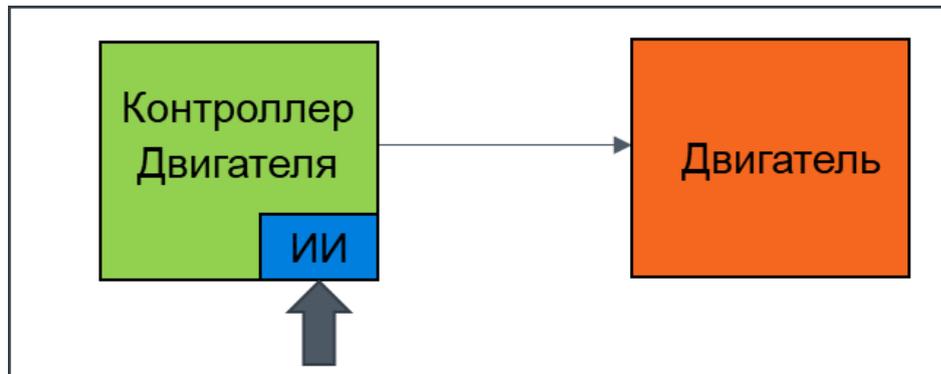


Рисунок 35 – Блок схема второго решения

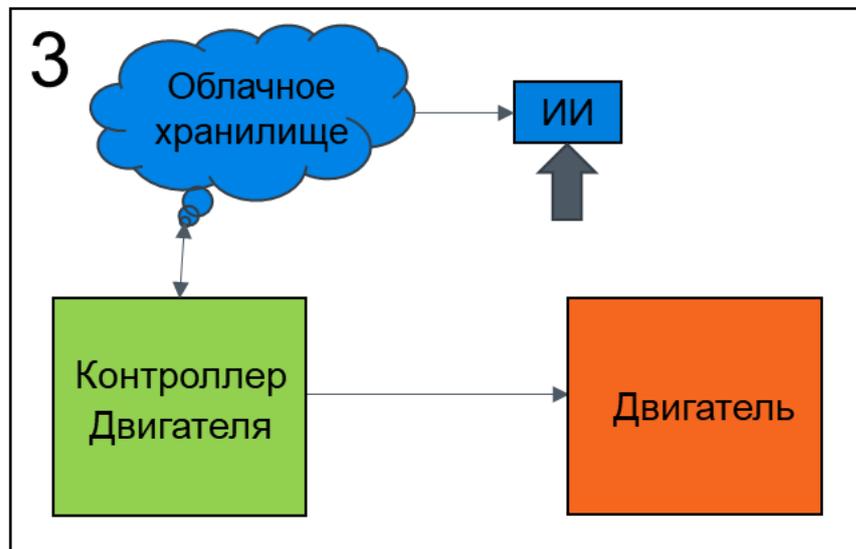


Рисунок 36 – Блок схема третьего решения

Глава 4 Моделирование 1D модели AVL Cruise M и Ладуга Pradis

4.1 Пример модели гибридного автомобиля

Модель демонстрирует два варианта электромобилей с увеличенным запасом хода (REEV) на 480 В, все они оснащены устройством для увеличения запаса хода (regre exuender) мощностью 121 кВт, электродвигателем мощностью 102 кВт при 3000 об/мин и аккумуляторной батареей из 120 элементов 2P общей полезной энергией 12,5 кВт·ч и максимальной мощностью 40 кВт.

В этой модели также присутствуют наиболее часто используемые функции, такие как регенеративное торможение в зависимости от скорости, электромеханическое параллельное торможение и ограничение тока аккумулятора. Система управления электроприводом рассчитывает сигнал нагрузки электродвигателя как в режиме тяги, так и в режиме рекуперации, изменяя выходные сигналы в кабине водителя. Если тормозной эффект крутящего момента электродвигателя, ниже требуемого водителем эквивалентного тормозного давления, то на рабочие тормоза подается давление.

Все варианты имеют одноступенчатую трансмиссию и «дискретную» аккумуляторную батарею, то есть состоят из 2 модулей, разъёмов между модулями и датчиков (вольтметра и амперметра) для повышения реалистичности симуляции. Таким образом, приводится пример системы управления аккумулятором и электромотором, чтобы ограничить мощность аккумуляторной батареи и ограничить ток электромотора в соответствии с ограничениями аккумулятора. Преобразование максимальной мощности аккумуляторной батареи в ограничивающий ток для электромотора осуществляется по специальной формуле.

Другие задачи BMS — сообщать о различных уровнях заряда модулей, общей мощности блока, оценивать энергопотребление и запас хода электропривода.

Система управления электродвигателем может дополнительно отключать электродвигатель, если его нагрузка (а в случае PMSM и скорость) очень низкая, чтобы уменьшить потери энергии, возникающие при интерполяции карт потерь энергии.

Когда усилитель тяги активен, двигатель внутреннего сгорания обеспечивает мощность в зависимости от режима работы, оцениваемого системой управления усилителем тяги; аккумулятор обеспечивает мощность обычно при более низкой скорости и меньшем ускорении.

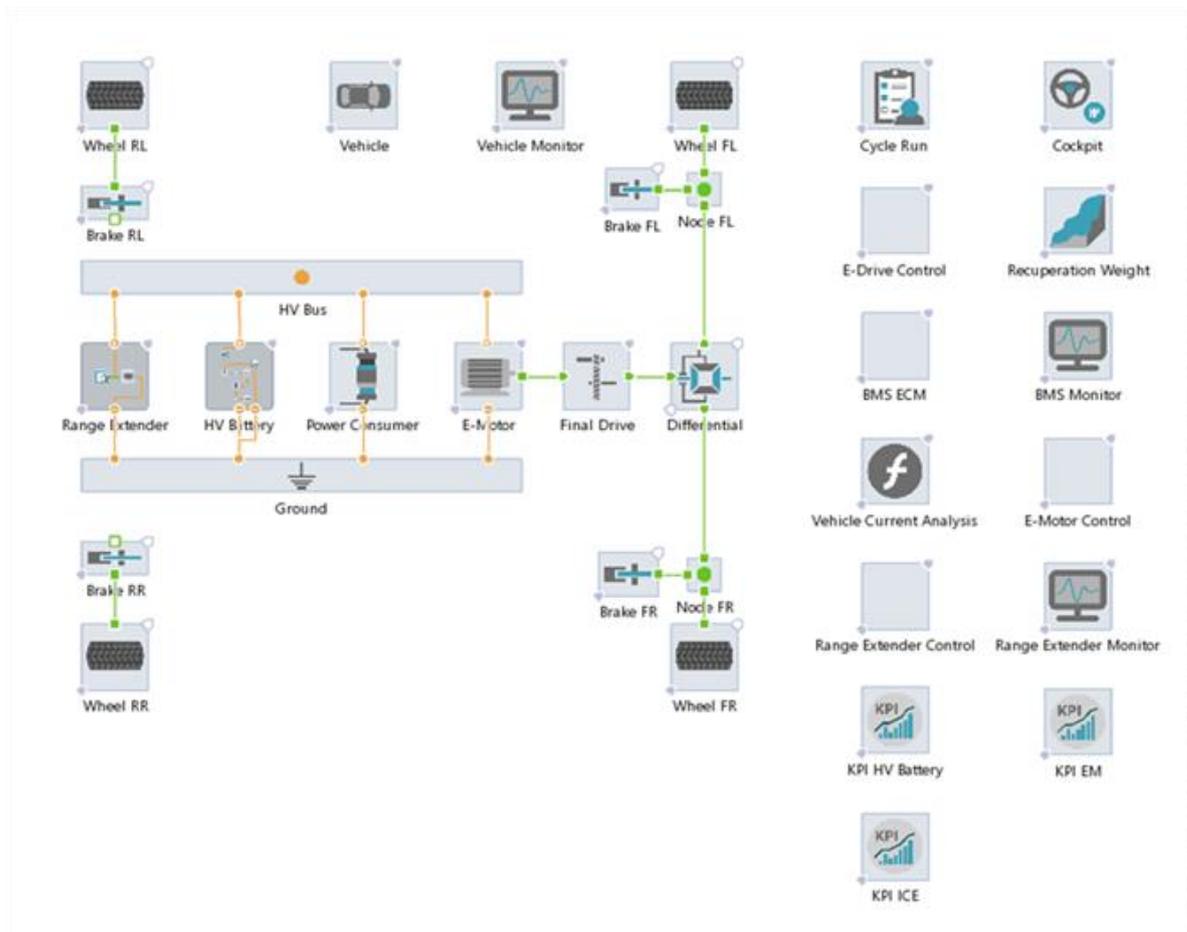


Рисунок 37 – Общий вид REEV_MBE Model

Система управления дополнительным аккумулятором выполняет две основные задачи. Первая задача заключается в расчете целевой скорости и крутящего момента двигателя внутреннего сгорания в зависимости от режима работы (код в скобках) — электропривод (0), зарядка аккумулятора, если его уровень заряда падает ниже порога подзарядки (1), и крейсерский режим (2) или поддержка питания от аккумулятора (3). Вторая задача состоит в том, чтобы а) оценить нагрузку на генератор для поддержания заданной частоты вращения двигателя и б) скорректировать крутящий момент двигателя в соответствии с заданным уровнем заряда аккумулятора. Чем больше нагрузка и коэффициент коррекции, тем больше требуемый крутящий момент. Во время рекуперации нагрузка на усилитель крутящего момента снижается для экономии топлива.

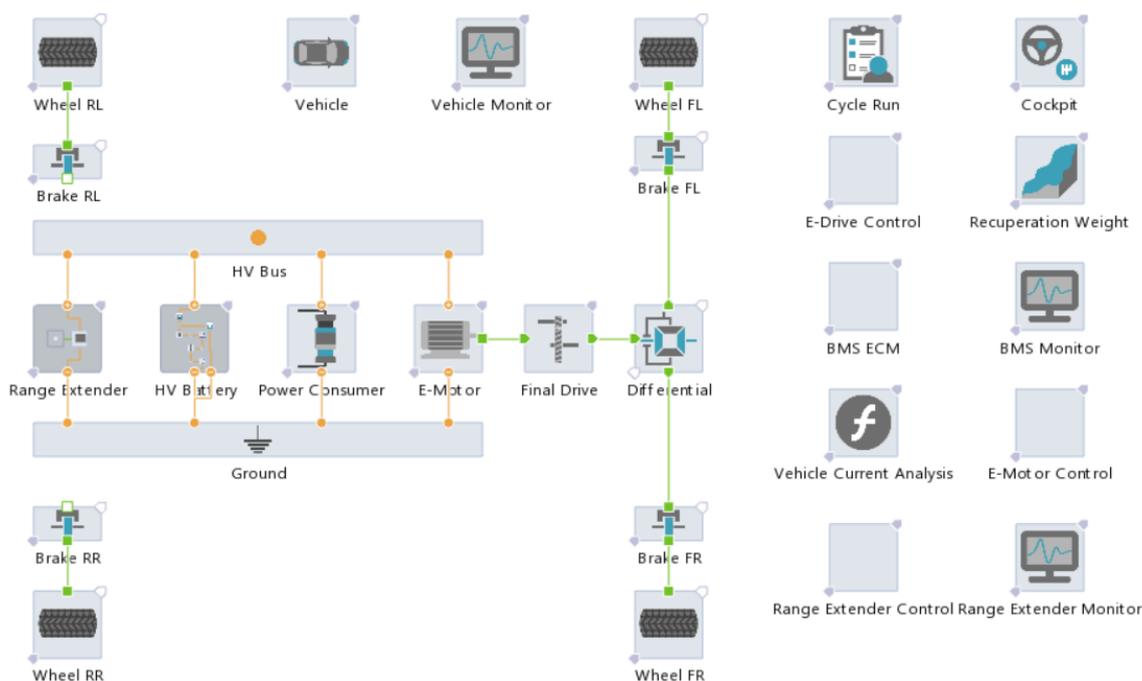


Рисунок 38 – Общий вид REEV_PhysE Model

Показаны две версии двигателя внутреннего сгорания для увеличения дальности полёта: на основе карты (МВЕ) и физическая модель (PhysE) на рисунках 37 и 38.

Суммарную мощность всех электроприборов можно задать вручную на мониторе автомобиля; значение по умолчанию — 960 Вт.

Входные данные: параметры и функции, используемые компонентами.

4.1.1 Компонент «Электромотор»

Внешняя скоростная характеристика показана на рисунке 39.

Full Load Characteristics (f(speed [1/min] = Engine Power [kW]).

Voltage (V) 800

Таблица 3 – Значения внешней скоростной характеристики

Speed (1/min)	Torque (N.m)
0	345,6
500	345,6
1000	345,6
1500	345,6
2000	345,6
2500	345,6
3000	345,6
3500	295,2
4000	259,2
4500	230,4
5000	205,9
5500	187,2
6000	172,8
6500	158,4
7000	146,8
7500	136,8
8000	86,4
8200	7,2

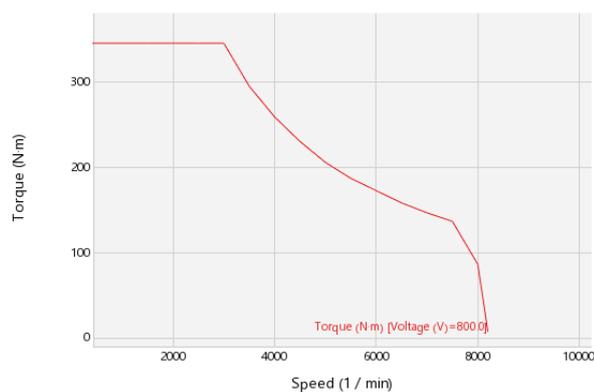


Рисунок 39 – Графическое представление внешней скоростной характеристики

4.1.2 Нагрузочная характеристика

Specific Fuel Consumption Map (Mass flow [kg/h] = f(Engine speed [1/min], Engine power [kW])).

Внешняя скоростная характеристика электромотора показана на рисунке 40.

Motoring Curve - Internal engine losses characteristic (Torque [N.m], Power [kW]).

Таблица 4 – Значения механических потерь электромотора

Torque (N.m)	Power Loss (kW)
345,6	1,379
319,6	1,276
293,7	1,156
250,5	0,946
216	0,804
181,4	0,685
138,2	0,522
103,6	0,402
69,1	0,283
34,5	0,162
17,2	0,124

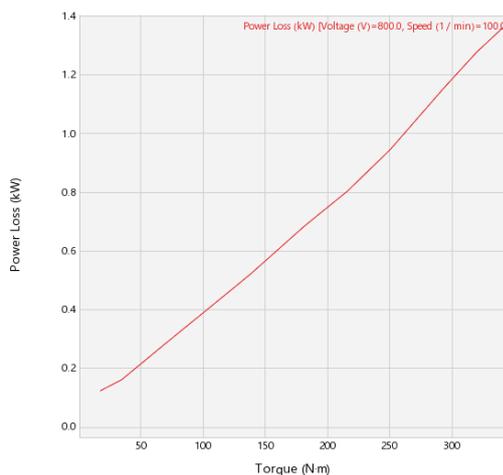


Рисунок 40 – Графическое представление внешней скоростной характеристики

4.1.3 Кривая механических потерь инвертора показана на рисунках 41-44.

Motoring Curve - Internal engine losses characteristic (Torque [N.m], Power [kW]).

Таблица 5 – Значения механических потерь инвертора

Torque (N.m)	Power Loss (kW)
345,6	0,876
319,6	0,81
293,7	0,732
250,5	0,594
216	0,503
181,4	0,43
138,2	0,327
103,6	0,254
69,1	0,181
34,5	0,106
17,2	0,091

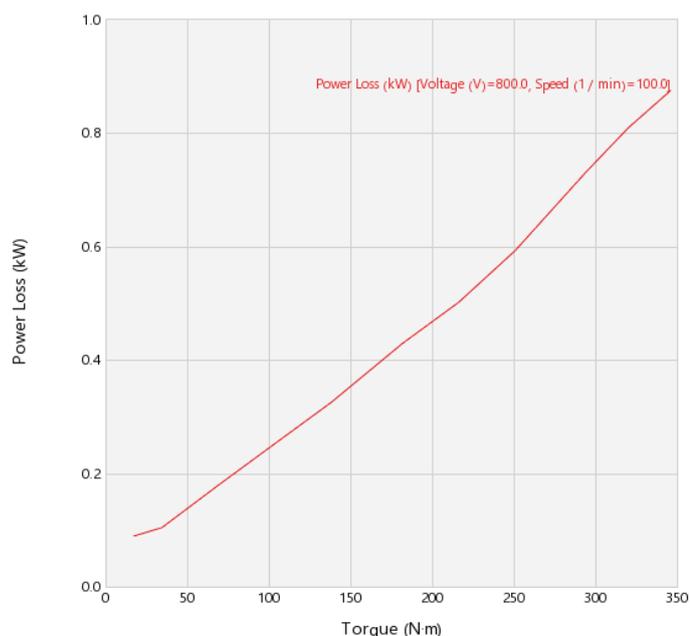


Рисунок 41 – Графическое представление механических потерь инвертора

4.1.4 Внешняя скоростная характеристика генератора.

Full Load Characteristics ($f(\text{speed [1/min]} = \text{Engine Power [kW]})$).

Voltage (V) 800

Таблица 6 – Значения механических потерь генератора

Speed(1/min)	Torque (N.m)
0	-331,2
750	-331,2
1500	-338,4
2250	-342,7
3000	-344,1
3750	-275
4500	-230,4
5250	-196,5
6000	-172,8

Продолжение таблицы 6

6750	-152,6
7500	-129,6
8000	-86,4
8200	-5,7

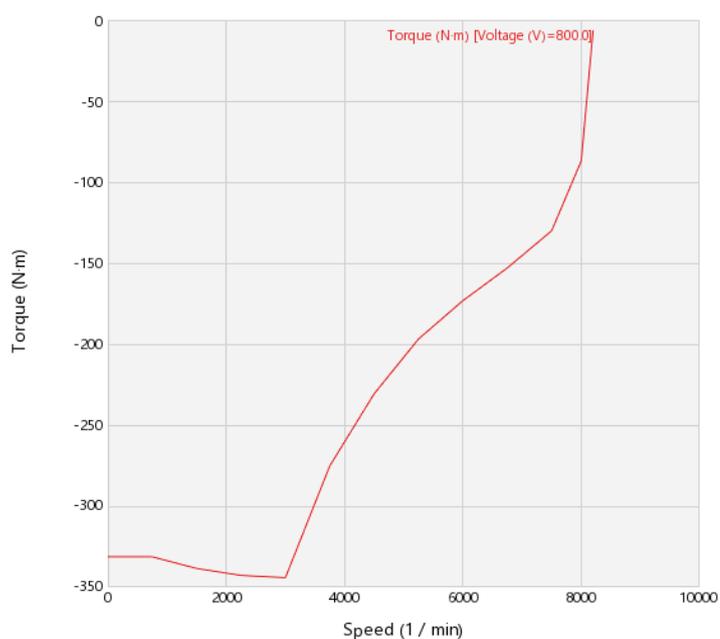


Рисунок 42 – Графическое представление механических потерь инвертора

4.1.5 Кривая механических потерь электромотора.

Motoring Curve - Internal engine losses characteristic (Torque [N.m], Power [kW]).

Таблица 7 – Значения механических потерь электромотора

Torque (N.m)	Power Loss (kW)
-331,2	0,926
-306,3	0,856
-281,5	0,782

Продолжение таблицы 7

-240,1	0,655
-207	0,561
-173,8	0,474
-132,4	0,361
-99,3	0,274
-66,2	0,187
-33,1	0,099
-16,5	0,057

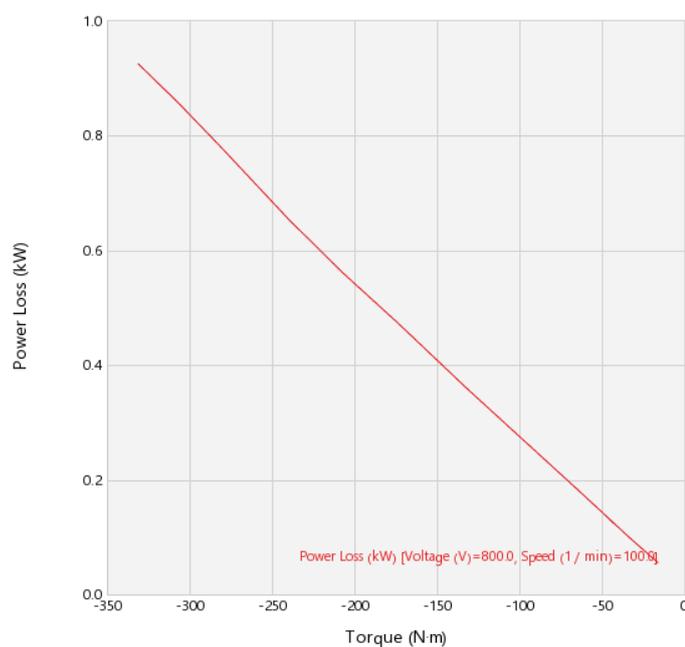


Рисунок 43 – Графическое представление механических потерь электродвигателя

4.1.6 Кривая механических потерь инвертора

Motoring Curve - Internal engine losses characteristic (Torque [N.m], Power [kW]).

Таблица 8 – Значения механических потерь инвертора

Torque (N.m)	Power Loss (kW)
-331,2	0,619
-306,3	0,572
-281,5	0,521
-240,1	0,433
-207	0,37
-173,8	0,313
-132,4	0,239
-99,3	0,182
-66,2	0,125
-33,1	0,068
-16,5	0,044

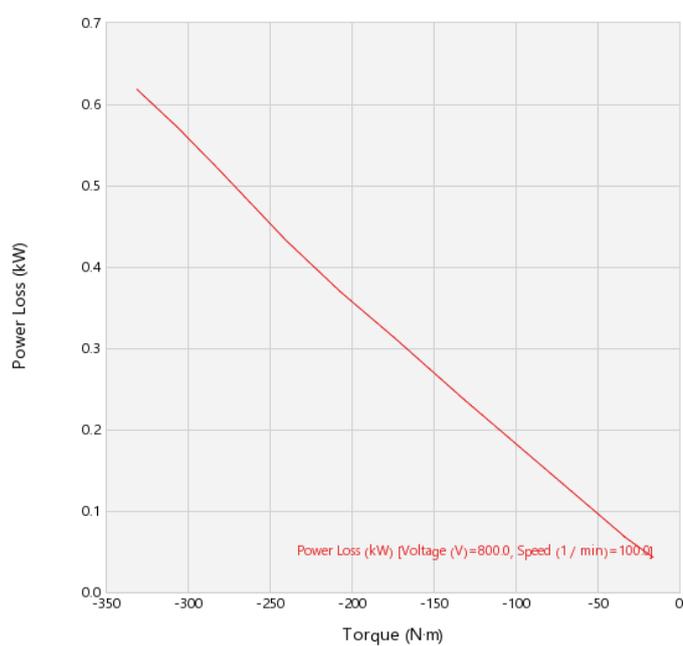


Рисунок 44 – Графическое представление механических потерь инвертора

4.1.7 Пример модели ДВС (AVL CRUISE M) представлен на рисунке 45, а его данные показаны на рисунке 46.

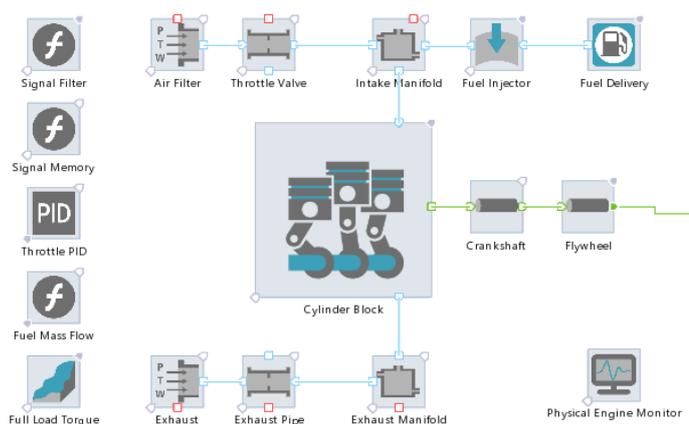


Рисунок 45 – Графическое представление функциональной схемы силового агрегата.

▼ **Settings** d

Cylinder air path interaction:

Cycle type:

Internal starter

Engine friction:

▼ **Co-Simulation** d

Component step size: deg

Cylinder update multiplier: [-]

▼ **Speed Limits** d

Idle speed: rpm

Minimum engine speed: rpm

Maximum speed: rpm

▼ **Mass Properties** d

Moment of inertia: kg·m²

▼ **Signal Analysis** d

Fourier-Analysis (FFT)

▼ **Friction Multiplier** d

Friction multiplier: [-]

Рисунок 46 – Переменные данные ДВС силового агрегата

4.1.8 Нагрузочная характеристика крутящего момента при полной нагрузке. Показана на рисунке 47.

