

РАЗДЕЛ 2. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 629.3.017

МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕДЕЛЬНОГО ТЯГАЧА С ДВУХОСНЫМ ПОЛУПРИЦЕПОМ

В.И. Поддубный, А.И. Валекжанин, М.Л. Поддубная

Представлено описание механико-математической модели седельного тягача с двухосным полуприцепом в прикладном программном пакете CAMeL-View и результаты математического моделирования стандартных маневров. Определены перспективы дальнейшего использования модели.

Ключевые слова: механико-математическая модель, седельный тягач с полуприцепом, двухосный полуприцеп, прикладной программный пакет CAMeL-View, математическое моделирование.

Актуальной задачей, решение которой в значительной мере способствует повышению эффективности использования колесных машин, является повышение их устойчивости движения и управляемости. Это может быть достигнуто путем определения рациональных конструктивных и эксплуатационных параметров звеньев и узлов колесных машин. Целесообразным представляется на первом этапе решение этой задачи с использованием математического моделирования рабочих движений, позволяющих оценить степень влияния различных параметров на устойчивость и управляемость. Математическая модель колесной машины должна быть максимально приближена к реальному объекту – учитывать взаимодействие её отдельных составных частей друг с другом и с опорной поверхностью. Возможно получение математической модели колесной машины традиционными методами с использованием уравнений Лагранжа 2 рода на основании расчетной схемы. Однако для случая системы с несколькими степенями свободы (например, рассмотрение движения шарнирно-сочлененной машины в пространстве) эта задача существенно усложняется и увеличивается вероятность ошибки в аналитических расчетах. Развитие вычислительной техники и современного прикладного объектно-ориентированного программного обеспечения позволяет произвести разработку детализированной модели колесной машины с учетом внутреннего силового взаимодействия отдельных частей. Такие возможности предоставляют специализированные программные пакеты Matlab-SimMechanik, CAMeL-View и другие.

МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОПОЕЗДА В CAMEL-VIEW

Механико-математическая модель автопоезда в составе седельного тягача КамАЗ-5410 и полуприцепа ОдАЗ-9370 разработана с использованием объектно-ориентированного прикладного пакета CAMeL-View, предназначенного для создания моделей различных механических систем, их анализа и оптимизации [1, 2]. Библиотека объектов пакета позволяет описывать отдельные тела системы, их механические связи между собой, производить математическое описание их взаимодействия.

На рисунке 1 изображена топология модели автопоезда на верхнем уровне иерархии. Подсистема Zugmaschine представляет математическое и механическое описание тягача, Sattelaufleger описывает полуприцеп. Шарнирное соединение тягача с полуприцепом моделирует сочленение Sattelspring. Математическая подсистема Reibung_insattel позволяет вводить тормозной момент в седле автопоезда для предотвращения его складывания. Сочленение Prug1 обеспечивает возможность перемещения тягача в направлении трех осей пространства. Для генерации и обеспечения возможности выбора задаваемого закона изменения угла поворота управляемых колес предназначена подсистема signalGenerator. Блок zemlja описывает опорную поверхность. Часть наиболее важных параметров модели вынесена на верхний уровень иерархии для удобства их изменения при моделировании.

На рисунке 2 представлена модель тягача. Основная масса тягача представлена как твердое тело kamaz с задаваемыми массово-геометрическими характеристиками.

