

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ КОЛЕСНЫХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В.И. Поддубный, А.С. Пенюшкин

Представлена структура и принцип работы электромеханической системы управления движением, реализующей необходимый закон управления и использующую спутниковую радионавигационную систему для определения текущих координат, приведены результаты экспериментов по управлению движением экспериментальным автомобилем и колесным трактором.

Ключевые слова: управление движением, электромеханическая система управления, GPS-приемник, цифро-аналоговый и аналого-цифровой преобразователи.

Одной из важнейших задач сельскохозяйственного производства является повышение производительности труда на операциях по возделыванию сельскохозяйственных культур при одновременном сохранении высокого качества выполняемых работ.

При движении машинно-тракторных агрегатов (МТА) в составе колесного трактора и агрегатируемых с ним сельскохозяйственных машин происходит отклонение от задаваемой траектории вследствие возмущений со стороны опорной поверхности, действия сил инерции, наклона опорной поверхности. При этом образуются огрехи, происходит увеличение пути и повышается расход топлива, семян и удобрений, увеличиваются психомоторные затраты механизатора на управление. При опрыскивании происходит перекрытие зон опыления, что приводит к повышенному расходу гербицидов и отравлению растений при передозировке. При попытках повысить скорость движения водитель не успевает реагировать на отклонения и вынужден снижать скорость, что приводит к снижению производительности труда.

Одним из наиболее эффективных способов снижения влияния вышеперечисленных негативных моментов на качественные и количественные показатели работы МТА является использование систем прецизионного земледелия на основе спутниковой навигации. В многочисленных публикациях отмечается её высокая эффективность, особенно при работе широкозахватной техники.

Подобные системы делятся на два класса: системы параллельного вождения (так называемые курсоуказатели) и системы ав-

топилотирования. Курсоуказатели обычно включают в себя GPS-приёмник, контроллер и дисплей, на котором показывается текущее отклонение от задаваемого курса и прогнозируемое положение трактора. Такие системы также могут быть дополнительно оборудованы подруливающим устройством, которое обеспечивает движение по задаваемой траектории.

Системы автопилотирования гораздо более сложные. Они включают в себя оборудование, которое интегрируется в гидросистемы трактора, датчики, которые позволяют отслеживать углы поворотов и другие параметры. Эти системы исключают «человеческий фактор» при работе с системами параллельного вождения. Автопилотирование отличается от параллельного вождения тем, что на основании отклонения от заданной траектории, определяемые с использованием показаний GPS-приёмника, определяется величина необходимого управляющего воздействия, которое реализуется через гидравлическую систему управления напрямую через специальные устройства, обеспечивая движение без вмешательства механизатора. Для улучшения точности определения текущих координат используют стационарные базовые станции, которые транслируют дифференциальные поправки на GPS-приемники, установленные на тракторе.

В настоящее время в России в сельском хозяйстве используются системы точного земледелия фирм John Deere, Klaas, Trimble. Из отечественных систем стоит отметить комплекс «Аэронавигатор», использующий спутниковую навигацию для отображения те-

кущего положения трактора. К сожалению, следует отметить отсутствие на российском рынке систем подруливания и автопилотирования отечественного производства. На кафедре «Автомобили и автомобильное хозяйство» проводятся исследования, ставящие целью создание экспериментального образца системы управления движением с использованием спутниковых радионавигационных систем.

Разрабатываемая система состоит из следующих элементов: GPS-приёмник, электропривод на базе электроусилителя руля со специальной платой управления, датчик угла поворота, плата АЦП/ЦАП, компьютер (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема разрабатываемой системы

Последовательность работы системы выглядит следующим образом. Задается траектория движения. Затем машина начинает движение, сигналы со спутников принимаются GPS-приёмником, определяются текущие координаты. Напряжение измерительной схемы, пропорциональное углу поворота датчика поворота управляемых колес, через аналого-цифровой преобразователь передаётся в компьютер. На основании данных о текущем положении машины, угле поворота колес, управляющая программа рассчитывает закон управления движением, обеспечивающий максимальное приближение машины к задаваемой траектории. Определяется и генерируется с помощью цифро-аналоговый преобразователя (ЦАП) величина напряжения управляющей платы электропривода, обеспечивающего поворот колеса машины на необходимый угол.