Таблица 9 – Значения крутящего момента при полной нагрузке

Speed (rpm)	Torque (N.m)
750	180
1000	245
1250	257
1500	263
1750	263
2000	263
2250	262
2500	261
2750	258
3000	255
3250	251
3500	247
3750	241
4000	236
4250	230
4500	225
4750	220
5000	214
5250	208
5500	202
5750	195
6000	189
6250	161,525
6500	136,4
6750	111,9625
7000	89,65
7250	68,25
7500	48,425
7750	30,3875

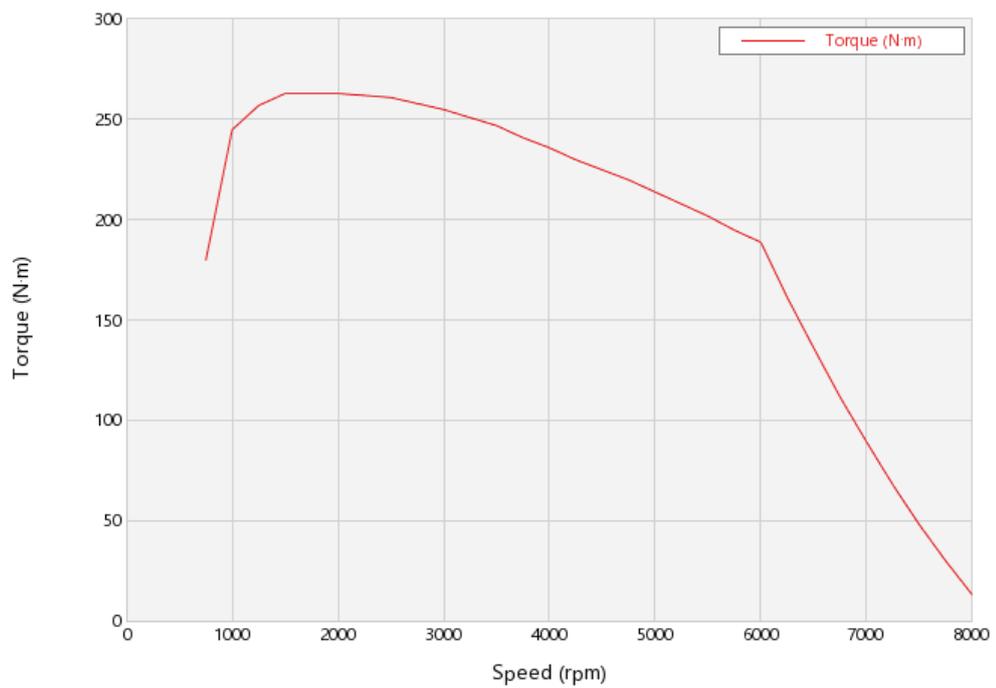


Рисунок 47 – Графическое представление крутящего момента при полной нагрузке

4.1.9 Пример модели “Блок цилиндров ДВС” (AVL CRUISE M) показан на рисунке 48.

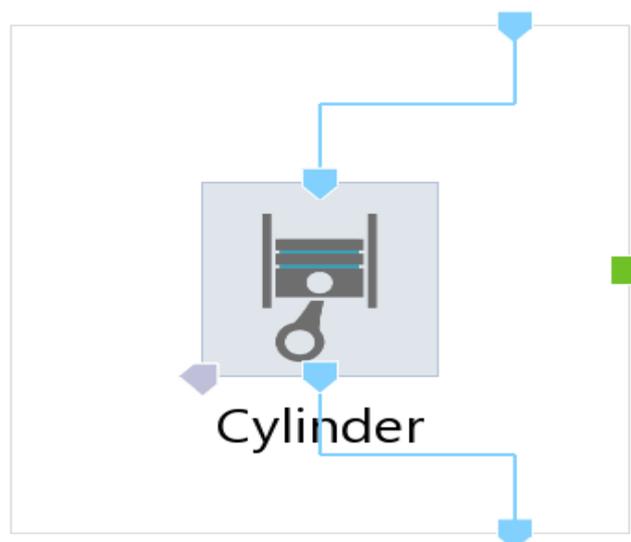


Рисунок 48 – Блок модели “Блок цилиндров ДВС”

4.1.10 Пример модели “Блок цилиндров ДВС” Развернутая модель (AVL

CRUISE M) показан на рисунке 49.

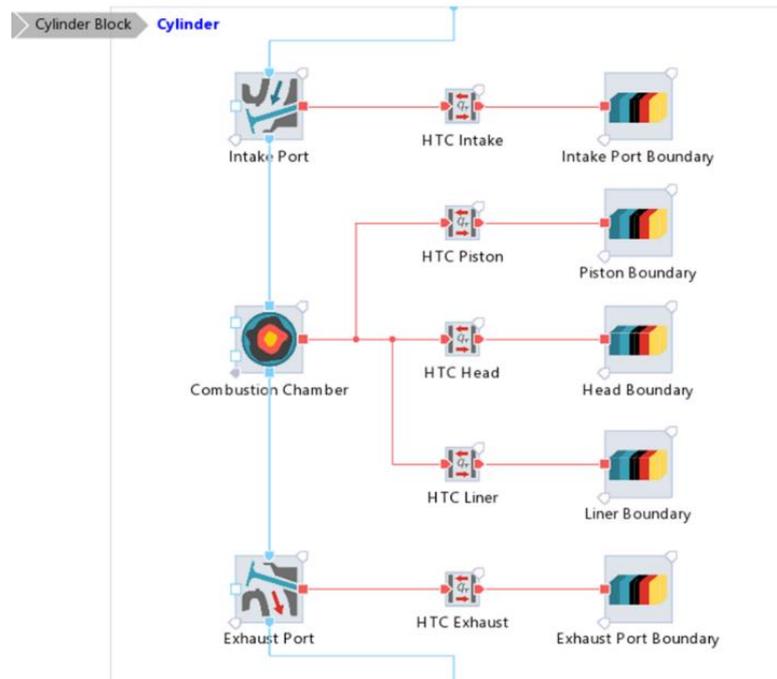


Рисунок 49 – Блок модели “Блок цилиндров ДВС” развернутая модель

4.1.11 Общие данные по впускной системе (Intake Port) показан на рисунках 50-59.

▼ **Settings** d

Traces output

▼ **General** d

Port flow:	Calculated	▼
Inner valve seat diameter:	40	mm
Valve clearance:	0.2	mm
Reference cross section:	907.92	mm ²
Scaling factor effective flow area:	1.384	[-]

Рисунок 50 – Общие данные по впускной системе (Intake Port)

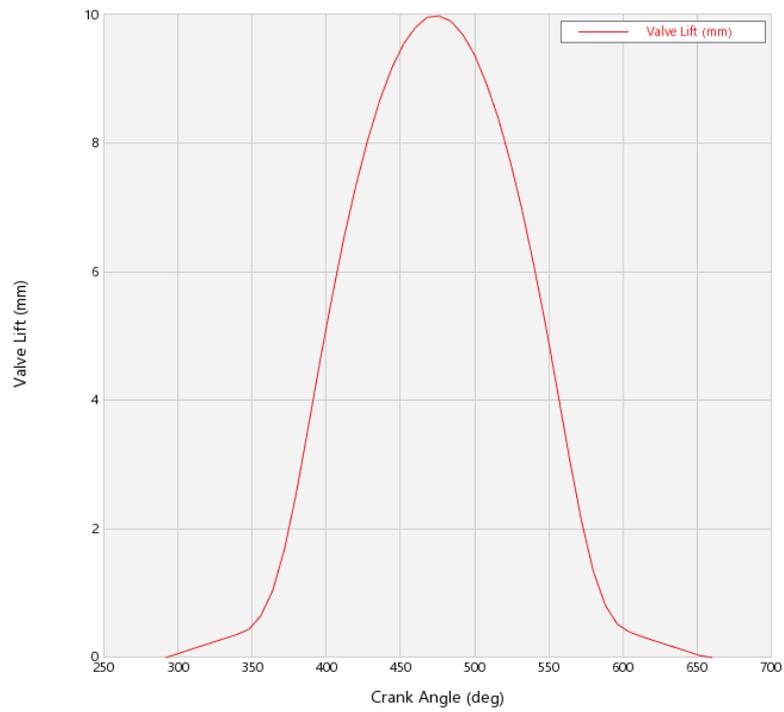


Рисунок 51 – Графическое представление хода поршня (Vale lift) от угла зажиания (Crank Angle)

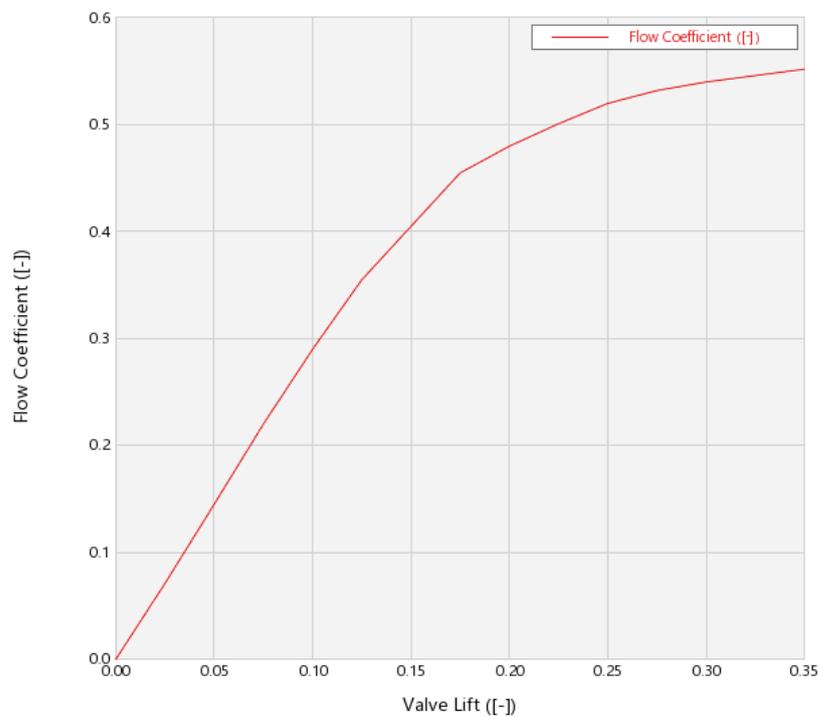


Рисунок 52 – Графическое представление коэффициента воздушного потока канала (Flow Coeffincient) от хода поршня (Vale lift)

HTC Intake
Heat transfer connection

Administrative Properties

Settings **d**

Kind of heat transfer: Convective Conduction Traces output

Convective Heat Transfer **d**

Surface: 15800 mm²

Model: Zapf

Heat Transfer Multiplier **d**

Heat transfer multiplier: 1 [-]

Рисунок 53 – Площадь поверхности теплопередачи клапана впуска

Intake Port Boundary
Solid wall

Type: Solid wall

Administrative Properties

Settings **d**

Model type: Defined temperature

Solid Properties

Solid material: New Solid for SW 4: Int. Port Wal

Defined Temperature **d**

Solid temperature: 126.85 °C

Рисунок 54 – Температура поверхности теплопередачи клапана впуска

4.1.12 Общие данные по выпускной системе (Exhaust Port).

Exhaust Port
Exhaust port

Type: Exhaust port

▸ Technical Drawing

▾ Gas circuit
[Circuits » Gas circuit 1](#)

▸ Administrative Properties

▾ Settings **d**
 Traces output

▾ General **d**

Port flow: Calculated

Inner valve seat diameter: 34.8 mm

Valve clearance: 0.3 mm

Reference cross section: 754.77 mm²

Scaling factor effective flow area: 1.26 [-]

Рисунок 55 – данные по выпускной системе (Exhaust Port).

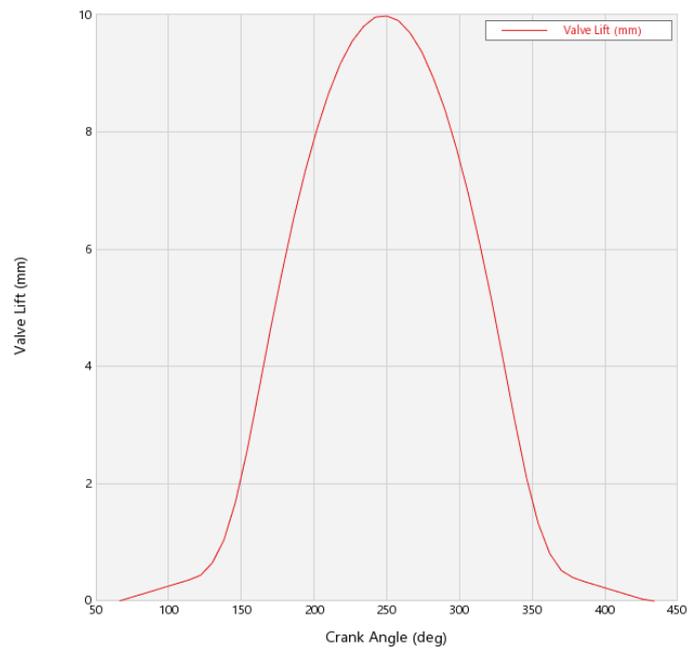


Рисунок 56 – Графическое представление хода поршня (Vale lift) от угла зажиания (Crank Angle)

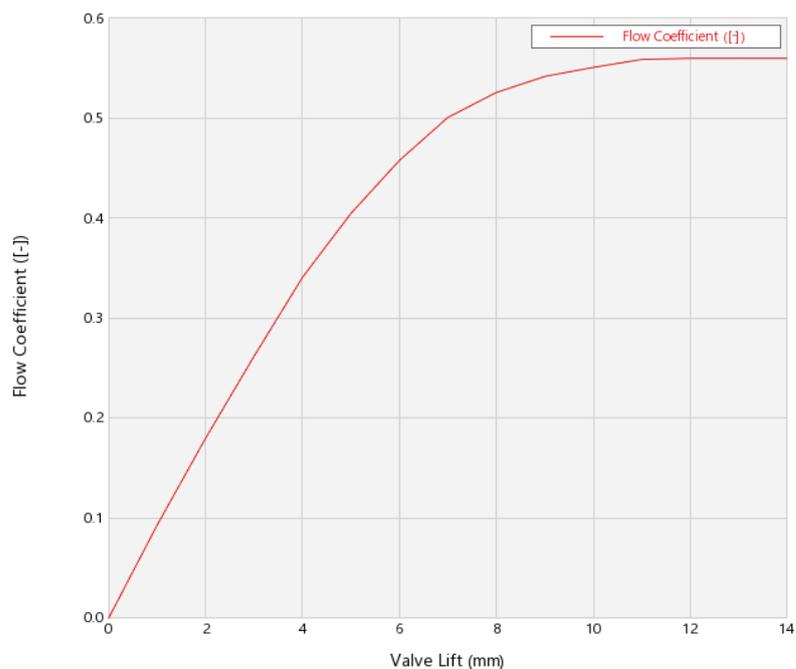


Рисунок 57 – Графическое представление коэффициента воздушного потока канала (Flow Coefficient) от хода поршня (Vale lift)

HTC Exhaust
Heat transfer connection

Administrative Properties

Settings **d**

Kind of heat transfer: Convective Conduction Traces output

Convective Heat Transfer **d**

Surface: 5840 mm²

Model: Zapf

Heat Transfer Multiplier **d**

Heat transfer multiplier: 1 [-]

Рисунок 58 – Площадь поверхности теплопередачи клапана впуска

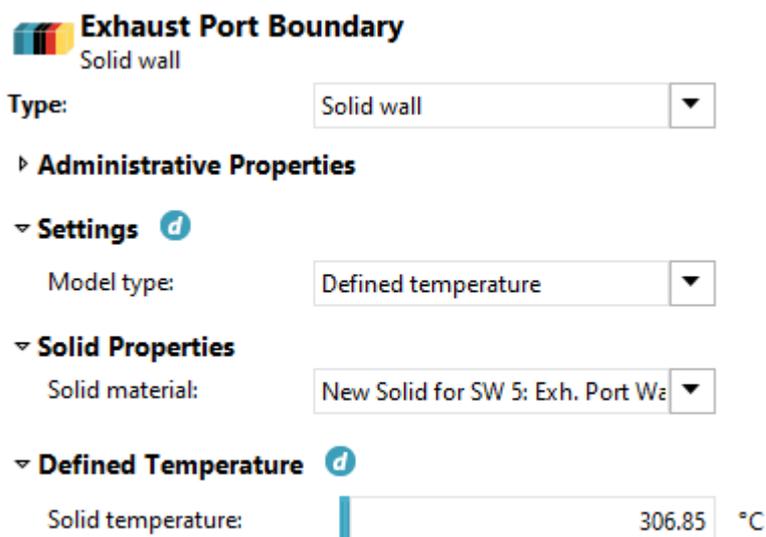


Рисунок 59 – Температура поверхности теплопередачи клапана впуска

4.1.13. Компонент "Механическая трансмиссия" представляет редуктор, показан на рисунке 60.

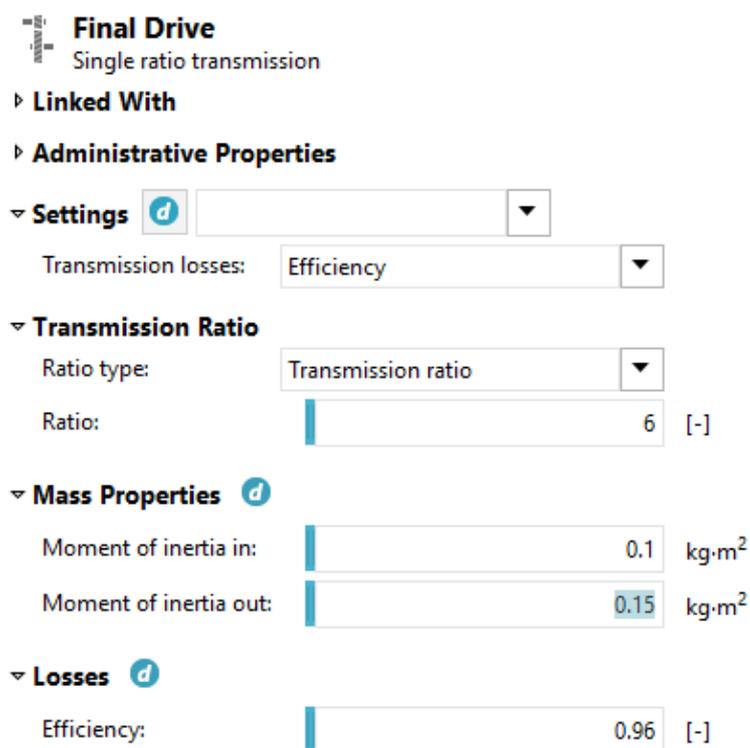


Рисунок 60 – Основные параметры редуктора

Передаточные числа редуктора (6 к 1).

Момент инерции на первичном и вторичном вале ($\text{кг}\cdot\text{м}^2$).

Карта механических потерь редуктора от температуры (для соотношения передаточного числа редуктора).

Torque Loss Map Temperature Depends (Loss [Nm] = f(Speed [1/min], Torque [Nm], Temp [degC])) (for each ratio).

Упрощенная модель расчета потерь в редукторе - с помощью кривой или константы КПД.

Компонент «Дифференциал» показан на рисунке 61.

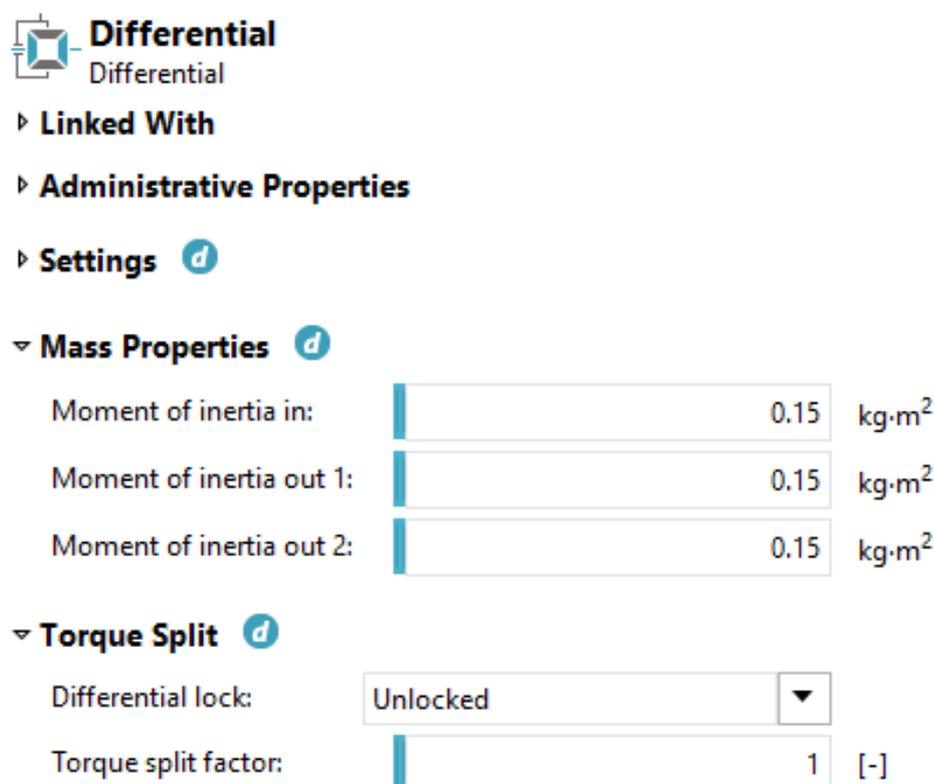


Рисунок 61 – Основные параметры дифференциала

Тип дифференциала (разблокированный / заблокированный).

Моменты инерций ($\text{кг}\cdot\text{м}^2$).

Фактор деления крутящего момента (Torque Split Factor).

Компонент "Колесо" показан на рисунке 62 и 63.

Wheel RL
Wheel

- ▶ **Linked With**
- ▶ **Technical Drawing**
- ▶ **Administrative Properties**
- ▼ **Wheel Location** d
 - Wheel location: Vehicle: rear left ▼
- ▼ **Settings** d
 - Dynamic rolling radius: Constant value ▼
 - Slip: Deactivated ▼
 - Rolling resistance model: Standard ▼
 - Rolling resistance factor velocity dependent (Driving resistance: physical)
 - Rolling resistance adjustment wheel load dependent
 - Rolling resistance adjustment inflation pressure dependent
 - Rolling resistance adjustment temperature dependent
- ▼ **Mass Properties** d
 - Moment of inertia: 0.143 kg·m²
- ▼ **Wheel Properties** d
 - Friction coefficient of tire: 1
 - Reference wheel load: 3260 N
 - Wheel load correction coefficient: 0

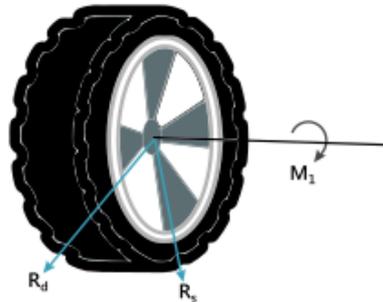
Рисунок 62 – Основные параметры колеса

Wheel RL

Wheel

▶ Linked With

▼ Technical Drawing



M_1 ... Moment of inertia
 R_s ... Static rolling radius
 R_d ... Dynamic rolling radius

▶ Administrative Properties

▼ Wheel Location d

Wheel location:

▼ Settings d

Dynamic rolling radius:

Slip:

Rolling resistance model:

Rolling resistance factor velocity dependent (Driving resistance: physical)

Rolling resistance adjustment wheel load dependent

Rolling resistance adjustment inflation pressure dependent

Rolling resistance adjustment temperature dependent

▼ Mass Properties d

Moment of inertia: kg·m²

▼ Wheel Properties d

Friction coefficient of tire:

Reference wheel load: N

Wheel load correction coefficient:

▼ Static Rolling Radius d

Static rolling radius: mm

▼ Dynamic Rolling Radius (constant) d

Dynamic rolling radius: mm

Рисунок 63 – Основные параметры колеса

Абсолютные значения сопротивления качению $F[N] = f(V[\text{km/h}])$.

Фактор сопротивления качению $RRf[\%] = f(V[\text{km/h}])$ ($F[N] = RRf[\%] * \text{weight}[N]$).

Радиус колеса (мм) / Динамический радиус колеса (мм).

Момент инерции колеса ($\text{кг} * \text{м}^2$).

Набор параметров, необходимый для моделирования пробуксовки шин.

Дорожная нагрузка (Компонент "Автомобиль") показан на рисунке 64 и 65.

