

УДК 62-771

К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ  
МОБИЛЬНОГО СРЕДСТВА С КОЛЕСНОЙ ФОРМУЛОЙ  $4 \times 4$ ,  
ОБОРУДОВАННОГО ШИНАМИ СВЕРХНИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Артёмов А. В.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова»

Email: artemow\_94@mail.ru

Криволинейное движение является неотъемлемой частью движения любой колесной машины. При проектировании новой техники и модернизации существующей изучение параметров криволинейного движения является одной из основных задач инженеров и конструкторов [11].

Современная тенденция развития систем автоматического управления мобильными средствами требует углубленного изучения работы системы рулевого управления. Для этого необходимо учитывать все особенности поворота, включающие в себя такие показатели как: схема РУ, габаритные размеры автомобиля, параметры опорного основания, учитывать показатели устойчивости ТС и др. [8, 9].

В качестве критериев, оценивающих параметры криволинейного движения мобильных средств, применяют такие количественные показатели как минимальный радиус разворота при круговом движении, значения скорости изменения кривизны траекторий характерных точек, количество затрачиваемой на управление движением энергии, информативность системы управления поворотом и другие.

Установлено [4], что чем меньше радиус поворота, выше скорость изменения кривизны траектории характерных точек и меньше энергии требуется на управление, тем лучше управляемость и маневренность транспортного средства.

Наиболее эффективным и менее затратным методом повышения маневренности мобильных энергетических средств является применение всеколесного управления, позволяющим обеспечивать разворот с минимальным радиусом, корректировку траектории движения на склонах, прохождение колес «след в след».

Наиболее информативными источниками для разработки алгоритмов поворота колесной машины являются математические модели процесса поворота, подкрепленные экспериментальными исследованиями.

Математическое моделирование является неотъемлемой частью проектиро-

вания машин. Применение данного метода описания процессов позволяет значительно снизить затраты на проведение испытаний при создании техники [5, 6].

При построении модели рулевого управления в рамках данной работы воспользовались алгоритмом, описанным в работе [10]. Алгоритм представляет собой совокупность следующих этапов:

- обоснование расчетной схемы рулевого управления;
- разработка блок-схемы рассматриваемой системы;
- упрощение модели путем принятия допущений;
- разбиение системы на подсистемы;
- определение входных, выходных и переменных параметров;
- математическое описание элементов подсистем;
- объединение моделей отдельных подсистем в единую модель системы.

На основании данного алгоритма построения модели рулевого управления в рамках работы процесс поворота колесной машины  $4 \times 4$  рассматривается как сложная динамическая система, состоящая из механической и гидравлической подсистемы колесной машины. Данные модели позволяют исследовать динамику процесса поворота колесной машины  $4 \times 4$  на шинах сверхнизкого давления с всеколесным рулевым управлением [2].

На рисунке 1 изображена блок-схема реализации поворота колесной машины с всеколесным рулевым управлением.

