УДК 629.3.07

DOI: 10.31563/1684-7628-2019-50-2-125-131

А.В. Линенко, Ш.Ф. Сираев, А.И. Азнагулов, В.В. Лукьянов

**ПОДРУЛИВАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
МАШИННО-ТРАКТОРНЫМ АГРЕГАТОМ С РЕДУКТОРНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ**

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат; подруливающее устройство; ГЛОНАСС; электропривод; параллельное вождение; точное земледелие; сельское хозяйство.

Одним из сдерживающих факторов повышения производства продукции сельского хозяйства является отсутствие цифровых технологий, в том числе и в растениеводстве. Внедрение таких технологий, по данным Аналитического центра Минсельхоза России, обеспечит положительный экономический эффект и позволит снизить затраты на производство сельскохозяйственной продукции не менее чем на 23 % при внедрении комплексного подхода [1]. К таким направлениям относятся «Сложные технологии точного сельского хозяйства», в основе которых лежит управление продуктивностью посевов, внесением удобрений, обработкой почвы, уборкой с использованием специализированных компьютерных технологий и навигационных систем [2, 3].

Наибольшие энергетические затраты при производстве продукции растениеводства связаны с работой машинно-тракторного агрегата (МТА) на поле. За счет применения подруливающего устройства с ГЛОНАСС-навигацией можно обеспечить его параллельное вождение, что позволит уменьшить затраты на семена, удобрения, химикаты и топливо, снизить утомляемость оператора и увеличить производительность труда благодаря возможности работы в дневное и ночное время, а также в условиях плохой видимости.

Главная задача состоит в разработке отечественных автоматических систем управления МТА с использованием ГЛОНАСС-навигации, обладающих высокой точностью, низкой стоимостью, высокой надежностью, ремонтпригодностью и легкостью монтажа. Данная задача является острой необходимостью современного производства в АПК [4]. На сегодняшний момент в России в сельском хозяйстве используются системы параллельного вождения фирм JohnDeer (США), Klaas (Германия), Trimble (США), Raven (США), Topcon (Япония), Agleader (США), Leica (Швейцария). Существенным недостатком импортных систем точного земледелия являются их высокая для отечественных сельхозпроизводителей стоимость и невозможность в большинстве случаев прямого использования на российской сельскохозяйственной технике вследствие несогласованности конструктивных параметров [5]. Из отечественных систем стоит отметить комплекс «Аэронавигатор», агронавигатор «Кампус», использующие спутниковую навигацию для отображения текущего положения трактора на поле [6, 7]. К сожалению, следует отметить отсутствие на российском рынке систем подруливания и автопилотирования отечественного производства.

В научно-исследовательской лаборатории «Автопилотируемая сельскохозяйственная техника» Башкирского государственного аграрного университета ведутся работы по созданию недорогого образца подруливающего устройства, адаптированного для управления движением отечественных МТА с использованием спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS. Разрабатываемая система состоит из следующих элементов: ГЛОНАСС/GPS-приёмник, программно-аппаратный комплекс (ПАК), редукторный электропривод, электронный блок управления (ЭБУ), датчик угла поворота, гироскоп и датчик скорости (рисунок 1).

Последовательность работы системы выглядит следующим образом. В программно-аппаратном комплексе задается траектория движения [8]. МТА начинает движение, сигналы со спутников принимаются ГЛОНАСС-приёмником, определяется текущее положение МТА на поле. Датчик угла поворота колес передает в ЭБУ информацию о положении колес, а датчик наклона – информацию о положении МТА в пространстве. На основании данных о текущем положении МТА на поле, угле поворота колес, скорости движения ПАК рассчитывает закон управления движением МТА, обеспечивающий максимальное приближение трактора к задаваемой траектории движения. В ЭБУ рассчитывается и генерируется сигнал задания, с помощью которого формируется импульс управления электроприводом, обеспечивающий вращение рулевого колеса, тем самым осуществляя поворот колес трактора на необходимый угол [9]. На рисунке 2 представлен экспериментальный образец электропривода подруливающего устройства, посредством которого осуществляется вращение рулевого колеса. Данное устройство устанавливается на рулевой колонке МТА и исключает внесение изменений в конструкцию рулевого управления [10]. За счет автоматического управления рулевым колесом повышается точность движения МТА по заданной траектории движения и снижается утомляемость оператора, что позволит ему уделять больше внимания другим операциям. В качестве приводного устройства применен мотор-редуктор КЗАЭ 847.32, технические характеристики которого приведены в таблице 1. Передаточное отношение мотор-редуктора на вал рулевого колеса посредством зубчатой передачи равно 1:1.