Закон управления, обеспечивающий перемещение в следующую опорную точку с

обеспечением в ней заданной величины кривизны траектории и направления движения определяется следующим выражением:

$$\alpha = \alpha_0 + \frac{BK_L - \alpha_0}{2} \left(1 - \cos \frac{\pi x}{L} \right) + \left(B \left(\frac{\theta_L}{L} - \frac{K_L}{2} \right) - \frac{\alpha_0}{2} \right) \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{L} \right) + \left(\frac{2\pi B}{L^2} \left(H - \frac{\theta_L L}{2} \right) + \frac{2(BK_L - \alpha_0)}{\pi} \right) \sin \frac{2\pi x}{L}, \quad (1)$$

где α_0 - начальное значение угла поворота управляемых колес;

B - база автомобиля;

K_L - кривизна в последующей опорной точке;

H - боковое перемещение за маневр по отношению к первоначальному направлению движения;

L - продольное перемещение в направлении первоначального вектора скорости направляющей точки.

Таким образом, форма управляющего воздействия определяется суммой управляющих воздействий трех основных типов, осуществляемых одновременно при перемещении направляющей точки автомобиля из точки O , находящейся в начале неподвижной системы координат, в точку O_1 с координатами (L, H) . Схема перемещения колёсной машины с использованием управления (1) изображена на рисунке 2.

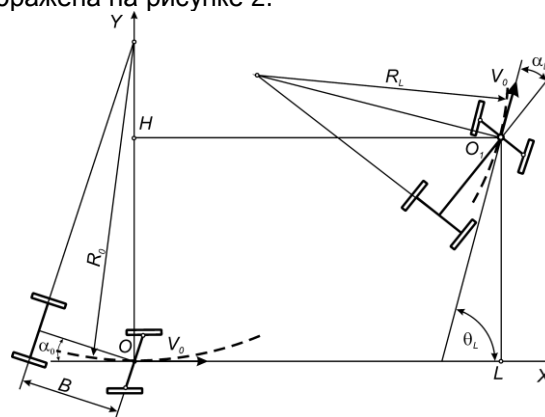


Рисунок 2 – Схема перемещения автомобиля между опорными точками

Методика определения зависимости (1) изложена в [1].

Чтобы реализовать данную модель управления, необходимо придерживаться следующего алгоритма:

- Шаг 1 – предварительная фаза наблюдения:

- запуск сбора данных с GPS-приёмника, вычисление начальной позиции;
- инициализация управления;
- происходит выравнивание рулевого колеса, вычисление направления движения и начальных параметров;
- Шаг 2 – вычисление вспомогательных переменных:
 - на этом шаге вычисляются все необходимые для расчета и реализации закона изменения угла поворота рулевого колеса параметры (текущий угол поворота рулевого колеса, скорость и направление движения, текущие координаты машины и так далее);
 - проверка и ограничение максимального угла поворота;
- Шаг 3 – реализация маневра по закону:
 - с использованием вычисленных ранее параметров реализуется маневр приближения колесной машины к задаваемой траектории в течение заданного времени;
- Шаг 4 – проверка:
 - выравнивание рулевого колеса и переход к шагу 2, если не достигнут конечный пункт траектории, иначе остановка управления;

Для реализации данного алгоритма был выбран язык программирования C#, т.к. он обеспечивает лучшую наглядность и простоту моделирования объектно - ориентированных приложений.

Для более удобного создания траектории на поле было решено разработать подпрограмму, которая могла бы автоматически прокладывать рациональный маршрут движения по полю, учитывая такие параметры как тип трактора, его прицепное и навесное оборудование. Также, данная подпрограмма должна визуально отображать на дисплее траекторию, текущее положение трактора, обрабатываемое поле с его границами. Пример работы подпрограммы изображен на рисунке 3. При определении траектории сначала выбирается наибольшая сторона поля, затем прокладываются параллельные ей линии маршрута с разворотами у противоположных краев поля. Таким образом организуется рациональный маршрут движения машинно- тракторного агрегата по полю.

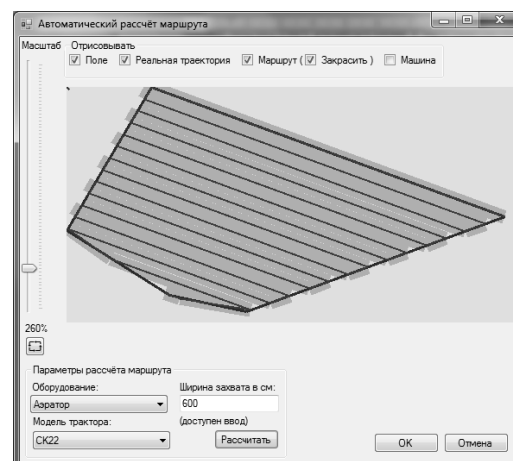


Рисунок 3 – Пример автоматического расчета маршрута по заданному полю

Для проверки работоспособности управления были проведены эксперименты с использованием разработанного комплексного экспериментального оборудования. В качестве электромеханического элемента, непосредственно управляющего поворотом рулевого колеса, был принят электроусилитель руля ВА3 2110, управляющая плата которого была приспособлена для этой цели. Для регистрации аналоговых сигналов и генерации управляющего напряжения использовалась плата расширения компьютера L-780. Датчик МУ-615 включен в мостовую измерительную схему, его показания (напряжение) определяют угол поворота управляемых колес колесной машины. Для определения текущих координат экспериментальной колесной машины использовался GPS – навигатор Garmin eMap. Комплект аппаратуры при испытаниях системы изображен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Комплект аппаратуры