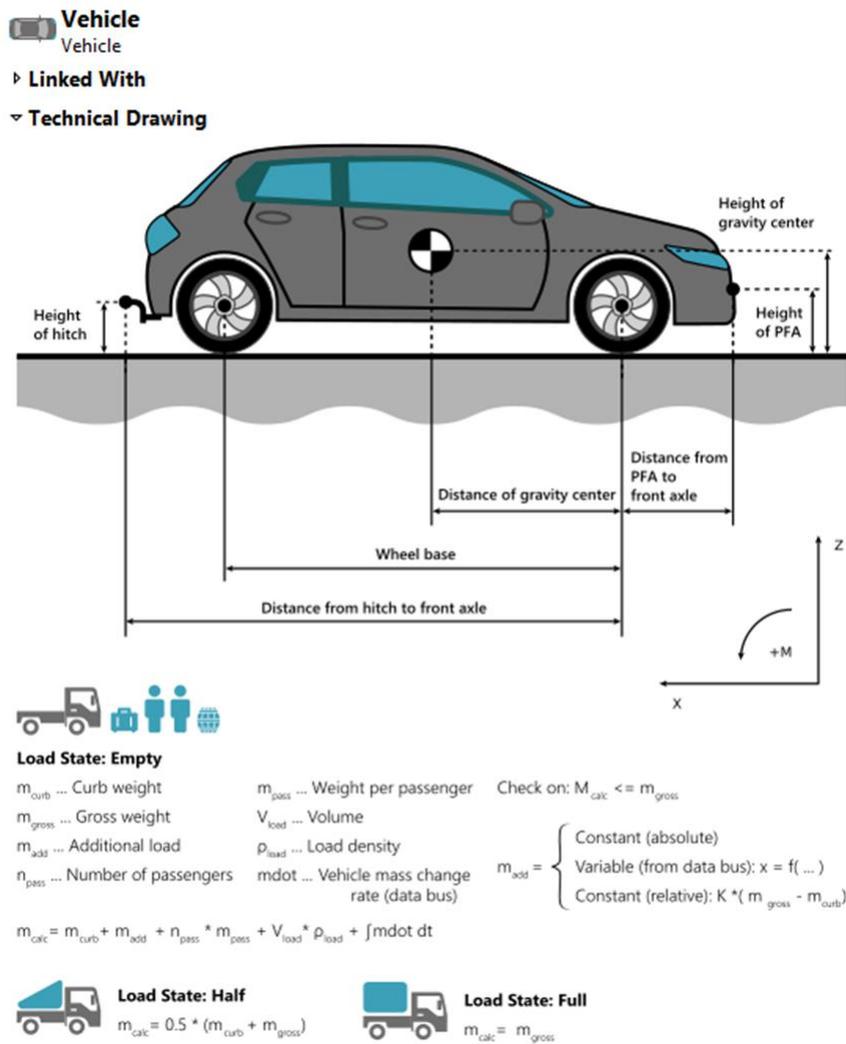


Рисунок 64 – Компонент "Автомобиль"

▼ **Settings** ⓘ

- Front axle load limited
- Lifting effect consideration
- Cornering
- Road gradient from data bus
- PFA activation
- Hitch forces from data bus

▼ **Driving Resistance**

- Physical
- Function with reference vehicle
- Characteristic with reference vehicle
- Function without reference vehicle
- Function without reference vehicle (EU 97/78)
- Characteristic without reference vehicle

▼ **Vehicle Body Dimensions** ⓘ

Distance from hitch to front axle: mm

Wheel base: mm

Height of support point at bench test: mm

▼ **Load Dependent Characteristics** ⓘ

	Load State	Distance of Gravity Cent...	Height of Gravity Center...	Height of Hitch (mm)	Height of PFA (mm)	Tire Inflation Pressure Fr...	Tire Inflation Pressure Re...
1	empty	1100	500	500	0	2,4	2,4
2	half	1100	500	500	0	2,4	2,4
3	full	1100	500	500	0	2,4	2,4

▼ **Nominal Weight** ⓘ

Curb weight: kg

Gross weight: kg

▼ **Air Drag Coefficient** ⓘ

Frontal area: m²

Рисунок 65 – компонент "Автомобиль"

Условия для запуска показаны на рисунке 66.

▼ **Initial Conditions** ⓘ

Driving resistance: ▼

Location: ▼

▼ **Load State** ⓘ

Load state: ▼

Additional load: kg

Number of passengers:

Weight per passenger: kg

Volume: m³

Load density: kg / m³

Рисунке 66 – Условия для запуска

Суммарное сопротивление движению (Resistance Function) показано на рисунке 67.

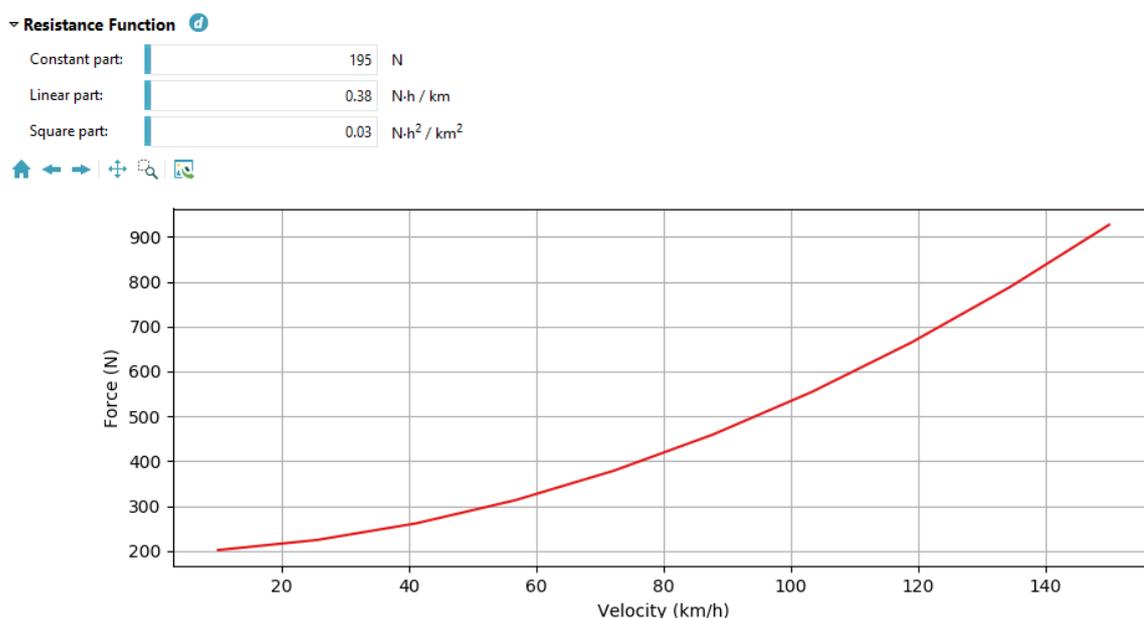


Рисунок 67 - Суммарное сопротивление движению

1. Кривая дорожной нагрузки $F[N]=f(V[\text{km/h}])$
2. Коэффициенты дорожной нагрузки (F_0 , F_1 , F_2)
3. Физический расчет (расчет с учетом аэродинамического фактора, сопротивления качению шин)
4. Плотность воздуха (параметр в компоненте или из задачи)
5. Уклон дорожной поверхности (параметр в компоненте или из задачи)
6. Весовые параметры (масса, развесовки при разном % нагрузки и пр.)
7. Возможность подключения доп. нагрузок в виде дополнительных карт и констант

Пример набора параметров компонента «Автомобиль»: дорожная нагрузка определяется как характеристика общего сопротивления движению. (AVL Cruise M).

Пример набора параметров компонента «Автомобиль»: дорожная нагрузка рассчитываются из набора физических параметров, включая

сопротивление качению в компоненте «Колесо». (AVL Cruise M). Набора параметров компонента «Автомобиль» показан на рисунке 68.

Таблица 10 – Значение сопротивления качения в зависимости от скорости передвижения

Rolling Resistance Factor (%)	Velocity (km/h)
1,37	0
1,37	20
1,37	50
1,38	100
1,39	120
1,5	150
1,67	180
1,75	200
1,95	230
2,1	250
2,4	280

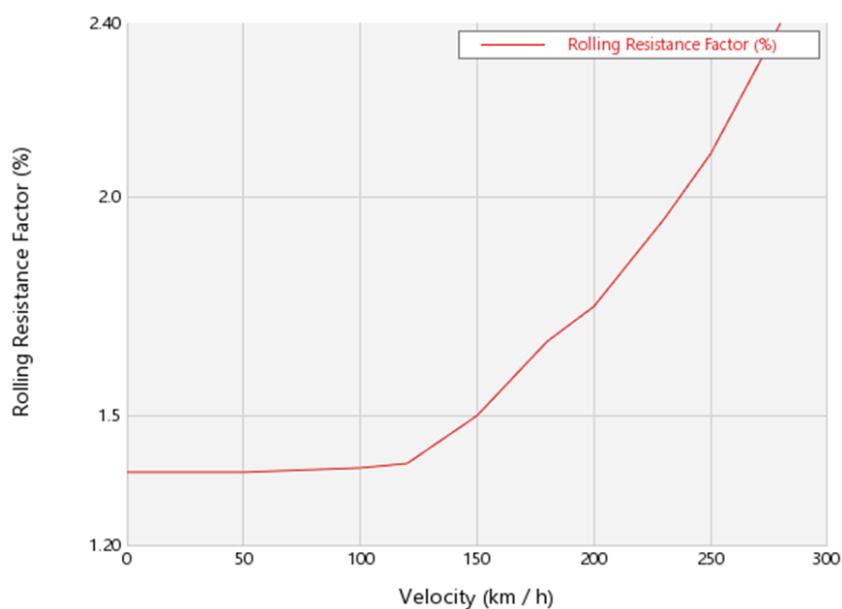


Рисунок 68 – Набора параметров компонента «Автомобиль»

Тормозная система (Brake system)

Расчет исходя из набора геометрических параметров

Упрощенная модель: момент инерции и максимальный крутящий момент.

Пример набора параметров для компонента тормозной системы (AVL).

Параметры для компонента тормозной системы показаны на рисунке 69.

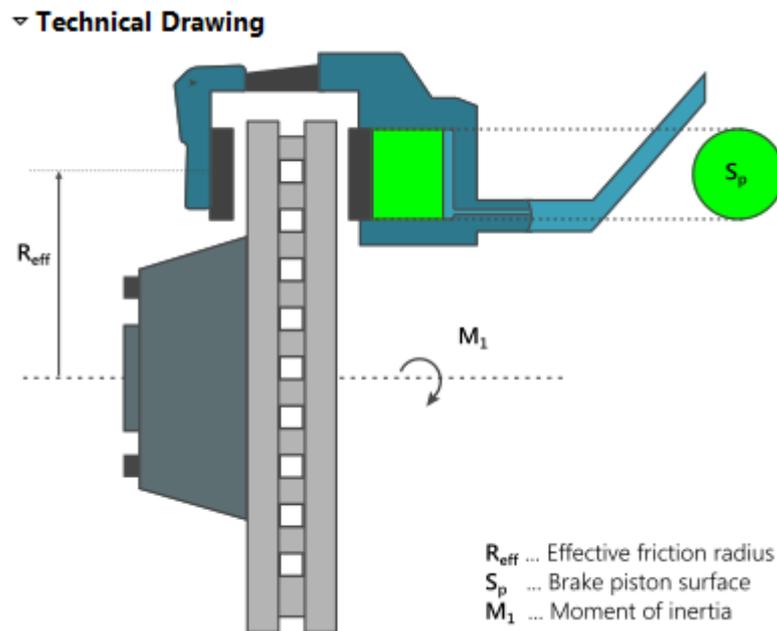


Рисунок 69 – Параметры для компонента тормозной системы

4.2 Моделирования ездового цикла гибридного автомобиля.

Моделирование ездового цикла гибридного автомобиля применяется для оценки его топливной экономичности и эффективности работы. Это процесс включает в себя использование математических моделей и программного обеспечения для симуляции движения автомобиля в различных условиях. Показаны на рисунках 70 -73.

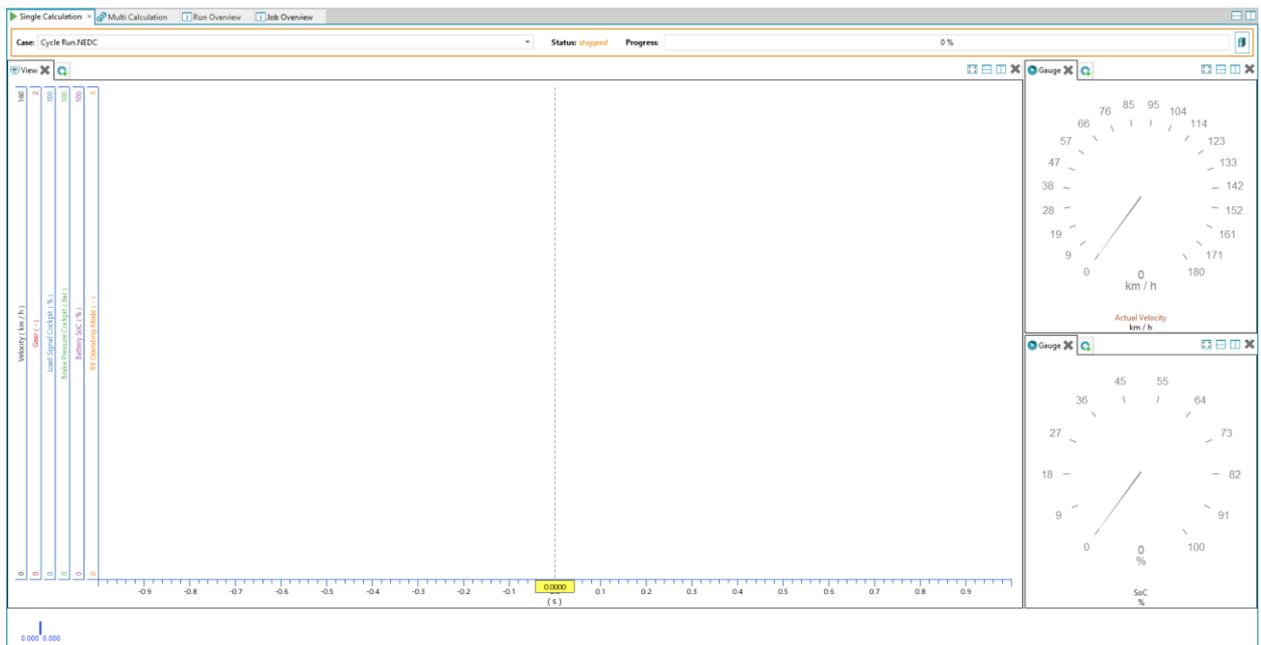


Рисунок 70 – Графическое отображение моделируемого ездового цикла

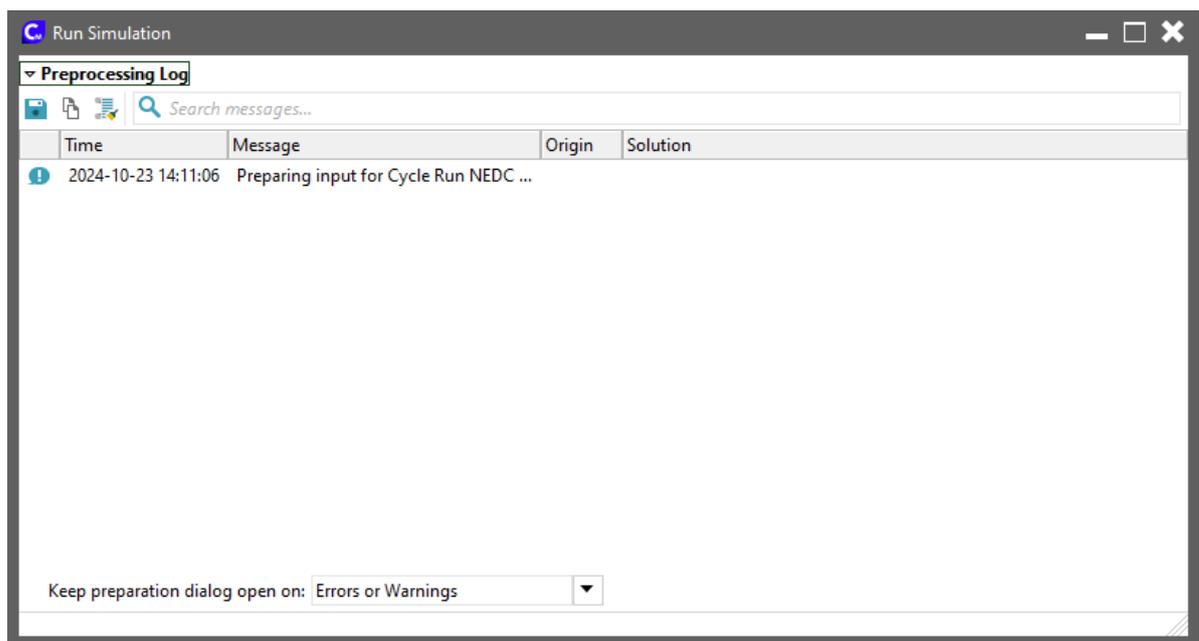


Рисунок 71 – Запуск процесса моделирования

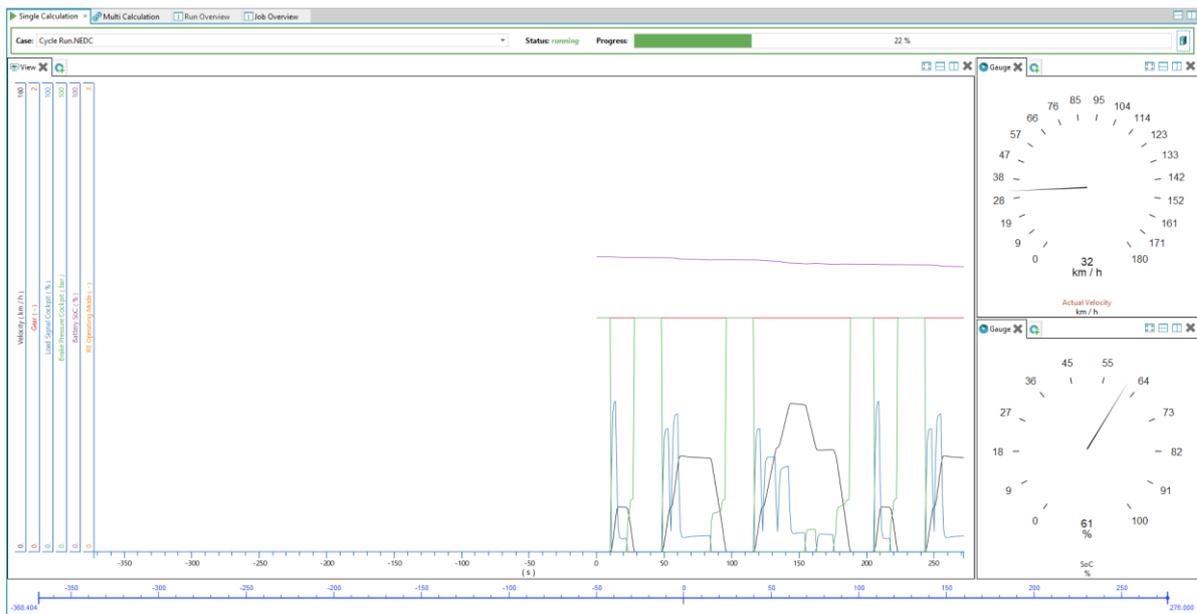


Рисунок 72 – Начало движения по ездовому циклу

Математическая модель позволяет анализировать изменение параметров, таких как скорость, расход топлива и мощность двигателя, во времени. Моделирование включает систему дифференциальных уравнений, которые описывают динамику движения автомобиля и его взаимодействие с окружающей средой.

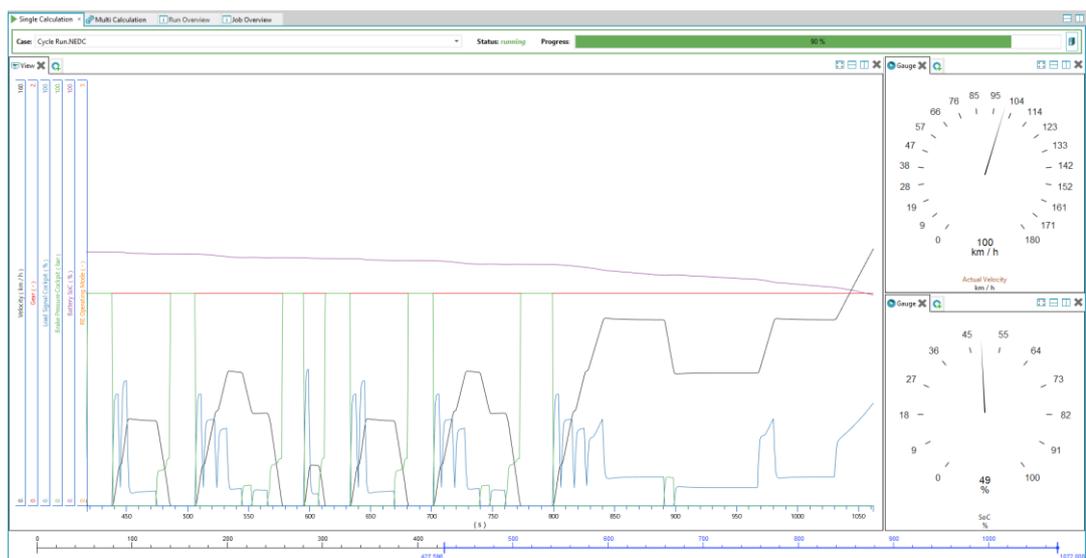


Рисунок 73 – Момент ездового цикла крейсерская скорость 100км/ч

Общий ездовой цикл состоит из 6 основных показателей.

1) Velocity (km/h)

Скоростной режим, моделируется режим езды с ускорением и торможение в городском цикле, а также скоростные режимы на автостраде.

2) Gear (-)

Положение активной передачи, в данной модели используется редуктор с постоянным передаточным соотношением, установлен совместно с электромотором.

3) Load Signal Cockpit (%)

Полученный данный о ускорении от водителя.

4) Brake Pressure Cockpit (bar)

Тормозное усилие при снижении скорости в тормозной системе, измеряете в барах.

5) Battery SOC (%)

Заряд тяговой аккумуляторной батареи с начала движения до завершения ездового цикла, измеряется в процентах.

6) Specific Consumption Avg (kWh/100km)

Средний расход заряда тяговой аккумуляторной батареи за весь ездовой цикл.

Полный ездовой цикл представлен на рисунке 74.

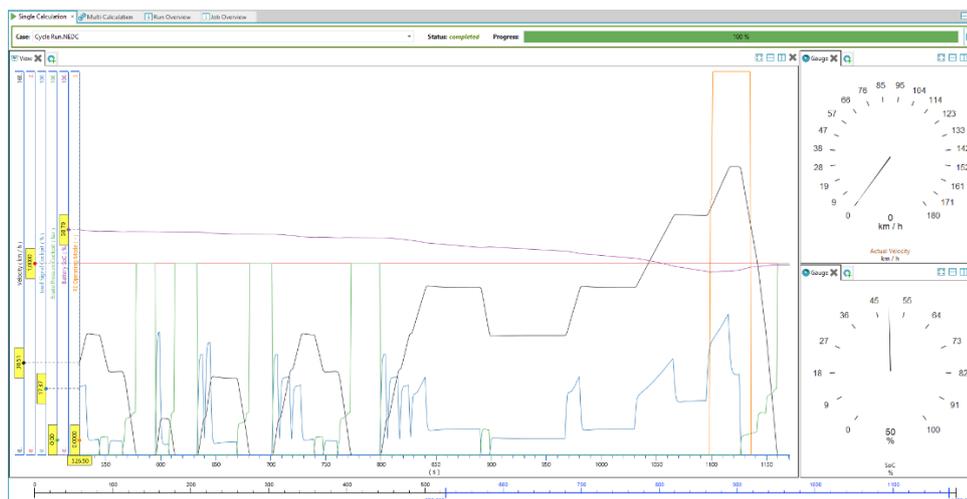


Рисунок 74 – Полный ездовой цикл гибридного автомобиля

4.3 Анализ пакета моделирования Pradis

“PRADIS — это программа для синтеза, анализа и управления характеристиками изделия.

Возможности программы:

- Препроцессинг. Описание моделей объектов любой сложности с помощью схемного препроцессора
- Решатель динамического анализа. Универсальный метод моделирования мультифизических систем.
- Решатель многовариантного анализа. Локальные и глобальные методы оптимизации, одно- и многокритериальная условная оптимизация параметров, анализ чувствительности и статистический анализ вариантов.
- Постпроцессинг. Постобработка результатов расчёта с пользовательских скриптов на языке Python.
- Библиотека моделей. В библиотеку входит более 160 моделей.
- Программа применяется в следующих областях:
- синтез (формирование, анализ и оптимизация) характеристик продукта и его систем;

- формирование технических требований для поставщиков;
- анализ взаимодействия систем и компонентов изделия в различных условиях работы;
- определение оптимального сочетания технических решений и их характеристик для достижения целей;
- виртуальные испытания и верификация требований к изделию, его системам и компонентам.

Открытость программного обеспечения позволяет любому пользователю создать собственную библиотеку моделей. Это позволяет настраивать комплекс для собственных нужд и вносить свой вклад в расширение возможностей программного обеспечения” [11].

4.4 Обзор внедренных функции в сравнении Cruise M

Внедренные функции в программе PRADIS:

- Возможность написания пользовательских приложений. Пользователи могут писать собственные инструменты для автоматизации задания граничных условий и вывода результатов экспериментов в наиболее удобной форме.
- Предиктивный инжиниринг. Например, в одном из примеров использования PRADIS была построена одномерная мультифизическая модель масляной системы ГТД. Она позволяла в динамике отслеживать такие ключевые параметры её работы, как давление, температура и расход в интересующих точках системы в зависимости от режима работы ГТД.
- Анализ последствий искусственно создаваемых аварийных ситуаций или аварийных эксплуатационных условий. Работа проводилась по методике what-if.
- Формирование специальных показателей. Например, PRADIS позволяет формировать биомеханические критерии травмируемости в задачах

пассивной безопасности автомобиля или показатели повреждаемости металла в задачах обработки давлением.

4.5 Моделирование системы и основных параметров

Для моделирования были применены модели электромобиля с занесёнными данными. Модель была промоделирована по ездовому циклу в программе Pradis Qucs. Модель представлена на рисунке 75.

