

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ ПО ЗАДАВАЕМОЙ ТРАЕКТОРИИ

В.И. Поддубный, М.Л. Поддубная

*Приведено краткое описание структуры системы управления движением колесной машины, представлена мехатронная модель колесной машины с электромеханической системой управления в прикладном программном пакете CAMeL-View и в MATLAB-SIMULINK, приведены результаты математического моделирования движения по задаваемой траектории.*

*Ключевые слова: система управления движением, колесная машина, мехатронная модель, ПИ-регулирование, математическое моделирование.*

Важнейшими этапами при разработке системы управления движением колесной машиной, использующей спутниковые радионавигационные системы, являются разработка математической модели машины, получение на её основе алгоритма управления и апробация разработанного управления путём математического моделирования управляемого движения.

Следует отметить, что в большинстве случаев управление на основе спутниковой навигации осуществляется с использованием подруливающих устройств или применением устройств управления, встроенных в гидравлическую систему управления поворотом трактора [1]. Система управления должна по величине рассогласования текущих и задаваемых координат определять необходимый угол поворота управляемых колес или слома рамы (для тракторов с шарнирной рамой) и генерировать управляющее воздействие для реализации задаваемого угла. В качестве актуатора в подруливающем устройстве в большинстве своем используется электродвигатель, управляемый аналоговым или цифровым сигналом.

Математическую модель системы управления логично разбить на две - модель для определения необходимого текущего значения угла поворота и модель локального регулирования для обеспечения задаваемого угла. Для апробации и оценки качества разработанных моделей управления и регулирования была разработана модель колесной машины с использованием прикладного программного пакета Camel-View, предназначенного для создания мехатронных моделей механических систем [2] и MATLAB-SIMULINK [3].

Математические модели колесной машины в Camel-View и MATLAB-SIMULINK.

Мехатронная модель колесной машины в Camel-View, представлена на рисунке 1.

Корпус машины `korpus` моделируется как твердое тело с задаваемыми массово-геометрическими характеристиками. Число степеней свободы задается в сочленении `rodwes`, допускающим перемещение корпуса относительно инерциальной системы отсчета, которая моделируется блоком `zemlja`. Реализована велосипедная модель колесной машины, в которой колеса одной оси объединены в одно с удвоенными вертикальной и боковой жёсткостями. В модели колеса представлены как твердые тела `koleso` и `koleso_zad`. Сочленение переднего управляемого колеса `scharnir_kollesa` допускает его поворот относительно вертикальной оси.

