

**ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ТРАНСМИССИЙ
ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

**IMITATION MODELS OF TRANSMISSIONS
OF PASSENGER CARS**

Сидоров С.А., канд. техн. наук, доц., **Сонич О.А.**, ст. препод.,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

S. Sidarau, Ph.D. in Engineering, Associate professor,
O. Sonich, senior lecturer,
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Предложены модели, разработанные в программном пакете LMS Imagine.Lab AMESim, включающие подмодели источника крутящего момента, ступенчатой коробки передач либо механического вариатора, полуосей, главной передачи, межколесного дифференциала, карданных шарниров и колес. Модели предназначена для исследования трансмиссий переднеприводных и заднеприводных легковых автомобилей с механической трансмиссией при движении на различных режимах и в различных дорожных условиях.

Ключевые слова: транспортное средство, трансмиссия, имитационная модель, подмодель.

The models developed in the LMS Imagine.Lab AMESim software package are proposed, which include submodels of the torque source, manual gearbox or mechanical variator, semi-axles, main gear, inter-wheel differential, cardan joints and wheels. The model is designed to investigate the transmission of a front-wheel and rear-wheel vehicle with a manual transmission while driving in different modes and under different road conditions.

Key words: vehicle, transmission, imitation model, submodel.

В Республике Беларусь на протяжении вот уже нескольких лет ведутся активные работы по организации выпуска легковых автомобилей. Так, построен завод и осуществляется производство полного цикла,

включая сварку, окраску и сборку, автомобилей Geely Atlas и Geely Emgrand предприятием СЗАО «Белджи» [1], освоена сборка кроссоверов Zotye T600 и электромобилей Zotie E200EV и Z500EV, а также крупно-узловая сборка автомобилей Citroen и Peugeot предприятием СП ЗАО «Юнисон» [2]. Дальнейшее освоение производства такого рода техники предполагает создание конструкторского бюро. Внедрение собственных конструкторских и технологических решений позволит снизить себестоимость и повысить уровень локализации применяемых комплектующих. При этом обойтись без проведения опытно-конструкторских работ и исследований не удастся.

Колесное транспортное средство, в том числе легковой автомобиль, представляет собой сложную динамическую систему, состоящую из ряда масс, соединенных между собой с помощью упругих соединений. Все узлы и соединения в процессе работы подвергаются определенным воздействиям от двигателя и дорожных неровностей, в результате чего возникают дополнительные перемещения отдельных деталей и узлов кроме тех, которые предусматриваются при проектировании. Такие перемещения происходят периодически и оказывают вредное воздействие на прочность и долговечность деталей и узлов силовой передачи, а тем самым на прочность и долговечность всей динамической системы. Полное исследование всех колебательных процессов, происходящих в транспортном средстве, трудно осуществить на практике. В связи с этим используются различные методы анализа системы транспортного средства [3].

Параметры ходовой системы и ее привод определяют динамику взаимодействия колес с опорной поверхностью, нагруженность деталей трансмиссии при разгоне и торможении и долговечность большинства механизмов колесных транспортных средств. Ходовая система и ее привод являются агрегатами, изменение параметров которых влияет практически на весь комплекс основных показателей автомобилей и тракторов.

В настоящее время при проектировании колесных транспортных средств повсеместно широко применяются пакеты компьютерного моделирования. Такие средства обладают различной степенью сложности и возможностями, и позволяют еще на стадии проектирования в достаточно короткий срок провести все необходимые расчеты.

Работниками кафедры «Автомобили» Белорусского национального технического университета совместно с научно-исследовательской испытательной лабораторией транспортных средств филиала БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт» разработаны

имитационные модели, позволяющие проводить исследования элементов трансмиссий, таких как шестерни механической коробки передач с ручным управлением либо механического бесступенчатого вариатора, шестерни главной передачи и межколесного дифференциала, полуоси, карданные шарниры равных или неравных угловых скоростей переднеприводного транспортного средства.

Модели разработаны в программном пакете LMS Imagine.Lab AMESim. Преимуществами данного пакета является достаточно обширная библиотека встроенных компонентов, представляющих модели узлов и агрегатов машин, что позволяет быстро создавать и рассчитывать поведение сложных мехатронных систем, возможность создания интуитивно понятного эскиза модели с помощью интерактивного графического интерфейса, а также возможность взаимодействия с другими программами, например, MATLAB Simulink. В настоящее время данный программный пакет используется в различных областях техники, начиная от авиации и космонавтики и заканчивая автомобильной и общей промышленностью [3].

Приведенная на рисунке 1 модель включает подмодели источника крутящего момента, механической коробки передач с ручным управлением, главной передачи с межколесным дифференциалом, полуосей, карданных шарниров, шин в контакте с опорной поверхностью, нагрузки от веса колесной машины, тормозной системы и воздействия дороги.

Подмодель двигателя достаточно проста и включает в себя источник крутящего момента с ограничением на частоте вращения, изменение которого можно описать в табличном виде, и учитывает инерционные, упругие и диссипативные элементы привода трансмиссии. Выходным параметром данной подмодели является крутящий момент. Подмодель может быть использована как для моделирования двигателя внутреннего сгорания, так и электродвигателя. Для детального моделирования нагрузок с конкретным типом двигателя целесообразно использовать специализированные подмодели из библиотеки IFP Drive. Однако в этом случае модель усложняется как дополнительными внутренними, так и входными параметрами, что в большинстве случаев представляется не целесообразным.

