
УДК 629.3.053

Управление движением колесного трактора с использованием спутниковых радионавигационных систем

**Д-ра техн. наук В. И. ПОДДУБНЫЙ, А. С. ПАВЛЮК, Ю. А. ШАПОШНИКОВ,
канд. техн. наук И. М. КОВАЛЕВ (Алтайский ГТУ, poddubny@list.ru)**

Аннотация. Разработаны электромеханическая система управления движением колесного трактора с использованием спутниковых радионавигационных систем GPS/Глонасс и система передачи дифференциальных поправок спутникового сигнала. Приведены результаты лабораторных и полевых испытаний системы управления.

Ключевые слова: управление движением, электромеханическая система управления, колесный трактор, спутниковые радионавигационные системы.

Motion control of a wheeled tractor with the use of satellite navigation systems

V. I. PODDUBNY, A. S. PAVLYUK, Yu. A. SHAPOSHNIKOV, I. M. KOVALEV (Altai State Technical University, poddubny@list.ru)

Summary. The article presents a developed electromechanical motion control system for wheeled tractors using GPS and GLONASS satellite navigation systems, a transmission system of differential corrections of the satellite signal, the results of laboratory and field tests of the control system.

Keywords: motion control, electromechanical control system, wheeled tractor, satellite navigation systems.

В настоящее время широкое распространение в сельском хозяйстве России получают системы точного земледелия с использованием спутниковых навигационных систем (GPS/Глонасс). Их применение позволяет обеспечить рабочее движение сельхозмашин по заданной траектории без участия водителя с высокой точностью и тем самым уменьшить пройденный путь, повысить качество выполняемых работ, снизить расход топлива и психомоторные затраты механизатора на управление.

На российском рынке широко представлена продукция в основном зарубежных компаний, таких как John Deere, CLAAS, Trimble и др. Существенный недостаток импортных систем точного земледелия — их высокая стоимость для отечественных сельхозпроизводителей и

то, что в большинстве случаев они не могут быть использованы на российской сельхозтехнике вследствие несогласованности параметров (в частности, из-за тугого рулевого управления отечественных колесных тракторов) [1]. Из отечественных систем стоит отметить комплекс "Аэронавигатор" с использованием спутниковой навигации для отображения текущего положения трактора.

В Алтайском ГТУ проводятся исследования с целью создания системы управления движением с использованием спутниковых радионавигационных систем, сопоставимой по характеристикам с зарубежными аналогами и более доступной по цене. Разработана и испытана система управления, включающая GPS-приемник,

электропривод на базе электроусилителя руля со специальной платой управления, датчик угла поворота, плату АЦП/ЦАП и компьютер [2].

По результатам проведенных полевых испытаний сделан вывод о работоспособности данной системы, однако точность определения координат без применения дифференциального сервиса, обеспечивающего трансляцию поправок для уточнения текущего местоположения GPS-приемника, оказалась недостаточной для эффективной работы системы управления. Кроме того, мощность электропривода на базе электроусилителя руля не позволила обеспечить заданный закон изменения поворота руля трактора для реализации быстрого корректирующего маневра.

В разработанном электромеханическом приводе в качестве актуатора, осуществляющего поворот рулевого колеса, взят бесколлекторный двигатель FL86BLS(98)-JB с электронным блоком управления (ЭБУ). Передаточное число редуктора электродвигателя равно 15. На валу двигателя закреплен ролик, подпружиненный к ободу рулевого колеса. Передаточное отношение "ролик — рулевое колесо" обеспечивает увеличение крутящего момента на руле в 5—6 раз (в зависимости от диаметра руля трактора). Электродвигатель крепится на кронштейне, который, в свою очередь, фиксируется на рулевой колонке хомутом.

Общий вид устройства при лабораторных испытаниях показан на рис. 1.

Проведены лабораторные испытания, позволившие определить коэффициенты ПИД-регулирования управляющим напряжением ЭБУ [3].

Подруливающее устройство должно обеспечивать поворот рулевого колеса трактора на угол, соответствующий максимальному приближению действительной траектории к заданной. Управление осуществляется подачей аналогового сигнала на вход ЭБУ двигателя. Для разработки алгоритма управления поворотом управляемых колес на нужный угол с использованием ПИД-регулирования необходимо определить передаточную функцию механической системы, вход которой — управляющее аналоговое напряжение, выход — угол поворота управляемых колес.

