

# ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 681.5.037

А.С. Ненайденко, В.И. Поддубный, Р.Р. Байбасаров  
A.S. Nenaydenko, V.I. Poddubniy, R.R. Baybasarov

## ДОРОЖНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ НА ТРАКТОРЕ МТЗ-80.1

### ON-ROAD TESTS OF A VEHICLE WHEELBASE MOTION CONTROL SYSTEM FOR MTZ-80.1 TRACTOR

**Ключевые слова:** точное земледелие, дорожный эксперимент, система управления движением, спутниковые радионавигационные системы, трактор МТЗ-80.1.

Одним из наиболее эффективных способов повышения производительности труда при выполнении сельскохозяйственных работ является внедрение систем точного земледелия. Важнейшим элементом системы являются подруливающие устройства и системы автопилотирования. В АлтГТУ им И.И. Ползунова проводятся исследования, целью которых является разработка системы управления движением для колесных сельскохозяйственных машин с использованием спутниковых радионавигационных систем. Одним из наиболее важных этапов при этом является апробация данной системы в реальных дорожных условиях. Были проведены испытания системы управления на тракторе МТЗ-80.1. Предварительно была записана с использованием спутникового радионавигационного приемника ГЛОНАСС/GPS задаваемая траектория. Затем осуществлялось движение по заданной траектории с использованием электромеханической системы управления. При движении со средней скоростью 0,6 м/с по прямолинейной траектории максимальная ошибка составила 0,39 м, среднее квадратичное отклонение – 0,17 м, коэффициент удлинения пути – 0,9949. При движении по криволинейной траектории с аналогичной скоростью максимальная ошибка составила 0,26 м, среднее квадратичное отклонение – 0,13 м, коэффициент удлинения пути – 0,9804. В ходе испытаний было установлено приемлемое качество движения по задаваемой прямолинейной траектории, но в связи с

тугим рулевым управлением трактора и значительными люфтами движение по задаваемой криволинейной траектории было неудовлетворительным.

**Keywords:** precision farming, on-road experiment, motion control system, satellite radio navigation systems, tractor MTZ-80.1.

Precision farming systems implementation is one of the most efficient ways to increase labor productivity in agriculture. Key elements of such systems include auxiliary thrust devices and auto-piloting systems. The specialists of the Altai State Technical University conduct researches to develop vehicle wheelbase motion control systems for farm vehicles featuring satellite radio navigation systems. One of the most important parts of those research projects takes place during system testing in real road conditions. The system has been tested on a MTZ-80.1 tractor. The trajectories had been set up before the experiment with a radio navigation receiver GLONASS/GPS; after that, the vehicle was directed along the trajectories with an electromechanical control system. At an average speed of 0.6 m/s on a rectilinear trajectory, the maximum error made 0.39 m, standard deviation made 0.17 m, and path elongation coefficient was equal to 0.9949. On a curved trajectory, at the same speed, the maximum error made 0.26 m, standard deviation made 0.13 m, and path elongation coefficient was equal to 0.9804. During the experiment, satisfactory quality indexes for a set-up rectilinear trajectory have been determined, but, due to hard steering and considerable steering plays, the indexes of movement on the set-up curved trajectory were considered unsatisfactory.

**Ненайденко Александр Степанович**, аспирант, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: nenaydenko.a.s@mail.ru.

**Nenaydenko Aleksandr Stepanovich**, post-graduate student, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: nenaydenko.a.s@mail.ru.

**Поддубный Владимир Иванович**, д.т.н., доцент, зав. каф. теоретической механики и механики машин, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: poddubny@list.ru.

**Байбасаров Руслан Рашитович**, студент, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: baibassarov@mail.ru.

**Poddubnyi Vladimir Ivanovich**, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: poddubny@list.ru.

**Baybasarov Ruslan Rashitovich**, student, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: baibassarov@mail.ru.

### Введение

Одним из наиболее эффективных способов повышения производительности труда при выполнении сельскохозяйственных работ является внедрение систем точного земледелия. Неотъемлемой частью таких систем являются системы параллельного и автоматического вождения. Эти устройства получили широкое распространение в Америке, Канаде, странах западной Европы и активно внедряются на территории Российской Федерации. Экономический эффект от использования систем точного земледелия отмечен в многочисленных публикациях [1-5]. Однако следует отметить, что на отечественном рынке российского производства встречаются только курсоуказатели, но не представлены системы подруливания и автопилотирования.

В АлтГТУ им. И.И. Ползунова проводятся экспериментальные исследования, целью которых является создание отечественной системы параллельного вождения для управления движением колесных сельскохозяйственных машин и ее последующее внедрение.

**Цель** работы – провести дорожные испытания разработанной ранее и опробованной в лабора-

торных условиях электромеханической системы управления на тракторе МТЗ-80.1; выявить возможные конструктивные и программные недоработки системы.