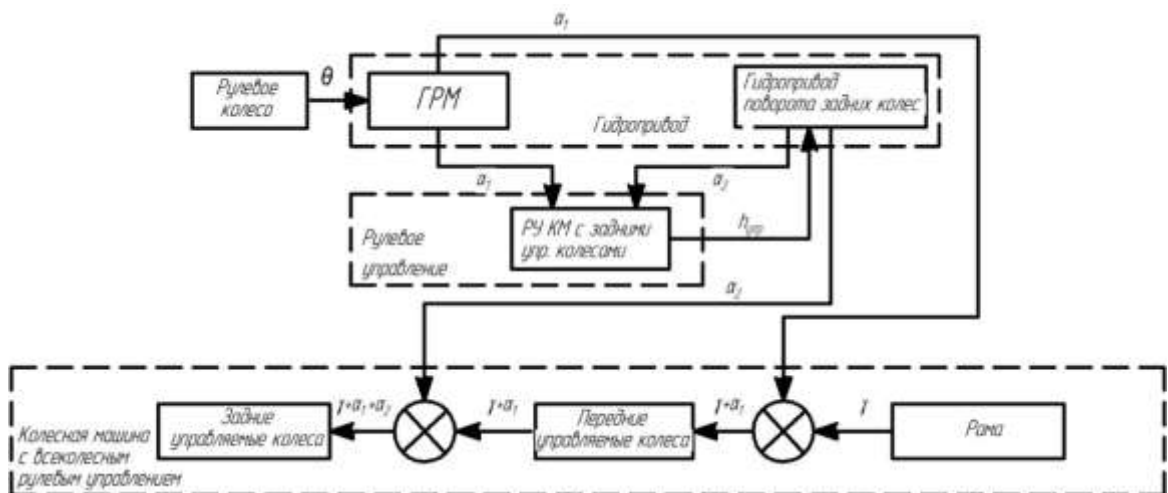


Рисунок 1 – Блок-схема реализации поворота колесной машины  $4 \times 4$

Применение на объекте исследования гидрообъемного привода рулевого управления обусловлено требованиями к компоновке, а также необходимости реализации различных способов поворота и осуществления процесса поворота,

основанного на различных алгоритмах с целью их дальнейшего изучения [1].

Гидропривод рулевого управления колесной машины предназначен для передачи механической энергии от двигателя к гидравлическому насосу, а от него посредством регулирующих органов к гидроцилиндрам управляемых колес.

Входным воздействием на систему рулевого управления является задаваемый угол поворота рулевого колеса ( $\theta$ ). Изменение расхода жидкости на выходе из гидравлического рулевого управления в зависимости от угла поворота и скорости вращения рулевого колеса является задачей гидрораспределителя с гидромотором обратной связи. Поступаемая в исполнительные гидроцилиндры рабочая жидкость приводит к перемещению штоков в ту или иную сторону в зависимости от направления поворота, которые поворачивают передние управляемые колеса на необходимый угол  $\alpha_1$ .

Процесс управления поворотом управляемых колес задней оси предлагается реализовать следующим образом: в зависимости от необходимости и выбранной схемы рулевого управления управляющий сигнал  $h_{упр}$  от блока управления поступает на ЭГР, управляющий поворотом колес задней оси, электрозолотник перемещается в нужном направлении, рабочая жидкость от насоса поступает к ГЦ поворота задних колес, перемещая шток и, тем самым поворачивает их на нужный угол  $\alpha_2$  [3].

При составлении математической модели рулевого управления потребовалось определение числа степеней свободы элементов колесной машины. Для этого была разработана пространственная расчетная схема колесной машины со всеми управляемыми колесами с указанием базовой и локальных систем координат. На рисунке 2 представлена схема правого поворота.

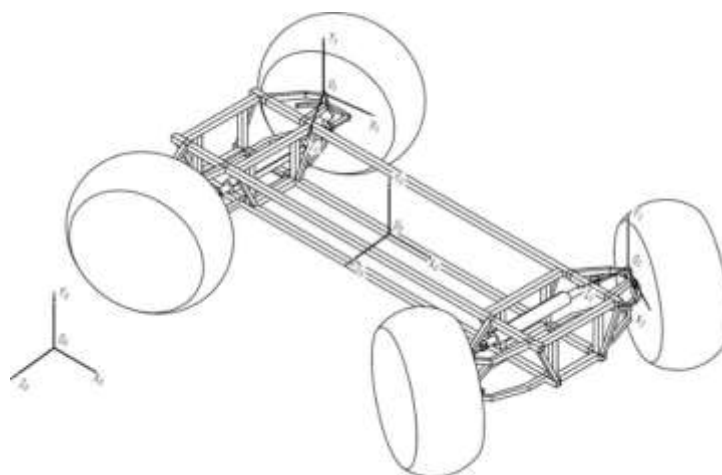


Рисунок 2 – Расчетная пространственная схема процесса поворота колёсной машины

При описании гидропривода рулевого управления колесной машины  $4 \times 4$  со всеми управляемыми колесами рассматриваются следующие элементы [7]:

- гидроруль с гидромотором обратной связи;
- гидроцилиндр поворота передних колес;
- электронный гидрораспределитель;
- гидроцилиндр поворота задних колес.

С целью упрощения математической модели рулевого управления объекта исследования было принято допущение, что остальные элементы гидравлической системы не оказывают влияния на функционирование системы в целом. Поэтому в данной модели гидролинии, предохранительные клапаны, фильтры и прочие элементы не учитываются. На рисунке 3 представлена обобщенная модель гидравлической подсистемы рулевого управления объекта исследования.

