

УДК 621.878.2: 621.396

**ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**

А. Д. Кононов, А. А. Кононов

Воронежский государственный технический университет

Поступила в редакцию 9.12.2018 г.

Аннотация. На основе анализа принципов функционирования информационных систем для автоматического дистанционного радиоуправления перемещением мобильных объектов и исследования процессов, происходящих в устройствах передачи и приема команд управления, и основных тенденций применения информационных технологий предлагается вариант реализации системы дистанционного управления. Приведена общая структура команд управления, в которой полный цикл состоит из двенадцати байтов, четыре из которых отведены под адресную часть, а байты с пятого по двенадцатый отведены собственно под команду управления. Приведены также структурная схема, осуществляющая прием и обработку информации, временные диаграммы адресной и информационной частей команды управления, а также сигналов на выходе главного коммутатора, управляющего сигнала на выходе приемника, и зависимость тока исполнительного элемента от значений управляющего сигнала.

Ключевые слова: информационная система, дистанционное управление, градации команд, временные диаграммы, команды управления, мобильные объекты.

Annotation. On the basis of the analysis of the principles of operation of intelligence systems for automatic remote radio controlling the movement of mobile objects and for researching the processes happening in devices of transmitting and receiving of control instructions, and of the basic tendencies of application of information techniques, a variant of implementation of remote control system is offered. The general scheme of control instructions is given, where the full loop consists of twelve bytes, four from which are assigned for the address part, and the bytes from fifth till twelfth are assigned purely for a control instruction. The skeleton diagram realizing reception and handling of the information, the time charts of the address and information parts of a control instruction, of the signals on the output of the principal commutator and of the pilot signal on the receiver output, and also the dependence of the current of the operating module on the values of the pilot signal are also given.

Keywords: Information system, remote control, gradation of commands, time charts, control instructions, mobile objects.

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения высокой производительности технологических машин различного назначения (тем более параллельной работы комплекса таких машин) важно рассмотреть возможности дистанционного управления их движением [1–6]. Устройства, использующие

радиоволновой канал для автоматического управления работой механизмов, рассмотрены в ряде публикаций [7–9], однако описанные в них варианты построения систем радиоканального управления (РКУ) обладают рядом недостатков, связанных с небольшим числом применяемых команд управления, невысокой универсальностью при использовании команд и проблемами электромагнитной совместимости близко работающих

© Кононов А. Д., Кононов А. А., 2019

технологических машин. Ряд усовершенствований к базовому типу систем дистанционного управления дорожно-строительными машинами предложен в работах [10–15], обобщая которые можно указать, что они лишь частично устраняют указанные недостатки. Поэтому весьма актуальным остается анализ основных принципов функционирования информационных систем для дистанционного управления движением различных мобильных объектов. В перечисленных источниках описаны варианты дистанционного управления движением технологических машин, основанные на обработке информации, получаемой в разностно-дальномерной навигационной системе определения текущих координат объекта с использованием стационарных разнесенных передающих станций. Вопросы автоматического управления единичным мобильным объектом (обнаружение, анализ перемещения и коррекции его движения) исследованы в настоящее время в достаточной степени. Однако при наличии большого числа объектов задача управления значительно усложняется и реализация команд будет характеризоваться значительными запаздываниями, что приведет к существенным энергетическим, точностным и экономическим потерям. Поэтому, весьма важным представляется переход от режима использования стационарно расположенных излучателей к режиму «ведущий – ведомый». Отметим, что данные для оценки отклонений текущей траектории движения мобильного объекта от эталонной в режиме «ведущий – ведомый» в отечественной и зарубежной литературе отсутствуют.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: разработка новых технологий и схемных решений кодирования дискретных информационных сигналов для дистанционного управления движением мобильных объектов, позволяющих увеличить число применяемых команд и обеспечивающих высокую точность управления технологическими машинами в режиме «ведущий – ведомый».

