

/ <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tuss4440.pdf?&ts=1589025690690> (Access date: 07.11.2019). (In English)

12. Arduino product catalog [Electronic resource]. URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products> (Access date: 17.12.2019). (In English)

Критерии авторства

Бакиров С.М. выполнил теоретические исследования, на их основании провёл эксперимент. Бакиров С.М. имеет на статью авторские права и несёт ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 05.05.2020

Опубликована 31.08.2020

Contribution

S.M. Bakirov performed theoretical studies, and based on the results obtained conducted an experiment. S.M. Bakirov has equal author's rights and bears equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on May 5, 2020

Published 31.08.2020

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА /
POWER SUPPLY AND AUTOMATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION

УДК 621.86.004.45.001.13

DOI: 10.26897/2687-1149-2020-4-60-65

ОПТИМИЗАЦИЯ СЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ ШАГАЮЩЕЙ МАШИНЫ С ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ

АЛЕЙНИКОВ ЮРИЙ ГЕОРГИЕВИЧ, канд. тех. наук

E-mail: Yuri@AleyRobotics.com

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49

При движении по неровной поверхности в сложных условиях шагающие машины более эффективны в сравнении с колесными и гусеничными транспортными средствами, поскольку контактируют с землёй в отдельно взятых точках и наносят меньший вред сельскохозяйственным растениям. Такие машины применимы в условиях открытого и закрытого грунта для точного мониторинга состояния выращиваемой культуры и факторов, негативно влияющих на рост и развитие растений (сорные растения, вредители, болезни). Шагающая машина имеет множество датчиков, при подключении которых возникают трудности, связанные с ограничениями микроконтроллеров или способом обмена данными. Рассмотрены методы оптимизации, направленные на увеличение частоты опроса двух типов датчиков с принципиально отличающимися шинами данных. Представлены схемы подключения датчиков температуры Dallas Semiconductor DS18B20 и весовых датчиков на базе микросхемы HX711. Разработан стенд шагающей машины и представлена опытная шагающая машина. Экспериментально установлено, что для чтения логических значений при скорости измерений 80 Гц и 25-битном пакете скорости контроллера достаточно шести цифровых линий с побитовым преобразованием в цифровое значение. В результате оптимизации обмена данными бортового компьютера с большим числом датчиков скорость опроса датчиков увеличилась в 30 раз (с 30 секунд до интервала менее одной секунды). Предложенный параллельный метод подключения датчиков нагружения позволил опрашивать шесть датчиков одновременно со скоростью 80 Гц, а при последовательном чтении скорость опроса составила 12 Гц.

Ключевые слова: шагающая машина, датчики температуры, датчики нагрузки, тензисторы.

Формат цитирования: Алейников Ю.Г. Оптимизация сенсорной системы шагающей машины с динамической устойчивостью // Агроинженерия. 2020. № 4(98). С. 60-65. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-4-60-65.

SENSOR SYSTEM OPTIMIZATION OF A WALKING MACHINE WITH DYNAMIC STABILITY

YURIY G. ALEYNIKOV, PhD (Eng)

E-mail: Yuri@AleyRobotics.com

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127550, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, Russian Federation

Walking machines can be more effective as compared with wheeled and tracked vehicles when they travel along a rough landscape as they come into contact with the ground at separate points and cause less damage to agricultural crops. Machines of this type are applicable in open ground and in protected greenhouse conditions for an accurate monitoring of the condition of cultivated plants and such negative growth factors as weeds, pests, and diseases. A walking machine has a lot of sensors, which may cause some connection difficulties due the limitations of microcontrollers or the method of data transfer. The paper discusses optimization methods for increasing the transfer data rate of two types of sensors with different data buses. The author presents connection diagrams of the Dallas Semiconductor DS18B20 temperature sensors and weight sensors based on the HX711 chip. The paper describes a developed bench for testing a walking machine and presents an experimental walking machine. It has been experimentally established that six digital lines with bit-by-bit conversion to a digital value are quite sufficient for reading logical values at 80 Hz speed with 25-bit data packet. As a result of optimizing data transfer of the on-board computer with a large number of sensors, the speed of polling sensors increased in 30 times (from 30 seconds to an interval of less than one second). The suggested parallel method of data reading for load sensors has provided for simultaneous scanning of six sensors at a speed of up to 80 Hz, and up to 12 Hz for sequential scanning.