### Задачи:

1) адаптировать электромеханическую систему управления к проведению эксперимента на тракторе МТЗ-80.1;

2) провести эксперимент по движению трактора по задаваемой траектории с использованием разработанной электромеханической системы управления;

3) проанализировать результаты эксперимента; произвести оценку работоспособности системы управления, сделать выводы.

### Электромеханическая система управления.

Для создания электромеханической системы управления движением были использованы следующие аппаратные средства (рис. 1):

- GNSS-приемник с функцией RTKEmlidReach;
- бесколлекторный электродвигатель FL86BLS98 с блоком управления BLS-D-50;
- цифроаналоговый (ЦАП) и аналого-цифровой (АЦП) преобразователи, интегрированные в одном физическом устройстве L-CardE14-140M;

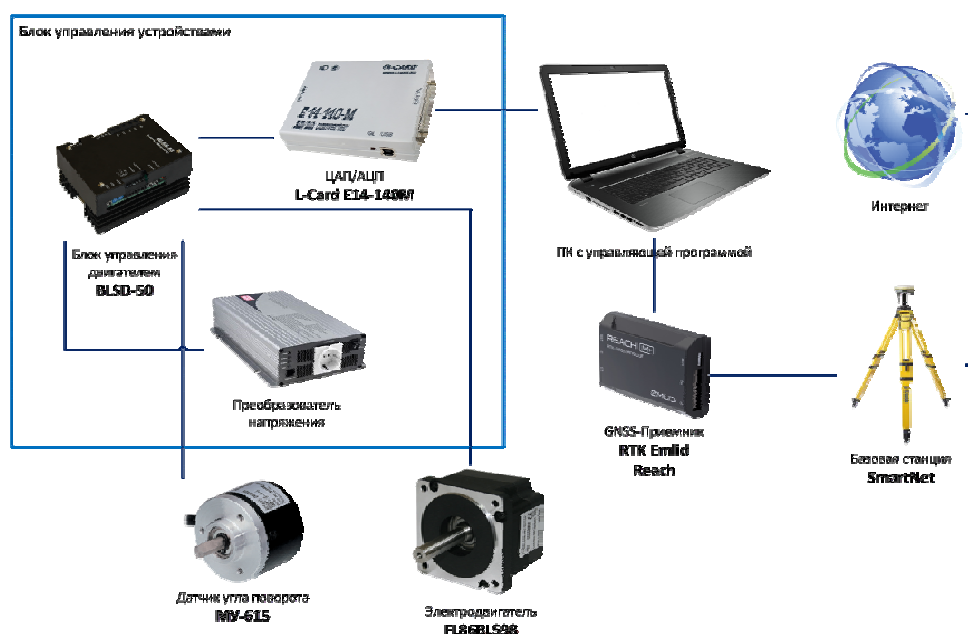


Рис. 1. Схема взаимодействия аппаратных средств

- потенциометрический датчик угла поворота колес МУ-615;
- преобразователь напряжения для питания от электрической сети колесной машины;
- ЭВМ с операционной системой семейства Windows и набором библиотек NET Framework 4.0 или выше.

Для удобства использования блок управления двигателем, устройство ЦАП/АЦП и преобразователь напряжения были объединены в корпус одного устройства (на рисунке 1 блок управления устройствами).

Кроме указанных выше устройств используется сервис виртуальных базовых станций SmartNet [6] для доступа к корректирующей информации с целью высокоточного определения текущего местоположения. При этом доступ к сервису осуществляется с ПК посредством Интернет-соединения через USB модем, а с ПК поправки на GNSS-приемник передаются по Wi-Fi соединению.

Последовательность работы системы выглядит следующим образом. В самом начале задается траектория движения колесной машины. Затем автомобиль начинает движение, а система непрерывно выполняет следующие действия:

- навигационный приемник на основе поправочной информации и собственных измерений вычисляет текущие координаты местонахождения автомобиля, а также проекции скоростей движения;
- датчик угла поворота фиксирует текущий угол поворота колес;
- с электродвигателя посредством его блока управления считываются показания с трех датчиков Холла;
- показания с датчика угла поворота колес и датчиков Холла передаются на блок АЦП, а оттуда в управляющую программу на ПК;
- на основе полученных данных управляющая программа рассчитывает направление вращения электродвигателя, отклонение колесной машины от заданной траектории и определяет необходимый угол поворота управляемых колес, который обеспечит движение по необходимой траектории;
- полученная величина управляющего напряжения передается через ЦАП на блок управления двигателем, а оттуда на сам электродвигатель, реализующий задаваемый угол поворота. Аналогичным образом передается сигнал в случае, когда электродвигатель должен сменить направление вращения.