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Перспективным представляется предлагаемый вариант построения системы РКУ мобильными объектами с информационной связью, состоящий из комплектов оборудования ведущей и ведомой машин, и рассчитанный на использование дискретных команд управления с кодово-импульсной модуляцией (КИМ) и специальных методов кодирования сигнала, заключающихся в следующем. Для обеспечения одновременной независимой работы нескольких близкорасположенных каналов радиуправления используется их разнесение по частоте. В основу формирования команд управления положен принцип: две частоты из семи ($C_7^2 = 21$). Восьмая частота является стоповой и передается постоянно. Система позволяет передавать две команды одновременно, используя мультиплексор. В качестве источников колебаний f_1, f_2, \dots, f_8 применяются устройства камертонного типа. Так как при передаче изначально используется тональная частотная модуляция (ЧМ), то приемная часть содержит тракт усиления с преобразованием входной частоты более 150 МГц в более низкую промежуточную частоту с последующим детектированием ЧМ-сигнала. С выхода ЧМ-детектора сигнал поступает на избирательные элементы, настроенные соответственно на частоты f_1, f_2, \dots, f_8 и далее на детекторы и логическую схему. Стоповая частота f_8 формирует сигнал автоматической регулировки усиления (АРУ). Логическая схема осуществляет дешифрование команд управления и выдачу их на исполнительные элементы.

На рис. 1 приведена схема передающего тракта системы радиоканального управления, которая включает в себя контроллеры 1, синхронный селектор-коммутатор 2, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 3, генератор кода станции 4, генератор-синхронизатор кодов 5, основной мультиплексор 6, генератор равноценности 7, таймер 8, преобразователь 9, частотный модулятор (ЧМ) 10, высокочастотный (ВЧ) усилитель 11, ВЧ-генератор 12.

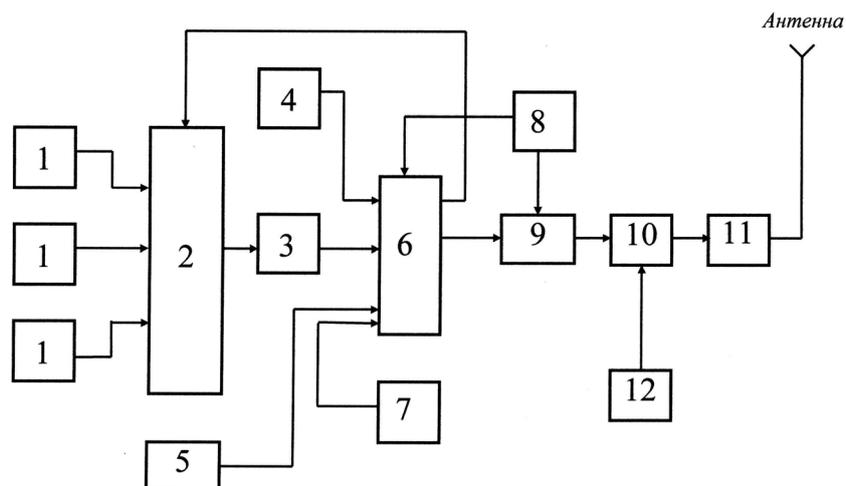


Рис. 1. Передатчик системы РКУ

Входные команды через синхронный селектор-коммутатор поступают на вход АЦП и далее на основной мультиплексор, а затем через преобразователь на вход ЧМ-модулятора и после ВЧ-усилителя на передающую антенну. Работа преобразователя, мультиплексора и коммутатора синхронизируется синхрогенератором.

Общая структура передачи команд представлена на рис. 2а). Один полный цикл передачи команд (слово) состоит из двенадцати байтов, причем четыре кодовых байта отведены под адресную часть команды (идентификатор), а байты с пятого по двенадцатый отводятся команде управления. Слово занимает во времени 48 мс. Формат адресной части (идентификатора станции) представлен на рис. 2б). Аналогичный формат для управляющего сигнала приведен на рис. 2в).