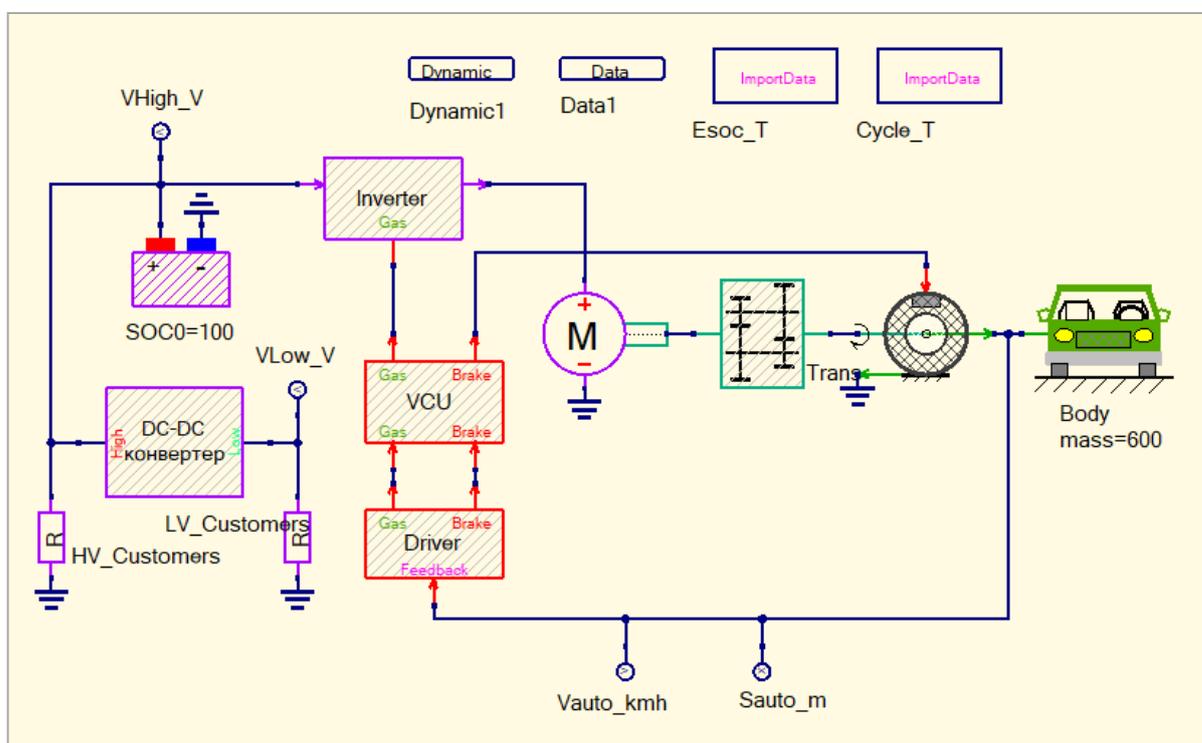


Рисунок 75 – модель электромобиля

Расчёты подсхем прикреплены в приложении А.

Battery - модель тяговой аккумуляторной батареи представлена на рисунке 76

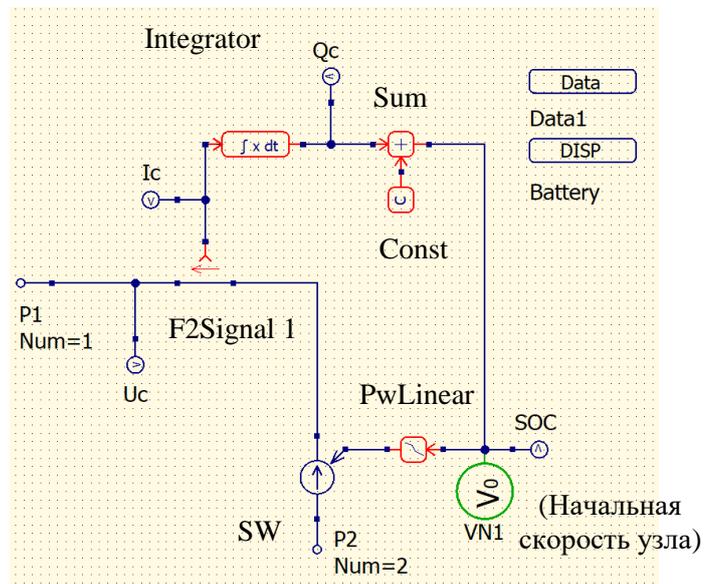


Рисунок 76 – Модель тяговой аккумуляторной

Body (Кузов) – модель показана на рисунке 77.

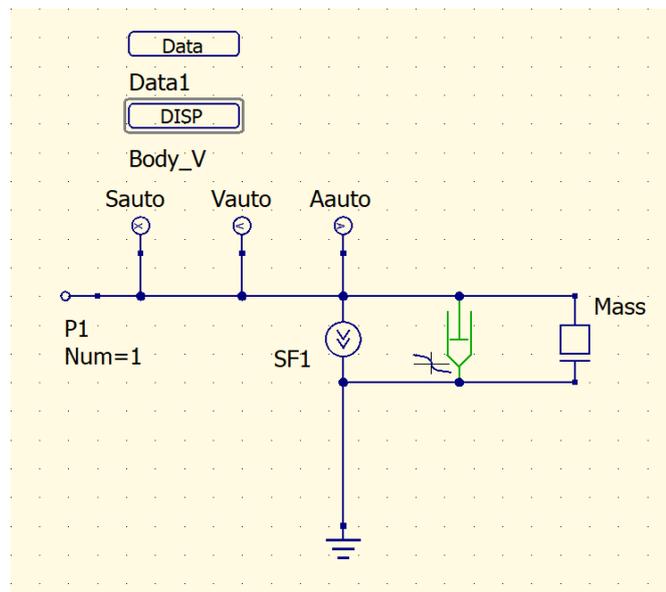


Рисунок 77 – Body

DCDC – Преобразователь постоянного напряжения в постоянного напряжения представлен на рисунке 78.

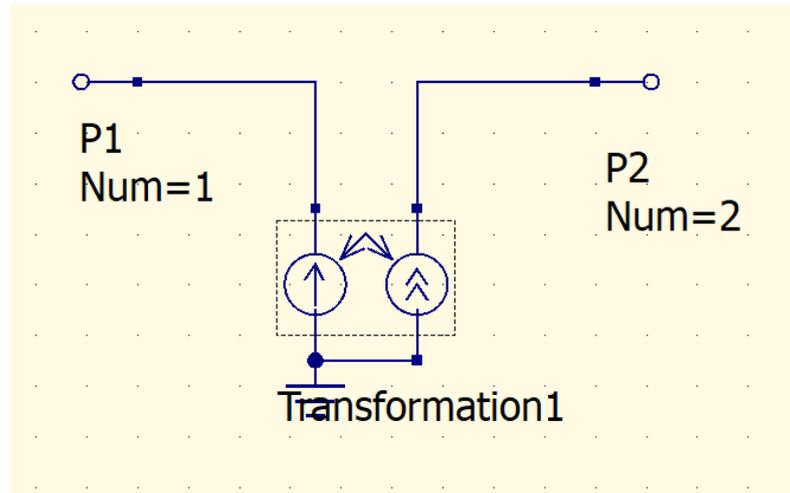


Рисунок 78 – Модель DCDC преобразователя

Driver (водитель) – модель показана на рисунке 79.

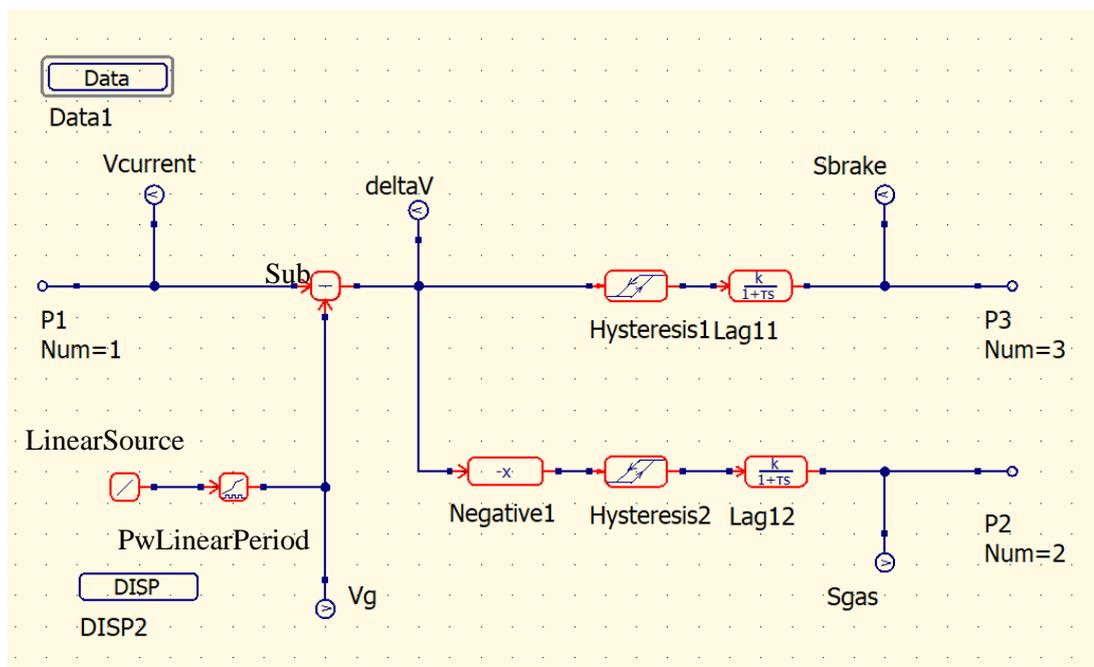


Рисунок 79 – Модель Driver

Invertor (инвертор) – модель показана на рисунке 80

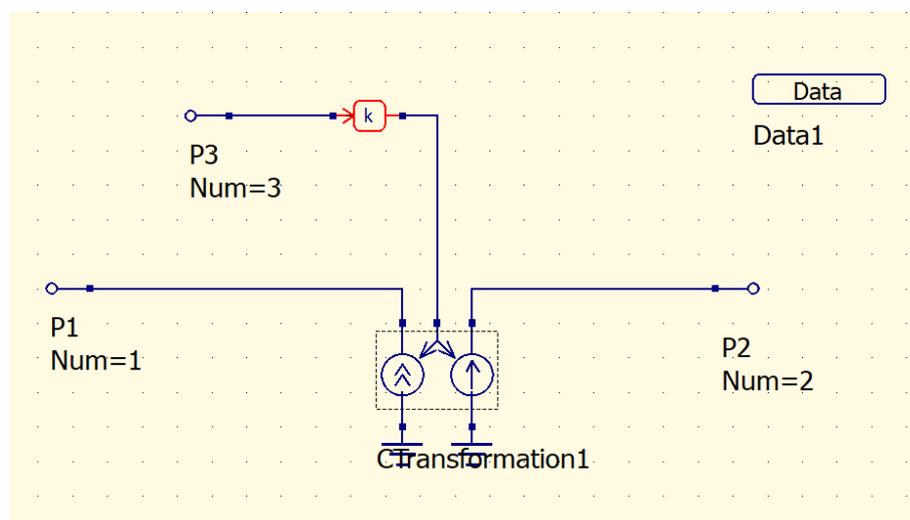


Рисунок 80 – Модель Invertor

Motor (электромотор) - показана на рисунке 81.

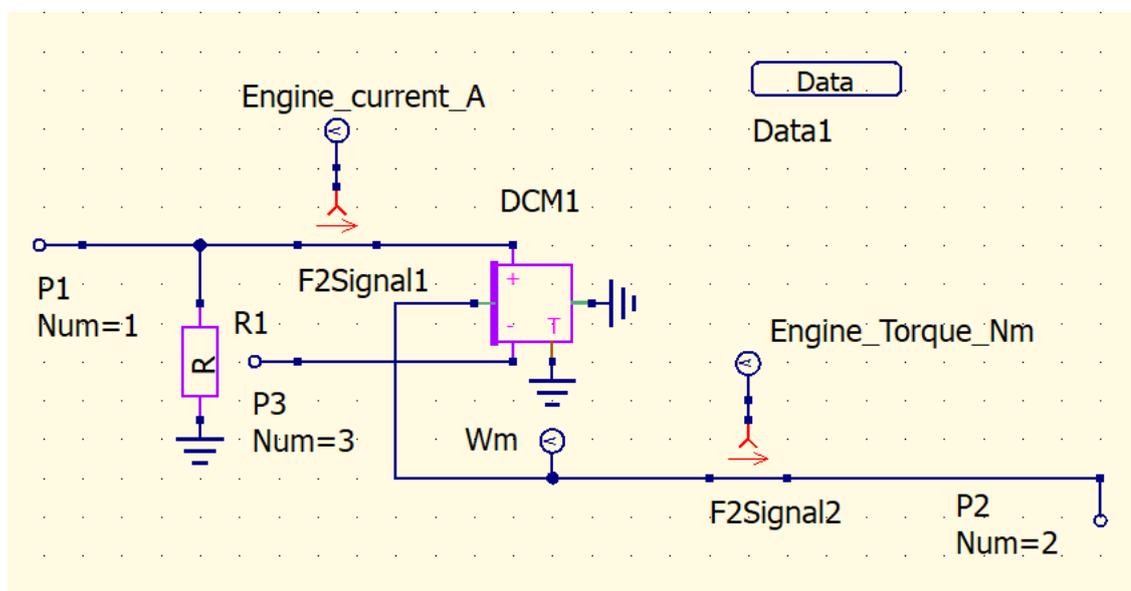


Рисунок 81 – Модель motor

Transmission (трансмиссия) применяется для изменения момента механической передачи показан на рисунке 82.

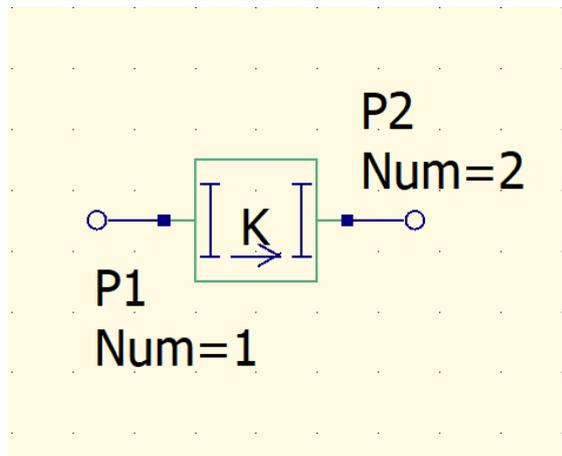


Рисунок 82 – Модель Transmission

VCU – Vehicle controller Unit, модель представленная на рисунке 83.

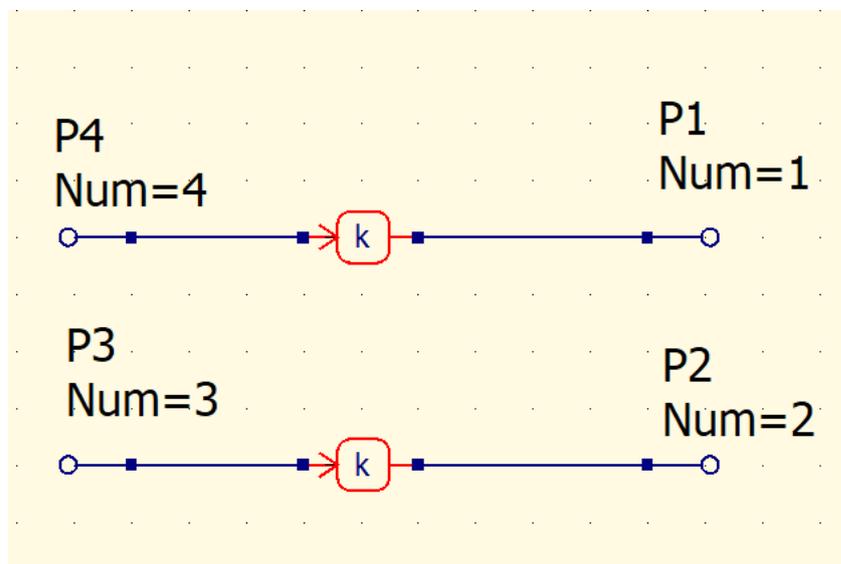


Рисунок 83 – Модель VCU

Общий ездовой цикл состоит из трех основных показателей, показаны на рисунках 84-87.

- 1) `electromotive.Driver.deltaV` - параметр скорости передвижения.
- 2) `electromotive.Driver.Vcurrent` - параметр средней скорости передвижения.
- 3) `electromotive.Driver.Sgas` - параметр ускорения передвижения.
- 4) `electromotive.Driver.Sbrake` - параметр торможения передвижения.
- 5) `electromotive.Driver.Vg` – скоростное ускорение

Diagrams 2 – Body_V

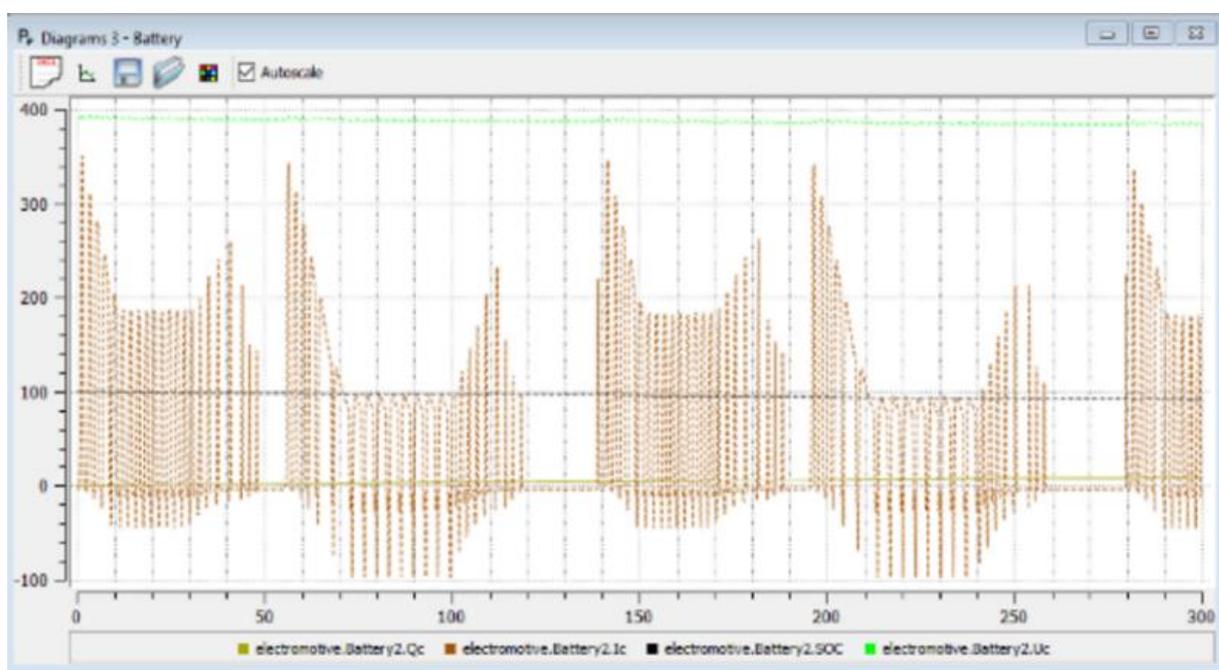


Рисунок 86 – Ездовой цикл модели Pradis

- 1) `electromotive.Battery2.Qc` – внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи.
- 2) `electromotive.Battery2.Ic` - ток потребляемый из тяговой аккумуляторной батареи.
`electromotive.Battery2.SOC` - заряд тяговой аккумуляторной батареи с начала движения до завершения ездового цикла, измеряется в процентах.
- 3) `electromotive.Battery2.Uc` – напряжение на аккумуляторной батарее

Diagrams 3 -Battery

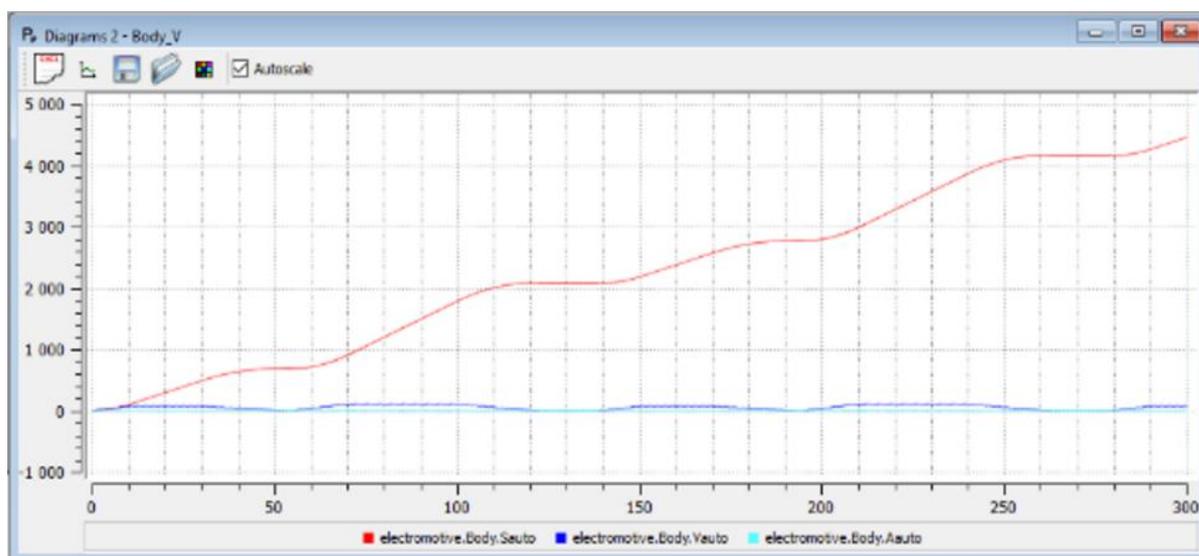


Рисунок 87 – Ездовой цикл модели Pradis

- 1) `electromotive.Body.Sauto` – параметр лобового сопротивления при движения автомобиля.
- 2) `electromotive.Body.Vauto` – параметр скорости передвижения автомобиля.

Заключение

Выводами по проведенной работе являются:

Все полученные результаты при исследовании ПО помогли в разработке гибридной платформы, представленной 1D моделью для моделирования ездовых циклов автомобилей LADA.

Основные результаты проведенной работы:

1. Анализ актуальных решений в гибридных автомобилях
2. Изучение 1D Моделей гибридных систем в ПО AVL Cruise M
3. Разработка модели Гибридного силового агрегат в Отечественном ПО Pradis.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течении всего периода исследования. Результаты были представлены на следующих конференциях и семинарах:

- на семинарах кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей» в 2023, 2024 и 2025 г;
- на первой научно-практической конференции АВТОВАЗа для молодых специалистов инжиниринга 21.09.24 г;
- на второй научно-практической конференции АВТОВАЗа для молодых специалистов инжиниринга 31.05.25 г;
- Аверин Б.Е. Тенденции цифровизации социальных процессов [Текст] // Научная инициатива: проблемы и перспективы внедрения инновационных решений: сборник статей Международной научно–практической конференции (г. Магнитогорск, РФ, 27 ноября 2024г.). – Уфа: Omega science, 2024. – 133-139 С.

Все полученные данные помогли в изучении 1D моделей автомобилей для моделирования ездовых циклов. В процессе работы была разработана модель, учитывающая важные аспекты для моделирования показателей, которые необходимы для проектирования гибридной платформы автомобиля.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Гибридный автомобиль [Электронный ресурс] // <https://ru.wikipedia.org> сайт. 2024. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гибридный_автомобиль (дата обращения: 25.02.2024).
2. ВАЗ-21129 [Электронный ресурс] // <https://ru.wikipedia.org> сайт. 2024. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ВАЗ-21129> (дата обращения: 25.02.2024).
3. Гибридные грузовики: модели, конструкции, перспективы [Электронный ресурс]. // <http://www.autotruck-press.ru> сайт. 2024. URL: <http://www.autotruck-press.ru/articles/4457/> (дата обращения: 25.02.2024).
4. Устройство, схема гибридных автомобилей [Электронный ресурс]. // <https://www.autoshcool.ru> сайт. 2024. URL: <https://www.autoshcool.ru/1592-ustrojstvo-sxema-gibridnyx-avtomobilej.html> (дата обращения: 26.02.2024).
5. Гибридная трансмиссия [Электронный ресурс]. – URL: <https://wiki.zr.ru/> (дата обращения: 26.02.2024).
6. Гибридная силовая установка автомобиля [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.studiplom.ru/Technology-DVS/hybrid.html>. (дата обращения: 26.02.2024).
7. Hybrid Electric Vehicles and the Battery [Электронный ресурс]: URL: https://batteryuniversity.com/learn/article/hybrid_electric_vehicles_and_the_battery (дата обращения: 26.02.2024)
8. Электрический и гибридный автотранспорт. Аналитический обзор [Электронный ресурс]. // <http://portal-energo.ru> сайт. 2024. URL: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/746/> (дата обращения: 26.02.2024)
9. Черепанов Л.А. Расчет тяговой динамики и топливной экономичности автомобиля. Электронное учебно-методическое пособие/ Тольяттинский государственный университет, Тольятти, 2016. 60с.
10. Toyota Prius [Электронный ресурс] // <https://ru.wikipedia.org> сайт. 2024. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Toyota_Prius (дата обращения:

26.02.2024).

11. Приус как это все работает [Электронный ресурс] // <https://www.drive2.ru> сайт. 2024. URL: <https://www.drive2.ru/b/464562080628868189/> (дата обращения: 27.02.2024).