Для моделирования механической коробки передач использована подмодель, также входящая в библиотеку IFP Drive, позволяющая моделировать коробки с числом передач от 1 до 16 и учитывающая момент инерции первичного вала, передаточные числа и коэффициент полезного

действия для каждой ступени в отдельности. Однако она не пригодна для детального моделирования отдельных элементов, например, синхронизаторов, шестерен, подшипников. Для этих целей необходимо создание более сложной подмодели с использованием элементов библиотеки Powertrain пакета LMS Imagine.Lab AMESim.

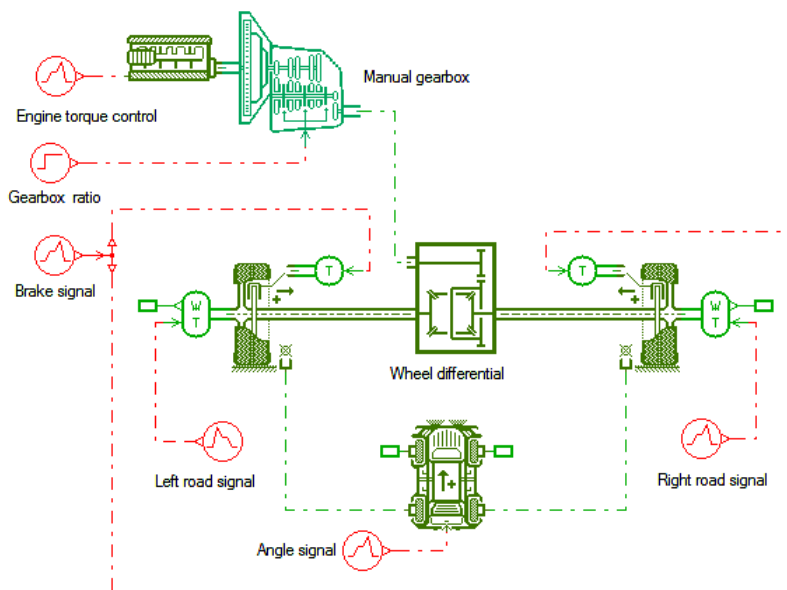


Рисунок 1 – Схема модели для исследования трансмиссии заднеприводного легкового автомобиля с механической коробкой передач

Также с использованием стандартных элементов библиотеки Powertrain был достаточно подробно смоделированы межосевой дифференциал, полуоси, карданные шарниры. Внутренние параметры элементов, входящих в подмодели, учитывают кинематические передаточные отношения, инерционные, упругие и диссипативные характеристики. В частности, кинематические параметры шестерен дифференциала, их моменты инерции, параметры жесткости и демпфирования полуосей, угол карданного шарнира и разность фаз между его ведущей и ведомой частями.

Использована подмодель шины в контакте с дорогой, входящая в ту же библиотеку. Подмодель учитывает радиус и момент инерции колеса, вертикальную нагрузку от веса колесной машины, изменяющуюся при

изменении угла подъема/спуска, а также позволяет отдельно учитывать момент сопротивления и тормозной момент.

Нагрузка на колесо от веса транспортного средства моделируется с использованием стандартной динамической подмодели из библиотеки Powertrain, также используемой для расчета продольного ускорения, скорости и перемещения автомобиля. Данная подмодель позволяет учитывать, помимо массы и инерции, параметры сопротивления воздуха, в частности коэффициент обтекаемости и площадь поперечного сечения транспортного средства, плотность воздуха и скорость встречного потока воздуха. Входным параметром для подмодели также является уклон дороги.

Для моделирования сопротивления качению от дороги к каждому колесу с использованием подмодели источника крутящего момента подводится момент сопротивления, изменение значения которого во времени можно задавать.

Воздействие тормозного момента в модели организовано подмоделью источника крутящего момента из стандартной библиотеки Mechanical. Значение момента одинаково для обоих колес передней оси и изменяется по задаваемой зависимости. При необходимости для каждого из колес оси возможно задание своего тормозного момента.

Модель, приведенная на рисунке 2, отличается наличием подмодели бесступенчатого механического вариатора из библиотеки IFP Drive. Подмодель позволяет учитывать моменты инерции ведущего и ведомого шкивов, коэффициент трения, коэффициент полезного действия. Входными параметрами подмодели являются состояние муфты сцепления и передаточное отношение.

Для детального моделирования работы вариатора целесообразнее использовать специальную подмодель бесступенчатой трансмиссии (CVT) из библиотеки Powertrain. У такой подмодели половина каждого шкива может перемещаться в осевом направлении, чтобы изменить рабочие радиусы ремня на шкивах. При этом учитываются моменты инерции шкивов. Входными параметрами у такой подмодели являются сила, скорость и смещение каждой из половин шкивов в отдельности.