Key words: walking machine, temperature sensors, load sensors, tensistors.

For citation: Aleynikov Yu.G. Sensor system optimization of a walking machine with dynamic stability // Agricultural Engineering, 2020; 4 (98): 60-65. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-4-60-65.

Введение. Одним из перспективных направлений развития робототехники являются шагающие машины, разделяющиеся на статически и динамически устойчивые.

Статически устойчивые машины сохраняют устойчивость даже после внезапного отключения электропитания. Примером статически устойчивых машин служат многоопорные шагающие машины циклового типа В.В. Чернышева [1].

Динамически устойчивые машины больше подходят для быстрого движения и требуют постоянного электропитания для поддержания машины в устойчивом положении.

Шагающая машина имеет множество датчиков, с которых необходимо собирать данные в многопоточном

режиме. Датчики преобразуют физическую величину в цифровую и имеют множество особенностей преобразования, которые снижают скорость опроса при подключении большого числа сенсоров к одному микроконтроллеру.

Цель исследования – оптимизация обмена данными бортового компьютера с большим числом датчиков, направленная на увеличение скорости их опроса.

Материал и методы. Применены методы моделирования, оптимизации программных алгоритмов, получены экспериментальные данные.

Шагающая машина и её основные элементы представлены на рисунке 1.

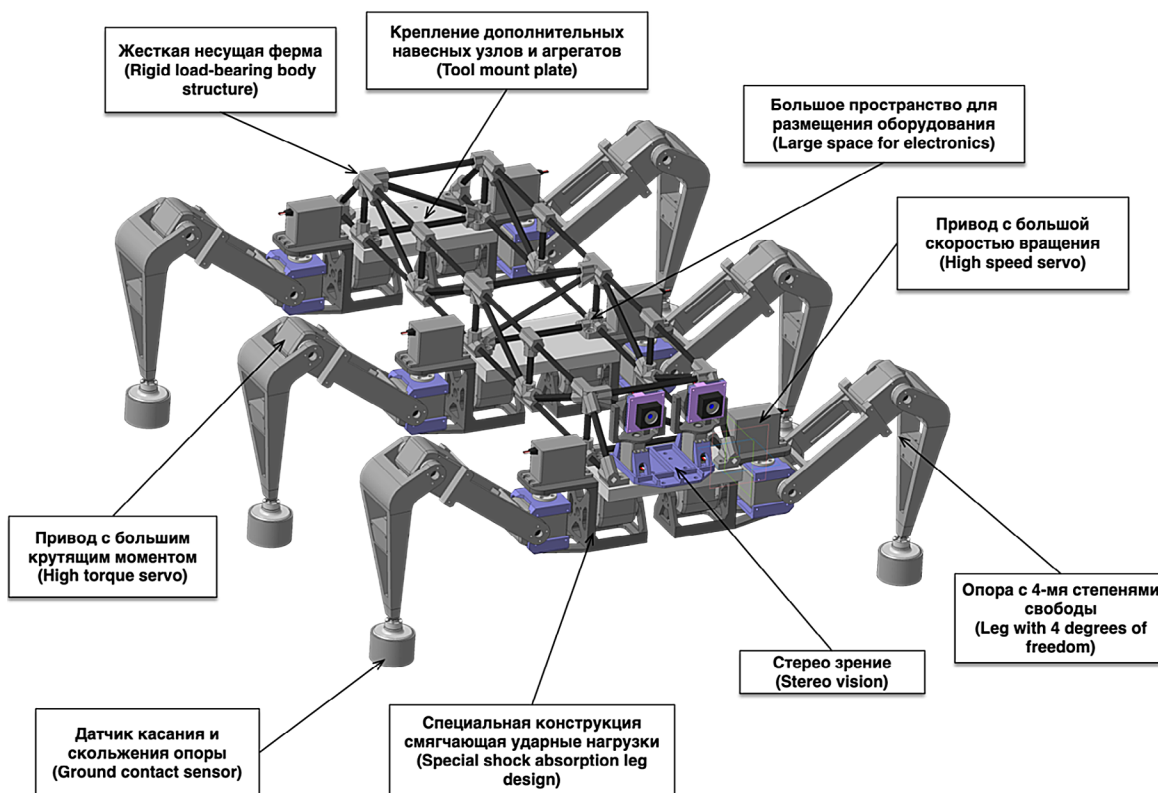


Рис. 1. Компонентная схема шагающей машины

Fig. 1. Walking machine design

Для моделирования движения шагающей машины изготовлен стенд, включающий в себя все электронные системы машины и одну статично закрепленную опору.

Стенд позволяет проводить моделирование движения опорой, проверять конструкционные решения и отлаживать программное обеспечение (рис. 2).