12. Приус как это все работает [Электронный ресурс] // <https://auto3n.ru> сайт. 2024. URL: <https://auto3n.ru/statii/2401-gibridnye-avtomobili-vidy-osobennosti-raboty-preimushhestva-i-nedostatki> (дата обращения: 28.02.2024).

13. Форд Фьюжн Гибрид [Электронный ресурс] // <https://en.m.wikipedia.org> сайт. 2024. URL: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Ford_Fusion_Hybrid (дата обращения: 4.03.2024).

14. Синхронный двигатель с постоянными магнитами [Электронный ресурс] // <https://ru.about-motors.com> сайт. 2024. URL: <https://ru.about-motors.com/motorcontrol/pmsm/> (дата обращения: 4.03.2024).

15. WEG. Управление и защита для энергоэффективных двигателей IE3 // <https://www.szemo.ru> сайт. 2024. URL: <https://www.szemo.ru/files/weg-cat-3.pdf> (дата обращения: 5.03.2024).

16. Гибридный Lexus RX 450h // <https://auto.ironhorse.ru> сайт. 2024. URL: https://auto.ironhorse.ru/rx-450h-4_8584.html (дата обращения: 10.03.2024).

17. Kia Niro // <https://ru.wikipedia.org> сайт. 2024. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Kia_Niro (дата обращения: 10.02.2024).

18. Представлен электрический Lada Largus: два типа кузова и 250 километров без подзарядки // <https://auto.ru/> сайт. 2024. URL: https://auto.ru/mag/article/elektricheskiy-lada-largus-podrobnosti-osnashcheniya/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (дата обращения: 17.03.2024).

19. Гибридный синергетический привод // <https://ru.wikipedia.org/wiki/> сайт. 2024. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гибридный_синергетический_привод (дата обращения: 2.04.2024).

20. Gimura // <https://gimura.com/> сайт. 2024. URL: <https://gimura.com/> (дата обращения: 13.05.2024).
21. Рэнера // <https://renera.ru/> сайт. 2024. URL: <https://renera.ru/> (дата обращения: 13.05.2024).
22. Lipman, T. Hybrid electric and fuel cell vehicle technological innovation: hybrid and zero-emission vehicle technology links / T. Lipman, R. Hwang // Proceedings of the 2003 20th International Electric Vehicle Symposium and Exposition. – Long Beach, 2003. – 26 с.
23. Пат. 6478705 United States МПК F 16 H 3/72 Hybrid electric powertrain including a two-mode electrically variable transmission / Holmes A. G., Schmidt M. R. заявитель и патентообладатель General Motors Corporation. – заявл. 19.01.01 ; опубл. 12.11.02 – 7 с.
24. Miller, J. M. Propulsion Systems for Hybrid Vehicles. – London: Technology & Engineering, 2004 – 455 с.
25. Wu, J. Toward the optimization of operating conditions for hydrogen polymer electrolyte fuel cells / J. Wu, Q. Liu, H. Fang // Journal of Power Sources. – 2006. – № 156. – С. 388-399.
27. Wu, J. Toward the optimization of operating conditions for hydrogen polymer electrolyte fuel cells / J. Wu, Q. Liu, H. Fang // Journal of Power Sources. – 2006. – № 156. – С. 388-399.
28. Wang, G. Adaptive Response Surface Method - A Global Optimization Method Scheme for Approximation-based Design Problems / G. Wang, Z. Dong // Journal of Engineering Optimization. – 2001. – № 33. – С. 707-734.
29. Xue, D. (1998). "Optimal fuel cell system design considering functional performance and production costs / D. Xue, Z. Dong // Journal of Power Sources. – 1998. – № 76. – С. 69-80.
30. Godat, J. Optimization of a fuel cell system using process integration techniques / J. Godat, F. Marechal // Journal of Power Sources. – 2003. – № 118. – С. 411-423.
31. Frangopoulos, C. Development of a model for thermoeconomic design

and operation optimization of a PEM fuel cell system / C. Frangopoulos, L. Nakos // Energy. –2005. – № 31. – С. 1501-1519.

32. Сожжем бензин — спасем природу! Первый тест-драйв гибрида Voyah Free EVR // <https://www.drom.ru> сайт. 2024. URL: <https://www.drom.ru/info/test-drive/voyah-free-evr-94760.html?ysclid=lw8syrhjsc768927896> (дата обращения: 21.05.2024).

33. Гибридные войны: сравниваем Li L7 и Voyah Free // <https://www.drom.ru> сайт. 2024. URL: <https://www.drom.ru/info/test-drive/li-l7-voyah-free-95271.html> (дата обращения: 21.05.2024).

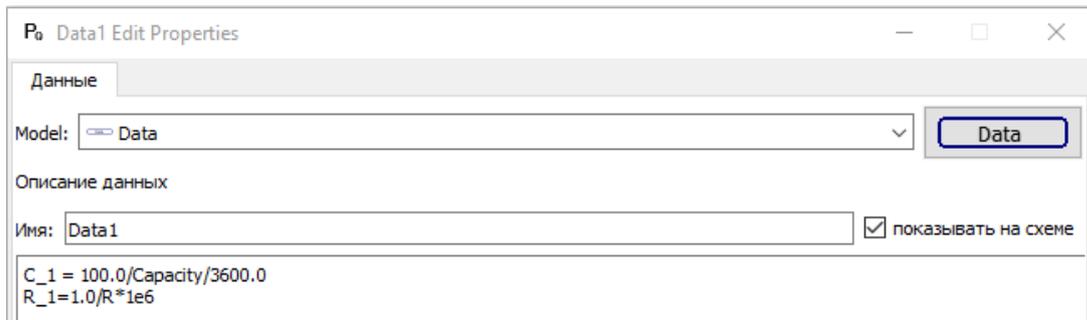
34. Расторгуев, Д. А. Разработка плана изготовления деталей машин : учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. «Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва». - ТГУ. – Т. : ТГУ, 2013. - 51 с

35. Аверин Б.Е. Тенденции цифровизации социальных процессов [Текст] // Научная инициатива: проблемы и перспективы внедрения инновационных решений: сборник статей Международной научно–практической конференции (г. Магнитогорск, РФ , 27 ноября 2024г.). – Уфа: Omega science, 2024. – 133-139 С.

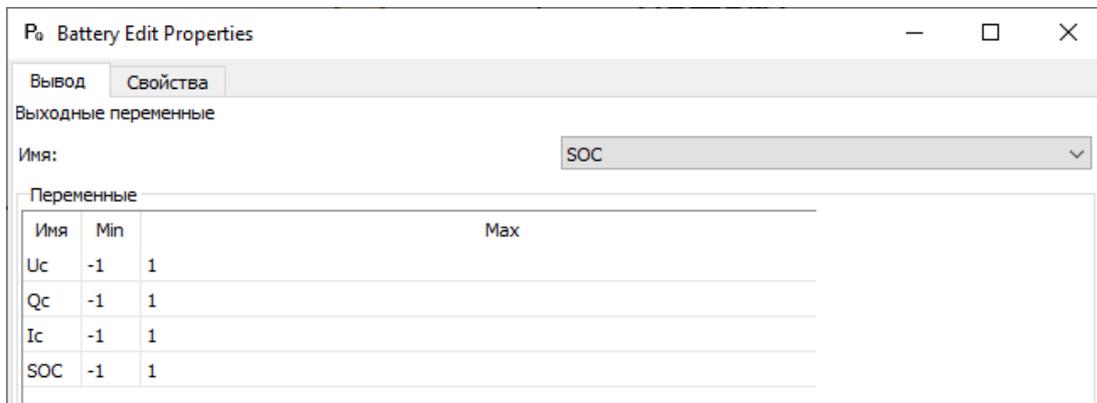
Приложение А

Экранные копии моделирования в ПО Pradis

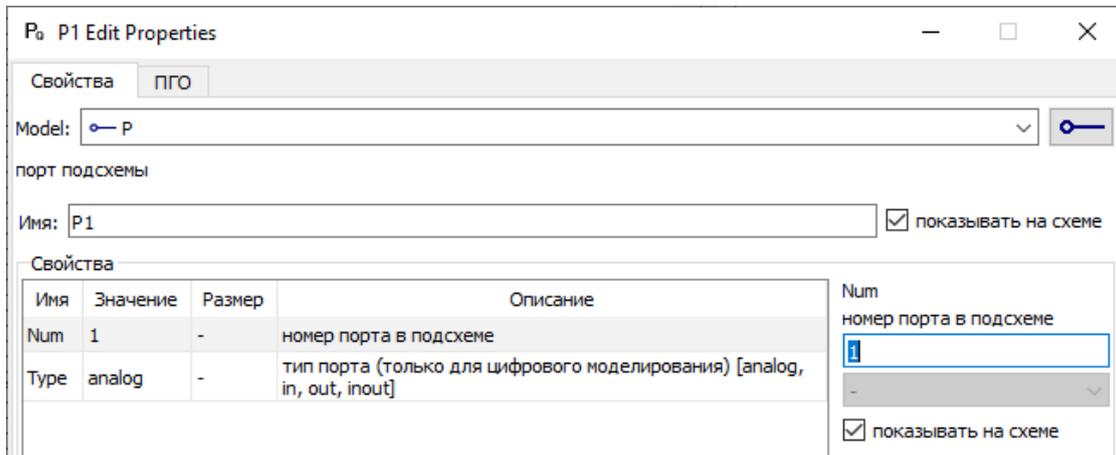
Data – описание данных, ёмкость тяговой акб, внутренне сопротивление.



Disp (Battery) – вывод в графической информацией переменных

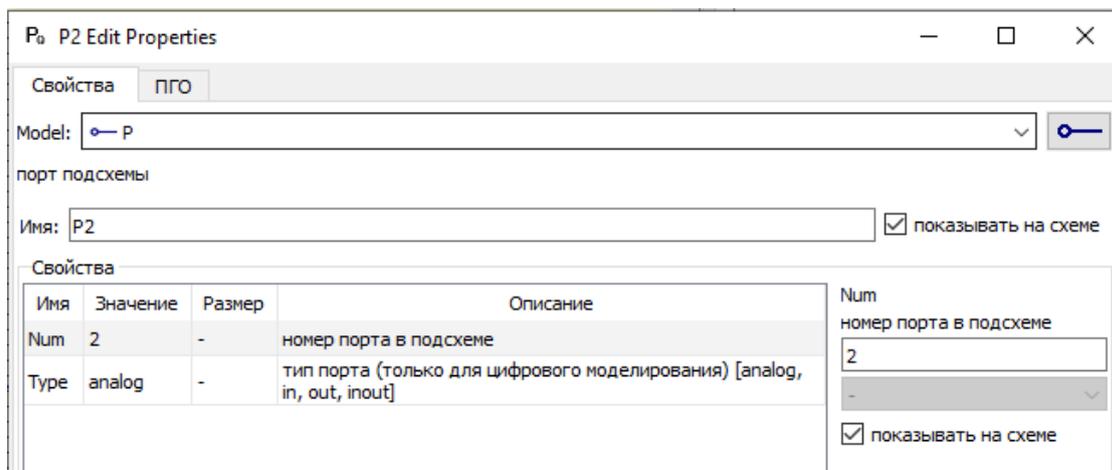


P1 – порт подсхемы



Продолжение приложения А

P2 – порт подсхемы

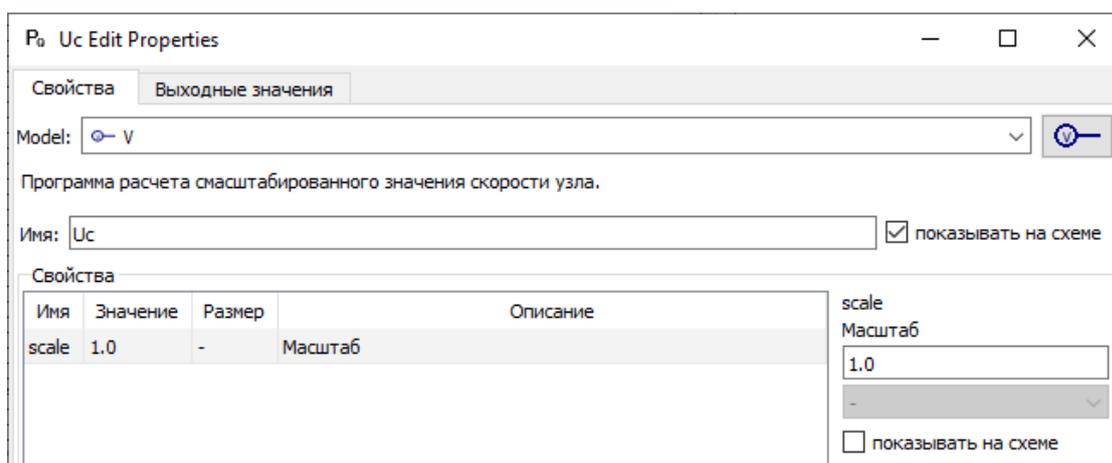


The screenshot shows the 'P2 Edit Properties' dialog box. It has two tabs: 'Свойства' (Properties) and 'ПГО'. The 'Model' dropdown is set to 'P'. Below it, the text 'порт подсхемы' is displayed. The 'Имя' (Name) field contains 'P2' and has a checked checkbox 'показывать на схеме' (show on scheme). A table lists properties:

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	2	-	номер порта в подсхеме
Type	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

To the right of the table, there is a 'Num' field with the value '2' and a checked checkbox 'показывать на схеме'.

Uc – Программа расчета масштабированного значения скорости узла

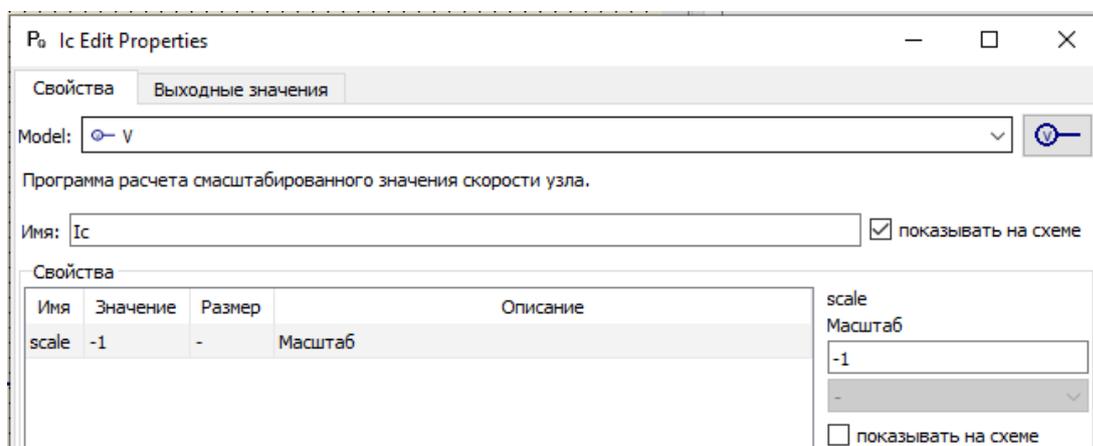


The screenshot shows the 'Uc Edit Properties' dialog box. It has two tabs: 'Свойства' (Properties) and 'Выходные значения' (Output values). The 'Model' dropdown is set to 'V'. Below it, the text 'Программа расчета масштабированного значения скорости узла.' is displayed. The 'Имя' (Name) field contains 'Uc' and has a checked checkbox 'показывать на схеме' (show on scheme). A table lists properties:

Имя	Значение	Размер	Описание
scale	1.0	-	Масштаб

To the right of the table, there is a 'scale' field with the value '1.0' and an unchecked checkbox 'показывать на схеме'.

Ic – Программа расчета масштабированного значения скорости узла



The screenshot shows the 'Ic Edit Properties' dialog box. It has two tabs: 'Свойства' (Properties) and 'Выходные значения' (Output values). The 'Model' dropdown is set to 'V'. Below it, the text 'Программа расчета масштабированного значения скорости узла.' is displayed. The 'Имя' (Name) field contains 'Ic' and has a checked checkbox 'показывать на схеме' (show on scheme). A table lists properties:

Имя	Значение	Размер	Описание
scale	-1	-	Масштаб

To the right of the table, there is a 'scale' field with the value '-1' and an unchecked checkbox 'показывать на схеме'.

Продолжение приложения А

Qc – Программа расчета масштабированного значения скорости узла

Р₀ Qc Edit Properties

Свойства Выходные значения

Model: V

Программа расчета масштабированного значения скорости узла.

Имя: Qc показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
scale	-1	-	Масштаб

scale Масштаб

-1

показывать на схеме

SOC – Программа расчета масштабированного значения скорости узла

Р₀ SOC Edit Properties

Свойства Выходные значения

Model: V

Программа расчета масштабированного значения скорости узла.

Имя: SOC показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
scale	1.0	-	Масштаб

scale Масштаб

1.0

показывать на схеме

Const – Константа

Р₀ Const1 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: Const

Константа

Имя: Const1 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
C	SOC0	-	Значение константы

C Значение константы

SOC0

показывать на схеме

Продолжение приложения А

Sum – Сумматор

Р₀ Sum1 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: Sum

Сумматор

Имя: Sum1 показывать на схеме

Свойства

Имя	Значение	Размер	Описание
R	1	-	Коэффициент масштабирования

R Коэффициент масштабирования

1

-

показывать на схеме

PwLinear – Кусочно-линейная зависимость сигнала

Р₀ PwLinear1 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: PwLinear

Кусочно-линейная зависимость сигнала

Имя: PwLinear1 показывать на схеме

Свойства

Имя	Значение	Размер	Описание
K	1	-	Коэффициент масштабирования выходного сигнала
Table	Esoc	-	Зависимость сигнала

K Коэффициент масштабирования выходного сигнала

1

-

показывать на схеме

F2Signal – Преобразователь силы в сигнал

Р₀ F2Signal1 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: F2Signal

Преобразователь силы в сигнал

Имя: F2Signal1 показывать на схеме

Свойства

Имя	Значение	Размер	Описание
K	1	-	Коэффициент масштабирования выходного сигнала
R	1e-6	-	Внутреннее сопротивление (R)

K Коэффициент масштабирования выходного сигнала

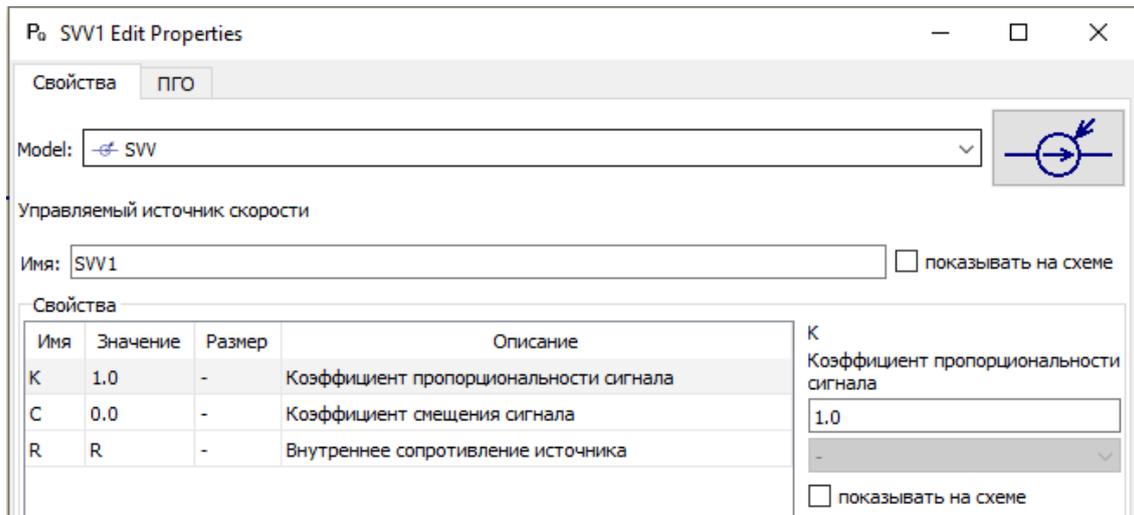
1

-

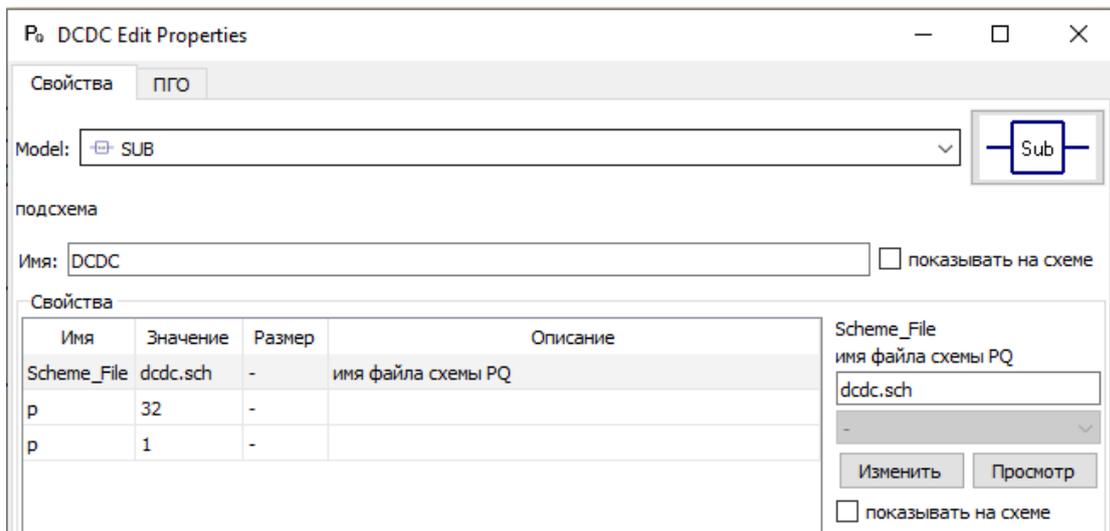
показывать на схеме

Продолжение приложения

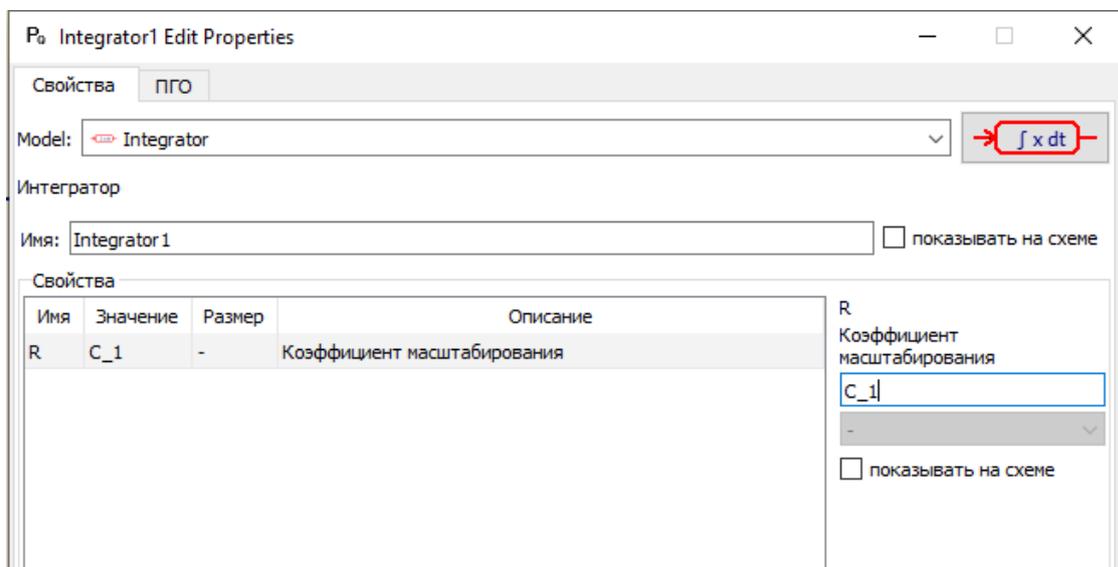
SW – Управляемый источник скорости



Dcdc – Подсхема преобразователя (коэффициент 32к1)

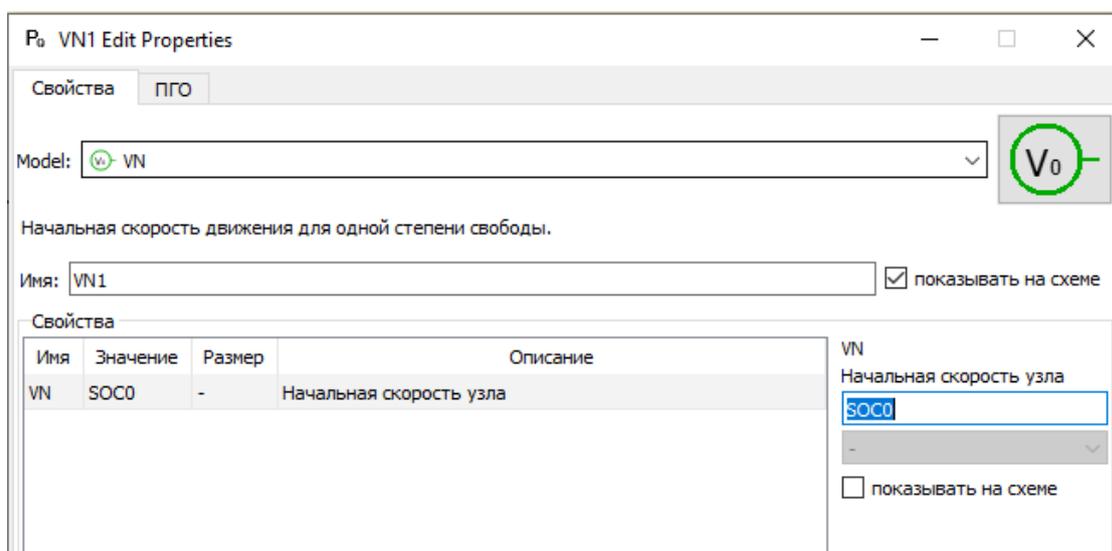


Integrator – определяет коэффициент масштабирования



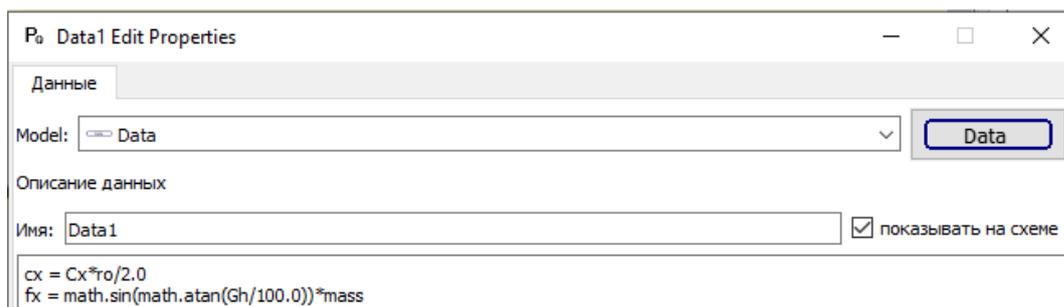
Продолжение приложения А

VN1 – Начальная скорость узла

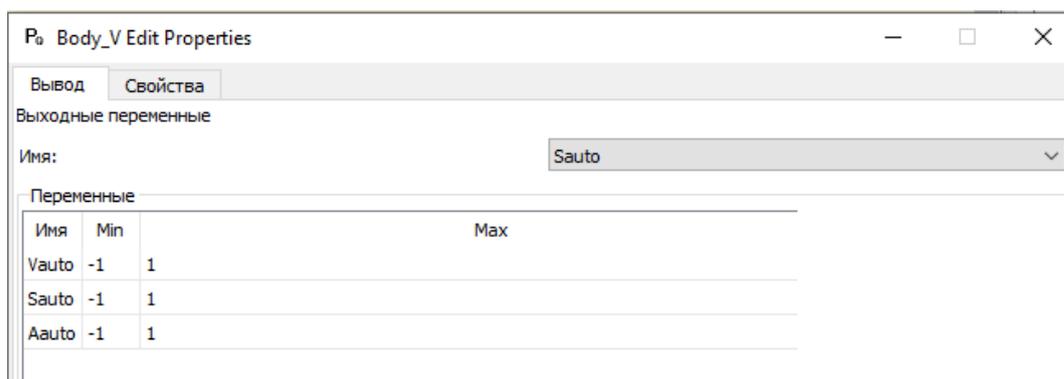


Body

Data – описание данных, масса автомобиля описанная мат. моделью.