В лабораторных условиях на стенде "рулевое управление — передняя подвеска легкового автомобиля" проведен эксперимент. Определялся закон изменения угла



Рис. 1. Электромеханический привод подруливающего устройства при лабораторных испытаниях

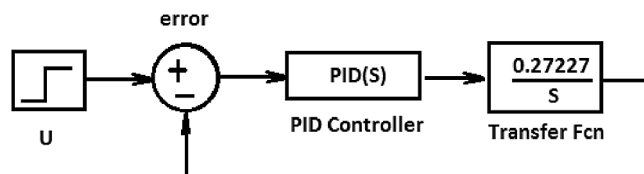


Рис. 2. Топология модели для определения коэффициентов ПИД-регулирования

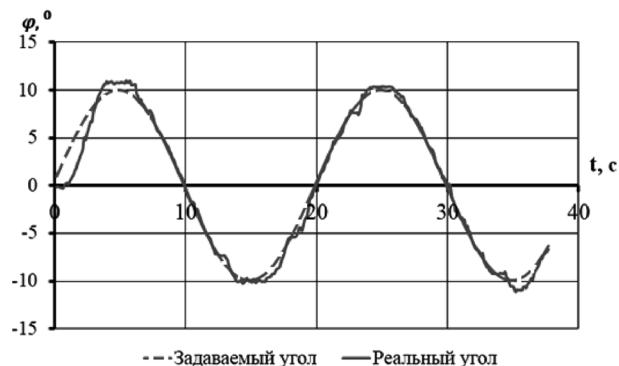


Рис. 3. Зависимости заданного и реализованного углов поворота управляемых колес от времени

поворота управляемых колес при подаче на вход ЭБУ электродвигателя управляющего напряжения 1 В. Эксперимент позволил выявить некоторые незначительные недостатки в конструкции крепления подруливающего устройства к рулевой колонке и устранить их.

С использованием пакета расширения MatLab System Identification Toolbox определен вид передаточной функции механической системы, представляющей собой интегрирующее звено с коэффициентом передачи 0,27227:

$$W(S) = \frac{0,27227}{S}$$

Коэффициенты ПИД-регулирования управляющим напряжением ЭБУ определены в MatLab Simulink с помощью модели, топология которой изображена на рис. 2.

С целью оценки работоспособности электромеханического привода подруливающего устройства и разработанного регулирования проведены эксперименты на стенде "рулевое управление — передняя подвеска легкового автомобиля". Для определения текущих значений угла поворота управляемых колес на шкворне был установлен датчик угла поворота. В ходе эксперимента электромеханическая система управления должна была поворачивать управляемые колеса по синусоидальному закону с амплитудой 10° и периодом 10 с. Управление осуществлялось подачей аналогового сигнала на вход ЭБУ. На рис. 3 представлены зависимости заданного и реализованного углов поворота управляемых колес от времени.

В целом следует отметить, что заданный закон поворота управляемых колес реализован с достаточной точностью. Отклонения реализованного угла от заданного не превышали 10 % за исключением начальной фазы поворота. Лабораторные экспериментальные исследования подтвердили работоспособность электромеханической системы, а также позволили выявить и устранить недостатки в конструкции подруливающего устройства.



Рис. 4. Электромеханический привод подруливающего устройства при полевых испытаниях

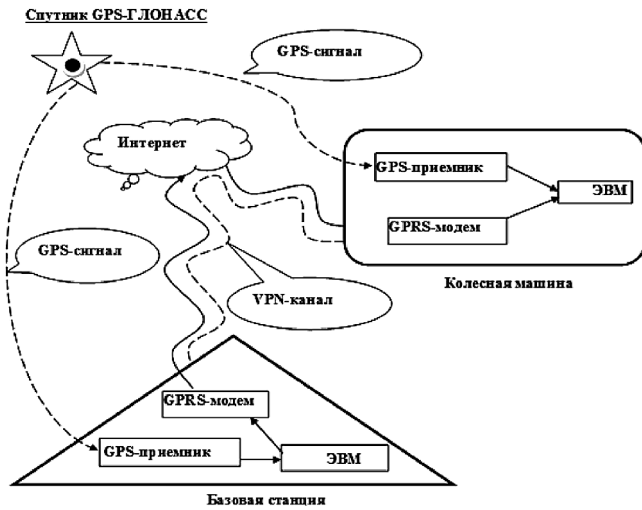


Рис. 5. Схема работы системы передачи дифференциальных поправок

С использованием спутниковых радионавигационных систем GPS/Глонасс проведены полевые испытания электромеханической системы на колесном тракторе К-744Р2. Подруливающее устройство, установленное на рулевую колонку трактора, показано на рис. 4. Датчик угла поворота жестко закреплен на вертикальном шарнире, соединяющем полурамы трактора.

С целью более точного определения текущих координат колесной машины в систему управления дополнительно введена система передачи дифференциальных поправок [4]. Корректирующая информация формируется на базовой станции (координаты центра ее антенны заранее известны с высокой точностью) путем сопоставления эталонных координат с координатами, вычисленными в результате стандартного навигационного сеанса, проводимого на корректирующей базовой станции с помощью оборудования высокого класса точности либо путем измере-

ния координат на протяжении некоторого промежутка времени и определения средних значений, которые принимаются за эталонные. Полученные дифференциальные поправки (разности истинных и измеренных координат базовой станции) передаются в составе корректирующей информации потребителю, который уточняет по ним свои координаты. Схема работы системы изображена на рис. 5.