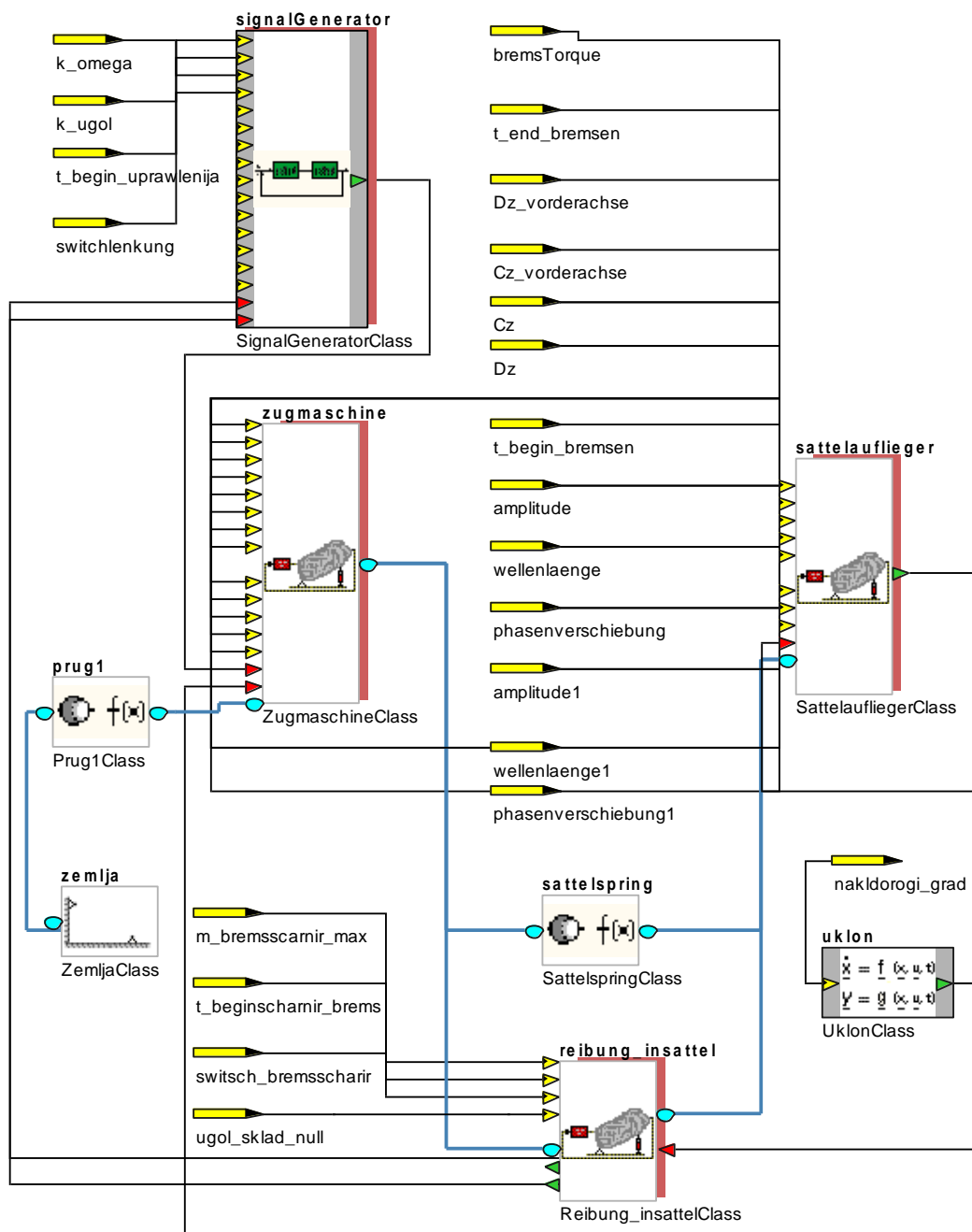


Рисунок 1 – Модель автопоезда на верхнем уровне иерархии

Механико-математические модели колес представлены подсистемами, соединёнными с портами тягача. Показаны модели правых по ходу движения колес. Структура подсистем, описывающих колеса тягача и полуприцепа, приблизительно одинакова. Различие заключается только в том, что модель управляемых колес тягача дополняется математическими блоками, описывающими величину момента, необходимого для поворота управляемых колес на задаваемый угол, и реализующих этот угол. Топологии моделей полу-

прицепа и модели тягача идентичны, различие только в числе подсистем, описывающих колеса.

