

БЕСПРОВОДНОЙ ДАТЧИК УГЛА НАКЛОНА ГРУЗА ДЛЯ ПОДЪЕМНОГО КРАНА

Ковыршин С.В., Круглов С.П., Коденёв К.Ф.

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск

Ключевые слова: автоматизация подъемного крана, успокоение колебаний груза, беспроводная передача данных, измерение угла наклона груза.

Аннотация. В статье рассматривается задача создания беспроводного датчика угла наклона груза на основе микросхем MPU-6050 (MEMS гироскоп-акселерометр) и NRF24L01+ (приемник-передатчик радиосигнала) для системы успокоения колебаний груза подъемного крана. Датчик входит в состав программно-аппаратного комплекса системы управления автоматизированного крана, закрепляется на крюковой подвеске крана и передает по радиоканалу в систему управления крана угловую скорость и линейное ускорение по трем осям. Основные технические требования, которые предъявлялись при разработке датчика: измерение угловых скоростей и ускорений переносимого груза, достоверная передача информации по беспроводному каналу данных на управляющий контроллер с минимальными задержками; самодиагностика; автоматическая калибровка датчика перед началом и во время работы, компенсация дрейфа нуля, а также низкая стоимость оборудования. Результатом разработки является функционирующий образец датчика, а также результаты его испытаний, как отдельного устройства, так и в составе макета автоматизированного крана. Результаты испытаний датчика показывают, что основные характеристики пропускная способность, помехоустойчивость линии, достоверность передачи данных, автономность работы и др., позволяют его использовать как на макете крана, так и на реальном подъемном кране для определения и передачи углов наклона груза.

WIRELESS LOAD ANGLE SENSOR FOR CRANE

Kovyrshin S.V., Kruglov S.P., Kodenov K.F.

Irkutsk State University of Railway Engineering, Irkutsk

Keywords: crane automation, load oscillation calming, wireless data transmission, load tilt angle measurement.

Abstract. The article discusses the problem of creating a wireless load inclination angle sensor based on the MPU-6050 (MEMS gyroscope-accelerometer) and NRF24L01+ (radio signal receiver-transmitter) microcircuits for a system for calming the oscillations of a crane load. The sensor is part of the hardware and software complex of the automated crane control system, is mounted on the crane's hook suspension and transmits angular velocity and linear acceleration along three axes via radio to the crane control system. The main technical requirements that were presented during the development of the sensor: measurement of angular velocities and accelerations of the transported load, reliable transmission of information via a wireless data channel to the control controller with minimal delays; self-diagnosis; automatic calibration of the sensor before and during operation, zero drift compensation, as well as low equipment cost. The result of the development is a functioning sample of the sensor, as well as the results of its tests, both as a separate device and as part of a mock-up of an automated crane. The test results of the sensor show that the main characteristics of throughput, noise immunity of the line, reliability of data transmission, autonomy of operation, etc., allow it to be used both on a crane model and on a real crane to determine and transmit load inclination angles.

При проведении грузоподъемных работ с использованием кранов с гибким подвесом происходит раскачивание груза, что существенно снижает производительность крановых работ, а в некоторых случаях, например, при дополнительных внешних возмущениях (ветровая нагрузка, неровности пути и т.д.), может привести к повреждению элементов крана, вплоть до потери им устойчивости.

Одним из способов быстрого успокоения груза является использование автоматизированных систем управления крана, построенных на программируемых логических контроллерах с алгоритмами парирования раскачивания, а также дополнительных информационных устройств, измеряющих текущее положение груза [1, 2]. Ведущие производители систем автоматизации кранов, такие как Siemens, Magnetek, Schneider Electric и т.п. активно разрабатывают такие системы, но эффективно работающих систем в условиях априорной неопределенности в настоящее время еще не создано [3].

Одной из важных задач, при создании системы успокоения груза является определение в реальном времени информации об отклонении груза от вертикали по двум осям. Очевидно, что более точные измерения углов будут происходить, когда датчик закреплен около груза, например, на грузовом крюке крана, при этом встает вопрос о передаче информации от датчика на управляющих контроллер. Так как положение груза постоянно меняется, передавать информацию по проводному каналу крайне затруднительно, поэтому решением может быть организация беспроводного обмена между датчиком и контроллером.