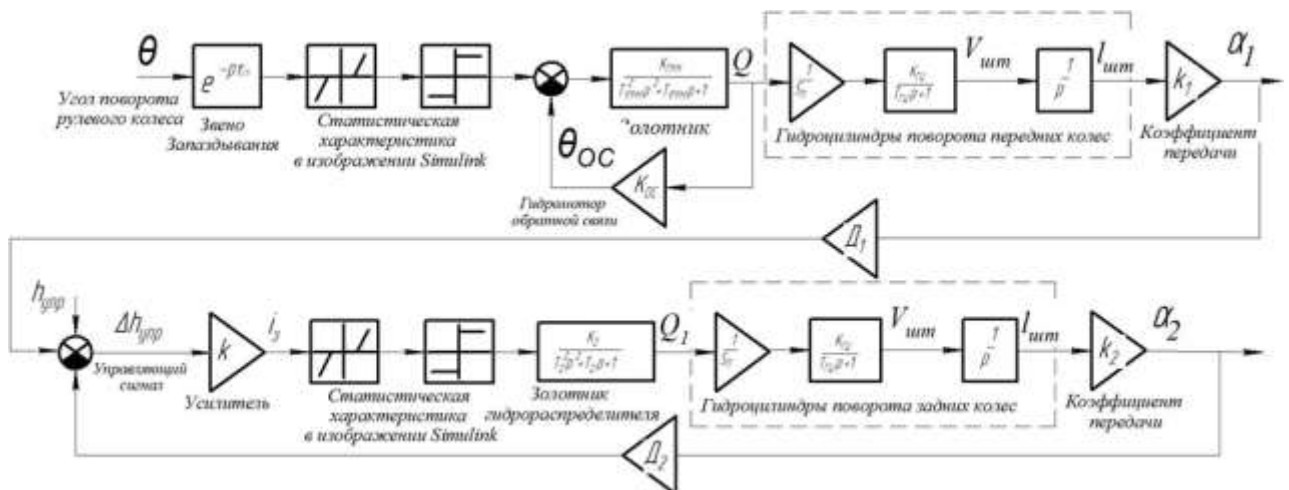


Рисунок 3 – Блок-схема математической модели рулевого управления мобильного средства с передними и задними управляемыми колесами

Для описания рулевого управления мобильного средства  $4 \times 4$  со всеми управляемыми колесами с последовательным управлением необходимо составить блок-схему принятой системы управления.

Рулевое управление рассматриваемого мобильного средства состоит из подсистем:

- подсистема управления поворотом передних управляемых колес;
- подсистема управления поворотом задних колес.

Задатчиком для поворота передних управляемых колес является угол поворота рулевого колеса. Углы поворота передних управляемых колес, определяются датчиками угла поворота  $D_1$  и являются исходными данным для работы системы

управления поворотом задних колес. Для измерения величины и направления угла поворота задних колес в систему введен датчик угла поворота  $D_2$

Для управления системой рулевого управления и реализации различных алгоритмов функционирования данной системы используется электронный блок, который обрабатывает передаваемые от датчиков  $D_1$  и  $D_2$ . Блок управления также содержит блок насыщения сигнала и усилитель электрического сигнала.

На рисунке 4 представлена блок-схема рулевого управления мобильного средства  $4 \times 4$  со всеми управляемыми колесами с последовательным управлением.