Структурная схема приемной части (представлена на рис. 3) содержит ВЧ-приемник 1, ЧМ-приемник 2, преобразователь 3, детектор синхронизации 4, контур фазовой подстройки 5, синхронный коммутатор 6, коммутатор кода станции 7, компаратор равенности 8, удерживающие цепи 9, цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) и усилители постоянного тока 10, разделители сигналов 11, пропорциональные электрогидравлические золотники 12, гидроисполнительные механизмы 13. Приемное устройство выполнено по корреляционной схеме.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Временные диаграммы работы канала приема и обработки информации приведены на рис. 4. Синхросигнал изображен на рис. 4а), а на рис. 4б) и 4в) даны типичные примеры адресных (типовой код станции) и информационных (типовой сигнал управления) байтов. На рис. 4г) показан сигнал на выходе главного коммутатора, на рис. 4д) – сигнал на выходе приемника (управляющий сигнал).

Оценка эффективности устройств дистанционного управления обоснована в работах [1–3], где использованы обычные показатели, такие как точностные характеристики траекторного движения мобильных объектов, показатели коррекции, β -эффективность и выигрыш, как критерий помехоустойчивости, уровень надежности приема команд управления, критерии электромагнитной совместимости и так далее [16–18].

Для исключения ложных срабатываний от радиопомех применяется так называемая проверочная схема, алгоритм работы которой заключается в том, что если входной сигнал состоит из более, чем трех частот, исключая стоповую частоту, выходной сигнал этой схемы станет равным нулю и автоматически обеспечивается безопасный режим, например, включается тормозная система машины и трансмиссия возвращается в нейтральное положение.