Беспроводная передача информации между элементами промышленных систем является актуальной задачей в случаях, когда традиционная проводная технология передачи не возможна по ряду конструктивных, технологических причин и/или экономической целесообразности (большие затраты на прокладку кабелей и реализацию интерфейсов). В промышленности технологии беспроводной передачи данных активно развиваются, хорошо известны решения передачи данных, основанных на технологии WiFi, Bluetooth, WirelessHART, Trusted Wireless и др., передающие данные со скоростью до нескольких сотен мегабайт в секунду [4, 5]. Однако реализация беспроводной сети на техническом объекте, требует применение весьма дорогостоящего оборудования, в состав которого могут входить радиомодемы, аппаратные интерфейсы и другое оборудование, которое исходя из требований надежности промышленного оборудования, является дорогостоящим. Использование такого оборудования для передачи данных от небольшого количества информационных устройств будет не целесообразно. В этом случае актуальна разработка беспроводного интерфейса передачи данных с использованием доступных не дорогих радиомодулей, например, на базе микросхемы NRF24L01+.

На рисунке 1 представлена структурная схема предлагаемой реализации беспроводного датчика, включая интерфейс передачи данных на контроллер.

Датчик состоит из двух функциональных блоков: датчика наклона груза (ДНГ), включая передатчик радиосигнала и преобразователь радиосигнала (ПРС), включая приемник. ДНГ выполнен в виде крюковой подвески, производит измерение и вычисления углов наклона груза и ускорений по трем осям. Датчик

наклона груза состоит из: микроконтроллера (МК1), который производит первичную обработку сигнала, вычисляет и компенсирует дрейф гироскопа; 3-х осевого гироскопа-акселерометра (ДУН), реализованного на основе микросхемы MPU6050; источника постоянного напряжения (ИП); преобразователя напряжения (ПН1), а также приемника-передатчика радиосигнала (ПП1) на основе радомодуля NRF24L01+.