Разработанная система была использована для управления прямолинейным движением экспериментального автомобиля. На

рисунке 5 представлена траектория автомобиля при эксперименте.

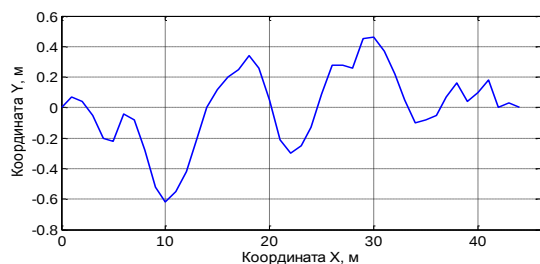


Рисунок 5 – Траектория движения автомобиля

График задаваемого и реализованного угла поворота управляемых колес экспериментального автомобиля представлен на рисунке 6.

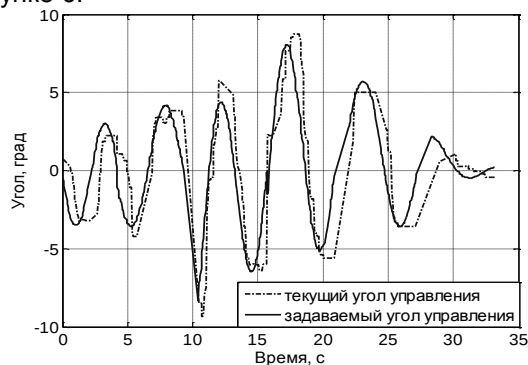


Рисунок 6 – Задаваемый и текущий угол поворота управляемых колес экспериментального автомобиля

Было проведено также испытание системы управления в полевых условиях на тракторе К-700. Аппаратура системы управления при полевом эксперименте представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 – Экспериментальное оборудование

На рисунке 8 изображены задаваемая и действительная траектории трактора, на рисунке 9 – задаваемый (при управлении на ос-

нове трех базисных маневров) и реализованный углы слома рамы при движении трактора

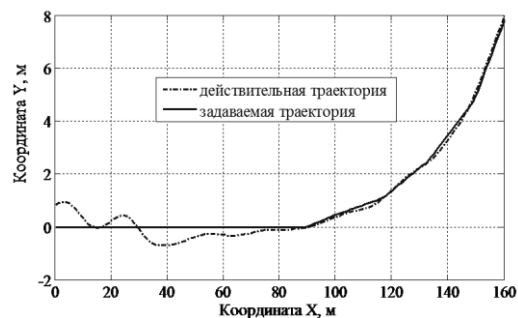


Рисунок 8 – Задаваемая и действительная траектория трактора

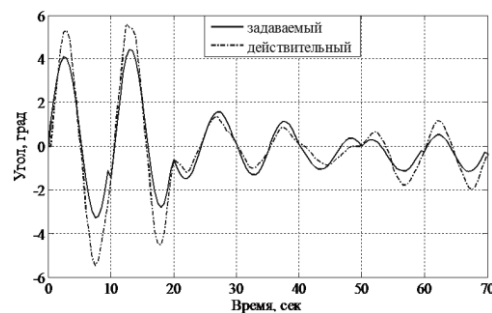


Рисунок 9 – Задаваемый и действительный угол слома рамы трактора при движении по задаваемой траектории

По приведенным выше графикам можно сделать вывод о достаточном качестве управления и корректности работы системы, учитывая погрешность показаний GPS-приемника, а также большое сопротивление рулевого механизма трактора и люфты в рулевом механизме экспериментального автомобиля. При применении более точного GPS-приёмника и использовании дифференциальных поправок для сигнала спутниковой радионавигационной системы, можно добиться более высокой точности работы системы управления движением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлюк А.С. Моделирование управляемого движения автомобиля: Учебное пособие / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. –141 с.

Поддубный В. И., д.т.н., доцент, каф. ТМумМ,
e-mail: poddubny@list.ru,

Пенюшкин А.С., инженер ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»