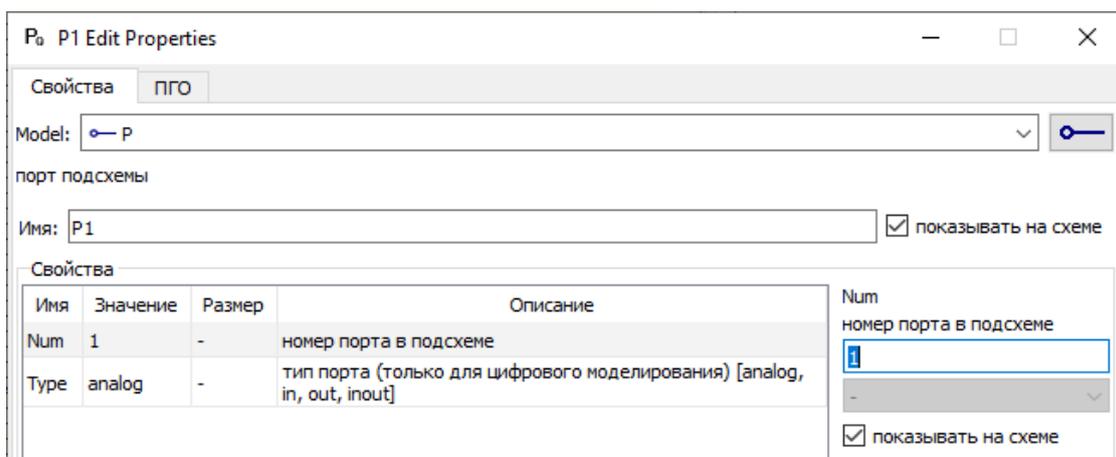


Disp – выходные переменные

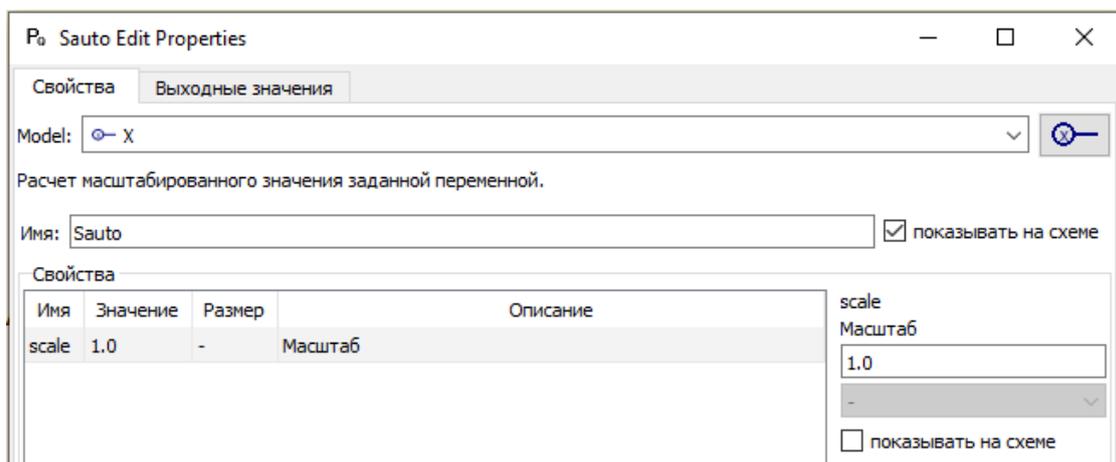


Продолжение приложения А

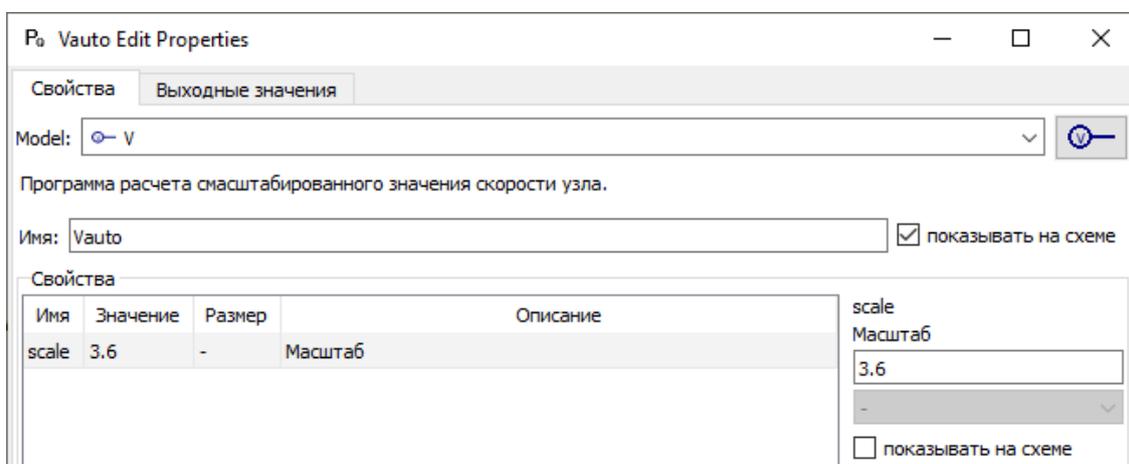
P1 – порт подсхемы



Sauto – Расчет масштабированного значения заданной переменной (масштаб 1.0)

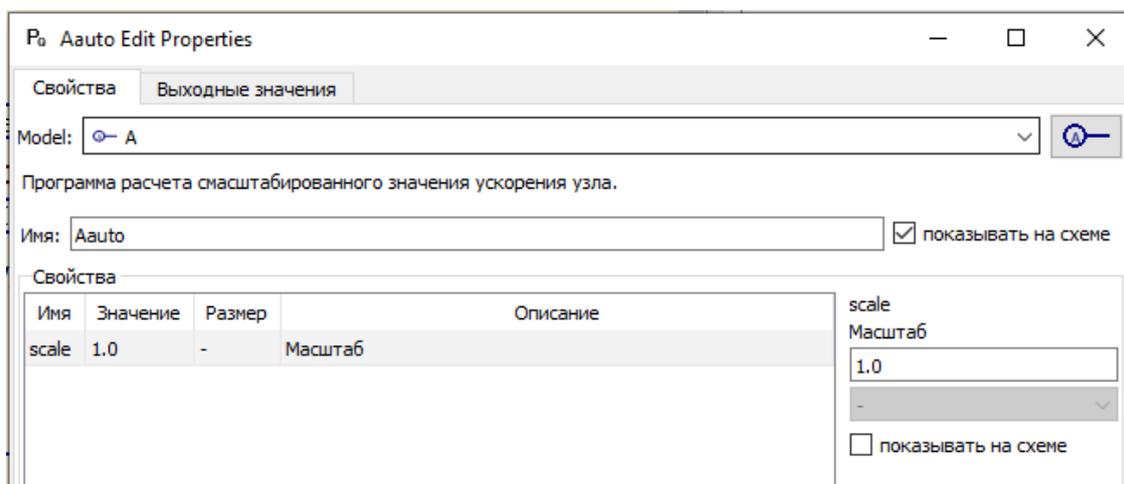


Vauto – Программа расчета смасштабированного значения скорости узла (масштаб 3.6)

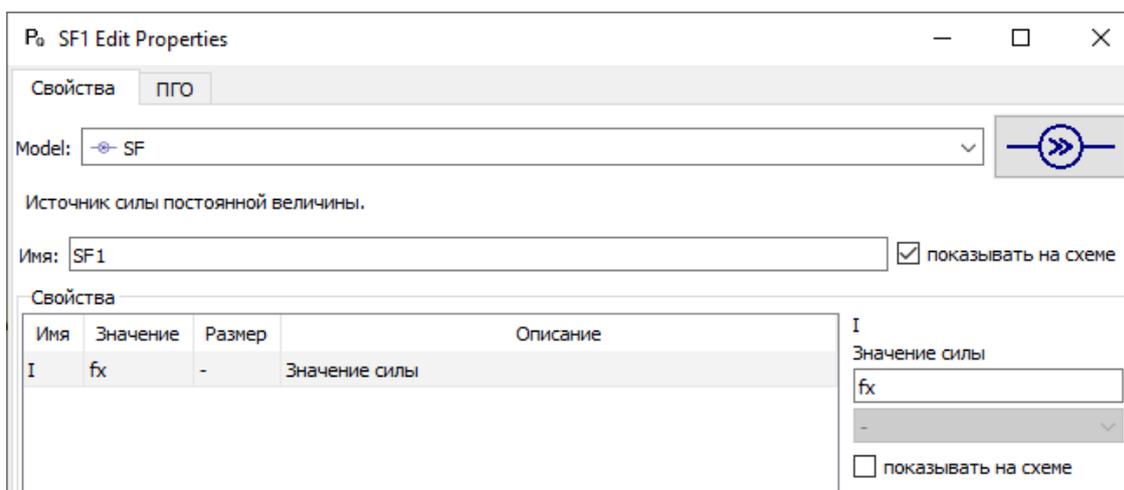


Продолжение приложения А

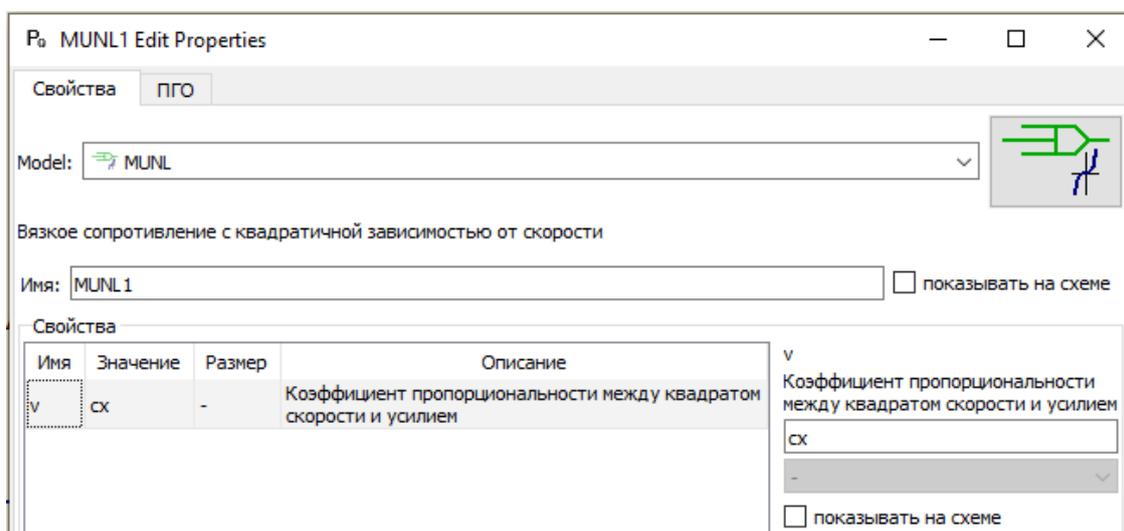
Aauto – Программа расчета смасштабированного значения скорости узла (масштаб 1.0)



SF1 – Источник силы постоянной величины



MUNL – Вязкое сопротивление с квадратичной зависимостью от скорости



Продолжение приложения А

Mass – Элемент инерции, коэффициент инерции(масса)

Р0 Mass Edit Properties

Свойства ПГО

Model: M

Элемент инерции

Имя: Mass показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
M	mass	-	Коэффициент инерции (масса)

M
Коэффициент инерции (масса)
mass
-
 показывать на схеме

DCDC

P1 – порт подсхемы

Р0 P1 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

Имя: P1 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	1	-	номер порта в подсхеме
Type	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

Num
номер порта в подсхеме
1
-
 показывать на схеме

P2 – порт подсхемы

Р0 P2 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

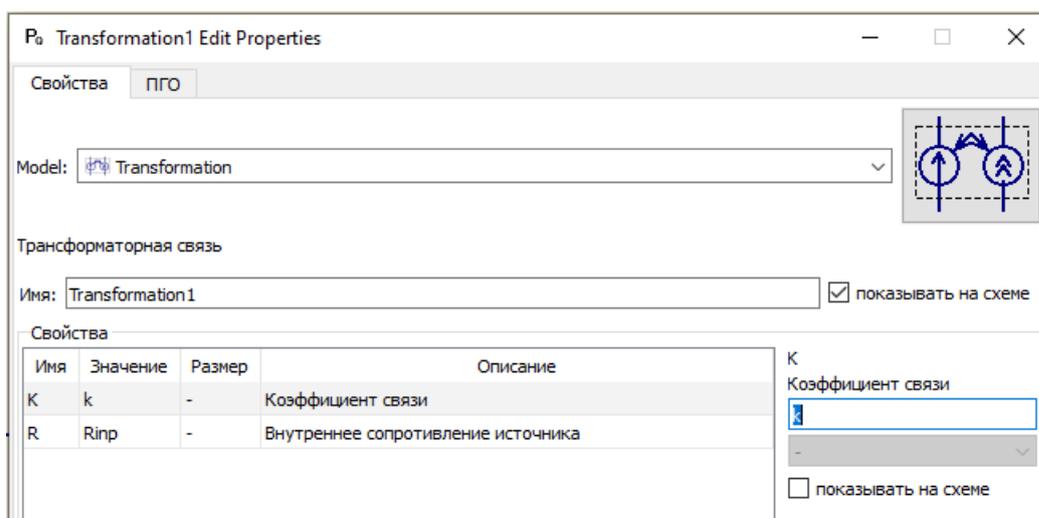
Имя: P2 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	2	-	номер порта в подсхеме
Type	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

Num
номер порта в подсхеме
2
-
 показывать на схеме

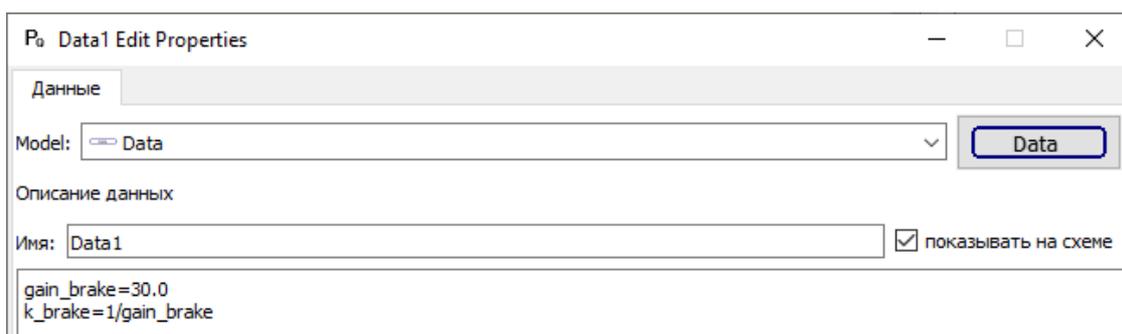
Продолжение приложения А

Transformation1 – Трансформаторная связь

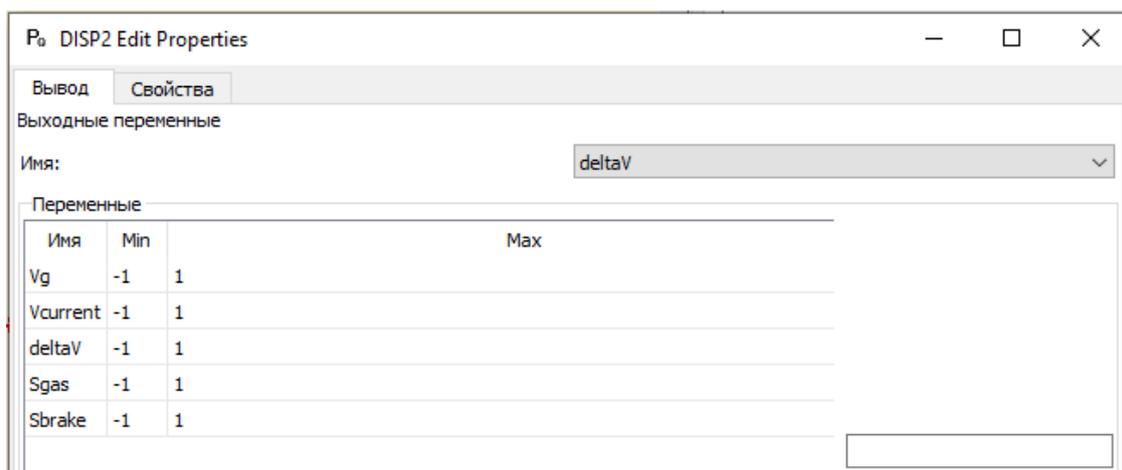


Driver

Data – описание данных



Disp – выходные переменные



Продолжение приложения А

Р1 – порт подсхемы

P0 P1 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

Имя: P1 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	1	-	номер порта в подсхеме
Type	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

Num
номер порта в подсхеме
1
 показывать на схеме

Р2 – порт подсхемы

P0 P2 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

Имя: P2 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	2	-	номер порта в подсхеме
Type	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

Num
номер порта в подсхеме
2
 показывать на схеме

Р3 – порт подсхемы

P0 P3 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

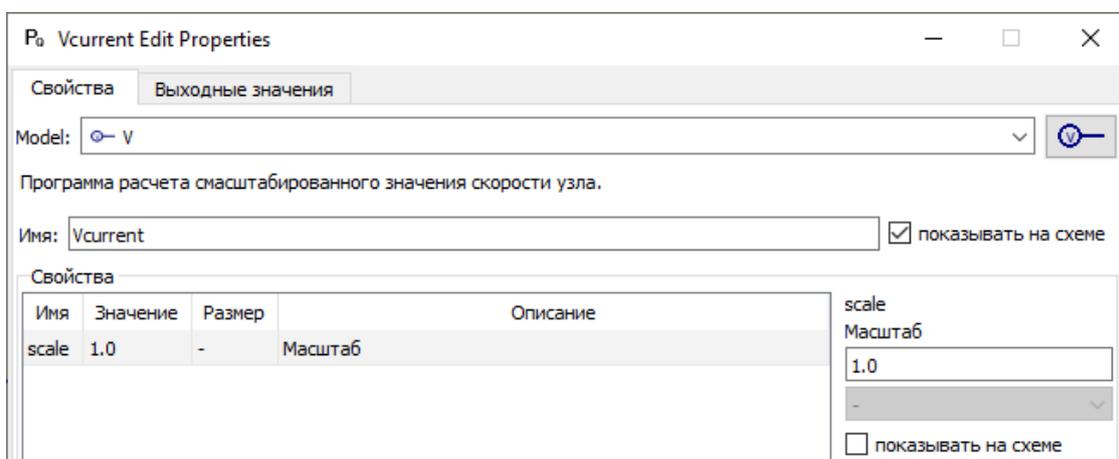
Имя: P3 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	3	-	номер порта в подсхеме
Type	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

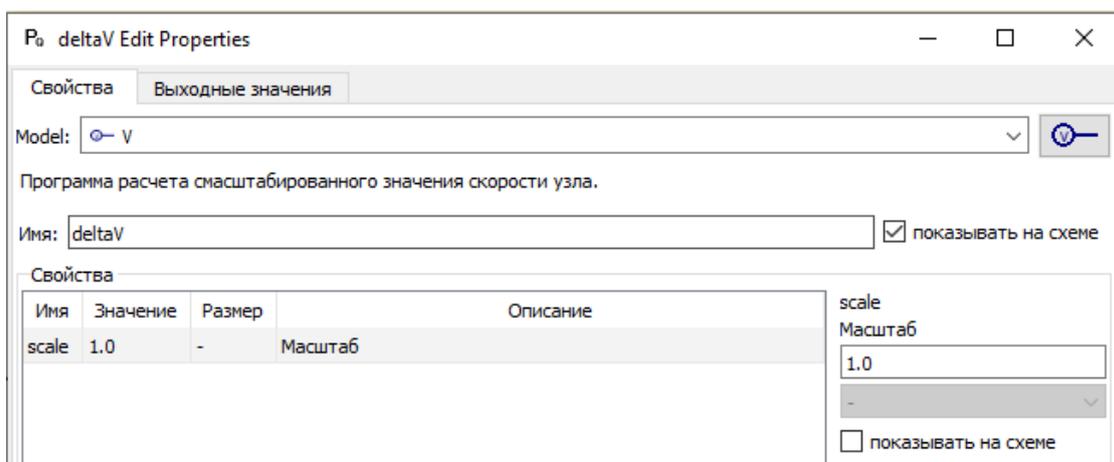
Num
номер порта в подсхеме
3
 показывать на схеме

Продолжение приложения А

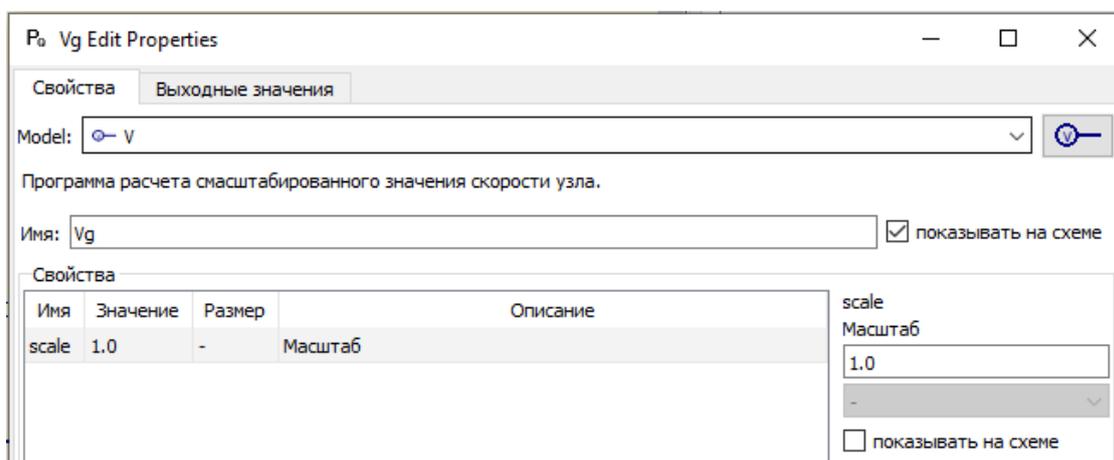
Vcurrent – Программа расчета с масштабированного значения скорости узла
(масштаб 1.0)



deltaV – Программа расчета с масштабированного значения скорости узла
(масштаб 1.0)



Vg – Программа расчета с масштабированного значения скорости узла
(масштаб 1.0)



Продолжение приложения А

Sbrake – Программа расчета смасштабированного значения скорости узла
(масштаб 1.0)

Р₀ Sbrake Edit Properties

Свойства Выходные значения

Model:

Программа расчета смасштабированного значения скорости узла.