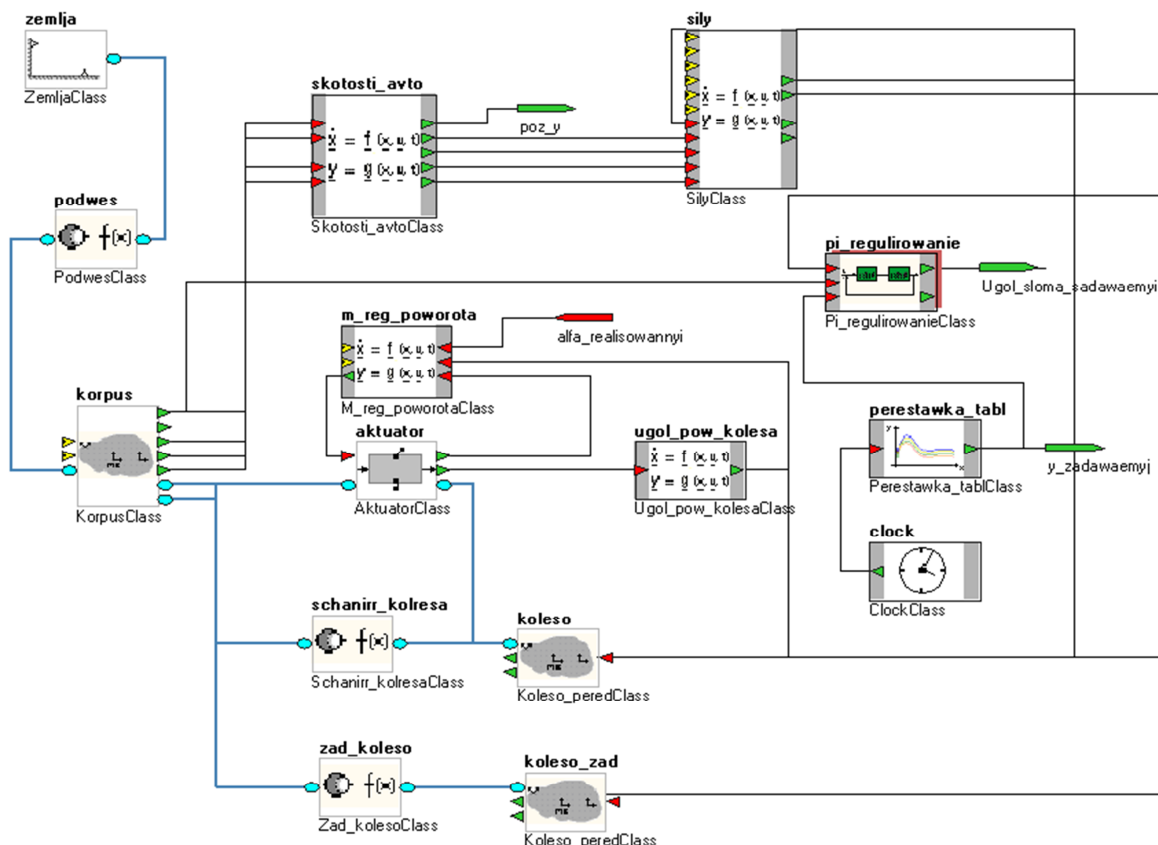
Силы, действующие на колеса со стороны опорной поверхности, определяются в инерциальной системе отсчета в блоке `Sily` и прикладываются как входы к колесам. Определение боковых сил осуществляется по величине углов бокового увода колес. Текущие значения углов увода определяются с использованием кинематических параметров (скоростей центров передней и задней оси, угловой скорости корпуса колёсной машины), поставляемых блоком `skorosti_avto`. Характеристики бокового увода пневматических колес определялись экспериментально [4].

Блок `actuator` предназначен для введения внутреннего момента, прикладываемого к управляемому колесу для его поворота на задаваемый системой управления угол. Величина необходимого значения момента определяется в математическом блоке `m_reg_povorota`, на вход которого подается текущее значение реализованного электромеханической системой управления угла поворота колеса.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ ПО ЗАДАВАЕМОЙ ТРАЕКТОРИИ

Подсистема *pi\_regulowanie* реализует алгоритм управления с использованием ПИ – регулирования с наблюдателем в контуре управления [5] и определяет угол поворота управляемых колес или угол слома шарнирной рамы трактора *Ugol\_sloma\_zadawaemyi* для осуществления движения по заданной траектории. Входами подсистемы являются текущие значения координат центра перед-

ней оси, определяемые спутниковым навигатором с частотой 10 Гц и задаваемые координаты, поставляемые табличным блоком *perestawka\_tabl*. Для генерации на основе рассмотренной мехатронной модели модельного файла в Simulink, в модели реализованы вход *alfa\_realizowannyi* и выходы *Ugol\_sloma\_zadawaemyi* и *y\_zadawaemyi*.



*Рисунок 1 – Топологическое отображение модели колесной машины в Camel-View*

С использованием программных средств Camel-View была получен модельный файл Avto, включенный в состав Simulink – модели колесной машины, представленной на рисунке 2. Модель включает в себя дополнительно передаточную функцию, представляющую собой математическую модель приводного электродвигателя с рулевым механизмом. Электродвигатель представляет собой интегрирующее звено с коэффициентом передачи 5.445, рулевой механизм – усилительное звено с коэффициентом передачи 0.05. При последовательном соединении двигателя и рулевого механизма получаем интегрирующее звено с коэффициентом передачи 0.27227. Для определения значения управляющего напряжения, подаваемого на вход блока управления, были определены коэф-

фициенты ПИД - регулирования блока PID Controller с использованием пакета расширения Матлаб NCD.