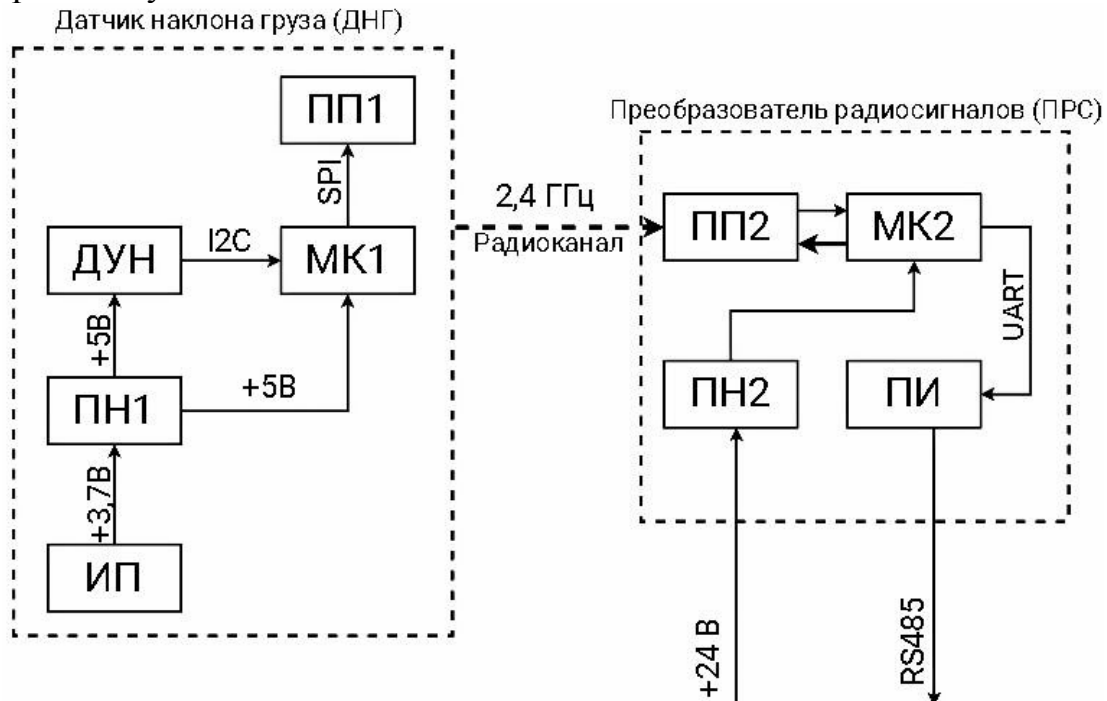


Рис. 1. Структурная схема беспроводного датчика

Преобразователь радиосигнала принимает информацию с ДНГ, преобразует и передает через интерфейс RS485 по протоколу Modbus RTU на контроллер верхнего уровня. ПРС содержит приемник-передатчик радиосигнала (ПП2), микроконтроллер (МК2), преобразователь интерфейса (ПИ) и преобразователь напряжения.

В таблице 1 приведен перечень структурных элементов и соответствующие им модели элементов.

Радиомодуль nRF24L01 использует собственный, проприетарный протокол, обмен информацией между модулем и микроконтроллерной платой производится по шине SPI и позволяет, как передавать данные, так и программно устанавливать параметры работы модуля. Например, возможно указать один из 126 каналов: от 0 (частота 2,400 ГГц) до 125 (частота 2,525 ГГц) на котором он будет работать, и установить какую роль будет выполнять модуль: приёмника или передатчика.

Общий алгоритм работы датчика представлен на рисунке 2. В начале работы управляющей программы выполняется настройка: инициализация промежуточных переменных, создание массива данных для отправки, инициализация портов, настройка модуля на передачу информации, а также инициализация и выставление чувствительности датчика GY-521.

В основном цикле программы происходит проверка таймера WDT для сбрасывания системы в случае зависания микропроцессора и заполнения массива

данными с гироскоп-акселерометра. Так как штатный протокол радиомодуля поддерживает только передачу беззнаковых данных, к значениям прибавляется константа. Далее данные отправляются через модуль NRF по радиоканалу на приёмник.

Табл. 1. Описание структурных элементов датчика

№	Структурный элемент	Расшифровка	Модель	Описание
1	ДНГ	Датчик угла наклона груза		Функциональный блок измерения угла наклона груза и передачи значений по радиоканалу
1.1	ИП	Источник питания	Аккумулятор 18650, 3,7 В	Литиевый аккумулятор 18650, 3,7 В
1.2	ПН	Преобразователь напряжения	MT3608 in 2V-24V to 5V-28V 2A	Преобразователь напряжения повышающий (2В - 24В), 2А
1.3	ДУН	Датчик угла наклона	модуль GY-521	3-х осевой гироскоп и акселерометр на основе микросхемы MPU6050
1.4	МК1	Микроконтроллерная плата	Arduino Nano	Микроконтроллерная плата на основе микроконтроллера ATmega328
1.5	ПП1	Приемник-передатчик радиосигнала	Радио модуль NRF24L01	Радиомодуль NFR24L01, работающий в диапазоне частот 2.4-2.5 ГГц
2	ПРС	Преобразователь радиосигнала		Функциональный блок: приема радиосигнала и преобразования интерфейса
2.1	ПП1	Приемник-передатчик радиосигнала	Радио модуль NRF24L01	Радиомодуль NFR24L01, работающий в диапазоне частот 2.4-2.5 ГГц
2.2	МК2	Микроконтроллерная плата	Arduino Nano	Микроконтроллерная плата на основе микроконтроллера ATmega328
2.3	ПН2	Преобразователь напряжения	HW-677 Q65 48 В DC-LM2596HVS	Преобразователь напряжения понижающий HW-677 на базе LM2596HVS
2.4	ПИ	Преобразователь интерфейса	Конвертирующий модуль на базе чипа MAX485	Конвертирующий модуль на базе чипа MAX485 – предназначен для преобразования сигналов TTL шины UART – в стандарт RS485 и обратно

На рисунке 3 представлены графики отклонения груза от вертикали по двум осям. Информация передавалась от датчика через конвертирующий модуль MAX485 (преобразователь сигналов TTL шины UART - в стандарт RS485 и обратно) на программируемый логический контроллер и визуализировалась в среде CodeSYS v3.5.