Программно-аппаратный комплекс представляет собой моноблок с современным сенсорным монитором в прочном компактном моноблочном форм-факторе (рисунок 3 а). Одним из преимуществ данной разработки является интуитивно понятное программное обеспечение

(рисунок 3 б). Функционал обеспечивает запись и обработку информации (запись границ поля, передача и сохранение данных). Универсальное

крепление позволяет устанавливать данный моноблок в удобное для машиниста-механизатора место.

Рисунок 1
Структурная схема подруливающего устройства МТА

Рисунок 2
Экспериментальный образец электропривода подруливающего устройства: а) общий вид, б) на тракторе МТЗ

Таблица 1 Технические характеристики мотор-редуктора подруливающего устройства

№ п/п	Наименование величины	Значение
1	Сила тока, A	≤ 2
2	Номинальное напряжение, B	12
3	Скорость вращения, $об/мин$	46 ± 5
4	Крутящий момент, $H \cdot м$	6

Рисунок 3
Программно-аппаратный комплекс: а) внешний вид, б) интерфейс программного обеспечения

Для апробации подруливающего устройства МТА были проведены полевые испытания на тракторе МТЗ (рисунок 4). Опыты выполнялись в несколько этапов в разное время суток, состоящих из различных режимов работы. Ручной – режим, при котором управление траекторией движения МТА осуществляется непосредственно машинистом-механизатором без помощи подруливающего устройства. Полуавтоматический – режим курсоуказателя, при котором машинист-механизатор управляет траекторией движения МТА по построенному ПАК маршруту. Автоматический – режим работы, при котором машинист-механизатор дает команду на пуск подруливающего устройства, а

все последующее управление траекторией движения выполняется автоматически.

Благодаря такому подходу стало возможным объективно оценить работоспособность автоматической системы управления машинно-тракторным агрегатом с использованием ГЛОНАСС-навигации, сравнить различные способы управления МТА в полевых условиях. Испытания проводились осенью на протяжении целого рабочего дня, а также темного времени суток с целью определения точности проходов в различных режимах работы (рисунок 5).

Всего было произведено 12 проходов в разное время суток (смены) в различных режимах работы (таблица 2).

Рисунок 4
Подруливающее устройство МТА на тракторе МТЗ

Рисунок 5
Схема движения МТА при проведении испытаний
(I – ручной режим, II – полуавтоматический режим (курсоуказатель), III – автоматический режим)

Таблица 2 Режимы работы и этапы проведения полевых испытаний

№ п/п	Режим работы	Период проведения испытаний	Время проведения
I этап	ручной	Начало смены	9:00–12:00
	полуавтоматический		
	автоматический		
II этап	ручной	Середина смены	13:00–17:00
	полуавтоматический		
	автоматический		
III этап	ручной	Конец смены	17:00–19:00
	полуавтоматический		
	автоматический		
IV этап	ручной	Темное время суток (сумерки)	19:00–21:00
	полуавтоматический		
	автоматический		

Таблица 3 Средние значения отклонений МТА от идеальной траектории движения в зависимости от режимов управления и рабочего времени

Режим управления \ Рабочее время	Начало смены	Середина смены	Конец смены	Темное время суток	За все рабочее время	Значения, см
Ручной	45	27	36	54	40	
Полуавтоматический	26	24	21	26	23	
Автоматический	16	14	16	18	16	

При проведении испытаний было выявлено, что наименьшее отклонение МТА от заданного курса было достигнуто при автоматическом режиме управления в середине рабочей смены. Результаты представлены в таблице 3.