На рисунке 3 изображена модель переднего управляемого колеса. Масса колеса моделируется как твердое тело *perprawkoleso*, соединенного сочленением *podschipnik2* с цапфой *zapfarpraw* с возможностью вращения колеса относительно оси. Блок *zapfarpraw* соединяется с телом тягача сочленением *schkworenpraw*, допускающим поворот управляемого колеса.

МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕДЕЛЬНОГО ТЯГАЧА
С ДВУХОСНЫМ ПОЛУПРИЦЕПОМ

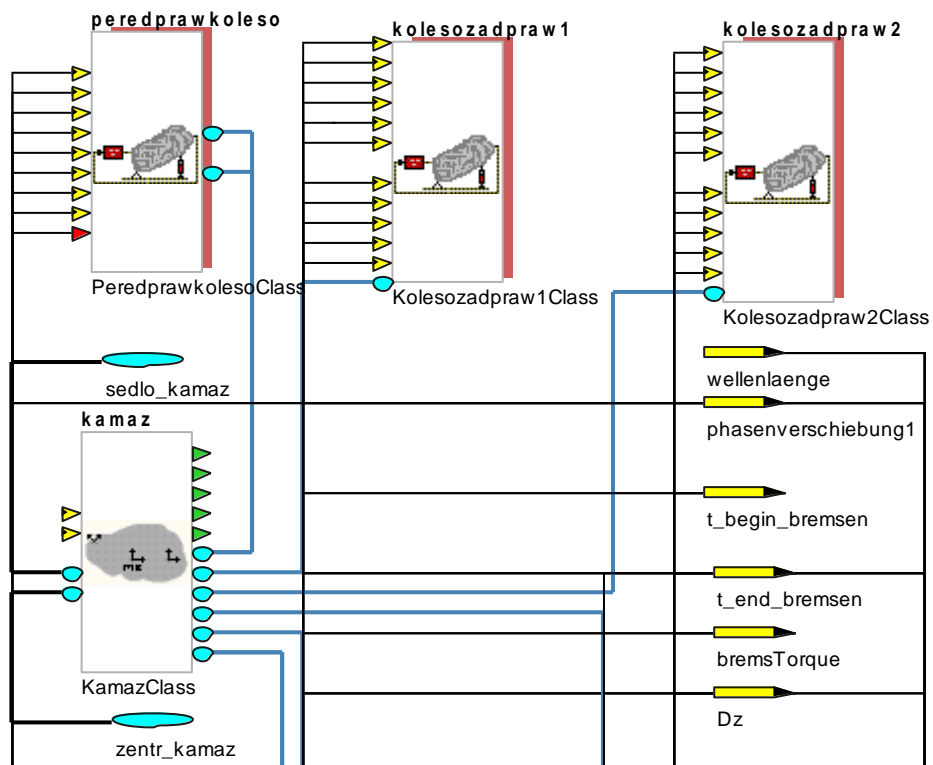


Рисунок 2 – Топология модели тягача

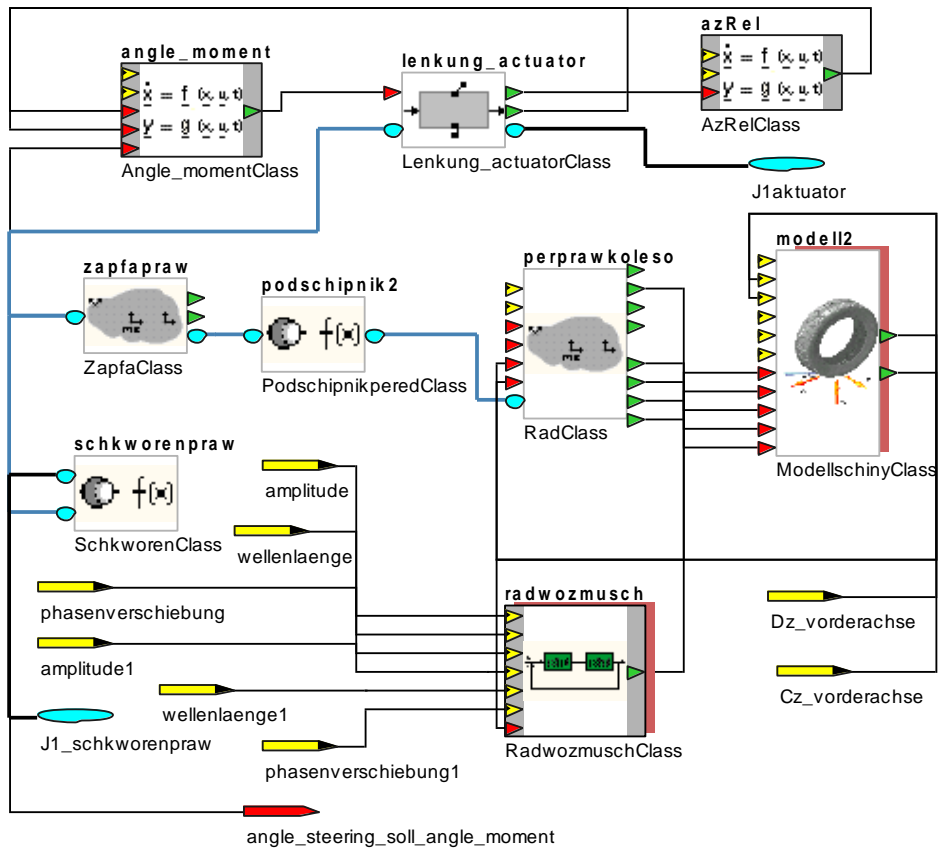


Рисунок 3 – Модель переднего управляемого колеса тягача

В блоке `angle_moment` с использованием ПД-регулирования определяется величина момента, необходимого для поворота колеса на задаваемый угол. Блок `lenkung_aktuator` осуществляет введение момента между цапфой и корпусом тягача для осуществления поворота управляемых колес. Модель шины `modell2` описывает действующие в контакте шины с опорной поверхностью силы и моменты. Входными параметрами модели являются кинематические характеристики обода колеса – координаты центра масс колеса, проекции линейной и угловой скорости на инерциальные координатные оси и подвижные оси, связанные с ободом колеса. Выходами являются