Результаты моделирования управления поворотом рулевого колеса.

Была проведена симуляция движения колесной машины по задаваемой траектории при смене полосы движения. На рисунке 3 изображены задаваемая и действительная траектории. Отклонения от задаваемой траектории не превышают 15 процентов в относительном выражении. На рисунках 4 и 5 представлены зависимости угла поворота управляемых колес для обеспечения задаваемого движения и управляющего напряжения приводного электродвигателя электро-механической системы управления от времени.

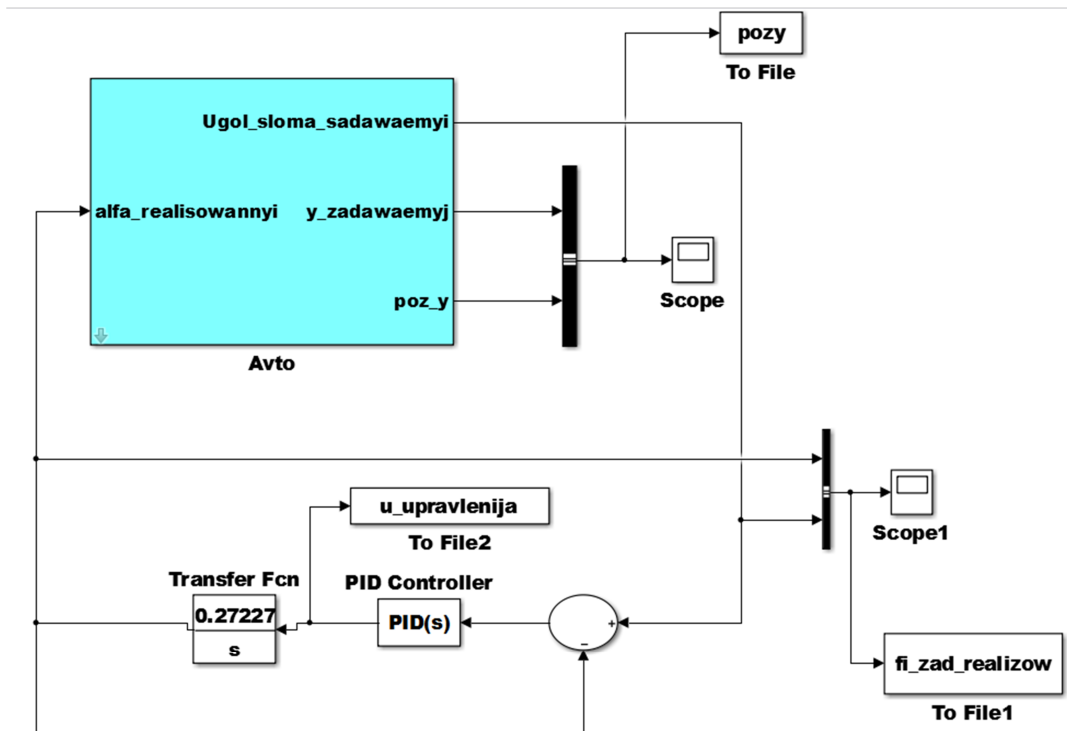


Рисунок 2 – Мехатронная модель колесной машины в MATLAB- SIMULINK на верхнем уровне иерархии

Полученные результаты свидетельствует об эффективности использования ПИ-регулирования с наблюдателем в контуре управления и локального ПИД-регулирования угла поворота управляемых колес для управления движением колесных машин по задаваемой траектории. Разработанные математические модели будут использоваться при создании системы управления движением колесных сельскохозяйственных машин с использованием спутниковой навигации.