Повышение уровня надежности передачи команд достигается в двухканальной систе-

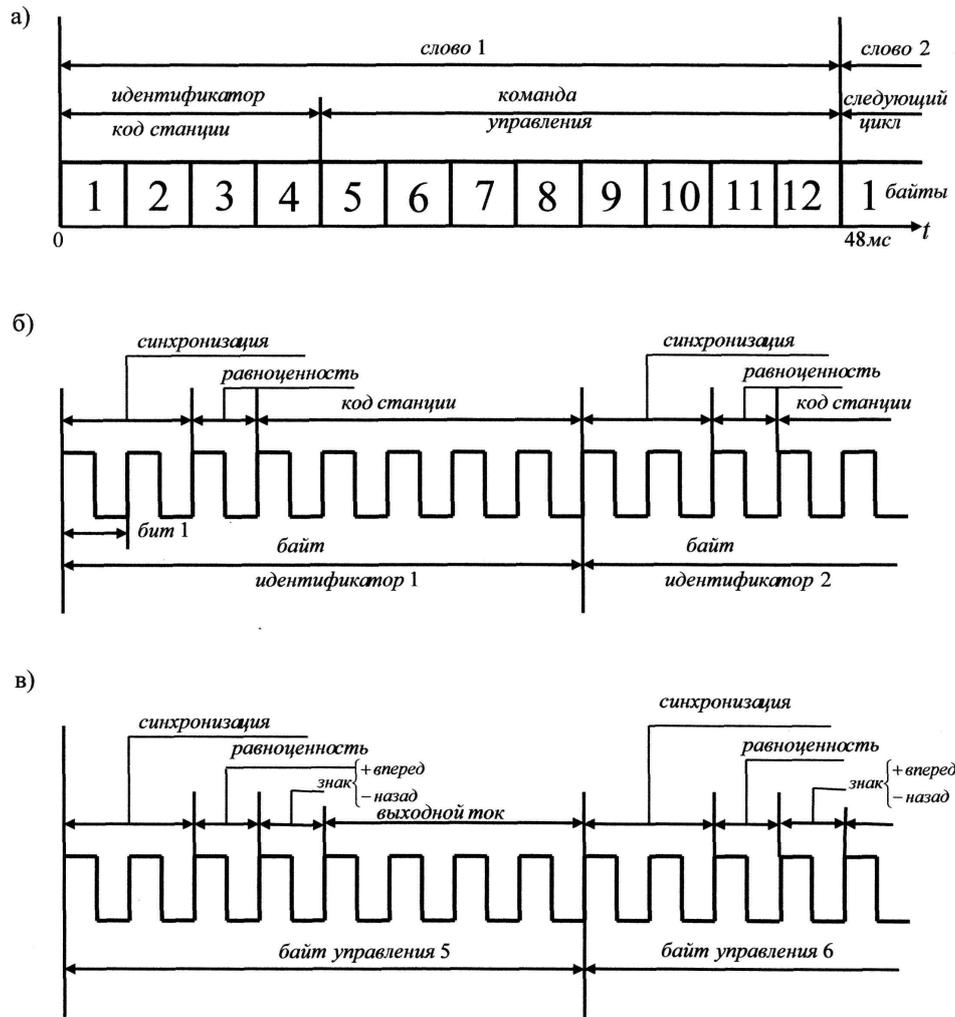


Рис. 2. Временные диаграммы передачи команд

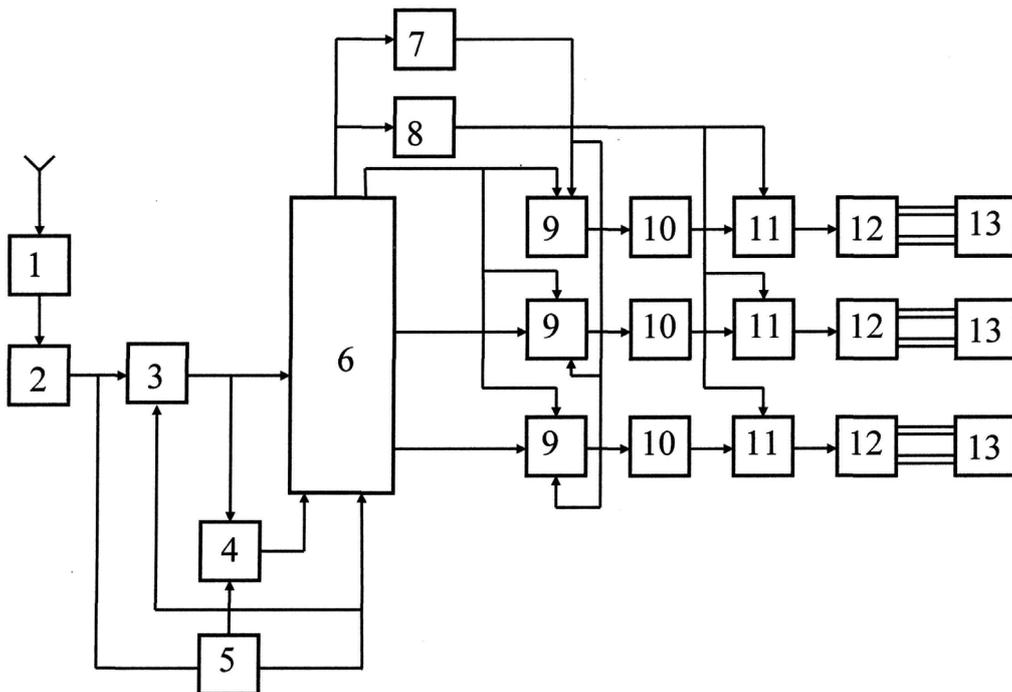


Рис. 3. Приемное устройство системы РКУ

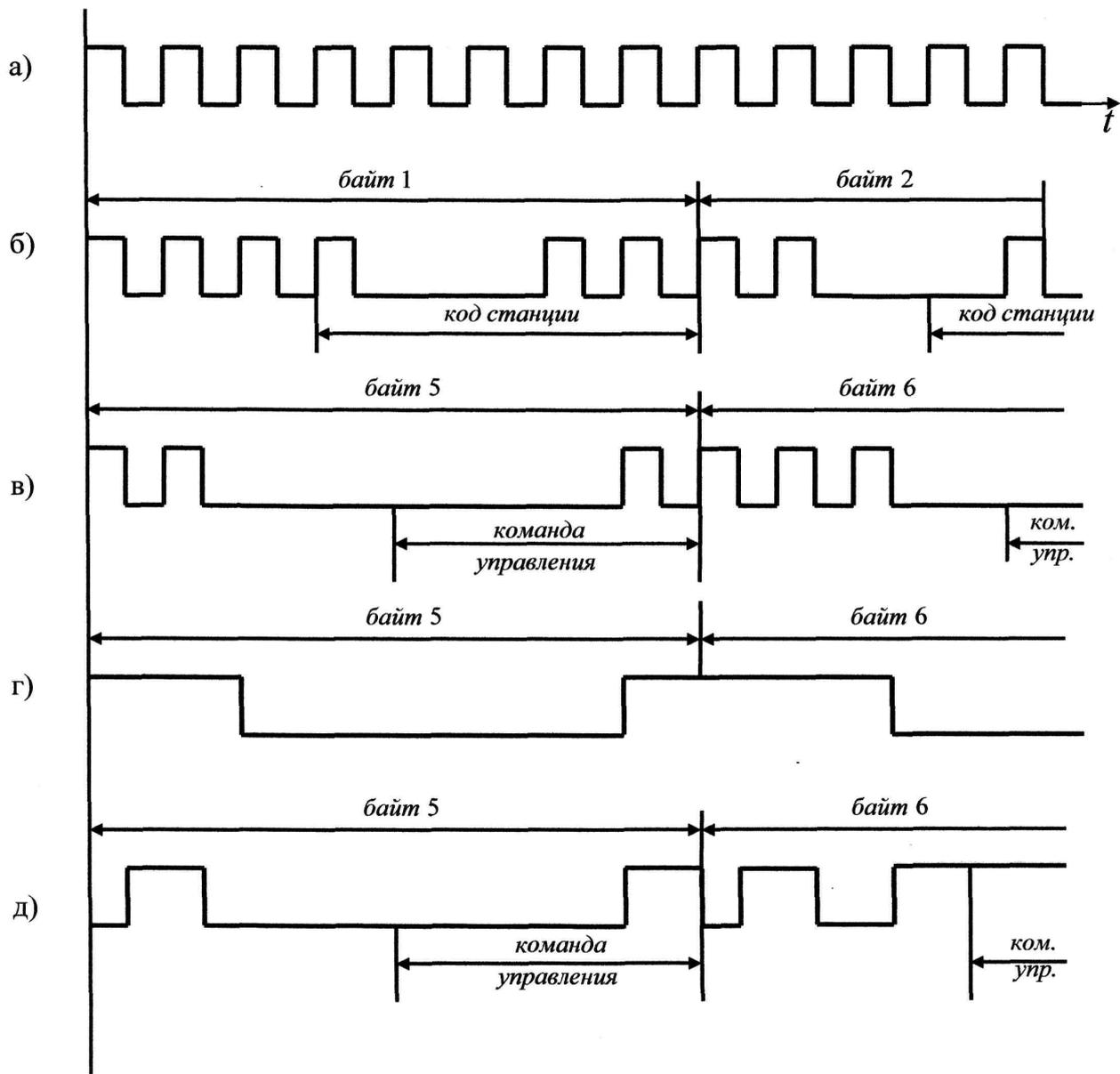


Рис. 4. Эпюры сигналов приемо-обработывающего устройства

ме радиуправления мобильными объектами, состоящей из комплектов оборудования ведущих и ведомых технологических машин различного назначения. Этот схемотехнический набор предназначен для формирования и передачи кодовых посылок по одному каналу (канал управления) и приема информации по второму каналу (канал контроля параметров). Так комплект оборудования ведомого объекта служит для приема информации по прямому каналу и передачи по обратному каналу. Для ведущего объекта, наоборот, для передачи команд используется прямой канал, а для приема и декодирования применяется обратный канал.

Следует отметить обязательное наличие синхронизации работы мультиплексоров и преобразователей. Цепи синхронизации в системе РКУ с кодово-импульсной модуляцией – наиболее ответственный элемент, влияющий на работу всей системы в целом.