### Экспериментальная часть

После успешной апробации системы управления на экспериментальном стенде в режиме реального времени [7] с использованием математического моделирования управляемого движения [8] были проведены дорожные испытания системы на колесном тракторе МТЗ-80.1.

Перед проведением эксперимента была модернизирована система крепления датчика угла поворота управляемых колес для конкретной модели трактора, а также доработан кронштейн крепления электродвигателя к рулевому колесу. На рисунках 2, 3 представлен комплект используемого оборудования.



**Рис. 2. Электродвигатель с кронштейном крепления**



**Рис. 3. Крепление датчика угла поворота управляемых колес**

Суть проводимого эксперимента заключалась в следующем. Сначала водителю трактора предлагалось проехать по произвольной траектории. В это время происходила запись координат траек-

тории движения, формировался список базовых точек задаваемой траектории. Затем трактор возвращался в начальное положение и сформированная траектория должна была быть реализована с использованием разработанной электромеханической системы управления без вмешательства водителя в процесс управления.

На рисунке 4 представлены результаты эксперимента при задаваемой прямолинейной траектории движения. Средняя скорость движения трактора 0,6 м/с, максимальная ошибка составила  $E_{max} = 0,39$  м, среднее квадратичное отклонение  $\sigma = 0,17$  м, коэффициент удлинения пути  $K = 0,9949$ .

На рисунке 5 представлен результат движения по криволинейной траектории с аналогичной ско-

ростью движения. При криволинейном движении  $E_{max} = 0,26$  м,  $\sigma = 0,13$  м,  $K = 0,9804$ .

### Выводы

На основании анализа результатов проведенного эксперимента можно сделать вывод о достаточно хорошей работоспособности разработанной электромеханической системы управления при движении по прямолинейной траектории. В то же время из-за тугого рулевого управления и значительных люфтов рулевого колеса система управления не смогла обеспечить качественное движение по задаваемой криволинейной траектории. В ходе эксперимента было установлено, что при значительном сопротивлении повороту рулевого колеса крепление электродвигателя к рулевой колонке функционирует недостаточно надежно.