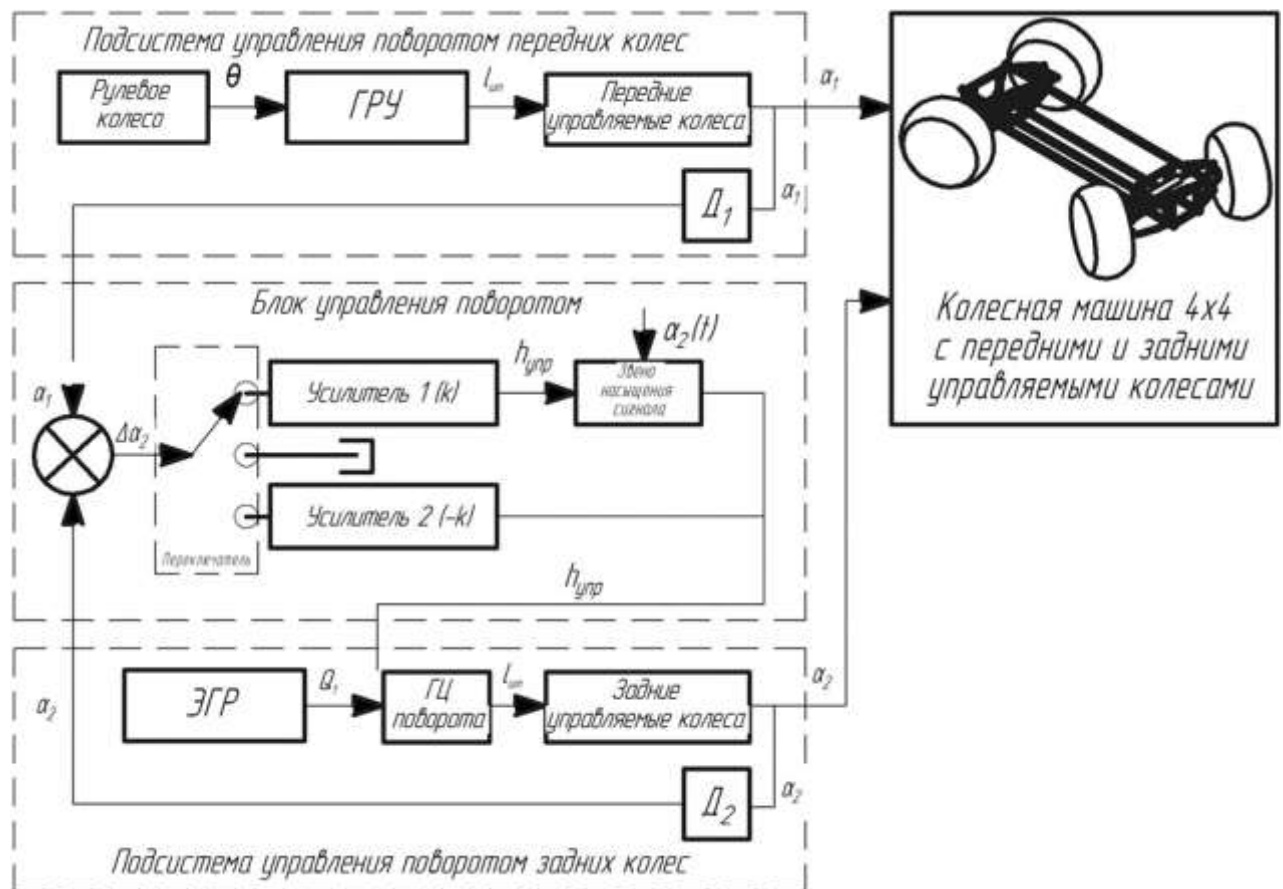


Рисунок 4 – Блок-схема рулевого управления транспортного средства  $4 \times 4$  со всеми управляемыми колесами с последовательным управлением

Функционирование системы рулевого управления осуществляется следующим образом. При вращении рулевого колеса рабочая жидкость под давлением из механизма гидрообъемного рулевого управления поступает в исполнительный гидроцилиндр поворота передних колес. При этом передние колеса при перемещении штока исполнительного гидроцилиндра поворачиваются на угол  $\alpha_1$ . Датчик угла поворота переднего колеса ( $D_1$ ) фиксирует изменение угла

поворота и передает сигнал на блок управления. Электрический сигнал передается к электрогидрораспределителю, который управляет потоком жидкости, поступающей к исполнительному гидроцилиндру поворота задних колес. При этом колеса заднего моста поворачиваются на угол  $\alpha_2$ . Датчик угла поворота  $D_2$  фиксирует изменение угла поворота и передает сигнал на элемент сравнения блока управления.

Для оценки точности предложенной модели были проведены испытания транспортного средства повышенной проходимости с колесной формулой  $4 \times 4$  по ГОСТ [4], согласно которому определяются наименьший и габаритный диаметр окружности поворота, что повторяет условия, выдвинутые при математическом моделировании.

В качестве объекта исследований было выбрано мобильное средство с колесной формулой  $4 \times 4$  и всеколесным рулевым управлением, технические характеристики которого представлены в таблице 1.

Испытания проводились в двух режимах: только с передними управляемыми колесами; с передними и задними управляемыми колесами [2].