силы и моменты, действующие на колесо со стороны опорной поверхности. Значения сил определяются по величине продольного и бокового проскальзывания колеса относительно опорной поверхности, расчёт которых основан на входных кинематических параметрах модели [3].

Для генерации макро и микропрофиля опорной поверхности предназначена подсистема `radwozmusch`, позволяющая на основе стандартных сигналов получать возмущающий профиль сложной формы, подаваемый на вход модели шины.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ

С использованием разработанной модели было проведено моделирование стандартного маневра автопоезда «переставка». Моделировалось движение со скоростью 10 м/сек. Результаты моделирования представлены на рисунках 4–7.

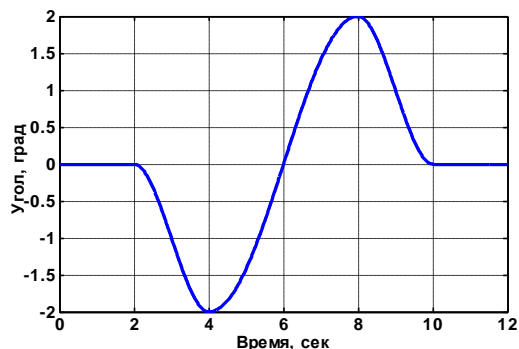


Рисунок 4 – Угол поворота управляемых колес

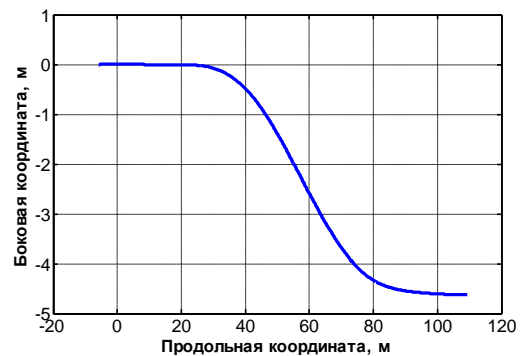


Рисунок 5 – Траектория центра масс тягача

На рисунке 4 изображена зависимость угла поворота управляемых колес от времени. Для описания начальной и конечной четверти периода переставки закон изменения угла поворота описывается функцией вида:

$$f_i = A \cdot \delta^{**2} \cdot (3 - 2 \cdot \delta),$$

где A – амплитуда изменения угла поворота на интервале;