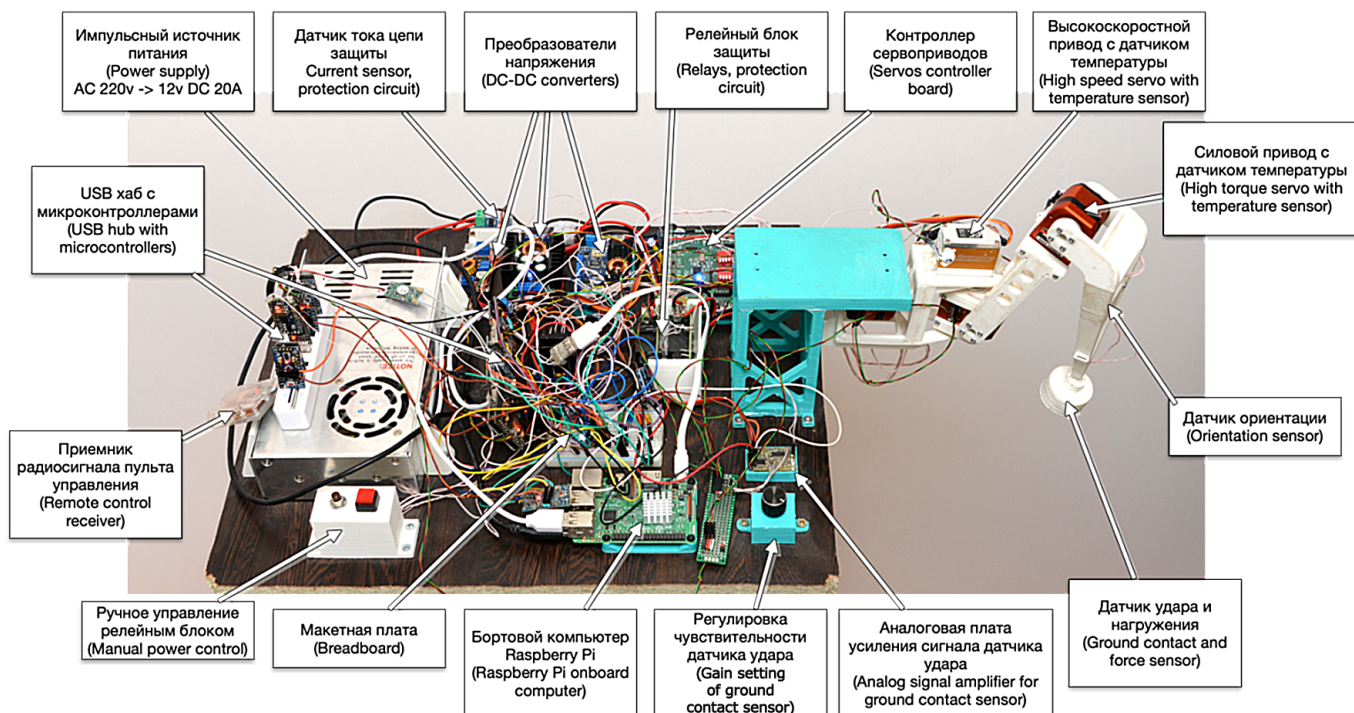


Рис. 2. Стенд шагающей машины

Fig. 2. Walking machine test bench

Шагающая машина, как любая другая сложная автоматическая система, имеет множество датчиков и исполнительных механизмов. В качестве бортового компьютера выбран мини-компьютер для встраиваемых систем – Raspberry Pi. Данный компьютер работает под управлением ОС Linux и имеет USB-порты, с помощью которых к нему подключаются микроконтроллеры. Компьютер имеет собственные физические порты ввода-вывода (I₂C, SPI, UART и пр.), но их количество недостаточно [2].

Результаты исследований. Опытная машина показана на рисунке 3.

В большинстве случаев сырые данные с датчиков требуют первичной обработки. К тому же некоторые сенсоры требуют задания параметров работы при включении. Каждый сенсор имеет собственный цифровой формат и набор команд, что лишает возможности программиста применить однообразный программный код. Для стандартизации вида данных, передаваемых датчиком в схему, добавлен посредник-контроллер, который общается с датчиком напрямую и производит первичную обработку сигналов [3, 4]. Поскольку такая система работает асинхронно, то в схеме предусмотрена синхронизация по времени. Каждый контроллер имеет счётчик импульсов синхронизирующего сигнала и вход сигнала сброса счётчика. Число импульсов, которое содержится в памяти счётчика, передаётся в пакете с данными на бортовой компьютер (рис. 4).