Зависимость тока исполнительного элемента от значения управляющего сигнала приведена на рис. 5, где по вертикальной оси отложены значения тока обмотки вентиля при движении вперед (+) или назад (-); по горизонтальной – градации команд этого движения. В данной системе управляющая информация кодируется четырехразрядным двоичным числом (пятый разряд отведен под

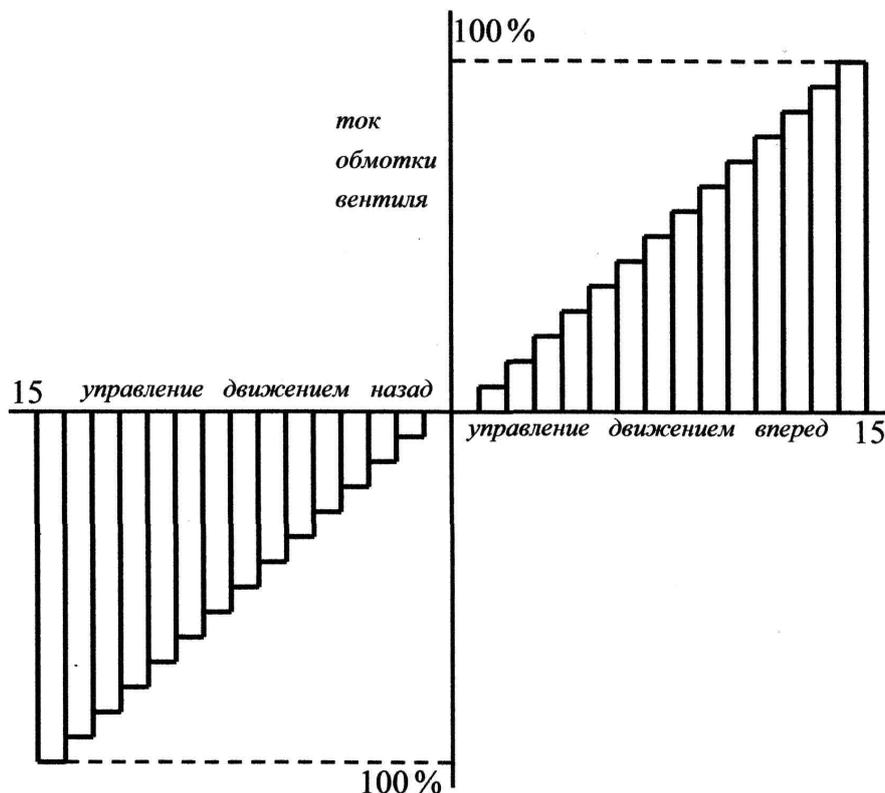


Рис. 5. Градации тока управления исполнительными механизмами

знак), то есть в этом случае можно передать $2^5 - 1 = 31$ градацию управляющего сигнала [19, 20].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При реализации предлагаемой системы целесообразна организация двухканальной связи между ведущими и ведомыми объектами, что хотя и повышает сложность и стоимость всей системы, но достаточно легко позволяет обеспечить нужное быстродействие и достоверность приема и обработки команд.

По каналу связи каждая из команд может быть набрана оператором на пульте управления и, если она воспринята правильно, то на ведомый объект поступает команда-ответ и вся система переходит в соответствующее состояние. Если кодовая посылка потеряна, то через некоторое время она будет повторена. После трехкратного повторения (при отсутствии подтверждения) включается индикатор неисправности канала связи и производится циклический опрос состояния контролируемых параметров ведомых объектов.

К сожалению, сравнительная количественная оценка достоинств предлагаемой системы управления комплексом технологических машин затруднена из-за отсутствия промышленно выпускаемых аналогов как зарубежного, так и отечественного производства. В частности, в доступной литературе отсутствуют данные, определяющие точностные характеристики автоотслеживания траекторного перемещения мобильных объектов в режиме «ведущий – ведомый». Поэтому было возможно провести только сравнение результатов дистанционного управления с применением разработанных технических устройств в режиме «ведущая машина – ведомая машина» с данными пультового управления единичным объектом при фиксированном положении передающих станций.