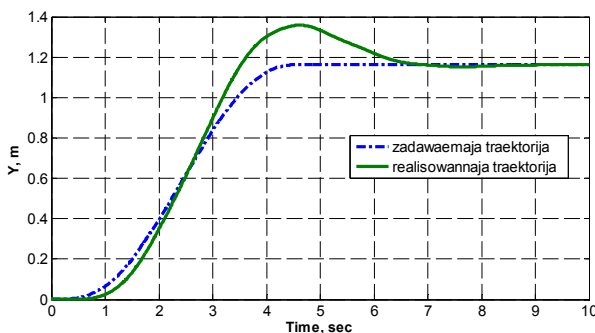


Рисунок 3 –Задаваемая и действительная траектории

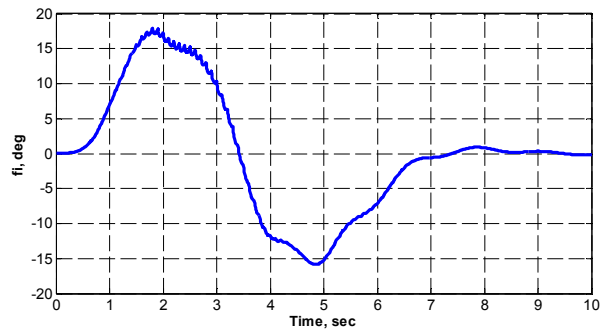


Рисунок 4 –Угол поворота управляемых колес

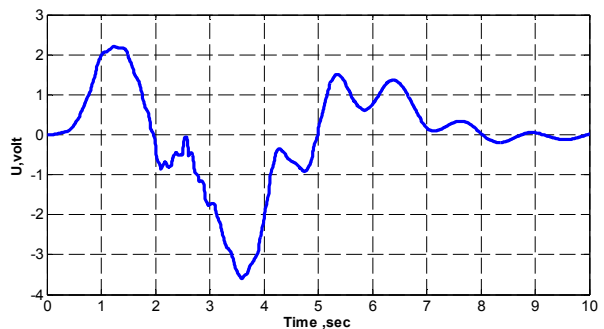


Рисунок 5 – Управляющее напряжение электродвигателя подруливающего устройства

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ ПО ЗАДАВАЕМОЙ ТРАЕКТОРИИ

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поддубный В.И. Повышение эффективности использования колесных мобильных машин в АПК на основе улучшения их устойчивости и управляемости [Текст]: дис. ... доктора технических наук: 05.20.01/ В.И.Поддубный. – Барнаул, 2011.- 419с.
2. Поддубный, В.И. Разработка мехатронных моделей механических систем с использованием прикладного пакета САМeL-View [Текст] / В. И. Поддубный, А. С. Павлюк, М.Л. Поддубная ; Ползуновский вестник. - г. Барнаул 2013. -№ 4/3. с.110-116.
3. Дьяконов В.П. Матлаб 6.5+Simulink 4/5[Текст]/ В.П. Дьяконов. М.: СОЛОН-Пресс.-2002.- 768 с.
4. Поддубный, В.И. Определение характеристик увода шин для исследования устойчивости

движения автотранспортных средств [Текст] / В. И. Поддубный, А. С. Павлюк, А. В. Величко; Алт. политехн. ин-т. – Барнаул, 1987, 12 с. – Деп. в ЦНИИТЭИавтопроме, № 1546-ап 87.

5. Поддубный В.И. Применение прикладного пакета САМeL-View для моделирования управляемого движения колесного трактора [Текст]/ В. И. Поддубный, Е. А.Перепелкин, А. Варкентин, М.Ган.; Информационные технологии.- Москва 2010.- №7.- с.24-30.

**Поддубный В.И.** - д.т.н., доцент,  
АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3852)29-08-56, E-mail: poddubny@list.ru

**Поддубная М.Л.** - к.ф.-м.н, доцент, Финансовый университет при правительстве России Барнаульский филиал, тел. (3852)36-19-63, E-mail: MLPoddubnaya@fa.ru