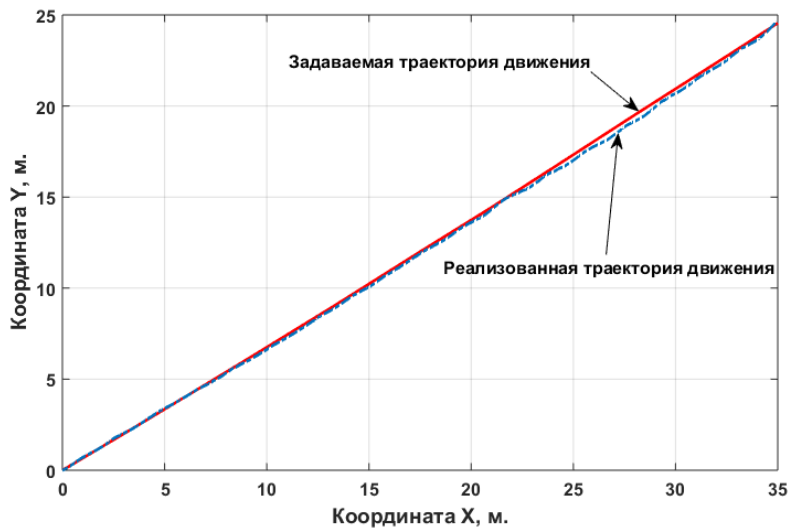


Рис. 4. Задаваемая и реализованная траектории при прямолинейном движении

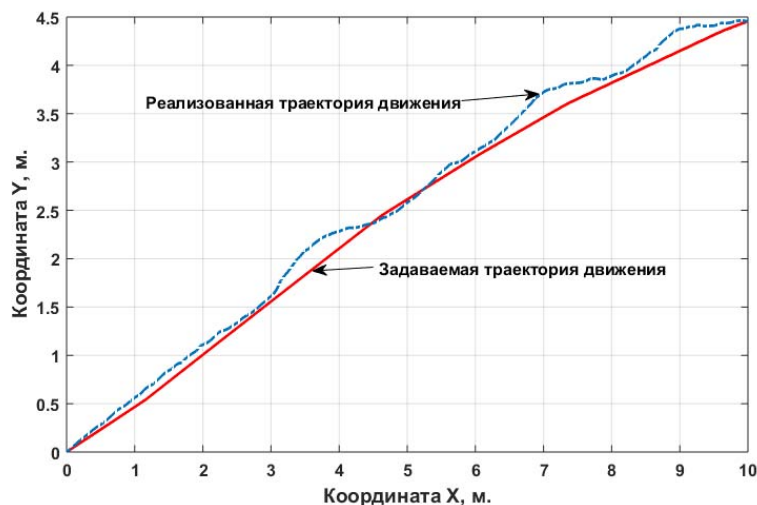


Рис. 5. Задаваемая и реализованная траектории при криволинейном движении

## Библиографический список

1. Березовский Е., Захаренко А., Полин В. Внедрение технологий точного земледелия: опыт Тимирязевской академии // Аграрное обозрение. – 2009. – Режим доступа: <http://agroobzor.ru/zem/a-135.html> (дата обращения 27.06.2018 г.).
2. Игошин А.Н. Повышение экономической эффективности зернопроизводства путем внедрения системы точного земледелия в сельскохозяйственные организации Нижегородской области // Вестник НГИЭИ. – 2012. – № 5 (12). – С. 39-45.
3. Якушев В.П., Лekomтцев П.В., Петрушин А.Ф. Точное земледелие: опыт применения и потенциал развития // Информатика и космос. – 2014. – № 3. – С. 50-56.
4. Шаталина Л.П. Точное земледелие как один из путей к энергосбережению ресурсов в сельскохозяйственном производстве // АПК России. – 2017. – Т. 24. – № 4. – С. 949-953.
5. Авдонина И.А. Точное земледелие – стратегия эффективного развития сельского хозяйства // Научный вестник Технологического института – филиала ФГБОУ ВПО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина. – 2015. – № 14. – С. 5-10.
6. SmartNet | Сеть референчных базовых станций. – Режим доступа: <http://smartnet-ru.com> (дата обращения 27.06.2018 г.).
7. Ненайденко А.С., Поддубный В.И., Валежанин А.И. Моделирование управления движением колесной сельскохозяйственной машины в режиме реального времени // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 3. – С. 32-38.
8. Ненайденко А.С., Поддубный В.И. Математическое моделирование движения колесной машины в горизонтальной плоскости // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 3. – С. 72-77.

## References

1. Berezovskiy Ye., Zakharenko A., Polin V. Vnedrenie tekhnologiy tochnogo zemledeliya: opyt Timiryazevskoy akademii [Elektronnyy resurs] // Zhurnal «Agrarnoe obozrenie». 2009. URL: <http://agroobzor.ru/zem/a-135.html> (data obrashcheniya 27.06.2018 g.).
2. Igoshin A.N. Povyshenie ekonomicheskoy effektivnosti zernoproizvodstva putem vnedreniya sistemy tochnogo zemledeliya v selskokhozyaystvennyye organizatsii Nizhegorodskoy oblasti // Vestnik NGIEI. – 2012. – № 5 (12). – S. 39-45.
3. Yakushev V.P., Lekomtsev P.V., Petrushin A.F. Tochnoe zemledelie: opyt primeneniya i potentsial razvitiya // Informatsiya i kosmos. – 2014. – № 3. – S. 50-56.
4. Shatalina L.P. Tochnoe zemledelie kak odin iz putey k energosberezheniyu resursov v selskokhozyaystvennom proizvodstve // APK Rossii. – 2017. – T. 24. – № 4. – S. 949-953.
5. Avdonina I.A. Tochnoe zemledelie – strategiya effektivnogo razvitiya selskogo khozyaystva // Nauchnyy vestnik Tekhnologicheskogo instituta – filiala FGBOU VPO Ulyanovskaya GSKhA im. P.A. Stolypina. – 2015. – № 14. – S. 5-10.
6. SmartNet | Set referentsnykh bazovykh stantsiy [Elektronnyy resurs]. URL: <http://smartnet-ru.com> (data obrashcheniya 27.06.2018 g.).
7. Nenaydenko A.S., Poddubnyy V.I., Valekzhanin A.I. Modelirovanie upravleniya dvizheniem kolesnoy selskokhozyaystvennoy mashiny v rezhime realnogo vremeni // Traktory i selkhoz-mashiny. – 2018. – № 3. – S. 32-38.
8. Nenaydenko A.S., Poddubnyy V.I. Matematicheskoe modelirovanie dvizheniya kolesnoy mashiny v gorizontальной ploskosti // Vestnik KrasGAU. – 2018. – № 3. – S. 72-77.



УДК 621.315

Л.Ю. Качесова  
L.Yu. Kachesova

### ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

### APPLICATION OF NEURO-FUZZY METHOD TO ESTIMATE TECHNOGENIC RISKS OF ELECTRICAL FACILITIES

**Ключевые слова:** электроустановка, техногенный риск, нечеткая нейронная сеть, причинно-следственная связь, нечеткая логика, нечеткий логический вывод.

**Keywords:** electrical facilities, technogenic risk, fuzzy neural networks, cause-and-effect relationship, fuzzy logic, fuzzy logical inference.