Экспериментальные исследования описанной системы РКУ показали, что:

- диапазон 165,5–167,5 МГц позволяет обеспечить надежное управление в режиме «ведущий – ведомый» на расстоянии до 150м между объектами;
- чувствительность приемного устройства для надежного взаимодействия должна

составлять не менее 3–5 мкВ при отношении сигнал/шум 20 дБ;

– ослабление приемником внеполосных каналов должно быть не менее 70 дБ;

– уровень блокирования приемного устройства должен быть не менее 100 мВ.

Данные характеристики приемо-передающих устройств позволяют обеспечить одновременное функционирование в ограниченной рабочей зоне группы технологических машин, при этом отклонение текущих координат объекта от эталонной траектории не превышает 6см, что вполне допустимо для большинства технологических операций.

В предлагаемом варианте число команд управления увеличивается до 32 по сравнению с обычно применяемыми 8–16 командами, что существенно увеличивает функциональные возможности технологических машин при проведении работ повышенной сложности.

Отметим, что режим «ведущий – ведомый», обеспечивающий взаимодействие приемо-передающих устройств «машины – лидера» и «машины – робота» в непосредственной их близости, менее подвержен воздействию импульсных помех, возникающих вблизи крупных промышленных предприятий и в местах скопления транспортных средств и строительной техники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные новые технологии и схемные решения кодирования дискретных информационных сигналов для дистанционного управления движением мобильных объектов являются оригинальными и не имеют промышленно выпускаемых аналогов.

Проведено экспериментальное сравнение результатов дистанционного управления с применением разработанных технических устройств в режиме «ведущая машина – ведомая машина» с данными пультового управления единичным объектом при фиксированном положении передающих станций, приведенными в отечественных и зарубежных публикациях, показывающее их приемлемое совпадение. Погрешность траекторного со-

провождения ведомой машины не превысила 6см, что соответствует аналогичным точностным характеристикам [1] траекторных измерений даже при пультовом управлении мобильными объектами.

При проведении технологическими машинами работ повышенной сложности для повышения функциональных возможностей в предлагаемом варианте системы число команд управления увеличено до 32.

Описанное устройство было реализовано и испытано при производстве дорожно-строительных работ на отдельных участках трассы М4 «Дон», в результате чего была подтверждена его работоспособность в составе системы управления движущимися технологическими машинами.

Проведенные исследования могут быть полезны разработчикам систем дистанционного управления подвижными технологическими машинами различного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маршаков, В. К.* Экспериментальное определение точности нахождения координат радионавигационной системой ориентации мобильных объектов / В. К. Маршаков, А. Д. Кононов, А. А. Кононов // Радиолокация, навигация, связь: сб. тр. XXII Междунар. науч.-техн. конф. (Воронеж, 14–16 апреля 2016 г.) – Воронеж, 2016. – Т. 3. – С. 1304–1312.

2. *Кононов, А. Д.* Информационные технологии применения фазоразностных навигационных систем для управления движением группы мобильных объектов / А. Д. Кононов, А. А. Кононов // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2017. – № 2. – С. 46–50.

3. *Маршаков, В. К.* Экспериментальные исследования разностно-дальномерной системы управления движением мобильных объектов / В. К. Маршаков, А. Д. Кононов, А. А. Кононов // Радиолокация, навигация, связь: сб. тр. XXIV Междунар. науч.-техн. конф. (Воронеж, 17–19 апреля 2018 г.) – Воронеж, 2018. – Т. 4. – С. 300–309.