Имя: показывать на схеме

Свойства

Имя	Значение	Размер	Описание
scale	k_brake	-	Масштаб

scale
Масштаб

-
 показывать на схеме

Sgas – Программа расчета смасштабированного значения скорости узла
(масштаб 1.0)

Р₀ Sgas Edit Properties

Свойства Выходные значения

Model:

Программа расчета смасштабированного значения скорости узла.

Имя: показывать на схеме

Свойства

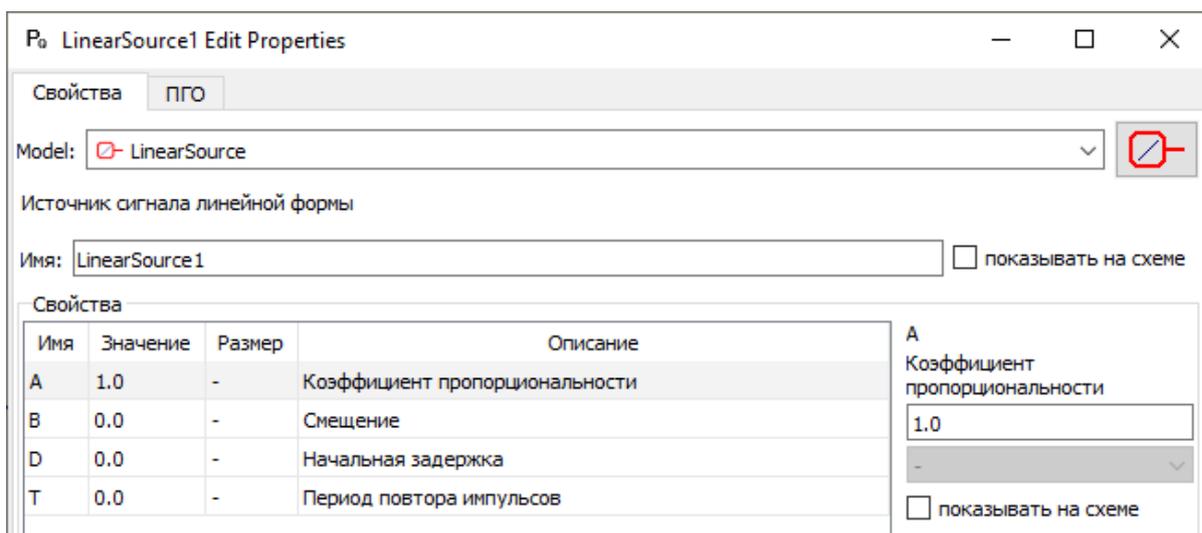
Имя	Значение	Размер	Описание
scale	1.0	-	Масштаб

scale
Масштаб

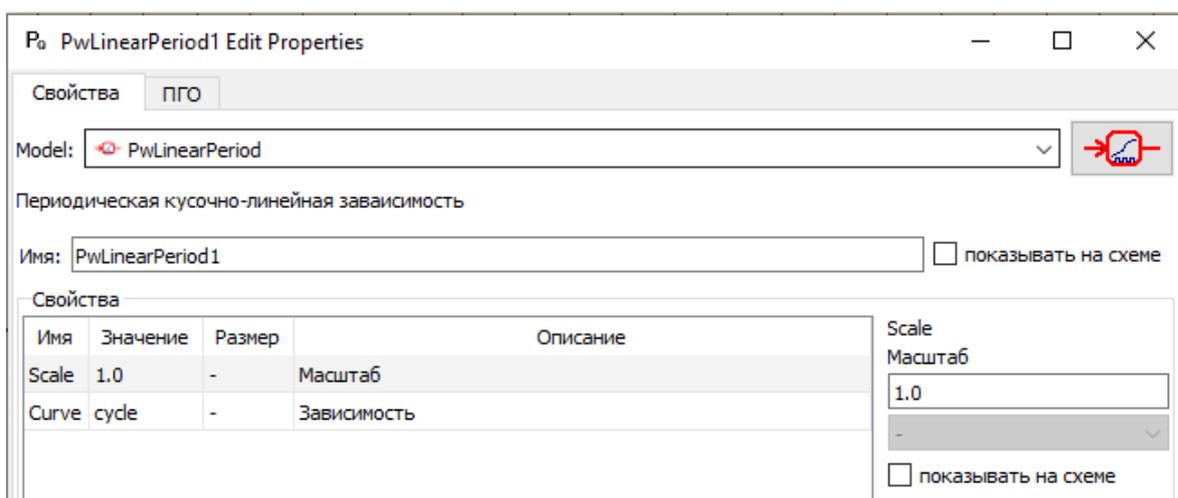
-
 показывать на схеме

Продолжение приложения А

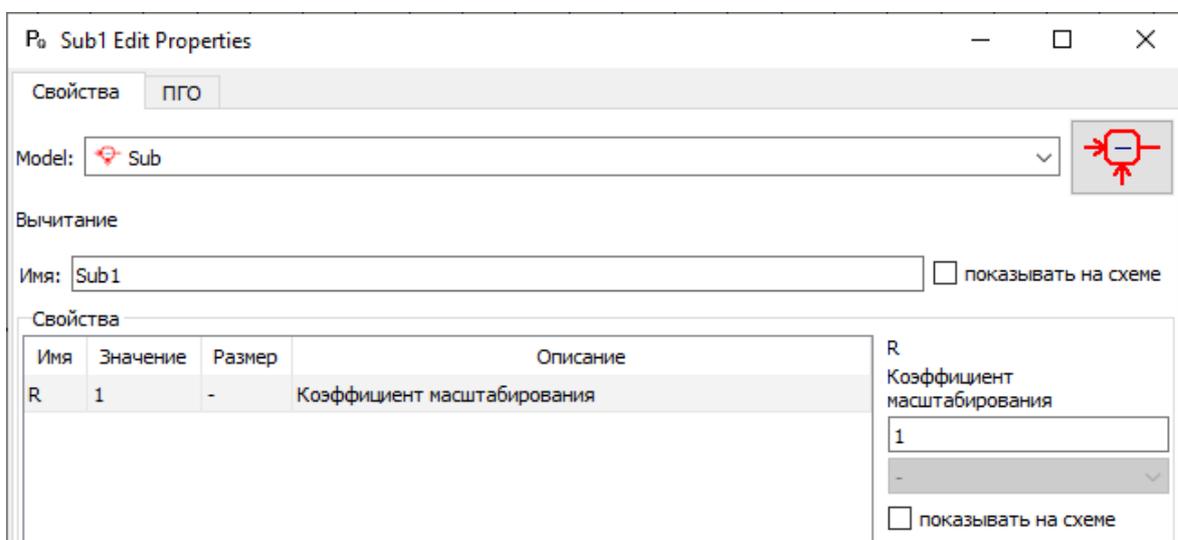
LinearSource – Источник сигнала линейной формы



PwLinearPeriod – Периодическая кусочно-линейная зависимость

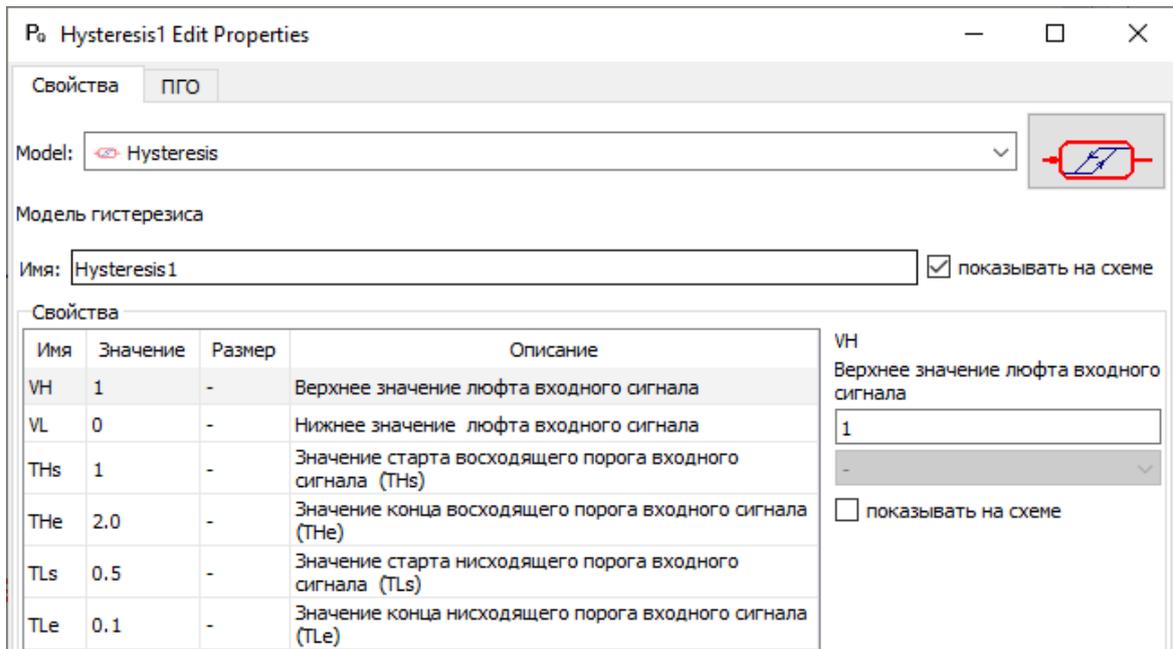


Sub – Вычитание

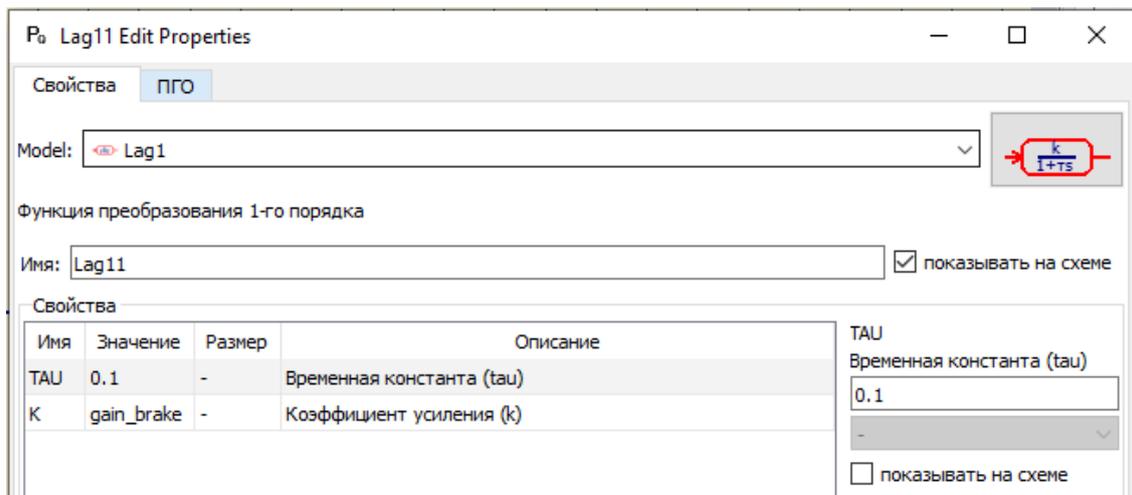


Продолжение приложения А

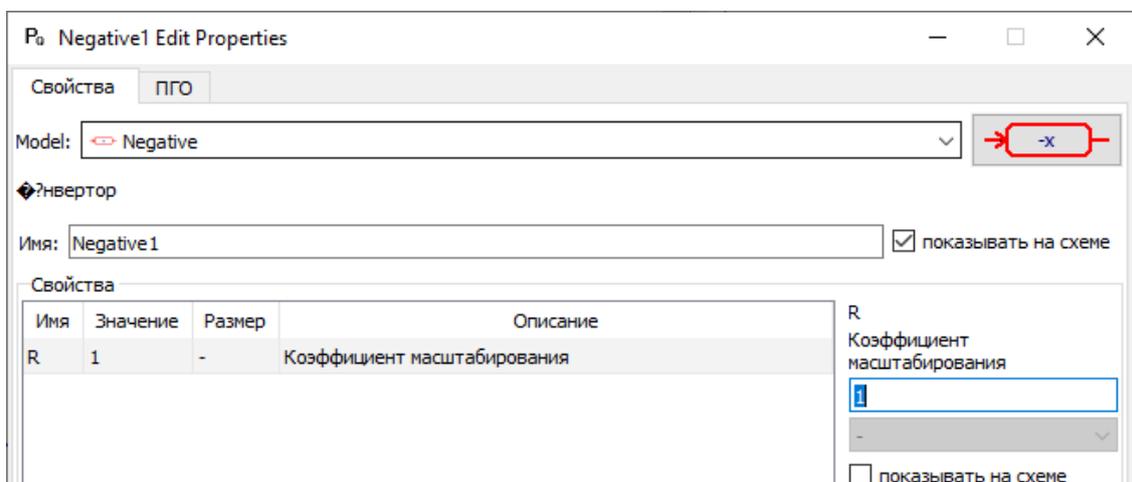
Hysteresis 1 – Модель гистерезиса



Lag1 – Функция преобразования 1-ого порядка



Negative1 – Инвертор

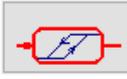


Продолжение приложения А

Hysteresis 2 – Модель гистерезиса

Р₀ Hysteresis2 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: 

Модель гистерезиса

Имя: показывать на схеме

Свойства

Имя	Значение	Размер	Описание
VH	1	-	Верхнее значение люфта входного сигнала
VL	0	-	Нижнее значение люфта входного сигнала
THs	1	-	Значение старта восходящего порога входного сигнала (THs)
THe	2	-	Значение конца восходящего порога входного сигнала (THe)
TLs	-0.5	-	Значение старта нисходящего порога входного сигнала (TLs)
TLe	-8	-	Значение конца нисходящего порога входного сигнала (TLe)

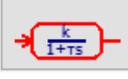
VH
Верхнее значение люфта входного сигнала

-
 показывать на схеме

Lag2 – Функция преобразования 1-ого порядка

Р₀ Lag12 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: 

Функция преобразования 1-го порядка

Имя: показывать на схеме

Свойства

Имя	Значение	Размер	Описание
TAU	0.1	-	Временная константа (tau)
K	1.0	-	Коэффициент усиления (k)

TAU
Временная константа (tau)

-
 показывать на схеме

Продолжение приложения А

Dynamic – динамический анализ

Р₀ Dynamic1 Edit Properties

Свойства

Model: Dynamic

Динамический анализ

Имя: показывать на схеме

Свойства

Имя	Значение	Размер	Описание
end	300	-	Конечное время интегрирования
method	Stoermer	-	Метод интегрирования: [Stoermer, Newmark, Explicit_Euler, Implicit_Euler, Trapeczia]
outper	1	-	Количество шагов расчета на один вывод информации в DAT-файл
outvar	1	-	Режим вывода информации в DAT-файл. /0/-не создавать DAT-файл /1/-обязательные параметры /3/-обязательные параметры + якобиан /4/-только значения ПРВП
control	1e-1	-	Предел уменьшения шага по критерию ЛП; требования на уменьшение шага по критерию ЛП ниже значения CONTROL игнорируются. Одновременно служит для принудительного демпфирования высокочастотных колебаний
smax	1	-	Максимальный шаг интегрирования
smin	1e-11	-	Минимальный шаг интегрирования
weight	1.0	-	Весовой коэффициент, совместно с параметром CONTROL определяющий степень демпфирования высокочастотных колебаний
itr	5	-	Максимальное число итераций на шаге интегрирования
drltx	0.01	-	Относительная допустимая локальная погрешность /ЛП/ на шаге интегрирования
dabsx	1	-	Абсолютная допустимая локальная погрешность на шаге интегрирования
drltu	0.001	-	Относительная допустимая погрешность определения аргумента в процессе решения системы нелинейных уравнений /СНЛУ/
dabsu	0.1	-	Абсолютная допустимая погрешность определения аргумента в процессе решения СНЛУ
drlti	0.01	-	Относительная допустимая невязка правой части в процессе решения СНЛУ
dabsi	1000	-	Абсолютная допустимая невязка правой части в процессе решения СНЛУ
debug	0	-	Признак отладочного вывода
optim	2	-	Степень оптимизации исходной матричной структуры сформированной модели
second	0	-	Признак обязательности второй итерации при решении СНЛУ
flag	2	-	Признак базисной переменной при решении СНЛУ и оценке ЛП:перемещение/1/ или скорость/2/
checkm	0	-	Проверка инерционных свойств. Разрешает /1/ или подавляет /0/
predict	0	-	Признак прогноза по ускорениям в начале шага - постоянного /0/ или линейного /1/
ignore	0	-	Признак учета рекомендаций моделей по шагу интегрирования - учитывать(0) или нет /1/
out	0.0	-	Минимальный шаг вывода результатов расчета в rsl файл
prttime	5	-	Значение интервала вывода информации в консоль при расчете в секундах реального времени
save	1e10	-	Шаг сохранения текущего состояния расчета
atm	0	-	

end
Конечное время интегрирования

-
 показывать на схеме

Добавить Удалить
Отменить Повторить
Копировать Вставить

Продолжение приложения А

Data – Описание данных

Р₀ Data1 Edit Properties

Данные

Model: Data Data

Описание данных

Имя: Data1 показывать на схеме

```

Esoc =Esoc_T.Values()
cycle =Cycle_T.Values()
#Esoc =[-1,0,0,0,3,305,10,320,100,390,101,390]
k=1
#cycle = [0,0,10, 20, 30, 20, 50, 0,55,0,70, 30, 100,30, 120, 0, 140,0]
    
```

Import Data Esoc_T – Импорт данных из файла

Р₀ Esoc_T Edit Properties

Свойства

Model: ImportData Import Data

Импорт данных из файла

Имя: Esoc_T показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Data_File	data.xlsx	-	Файл с данными
FileFormat	excel	-	Формат файла. Если выбран amesim, заполнять поля Cell не нужно [txt, csv, excel, amesim]
CellsX	H3:H8	-	Ячейки значений X или колонка с именами переменных
CellsY	I3:I8	-	Ячейки значений Y или колонка со значениями
CellsZ		-	Ячейки значений Z(не используется для txt и csv)
TypeFlag	array	-	Формат данных. Если выбран amesim, dict не поддерживается:[dict, array, AsIs]
Delimiter	,	-	Разделитель данных. Используется в txt. Чтобы использовать табы наберите \t

Data_File
Файл с данными
data.xlsx
-
Изменить Просмотр
 показывать на схеме

Import Data Cycle_T – импорт данных из файла

Р₀ Cycle_T Edit Properties

Свойства

Model: ImportData Import Data

Импорт данных из файла

Имя: Cycle_T показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Data_File	data.xlsx	-	Файл с данными
FileFormat	excel	-	Формат файла. Если выбран amesim, заполнять поля Cell не нужно [txt, csv, excel, amesim]
CellsX	L2:L10	-	Ячейки значений X или колонка с именами переменных
CellsY	M2:M10	-	Ячейки значений Y или колонка со значениями
CellsZ		-	Ячейки значений Z(не используется для txt и csv)
TypeFlag	array	-	Формат данных. Если выбран amesim, dict не поддерживается:[dict, array, AsIs]
Delimiter	,	-	Разделитель данных. Используется в txt. Чтобы использовать табы наберите \t

Data_File
Файл с данными
data.xlsx
-
Изменить Просмотр
 показывать на схеме

Продолжение приложения А

VHigh_V

Р₀ VHigh_V Edit Properties

Свойства Выходные значения

Model:

Программа расчета смасштабированного значения скорости узла.

Имя: показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
scale	1.0	-	Масштаб

scale
Масштаб

-
 показывать на схеме

VLow_V

Р₀ VLow_V Edit Properties

Свойства Выходные значения

Model:

Программа расчета смасштабированного значения скорости узла.

Имя: показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
scale	1.0	-	Масштаб

scale
Масштаб

-
 показывать на схеме

Vauto_kmh

Р₀ Vauto_kmh Edit Properties

Свойства Выходные значения

Model:

Программа расчета смасштабированного значения скорости узла.

Имя: показывать на схеме

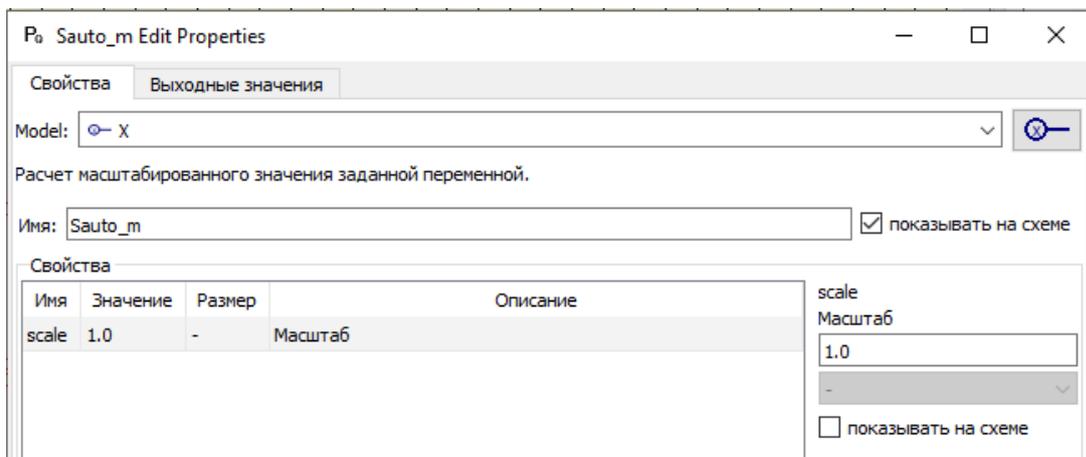
Имя	Значение	Размер	Описание
scale	3.6	-	Масштаб

scale
Масштаб

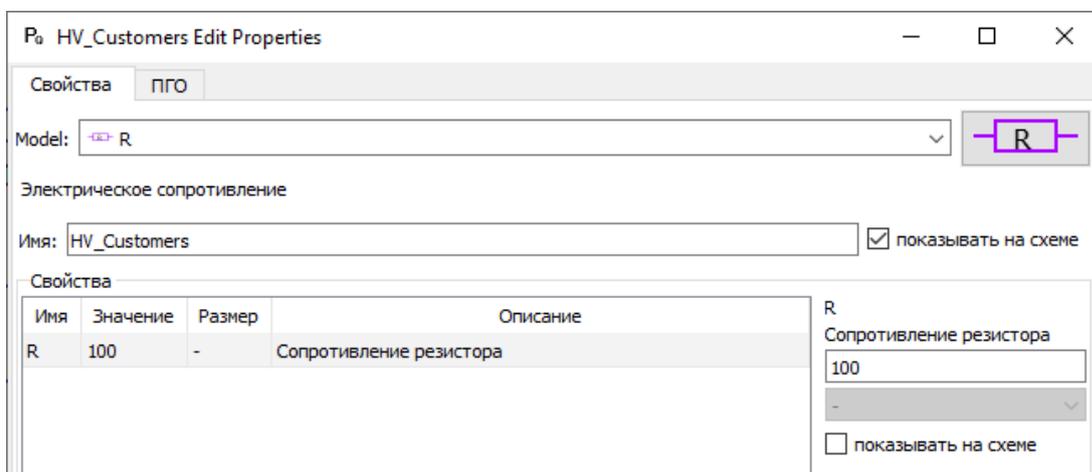
-
 показывать на схеме

Продолжение приложения А

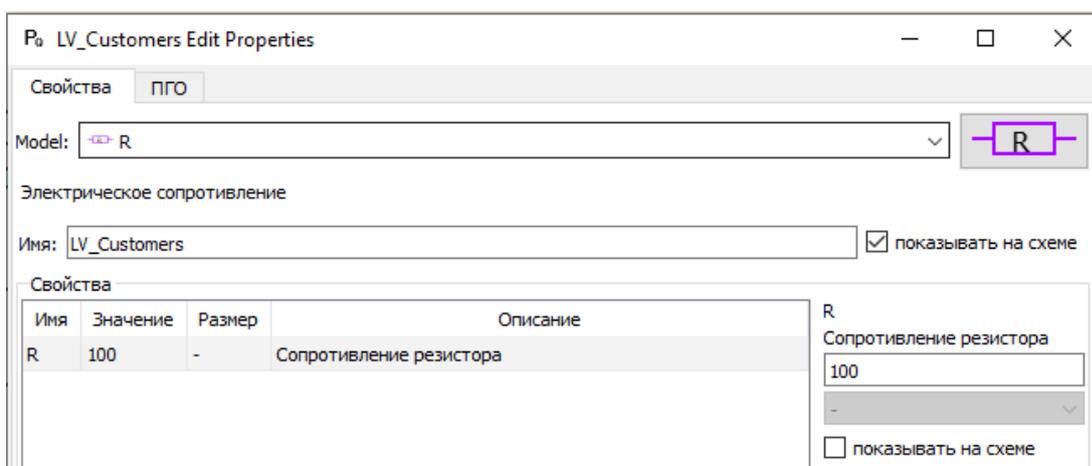
Sauto_m



NV_Customers – электрическое сопротивление



LV_Customers – электрическое сопротивление



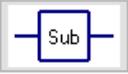
Продолжение приложения А

SUB – Подсхема

SUB1

Р0 Battery2 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: SUB 

подсхема

Имя: Battery2 показывать на схеме

Свойства

Имя	Значение	Размер	Описание
Scheme_File	battery.sch	-	имя файла схемы PQ
p	100	-	
p	162.5	-	
p	Esoc	-	
p	0.01	-	