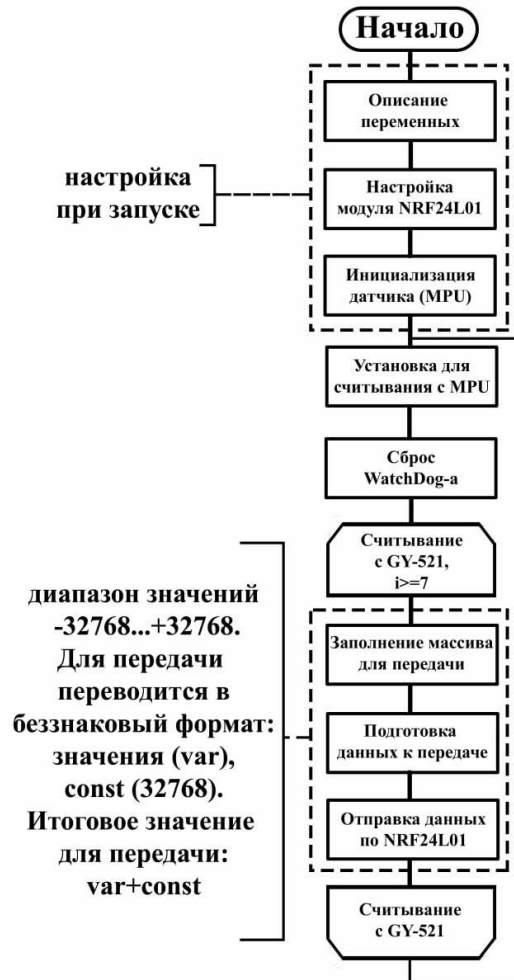
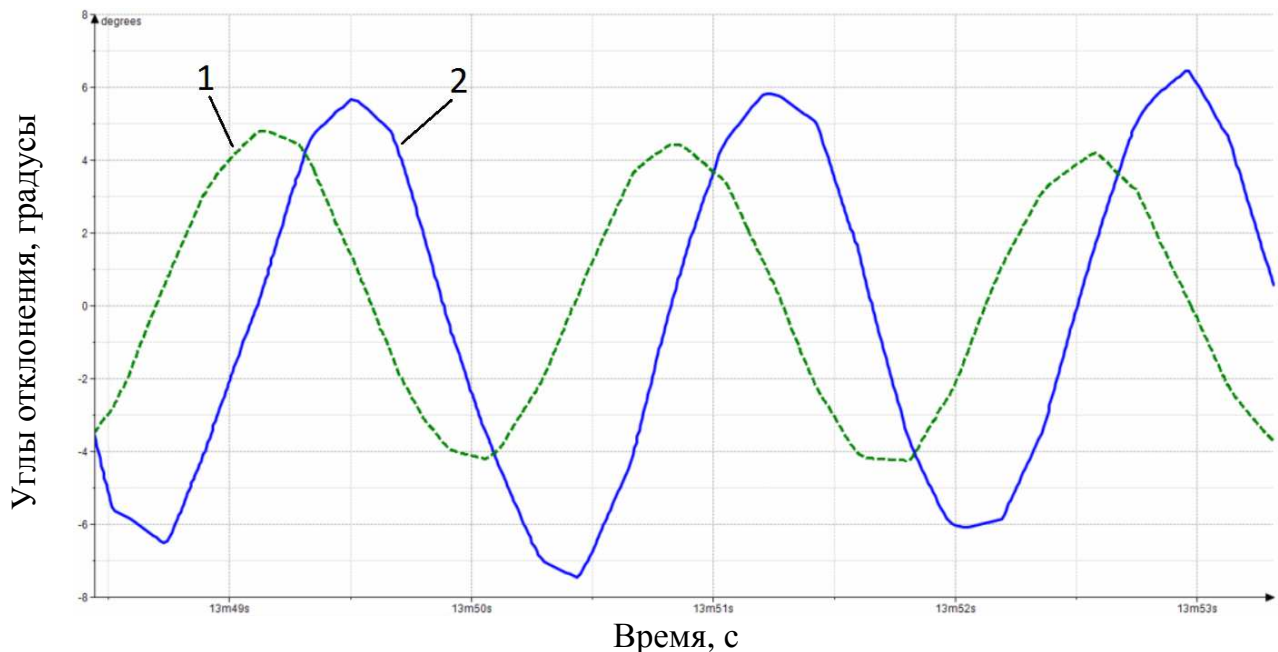