Наибольшие отклонения МТА от курса (40 см) выявлены в ручном режиме управления. На точность вождения при таком режиме влияет множество факторов, что в свою очередь снижает четкость контроля над МТА. Полуавтоматический режим управления показал себя хорошим ассистентом при вождении МТА в темное время суток (26 см), но сказалась утомляемость машиниста-механизатора при постоянной попытке

установить МТА на правильный курс. Наименьшие отклонения получились при движении МТА в автоматическом режиме (16 см) с помощью подруливающего устройства вне зависимости от рабочей смены и времени суток. Благодаря подруливающему устройству возможно уменьшить затраты на семена, удобрения, химикаты и топливо, снизить утомляемость оператора и увеличить производительность труда (возможность работы в дневное и ночное время, а также в условиях плохой видимости). Рыночная стоимость разработанного подруливающего устройства составляет 200 тыс. руб., что в разы меньше стоимости существующих подобных систем.

Библиографический список

1. Березовский, Е. Внедрение технологий точного земледелия: опыт Тимирязевской академии [Текст] / Е. Березовский, А. Захаренко, В. Полин // Аграрное обозрение. 2009. № 4. С. 12–17.
2. Бычков, И.В. Внедрение геоинформационных технологий и навигационных систем в задачах точного земледелия [Текст] / И.В. Бычков, Н.Г. Луковников, Л.В. Нефедьев, Г.М. Ружников // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2011. Том 9. С. 22–30.
3. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие [Текст] / В.И. Балабанов, С.В. Железова, Е.В. Березовский, А.И. Беленков. М.: РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2013. 148 с.
4. Ильинский, Н.Ф. Перспективы развития регулируемого электропривода [Текст] / Н.Ф. Ильинский // Электричество. 2003. № 2. С. 3–7.
5. Подруливающие устройства [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://агронавигация.рф/podrulivayushchie-devices>.
6. Труфляк, Е.В. Основные элементы системы точного земледелия [Текст] / Е.В. Труфляк. Краснодар: КубГАУ, 2016. 39 с.
7. Поддубный, В.И. Управление движением колесных мобильных машин с использованием спутниковых радионавигационных систем [Текст] / В.И. Поддубный, А.С. Пенюшкин // Ползуновский вестник. 2012. Т. 1, в. 1. С. 239–242.
8. Труханович, А.Л. Аппаратно-программный комплекс навигационного оборудования для точного земледелия [Текст] / А.Л. Труханович, П.В. Кучинский // Приборы и методы измерений. Минск, 2012. № 2. С. 28–32.
9. Азнагулов, А.И. Модель электропривода шагового двигателя в программном комплексе MatlabSimulink [Текст] / А.И. Азнагулов // Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК: материалы Международной научно-практической конференции в рамках XXVIII Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2018». Уфа: Башкирский ГАУ, 2017. С. 227–230.
10. Патент РФ на полезную модель № 183287 Исполнительное устройство для автоматического управления машинно-тракторным агрегатом [Текст] / А.В. Линенко, А.И. Азнагулов, М.М. Ямалетдинов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ. № 20181143 92; заявлен 18.04.2018; опубликован 17.09.2018, Бюл. № 26.

Сведения об авторах

1. **Линенко Андрей Владимирович**, доктор технических наук, доцент, декан энергетического факультета, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, тел.: 8 (347) 252-66-10, e-mail: Linenko-bsau@yandex.ru.

2. **Сираев Шамиль Флюрович**, старший преподаватель кафедры теплоэнергетики и физики, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: Shamilsiraev@yandex.ru.

3. **Азнагулов Айнура Иршатович**, аспирант, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34.