Для стандартизации обмена данными между компьютером и микроконтроллерами для всех микроконтроллеров шагающей машины принята общая структура

пакетов. В пакете по порядку идут старт-байты, затем 4-х байтовое значение счётчика синхронизации. Далее следуют данные с сенсоров, однобайтовая контрольная сумма и стоп-байты. Такая последовательность байтов позволяет разделять длинный массив данных на пакеты, получаемые из буфера чтения с применением многопоточной асинхронной обработки входящих данных.

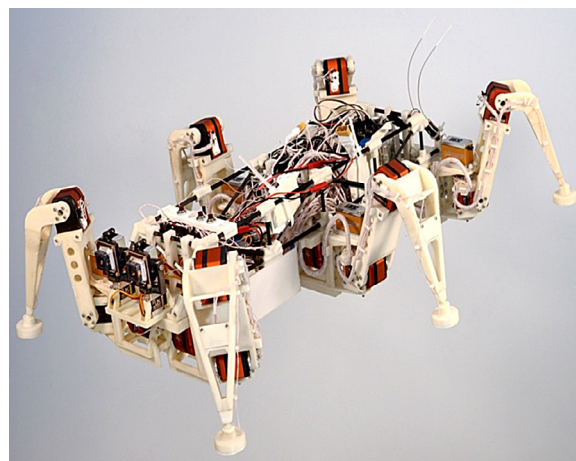


Рис. 3. Опытная шагающая машина

Fig. 3. Experimental walking machine

Работа контроллера с большим количеством аналоговых и логических сигналов легко интегрируется в бортовую систему. А эффективная работа с цифровыми

датчиками из-за особенностей передачи данных на физическом уровне может вызывать затруднения. Для шагающей машины во время движения важна минимальная задержка между измерениями сенсоров. При увеличении числа датчиков на одной шине обмена данными скорость

опроса датчиков может существенно снижаться. Последовательное чтение сенсоров может занимать большой промежуток времени из-за внутреннего устройства и способа измерения физической величины логической схемой сенсора.