На рисунке 3 показана схема имитационной модели для исследования трансмиссии автомобиля с электрической силовой установкой и бесступенчатым механическим вариатором. В данной модели использованы подмодели электромотора из специализированной библиотеки IFP Drive и аккумуляторной батареи из библиотеки Electric Motors and Drives.

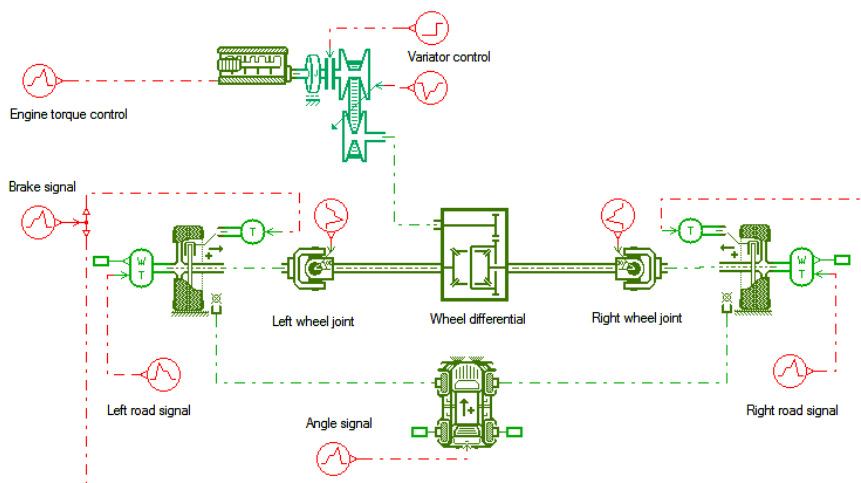


Рисунок 2 – Схема модели для исследования трансмиссии переднеприводного легкового автомобиля с механическим бесступенчатым вариатором

Подмодель батареи характеризует источник напряжения с внутренним сопротивлением. Внутренние параметры подмодели позволяют учитывать номинальную мощность, емкость, степень заряда, количество ячеек в батарее. Тепловые и химические процессы при этом не учитываются. Выходные данные подмодели – напряжение и сила тока рассчитываются на основе данных, полученных с помощью линейной экстраполяции.

Подмодель электродвигателя представляет собой статическую энергетическую модель электродвигателя / генератора и его преобразователя, использующую файлы данных для определения ограниченного крутящего момента и потери мощности. Выходными параметрами подмодели являются крутящий момент и частота вращения вала. Подмодель позволяет реализовывать различные законы управления изменением крутящего момента.

Разработанные модели в дальнейшем могут быть достаточно легко модифицированы и доработаны с учетом конкретных задач и использованы при расчете и конструировании колесных транспортных средств как с передним, так и задним и полным приводом.

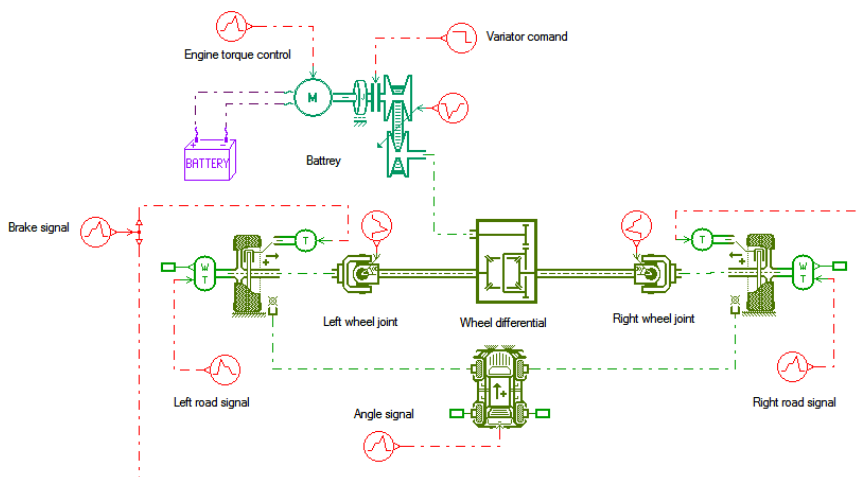


Рисунок 3 – Схема модели для исследования трансмиссии переднеприводного легкового автомобиля с электродвигателем и механическим бесступенчатым вариатором

В случае заинтересованности со стороны производителей колесных транспортных средств кафедра «Автомобили» сможет провести полноценное моделирование как трансмиссии, так и других систем, и агрегатов, а также верификацию и параметризацию моделей.

Литература

1. <http://belgee.by/> Официальный сайт СЗАО «Белджи». Режим доступа: свободный. Дата доступа 10.12.2018.
2. <http://unison.by/novosti/prezentacia-electro-zotyе>. Официальный сайт СП ЗАО «Юнисон». Режим доступа: свободный. Дата доступа 10.12.2018.
3. Гимадиев, А. Г. LMS Imagine.Lab AMESim как эффективное средство моделирования динамических процессов в мехатронных системах [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / А.Г. Гимадиев, П.И. Грешняков, А.Ф. Синяков; - Электрон. текстовые и граф. дан. (4,8 Мбайт). – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2014.