4. **Лукьянов Валерий Владимирович**, аспирант, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: smtnv@yandex.ru.

Установка подруливающего устройства на машинно-тракторный агрегат с ГЛОНАСС-навигацией позволит повысить производство продукции растениеводства. В настоящее время в России используются зарубежные системы параллельного вождения, существенными недостатками которых являются несогласованность конструктивных параметров и высокая стоимость. В статье предложен опытный образец подруливающего устройства с редукторным электроприводом, который включает в себя программно-аппаратный комплекс, электронный блок управления, датчик угла поворота колес, гироскоп, датчик скорости и приемник ГЛОНАСС/GPS-сигналов. Данное устройство устанавливается на рулевой колонке машинно-тракторного агрегата, при этом не требуется вмешательство в конструкцию рулевого управления. Для апробации подруливающего устройства были проведены полевые испытания на тракторе МТЗ. Опыты выполнялись в несколько эта-

пов, состоящих из различных режимов работы, таких как: ручной, полуавтоматический и автоматический. Всего было произведено 12 проходов в разное время суток (смены) в разных режимах работы. Среднее отклонение от заданного курса движения машинно-тракторного агрегата при автоматическом режиме управления не превысило 16 см, в полуавтоматическом режиме (курсоуказатель) отклонение составило 23 см, когда как в ручном режиме – 40 см. Благодаря минимальному отклонению от необходимой траектории движения возможно уменьшить затраты на семена, удобрения, химикаты и топливо, снизить утомляемость оператора и увеличить производительность труда (возможность работы в дневное и ночное время, а также в условиях плохой видимости). Рыночная стоимость разработанного подруливающего устройства составляет 200 тыс. руб., что в разы меньше стоимости существующих подобных систем.

A. Linenko, Sh. Siraev, A. Aznagulov, V. Lukianov

THRUSTER TO CONTROL A MACHINE-TRACTOR AGGREGATE WITH REDUCTION ELECTRIC DRIVE

Key words: *machine-tractor aggregate; thruster; GLONASS; electric drive; parallel driving; precision farming; agriculture.*

Authors' personal details

1. **Linenko Andrey**, Doctor of technical sciences, associate professor, dean of the Energy Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34, phone: 8 (347) 252-66-10, e-mail: Linenko-bsau@yandex.ru.

2. **Siraev Shamil**, senior lecturer of the Heat Power Engineering and Physics department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34, e-mail: Shamilsiraev@yandex.ru.

3. **Aynur Aznagulov**, Post-graduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34.

4. **Valerii Lukianov**, Post-graduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34, e-mail: smtnv@yandex.ru.

Installing a thruster on a machine-tractor aggregate with GLONASS navigation will increase crop production. At present, foreign parallel driving systems are used in Russia. Their significant drawback is the inconsistency of design parameters and high

cost. The given paper offers a thruster prototype model with a gear motor drive. It includes a software and hardware complex, an electronic control unit, a wheel angle sensor, a gyroscope, a speed sensor and a GLONASS / GPS receiver. This device is

mounted on the steering column of the machine-tractor aggregate, without interfering with the steering control. To test the thruster, field tests were carried out on an MTZ tractor. The experiments were conducted in several stages at different operation modes, such as: manual, semi-automatic and automatic. A total of 12 passes were made at different time of the day (shift) at different operation modes. The average deviation from a given movement course of the machine-tractor aggregate with automatic control mode did not exceed 16 cm, in a semi-

automatic mode (course indicator) the deviation was 23 cm, while in manual mode the average deviation was 40 cm. Due to the minimum deviation from the required trajectory of movement, it is possible to reduce the cost of seeds, fertilizers, chemicals and fuel, reduce operator's fatigue and increase labor productivity (the ability to work in day and night time, as well as in poor visibility conditions). The market value of the developed thruster is 200,000 rubles, being several times less than the cost of existing similar systems.

© Линенко А.В., Сираев Ш.Ф., Азнагулов А.И., Лукьянов В.В.