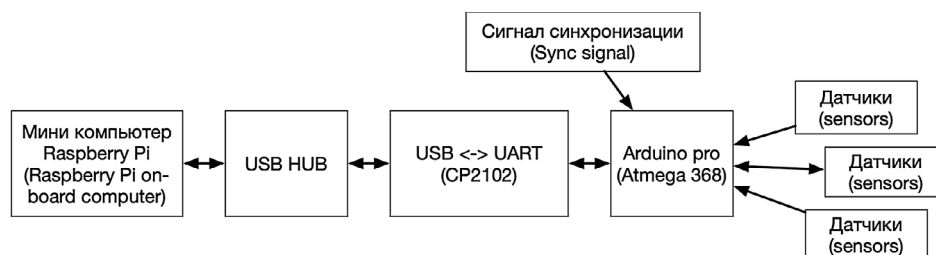


Рис. 4. Упрощённая схема подключения датчиков

Fig. 4. Simplified sensor connection diagram

Для температурного контроля приводов шагающей машины в системе защиты от перегрева был выбран цифровой датчик Dallas Semiconductor DS18B20 (рис. 5). Датчик способен измерять температуру в диапазоне от -55 до $+125^{\circ}\text{C}$ с точностью $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ и передавать данные на управляющую плату по одному проводу с разрешением преобразования 9-12 разрядов и имеет встроенную функцию тревожного сигнала при превышении заданной температуры. Каждый сенсор DS18B20 хранит в своей памяти уникальный заводской номер, что позволяет подключать множество сенсоров параллельно. То есть через один порт микроконтроллера можно обмениваться данными с несколькими датчиками, распределёнными на значительном расстоянии. Режим крайне удобен для использования в системах экологического контроля, мониторинга температуры в зданиях, узлах оборудования.

Датчик DS18B20 имеет временную задержку измерения, зависящую от точности измерения (табл.). Для чтения данных необходимо отправить на сенсор специальную команду, которая инициализирует одно преобразование температуры. После преобразования данные сохраняются

в 2-байтовом температурном регистре в оперативной памяти, и DS18B20 возвращается в неактивное состояние с низким энергопотреблением.

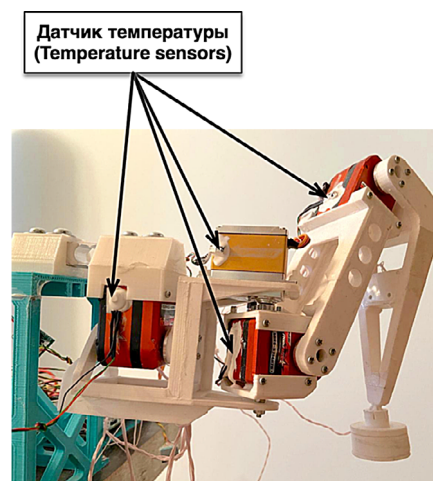


Рис. 5. Размещение датчиков температуры

Fig. 5. Arrangement of temperature sensors

Время измерения температуры датчиком DS18B20

Temperature measuring time with a DS18B20 sensor

Разрешение датчика, бит <i>Sensor resolution, bit</i>	Максимальное время преобразования, мс <i>Maximum conversion time, ms</i>
9	93,75
10	187,5
11	375
12	750

Шагающая машина имеет 25 температурных датчиков, следовательно, при последовательном опросе с учётом задержек на передачу данных требуется около 30 секунд. При чрезмерной нагрузке привод может разогреться достаточно быстро, и 30 секундный интервал опроса всех датчиков слишком велик. Сокращение интервала времени измерения датчиков – непростая задача. Одной из проблем является время преобразования датчиков,

которое индивидуально для каждого конкретного изделия и имеет разброс. Другой проблемой является ограниченная пропускная способность шины с одним проводом. Все датчики по общему проводу получают и отправляют данные по единственному общему проводнику. Для максимизации скорости опроса датчиков был создан кольцевой алгоритм. Датчики читаются последовательно 1, 2, 3 ... 25, 1, 2, 3... и т.д. Перед чтением измерения датчика