δ – отношение текущего значения времени на интервале, отсчитываемое условно от 0 к времени интервала;

$$\delta = (t - t_0) / (t_1 - t_0);$$

t – текущее модельное время;

t_0 и t_1 – начальное и конечное время интервала. В середине периода зависимость угла от времени синусоидальная.

На рисунке 5 показана траектория центра масс тягача, типичная для этого маневра. На рисунке 6 представлен закон изменения силы бокового увода переднего правого колеса, на рисунке 7 – боковое ускорение тягача.

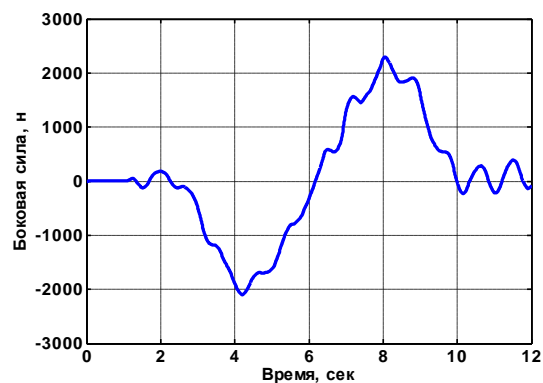


Рисунок 6 – Боковая сила на переднем правом колесе

МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕДЕЛЬНОГО ТЯГАЧА С ДВУХОСНЫМ ПОЛУПРИЦЕПОМ



Рисунок 7 – Боковое ускорение тягача

Сопоставление полученных графических зависимостей с результатами экспериментальных исследований маневров автопоездов [4] позволяет сделать вывод о качественном совпадении результатов моделирования и экспериментальных исследований, что подтверждает адекватность математической модели автопоезда реальному объекту.

Перспективой использования разработанной модели является исследование устойчивости и управляемости автопоезда при торможении и определение оптимальных параметров регулирования тормозного устройства седла полуприцепа для предотвращения складывания автопоезда при маневрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поддубный, В. И. Разработка мехатронных моделей механических систем с использованием

прикладного пакета CAMeL-View [Текст] / В. И. Поддубный, А. С. Павлюк, М. Л. Поддубная // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4/3. – С. 110–116.

2. Поддубный, В. И. Применение прикладного пакета CAMeL-View для моделирования управляемого движения колесного трактора [Текст] / В. И. Поддубный, Е. А. Перепелкин, А. Варкентин, М. Ган // Информационные технологии. – 2010. – № 7. – С. 24–30.

3. Поддубный, В. И. Механико-математическая модель колесной мобильной машины [Текст] / В. И. Поддубный, А. С. Павлюк // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. Ч1, Материалы 4 международной научно-технической конференции. – Пенза, 2006. – С. 252–258.

4. Инструментальное и методологическое обеспечение полигонных и стендовых исследований маневра автотранспортных средств [Электронный ресурс]. – режим доступа: works.doklad.ru/view/KdJmtcXetgo.html. – Загл. с экрана.

Поддубный В.И., д.т.н., доцент, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 656038 Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина 46. тел.: 29-08-54, e-mail: poddubny@list.ru.

Валекжанин А.И., к.т.н., Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 656038 Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина 46. тел.: 29-08-14, e-mail: awalekjanin@mail.ru

Поддубная М.Л., к.ф.-м.н., доцент, Алтайский филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при президенте Российской Федерации», 6556008 г. Барнаул, ул. Партизанская 187. тел.: 20-25-43, e-mail: mlpoddubna@mail.ru.