Таблица 1 – Технические характеристики объекта исследования

№	Наименование показателей	Значение показателей
1	Колесная формула	$4 \times 4$
2	Снаряженная масса, кг, не более	1580
3	Полная масса, не более	2180
4	Тип двигателя	Бензиновый
5	Мощность двигателя, кВт	54
6	Максимальная скорость, км/ч не менее	50
7	минимальная устойчивая скорость, км/ч, не более	2
8	Тип рулевого управления	Гидрообъемный с приводом на передний и задний мост
9	Габаритные размеры, мм не более	
	– длина	4680
	– ширина	2210
	– высота	2400
	– база	2200
	– колея	1610
10	Шины	Арктиктранс Бел-74 1020 $\times$ 420-18

Фрагмент испытаний, проводимых с целью подтверждения адекватности математической модели представлен на рисунке 5 [1].



Рисунок 5 – Объект исследований при проведении испытаний

#### Выводы:

Рассмотренная модель рулевого управления с объемным гидроприводом позволяет прогнозировать характеристики криволинейного движения по ровному горизонтальному опорному основанию на стадии проектирования.

Применение рассмотренной схемы механизма рулевого управления мобильного средства позволит реализовывать различные алгоритмы управления поворотом задних колес как для транспортных средств с колесной формулой  $4 \times 4$ , там и для транспортных средств с колесной формулой  $6 \times 6$  и поиска оптимальных параметров поворота, удовлетворяющих требования к маневренности и экологической совместимости колесной машины при криволинейном движении.

В ходе испытания объекта исследования, разница по основным кинематическим характеристикам между расчетными и экспериментальными данными при движении с минимальным радиусом поворота оказалась в пределах 10-14 %, что скорее всего вызвано большим углом бокового увода для шин сверхнизкого давления ( $\varphi_B = 5,0 - 7,0^\circ$  [5]) и погрешностью измерений.

В целом можно говорить об адекватности модели, что позволяет с ее помощью прогнозировать показатели криволинейного движения подобных транспортных средств и отрабатывать различные алгоритмы управления поворотом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Артёмов, А. В. Математическая модель криволинейного движения автомобиля с передними и задними управляемыми колесами [Текст] / А. В.

Артёмов, В. И. Прядкин // Актуальные проблемы науки и образования на современном этапе. Сборник статей всероссийской научно-практической конференции. «Автомобильно-транспортный институт. – Т. 1. – № 2. – С. 45-50.

2 Артёмов, А. В. Оценка параметров криволинейного движения транспортного средства с передними и задними управляемыми колесами [Текст] / А. В. Артёмов, В. И. Прядкин // Актуальные проблемы науки и образования на современном этапе. Сборник статей всероссийской научно-практической конференции. «Автомобильно-транспортный институт 2018. – Т. 1. – № 2. – С. 50-56.

3 Галдин, Н. С. Элементы объемных гидроприводов мобильных машин [Текст] / Справочные материалы : Учебное пособие. Омск : СибАДИ, – 2005. – 127 с.

4 Горин, Г. С. Исследования поворачиваемости трактора для построения гибридной теории поворота [Текст] / Г. С. Горин, З. А. Годжаев, В. М. Головач, В. А. Кузьмин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2016. – № 5. – С. 3-11.

5 Годжаев, З. А. Научно-техническое решение проблемы переуплотнения почвы сель-хозмашинами [Текст] / З. А. Годжаев, А. В. Русанов, В. И. Прядкин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – № 6. – С. 32-35.

6 Горелов, В. А., Прогнозирование характеристик криволинейного движения автомобиля с колёсной формулой  $6 \times 6$  при различных законах управления поворотом колёс задней оси [Текст] / В. А. Горелов, Г. О. Котиев // Известия ВУЗов. Машиностроение (М.). – 2008. – № 1. – С. 44-55.

7 Мурог И. А., Трач С. И. Рулевое управление транспортного средства с передними и задними управляемыми колесами : пат. № 2160205 РФ. 2001.

8 Прядкин В. И. Проходимость колесных транспортно-технологических агрегатов лесного комплекса. – Воронеж. – 2000.

9 Прядкин, В. И. Агротехническая проходимость энергосредств по почвам с низкой несущей способностью [Текст] / В. А. Прядкин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 4. – С. 34-37.

10 Щербаков, В. С. Совершенствование объемных гидроприводов рулевого управления дорожно-строительных машин [Текст] : монография / В. С. Щербаков, Ш. К. Мукушев, А. В. Жданов. – Омск : СибАДИ, 2011. – 162 с.

11 Фаробин, Я. Е. Теория поворота транспортных машин. [Текст] / Я. Е. Фаробин // М. : Машиностроение, 1970. – 176 с.