отправляется команда для конверсии в предыдущий датчик. Например, отправляем команду конверсии на 2-й датчик, читаем 3-й. При переходе от 25-го датчика к 1-му контролируем время цикла: добавляем или уменьшаем задержку и делаем общее время цикла близким к значению 750 мс, при этом проверяется ошибка конверсии. В случае ошибки время цикла увеличивается. Шаг увеличения и уменьшения временного интервала задержки подбирается опытным путём. Такой подход позволяет гарантированно опрашивать все подключенные датчики к контроллеру с максимальной скоростью (близкой к 750 мс). Результатом проделанной работы является повышение скорости опроса датчиков с 30 секунд до интервала менее одной секунды.

Для определения нагрузки, действующей на опору, применяется весовой датчик. Для преобразования аналогового сигнала с тензисторов (резисторов, преобразующих величину деформации материала в электрический сигнал) применяется схема усиления и преобразования в цифровой сигнал на базе микросхемы HX711 (рис. 5). Микросхема поддерживает две частоты измерения 10 и 80 Гц. Данные передаются при помощи двух проводников: проводу синхронизации и проводу данных.

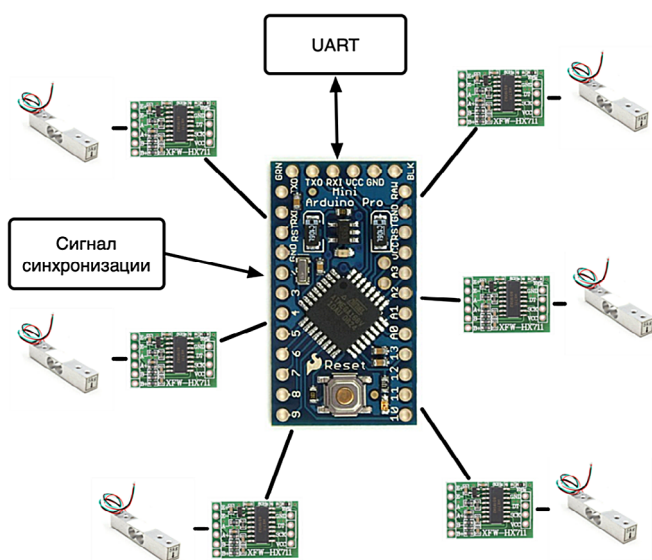


Рис. 5. Схема подключения весовых датчиков

Fig. 6. Wiring diagram of load cell sensors

Обмен данными осуществляется по принципу чтения внешнего регистра. Микросхема самостоятельно производит измерение и в момент готовности к передаче данных на контроллер устанавливает на проводе передачи данных логическую единицу. Затем контроллер, передавая импульсы синхронизации, считывает цифровое значение. Для работы по двум проводам в микросхемах присутствует интегральная схема, позволяющая быстро работать со сдвиговым регистром. Данная интегрированная схема

позволяет быстро переносить данные из одного регистра во внутреннюю память.

При использовании множества датчиков из-за внутренних ограничений микросхемы невозможно подключить 6 сдвиговых регистров по двухпроводной схеме, поэтому для чтения данных выбран медленный программный способ чтения с общим проводом синхронизирующих импульсов. Алгоритм формирует общий для всех синхроимпульс и считывает побитно значения на линиях данных. Поскольку синхронизирующий импульс формируется программно, то длина импульса может различаться. Экспериментально установлено, что для чтения логических значений при скорости измерений 80 Гц и 25-битном пакете скорости контроллера достаточно шести цифровых линий с побитовым преобразованием в цифровое значение. При последовательном чтении датчиков удалось обеспечить скорость опроса шести датчиков с частотой 12 Гц.