4. Дистанционное управление спецтехникой при сносе моста в Италии [Электронный

- ресурс] // ProDemolition. – 2013. – Режим доступа: <http://www.prodemolition.ru/2013/08/07/distancionnoe-upravlenie-spectexnikoj-pri-snose-mosta-v-italii>. – (Дата обращения: 10.08.2014).
5. Brokk в строительстве. – Режим доступа: <http://www.brokk.ru/primenenie.html>. – (Дата обращения: 05.08.2014).
6. Shaping the future by remote control [Электронный ресурс] // CAT Magazine. – 2010. – № 2. – Режим доступа: <https://mining.cat.com/miningtechnology>. – (Дата обращения: 14.09.2012).
7. Pat. 0976879 EP, МПК G 05 D 1/00. Remote radio operating system, and remote operating apparatus, mobile relay station and radio mobile working machine / Kajita Shigeo, Awano Katsusuke, Tozawa Shoji, Nishikawa Hiroyasu, Miki Masatoshi ; publ. 20.12.2006.
8. Solid Works. – Режим доступа: <http://www.solidworks.ru>. – (Дата обращения: 16.01.2013).
9. Torisaki, S. Radio-controlled bulldozers / S. Torisaki // Japan Electronic Engineering. – 1989. – № 35. – P. 38–41.
10. Авт. св. 2334596 СССР, кл. Н 03 К 13/17. Аналого–цифровой преобразователь с коррекцией динамических погрешностей / В. М. Оранжеев. – № 744978 ; заявл. 18.03.1976 ; опубл. 03.07.1980.
11. Заявка 2932371 ФРГ, кл. Н 03 К 13/20. Интегрируемый АЦП для обработки биполярных входных напряжений и способ его функционирования. – заявл. 09.08.1979 ; опубл. 12.02.1981.
12. Catonco A. Radiocomando digitale proporzionale. Parte quatra / A. Catonco, G. Brazio-li // Sperimentare. – 1981. – № 2. – P. 69–72.
13. Pat. 8272467 US, МПК G 03 B 11/32. Remotely controlled backhoe / M. A. Staab ; publ. 25.09.2012.
14. Pat. 0282519 US, МПК G 03 B 11/32. Control system for a remote control work machine / M. Carlsson ; publ. 17.11.2011.
15. Pat. 061515 WO, МПК G 03 B 11/32. Remote Control System / R. S. Ward, J. M. Law, L. A. Bloomquist ; publ. 29.01.2002.
16. Zelikov, V. A. Substantiation Based on Simulation Modeling of Hitch for Tillage Tools Parameters / V. A. Zelikov, V. I. Posmetiev, M. A. Latysheva // World Applied Sciences Journal. – 2014. – V. 30, No. 4. – P. 486–492.
17. Kuhlmann, H. Steering Problems and Solutions During Construction of Roads [Электронный ресурс] / H. Kuhlmann, H. Heister // 12th FIG Symposium. – 2006. – Режим доступа: http://www.fig.net/resources/proceedings/2006/baden_2006_comm6/PDF/NCP/Kuhlmann.pdf. – (Дата обращения: 12.06.2017).
18. Repin, S. Renewal Methods of Construction Machinery According to Technical and Economic Indicators / S. Repin, S. Evtjakov // Applied Mechanics and Materials. – 2016. – V. 725–726. – P. 990–995.
19. Алгазинов, Э. К. Отношение сигнал/шум радиоприемника в условиях блокирования / Э. К. Алгазинов, А. М. Бобрешов, А. М. Воробьев, Ю. Н. Нестеренко // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Физика. Математика. – 2003. – № 1. – С. 5–18.
20. Аверина, Л. И. Адаптивный цифровой метод уменьшения внеполосного излучения усилителей мощности / Л. И. Аверина, А. М. Бобрешов, В. Д. Шутов // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2013. – № 1. – С. 82–88.

Кононов Александр Давыдович – канд. физ.-мат. наук, профессор кафедры информатики и графики Воронежского государственного технического университета.

Тел.: 8-953-119-31-83

Email: kniga16@mail.ru

Kononov Alexandr Davydovich – Candidate of physics.-math. Sciences, Professor of the dept. of Computer science and graphs, Voronezh State Technical University.

Tel.: 8-953-119-31-83

Email: kniga16@mail.ru

Кононов Андрей Александрович – д-р техн. наук, профессор кафедры информатики и графики Воронежского государственного технического университета.

Тел.: (473) 223-98-36

Email: kniga16@mail.ru

Kononov Andrey Alexandrovich – Doctor of technical sciences, Professor of the dept. of Computer science and graphs, Voronezh State Technical University.

Tel.: (473) 223-98-36

Email: kniga16@mail.ru