Scheme_File
имя файла схемы PQ
battery.sch

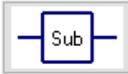
показывать на схеме

Изменить Просмотр

SUB2

Р0 DCDC Edit Properties

Свойства ПГО

Model: SUB 

подсхема

Имя: DCDC показывать на схеме

Свойства

Имя	Значение	Размер	Описание
Scheme_File	dcdc.sch	-	имя файла схемы PQ
p	32	-	
p	1	-	

Scheme_File
имя файла схемы PQ
dcdc.sch

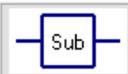
показывать на схеме

Изменить Просмотр

SUB3

Р0 Inverter Edit Properties

Свойства ПГО

Model: SUB 

подсхема

Имя: Inverter показывать на схеме

Свойства

Имя	Значение	Размер	Описание
Scheme_File	invertor.sch	-	имя файла схемы PQ
p	1	-	
p	0.01	-	

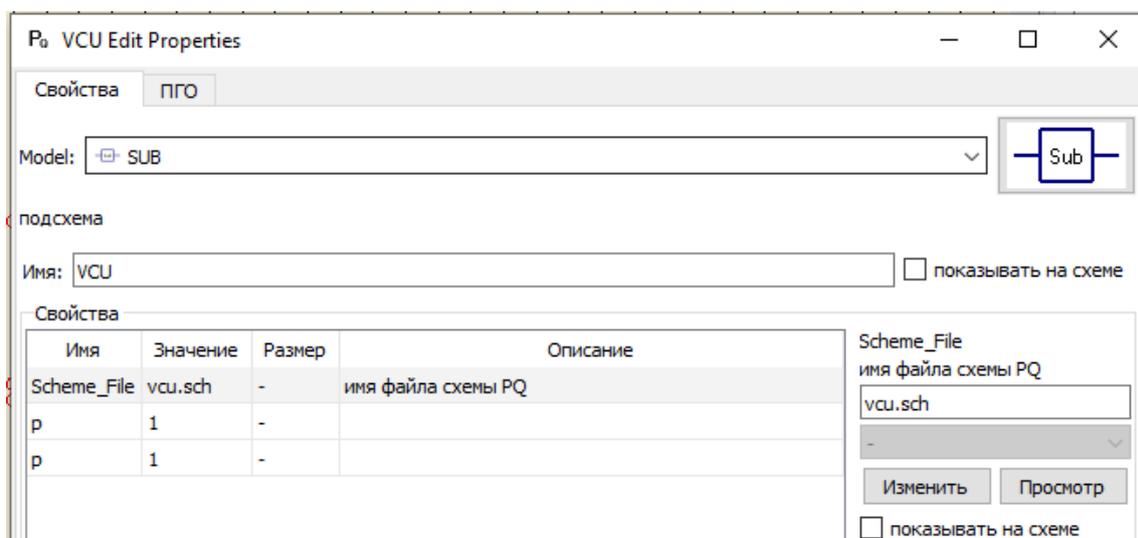
Scheme_File
имя файла схемы PQ
invertor.sch

показывать на схеме

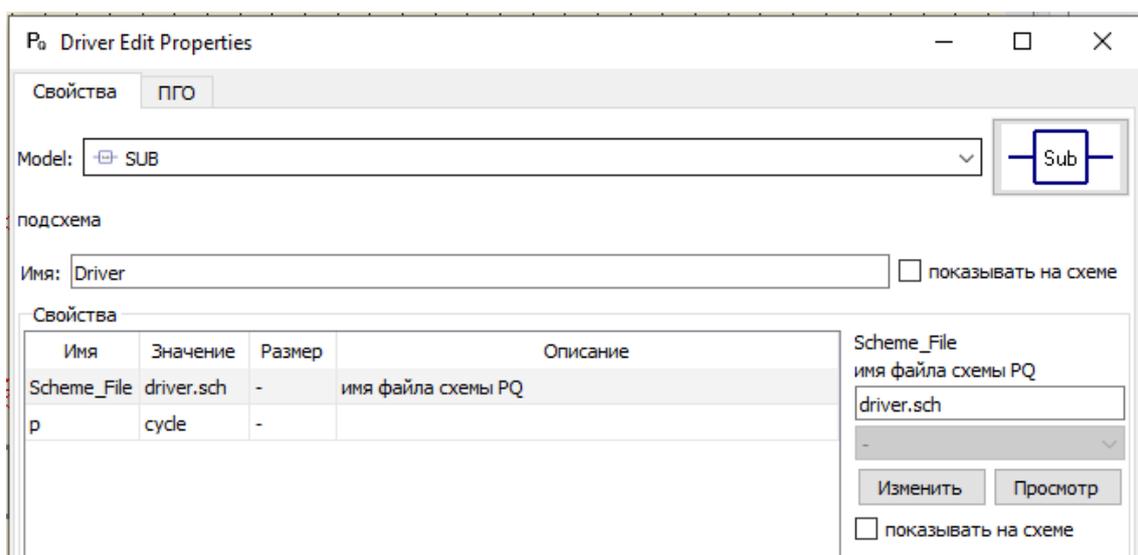
Изменить Просмотр

Продолжение приложения А

SUB4



SUB5



SUB6



Продолжение приложения А

SUB7

Р0 Trans Edit Properties

Свойства ПГО

Model: SUB

подсхема

Имя: Trans показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Scheme_File	transmission.sch	-	имя файла схемы PQ
p	10	-	

Scheme_File
имя файла схемы PQ
transmission.sch

Изменить Просмотр

показывать на схеме

SUB8

Р0 Wheel Edit Properties

Свойства ПГО

Model: SUB

подсхема

Имя: Wheel показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Scheme_File	wheels.sch	-	имя файла схемы PQ
p	0.35	-	
p	0.01	-	
p	10	-	

Scheme_File
имя файла схемы PQ
wheels.sch

Изменить Просмотр

показывать на схеме

SUB9

Р0 Body Edit Properties

Свойства ПГО

Model: SUB

подсхема

Имя: Body показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Scheme_File	body.sch	-	имя файла схемы PQ
p	0.35	-	
p	0.35	-	
p	1.2	-	
p	1600	-	
p	0	-	
p	1	-	

Scheme_File
имя файла схемы PQ
body.sch

Изменить Просмотр

показывать на схеме

Продолжение приложения А

Inventor

P1 – порт подсхемы

P₀ P1 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

Имя: P1 показывать на схеме

Свойства

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	1	-	номер порта в подсхеме
Type	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

Num
номер порта в подсхеме
1
-
 показывать на схеме

P2 – порт подсхемы

P₀ P2 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

Имя: P2 показывать на схеме

Свойства

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	2	-	номер порта в подсхеме
Type	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

Num
номер порта в подсхеме
2
-
 показывать на схеме

P3 – порт подсхемы

P₀ P3 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

Имя: P3 показывать на схеме

Свойства

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	3	-	номер порта в подсхеме
Type	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

Num
номер порта в подсхеме
3
-
 показывать на схеме

Продолжение приложения А

Data – Описание данных

Р₀ Data1 Edit Properties

Данные

Model: Data Data

Описание данных

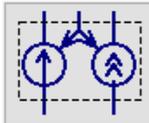
Имя: Data1 показывать на схеме

k1=1.0/k

CTransformation1 – Управляемая трансформаторная связь

Р₀ CTransformation1 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: CTransformation 

Управляемая трансформаторная связь

Имя: CTransformation1 показывать на схеме

Свойства

Имя	Значение	Размер	Описание
R	Rint	-	Внутреннее сопротивление источника

R
Внутреннее сопротивление источника

Rint

показывать на схеме

MulConst – Умножение на константу

Р₀ MulConst1 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: MulConst 

Умножение на константу

Имя: MulConst1 показывать на схеме

Свойства

Имя	Значение	Размер	Описание
C	k	-	Константа

C
Константа

k

показывать на схеме

Продолжение приложения А

Motor

Р1 – порт подсхемы

Р₀ P1 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

Имя: P1 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	1	-	номер порта в подсхеме
Type	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

Num
номер порта в подсхеме
1
-
 показывать на схеме

Р2 – порт подсхемы

Р₀ P2 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

Имя: P2 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	2	-	номер порта в подсхеме
Type	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

Num
номер порта в подсхеме
2
-
 показывать на схеме

Р3 – порт подсхемы

Р₀ P3 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

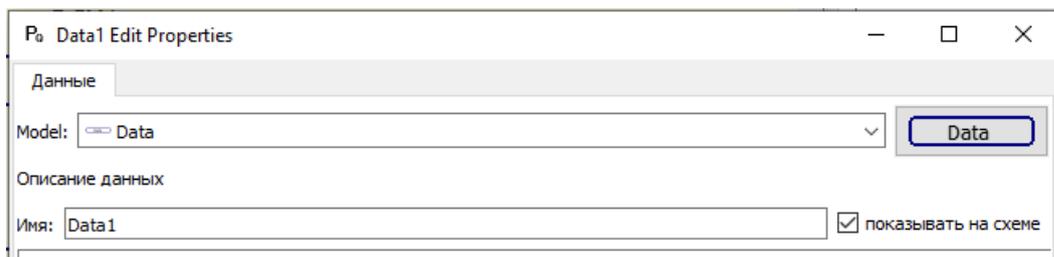
Имя: P3 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	3	-	номер порта в подсхеме
Type	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

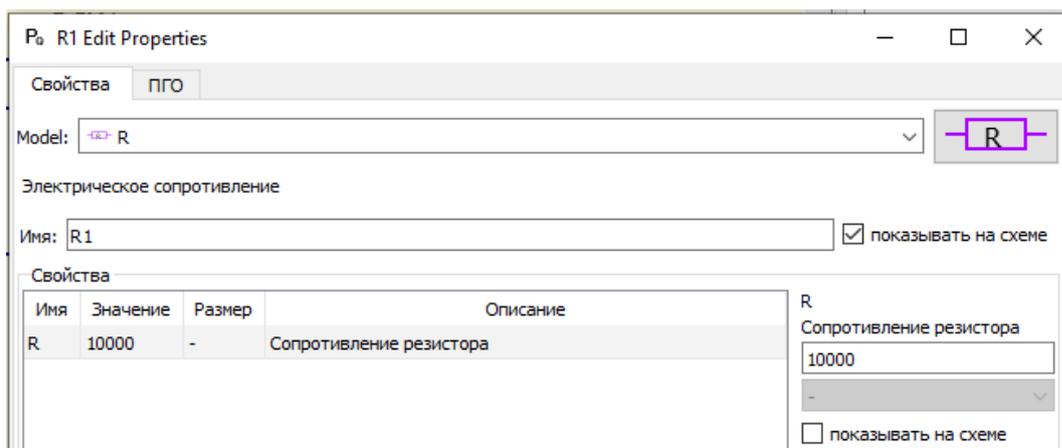
Num
номер порта в подсхеме
3
-
 показывать на схеме

Продолжение приложения А

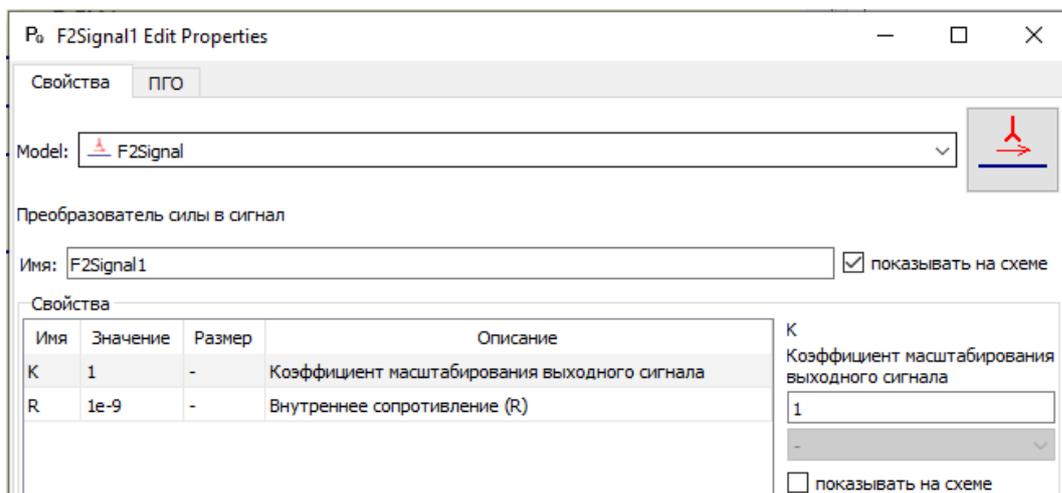
Data – Описание данных



R1 – Электрическое сопротивление

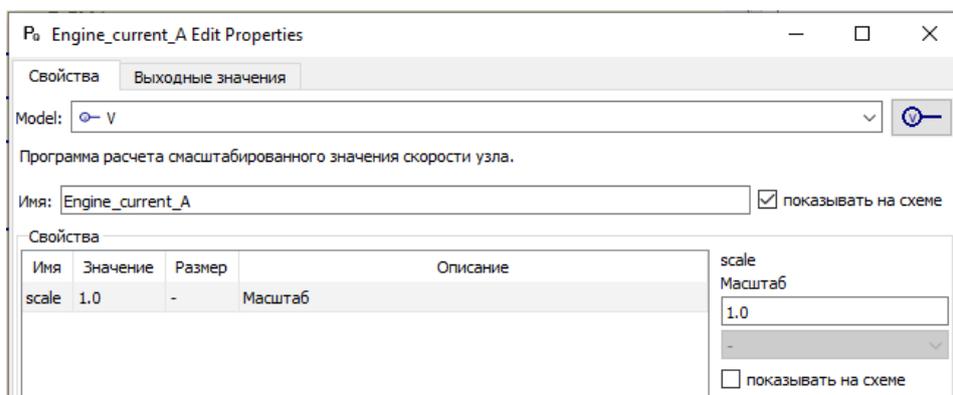


F2Signal1 – Преобразователь силы в сигнал

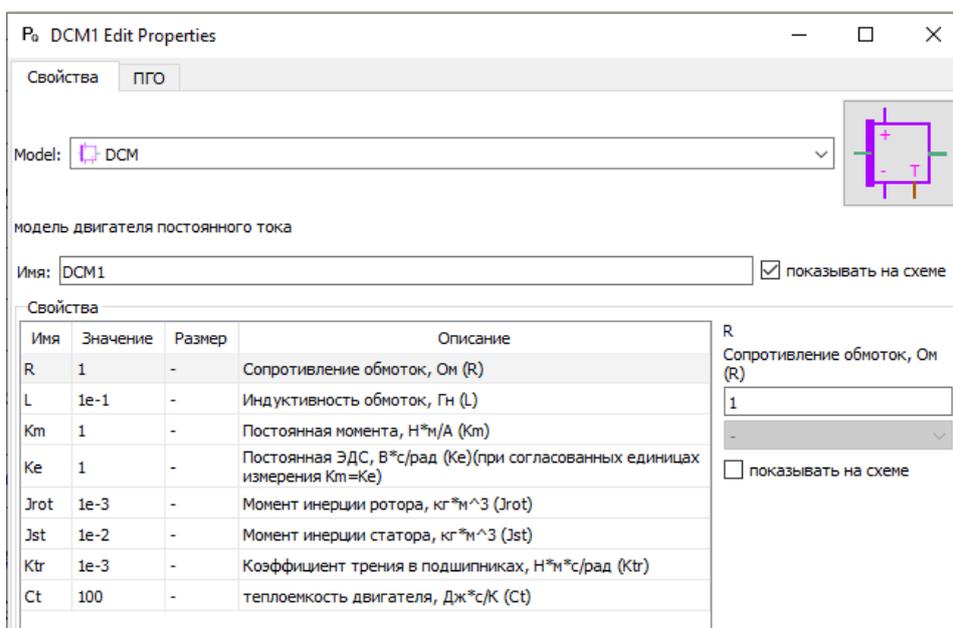


Продолжение приложения А

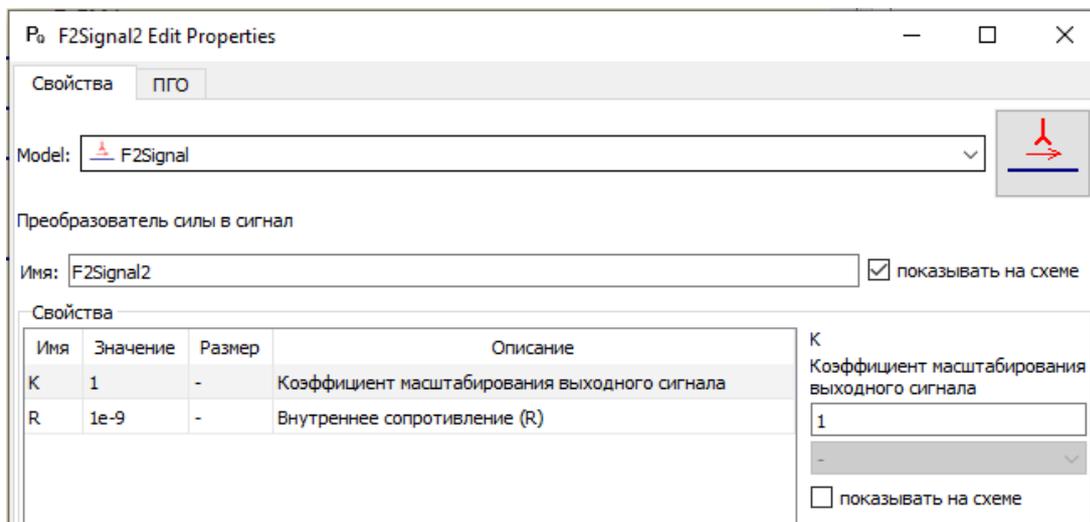
Engine_current_A – Программа расчета смасштабированного значения скорости узла (масштаб 1.0)



DCM1 – модель двигателя постоянного тока

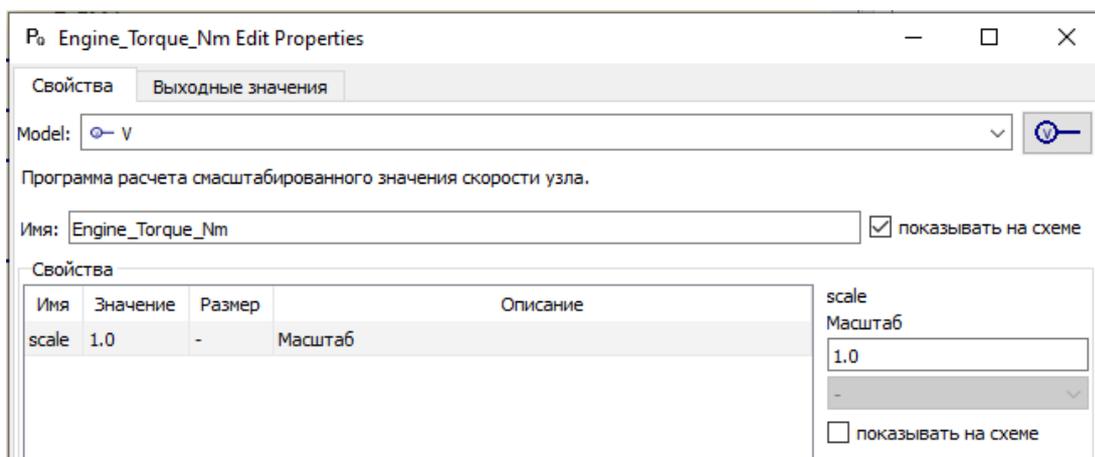


F2Signal2 – Преобразователь силы в сигнал

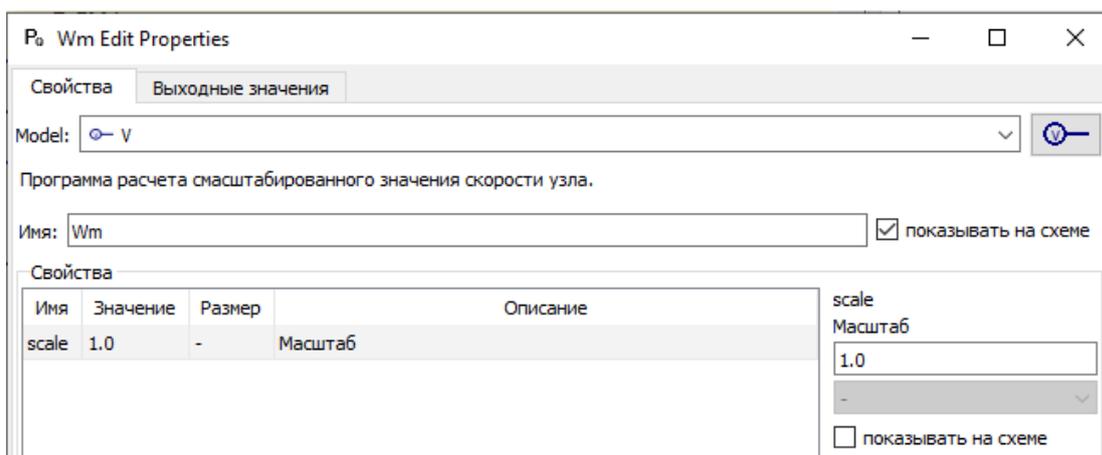


Продолжение приложения А

Engine_Torque_Nm – Программа расчета смасштабированного значения скорости узла (масштаб 1.0)

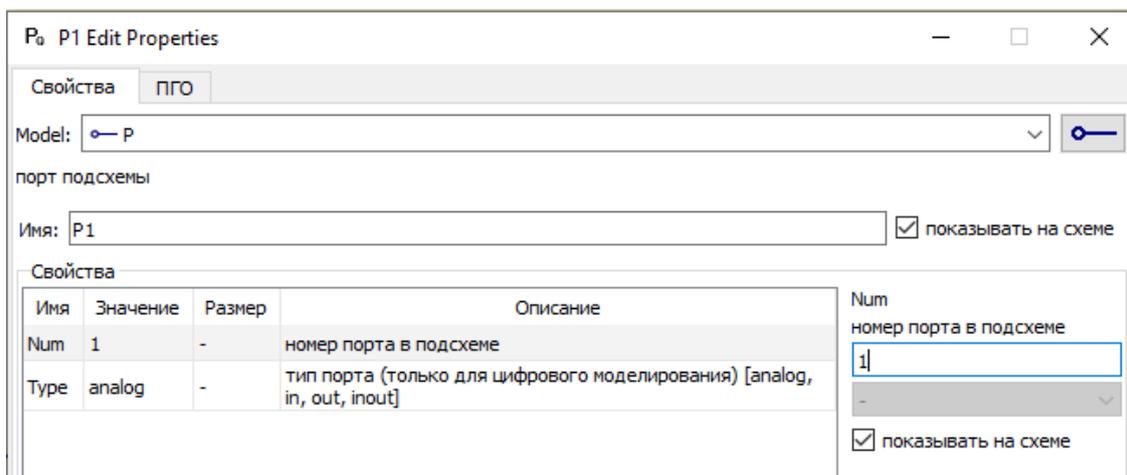


Wm – Программа расчета смасштабированного значения скорости узла (масштаб 1.0)



Transmission

P1 – порт подсхемы, первичный вал поступаю



Продолжение приложения А

P2 – порт подсхемы

P₀ P2 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

Имя: P2 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	2	-	номер порта в подсхеме
Type	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

Num
номер порта в подсхеме
2
-
 показывать на схеме

REDCT – Передача с потерями момента силы (силы) в зависимости от заданного КПД

P₀ REDCT1 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: REDCT

Передача с потерями момента (силы) в зависимости от заданного к.п.д.

Имя: REDCT1 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
N	K	-	передаточное отношение
teta	0.95	-	к.п.д. при номинальном моменте (усилии)
M1	1	-	номинальный момент (усилие) для первой степени свободы
K	1e6	-	жесткость передачи, приведенная к входному звену
J1	0.01	-	момент инерции (масса) по первой степени
J2	0.01	-	момент инерции (масса) по первой степени

N
передаточное отношение
K
-
 показывать на схеме

Продолжение приложения А

VCU

Р1 – порт подсхемы

Р₀ P1 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

Имя: P1 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	1	-	номер порта в подсхеме
Типе	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

Num
номер порта в подсхеме
1
-
 показывать на схеме

Р2 – порт подсхемы

Р₀ P2 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

Имя: P2 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	2	-	номер порта в подсхеме
Типе	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

Num
номер порта в подсхеме
2
-
 показывать на схеме

Р3 – порт подсхемы

Р₀ P3 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

Имя: P3 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	3	-	номер порта в подсхеме
Типе	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

Num
номер порта в подсхеме
3
-
 показывать на схеме

Продолжение приложения А

Р4 – порт подсхемы

Р₀ P4 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: P

порт подсхемы

Имя: P4 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
Num	4	-	номер порта в подсхеме
Типе	analog	-	тип порта (только для цифрового моделирования) [analog, in, out, inout]

Num
номер порта в подсхеме
4

показывать на схеме

MulConst1 – Умножение на константу

Р₀ MulConst1 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: MulConst 

Умножение на константу

Имя: MulConst1 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
C	brake	-	Константа

C
Константа
brake

показывать на схеме

MulConst2 – Умножение на константу

Р₀ MulConst2 Edit Properties

Свойства ПГО

Model: MulConst 

Умножение на константу

Имя: MulConst2 показывать на схеме

Имя	Значение	Размер	Описание
C	gas	-	Константа

C
Константа
gas

показывать на схеме