В качестве оборудования для приема сигнала GPS/Глонасс использована разработка Ижевского радиозавода — отладочное средство на основе приемника МНП-М7. Приемник базовой станции настроен на частоту приема GPS-координат 2 Гц, приемник машины — на 10 Гц. Подключение к компьютеру осуществляется через USB-порт. С помощью преобразователя FTDI (одного из компонентов отладочного средства) и специальных драйверов в операционной системе эмулируются два виртуальных COM-порта, один из которых можно использовать для принятия данных по протоколу MNP-Binary.

Для передачи поправок с базовой станции на движущиеся машины применяются 3G/GPRS USB-модемы. После их подключения к Интернету настраивается виртуальная частная сеть (VPN), в которой по протоколу UDP ведется широковещательная рассылка дифференциальных поправок с частотой 2 Гц. Для реализации данной системы выбран язык программирования C++, обеспечивающий лучшее взаимодействие с устройствами по низкоуровневым бинарным протоколам. Также использованы компоненты библиотеки Qt версии 4.8.5, в частности QtSerialPort для передачи данных по виртуальному последовательному порту, QUdpSocket для сетевого взаимодействия и передачи поправок с базовой станции. Система сигналов-слотов библиотеки широко использовалась при построении пользовательского интерфейса и взаимодействию между объектами в программе.

Для определения текущих координат трактора взят навигационный приемник МНП-М7. Базовая станция была установлена в поле и транслировала с использованием сетей сотовой связи дифференциальные поправки на приемник, установленный на кабине движущегося трактора.

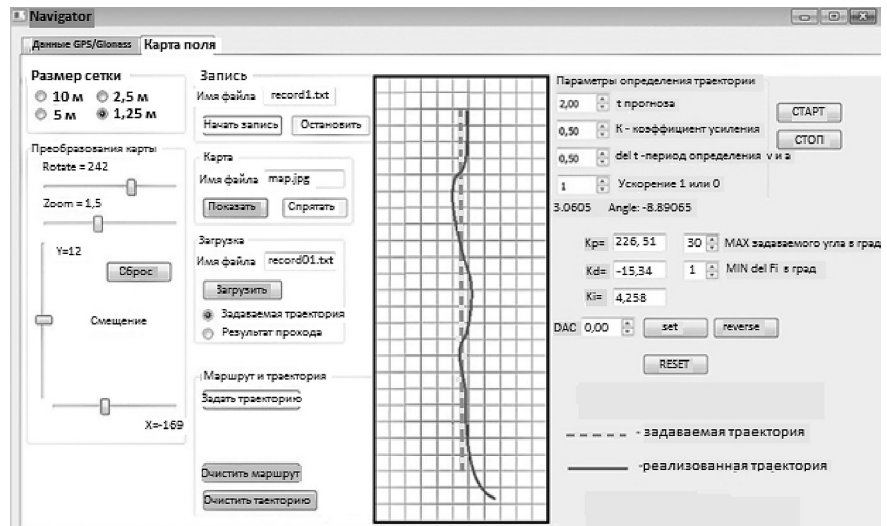


Рис. 6. Рабочее окно программы Navigator

Окончание статьи В. И. Поддубного и др. Начало см. на стр. 46

Управление движением осуществлялось с применением разработанной программы Navigator, обеспечивающей пользовательский и аппаратный интерфейс электромеханической системы управления движением. На рис. 6 представлено рабочее окно программы Navigator после окончания управляемого движения трактора по заданной прямолинейной траектории.

В целом полевые испытания подтвердили работоспособность основных узлов системы управления движением и возможность ее использования на технике отечественного производства. Однако точность определения текущих координат с использованием дифференциальных поправок оказалась недостаточной для применения системы управления при выполнении полевых работ, требующих дециметровой точности. В перспективе предполагается улучшить качество работы системы за счет повышения точности определения координат трактора путем использования фазовых измерений дальности до спутников.

Литература и источники

1. **Березовский Е.** и др. Внедрение технологий точного земледелия: опыт Тимирязевской академии // Аграрное обозрение. — 2009, № 4.
2. **Поддубный В. И.** Система управления движением колесного трактора на основе спутниковой навигации // Тракторы и сельхозмашины. — 2012, № 12.
3. **Куприянов С. Е.** и др. Лабораторные испытания электромеханической системы управления движением колесной сельскохозяйственной машиной // Горизонты образования. Вып. 16. Тезисы XI всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых Наука и молодежь. Секция Наземные транспортные машины. — Барнаул: АлтГТУ, 2014.
4. **Зыков Р. В., Поддубный В. И.** Разработка программного обеспечения для системы определения точных координат движущегося объекта с применением спутниковых радионавигационных систем // Горизонты образования. Вып. 16. Тезисы XI всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых Наука и молодежь. Секция Информационные технологии. — Барнаул: АлтГТУ, 2014.