Рис. 2. Алгоритм работы передатчика

Рис. 3. Графики изменения углов отклонения груза от вертикали, градусы: 1 – φ_x , 2 – φ_y

Результаты тестирования готового датчика дают следующие результаты:

- передатчик отправляет 1000 пакетов данных за 5,6 с;
- размерность пакета 14 байт, следовательно, за одну секунду он передает 2500 байт;

- на больших расстояниях (свыше 50 метров и более) скорость передачи равна 1820 байт/с;
- на расстоянии менее 30 метров с генерируемыми помехами в виде работающих двигателей постоянного и переменного тока, скорость передачи равнялась 2058 байт/с;
- время автономной бесперебойной работы в диапазоне температур -25...+55°С составляет 15 часов.

Заключение

В ходе работы авторами были решены задачи по созданию функционального образца датчика, для измерения угловой скорости и линейного ускорения, с беспроводным интерфейсом. В процессе был разработан алгоритм, позволяющий осуществлять работу датчика в режиме приемника, а также в режиме передатчика. На основе анализа был осуществлен подбор компонентной базы, необходимой для реализации аппаратной части. Экспериментальные исследования на макете мостового крана подтвердили функциональность прототипа. В соответствии с проведёнными испытаниями можно сделать вывод, что датчик соответствует всем техническим требованиям, которые предъявлялись при его разработке, и может использоваться в системе гашения колебаний груза и/или в системе безопасности на подъемных кранах.

Финансирование. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда №23-29-00654, <https://rscf.ru/project/23-29-00654/>

Список литературы

1. Ковыршин С.В., Круглов С.П., Буторин Д.В., Коденёв К.Ф. Экспериментальная установка для разработки и исследования алгоритмов успокоения груза на кранах мостового типа с системой управления на основе промышленных элементов [Электронный ресурс] // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2023. – №3(21). – <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/1503>.
2. Springer H. Kovyrrshin S. Active parametric vibration control of a smart beam // IMechE (Institution of Mechanical Engineers) Event Publications Eighth International Conference on Vibrations in Rotating Machinery. Ser. «Eighth International Conference on Vibrations in Rotating Machinery – IMechE Conference Transactions». – Swansea: 2004. – P. 703-712.
3. Круглов С.П., Ковыршин С.В., Ведерников И.Е. Адаптивное управление перемещением груза мостовым краном с идентификационным алгоритмом // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – № 4. – С. 114-122.
4. Сардин И. Проблемы функционирования беспроводных устройств Bluetooth и IEEE 802.11 в нелицензируемом диапазоне ISM 2,4 ГГц и пути их решения // Беспроводные технологии. – 2006. – №3. – С. 43-47.
5. Байтмиров А.Д., Шустрова М.Л. Беспроводные технологии в промышленности // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – №14. – С. 473-475.
6. Носенко В.А., Силаев А.А., Ефремкин С.И. Обзор беспроводных технологий, применяемых для автоматизации технологических процессов // Сетевой научный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2019. – №1. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5652.

Сведения об авторах:

Ковыршин Сергей Владимирович - к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов»;

Круглов Сергей Петрович – д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов».

Коденёв Кирилл Федорович – студент.