С ростом числа датчиков алгоритмы, описанные в документации к датчикам для обмена данными, существенно замедляют их опрос. Для повышения скорости опроса сенсоров необходимо применять быстрые алгоритмы, микроконтроллеры способные быстро работать с множеством линий ввода-вывода. Зачастую скорость разработки электронных схем и программного обеспечения крайне важна для завершения проекта в установленные сроки. Следует учитывать, что время на поиск, приобретение и изучение нового контроллера может превышать временные затраты на разработку с использованием простых доступных схем. Поэтому при проектировании сложных сенсорных систем необходимо соблюдать баланс между доступностью электронных компонентов, скоростью продвижения к результату, простотой разработки и возможностью быстрого внесения изменений в алгоритмы и сенсорную систему машины.

Выводы

1. Рост числа датчиков, подключённых к одному микроконтроллеру, замедляет их опрос при применении алгоритмов из документации к датчикам. Для этого необходимо применять микроконтроллеры, которые способны быстро работать с множеством линий ввода-вывода и внедрять методы оптимизации чтения показаний сенсоров на простых микросхемах.
2. В результате оптимизации обмена данными бортового компьютера с большим числом датчиков температуры, подключённых по общей шине, скорость опроса увеличилась в 30 раз (с 30 секунд до интервала менее одной секунды).
3. Предложенный параллельный метод подключения датчиков нагрузки позволил опрашивать шесть датчиков одновременно со скоростью 80 Гц, что соответствует технической документации. При последовательном чтении скорость опроса шести датчиков составила 12 Гц.

Библиографический список

1. Чернышев В.В. Методы расчёта и проектирования шагающих движителей циклового типа мобильных робототехнических систем. Волгоград, 2008. 357 с.

References

1. Chernyshev V.V. Metody rascheta i proektirovaniya shagayushchikh dvizhiteley tsiklovogo tipa mobil'nykh robotekhnicheskikh sistem [Calculation methods and the design

2. Алейников Ю.Г. Особенности проектирования программного обеспечения шагающих машин с динамической устойчивостью // В сб.: Чтения академика В.Н. Болтинского: сборник статей. 2020. С. 212-219.

3. Алейников Ю.Г., Митягина Я.Г. Моделирование параметров технологической роботизированной машины. М.: ООО «УМЦ «Триада», 2016.

4. Дидманидзе О.Н., Митягина Я.Г., Алейников Ю.Г. Особенности применения датчиков в автоматической системе движения шагающих машин // Международный технико-экономический журнал. 2012. № 5. С. 212-219.

of cyclic-type walking machine propulsors of mobile robotic systems], Volgograd, 2008: 357. (In Rus.)

2. Aleynikov Yu.G., Osobennosti proektirovaniya programmnogo obespecheniya shagayushchikh mashin s dinami-cheskoy ustoychivost'yu [Design features software for walking machines with dynamic stability], In: Chteniya akademika V.N. Boltinskogo, seminar proceedings. 2020: 212-219. (In Rus.)

3. Aleynikov Yu.G., Mityagina Ya.G. Modelirovaniye parametrov tekhnologicheskoy robotizirovannoy mashiny [Modeling parameters of a technological robotized machine]. Moscow: LLC «UMTs “Triada”», 2016. (In Rus.)

4. Didmanidze O.N., Mityagina Ya.G., Aleynikov Yu.G. Osobennosti primeneniya datchikov v avtomaticheskoy sisteme dvizheniya shagayushchikh mashin [Peculiarities of using walking machine sensors in an automatic motion system]. *Mezhdunarodniy tekhniko-ekonomicheskiy zhurnal*, 2012; 5: 212-219. (In Rus.)

Критерии авторства

Алейников Ю.Г. выполнил теоретические исследования, на основании полученных результатов провёл обобщение и написал рукопись. Алейников Ю.Г. имеет на статью авторские права и несёт ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 08.05.2020

Опубликована 31.08.2020

Contribution

Yu.G. Aleynikov performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. Yu.G. Aleynikov has equal author's rights and bears equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on May 8, 2020

Published 31.08.2020