

РЕГИСТРАТОР УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ГРУЗОВ

Д. А. КИБА, Н. Н. ЛЮБУШКИНА, А. С. ГУДИМ, А. А. БИТКИНА

*Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
681013, Комсомольск-на-Амуре, Россия,
E-mail: pe@knastu.ru*

Представлен регистратор условий хранения и транспортировки специализированных грузов, чувствительных к параметрам окружающей среды и механическим воздействиям. Специфика таких грузов обуславливает высокие требования к длительности непрерывного автономного функционирования регистратора, морозостойкости, готовности к немедленной фиксации факта падения или удара. Предложена концепция построения регистратора, отвечающего этим требованиям. Обоснован выбор морозостойких источников тока на основе литий-тионилхлорида, имеющих продолжительный срок хранения, низкий уровень саморазряда и высокую плотность энергии. Определен набор датчиков для измерения параметров внешней среды и механических воздействий, приведены рекомендации по подключению датчиков для достижения минимального энергопотребления. Предложено решение проблемы недостаточного нижнего предела рабочей температуры цифрового термодатчика путем комбинирования его с аналоговым датчиком. Обосновано использование отечественных микроконтроллеров производства компании „Миландр“, отвечающих требованию морозостойкости. Рассмотрены вопросы устройства хранения памяти и интерфейса связи с персональным компьютером по истечении длительного периода работы регистратора. Приведены рекомендации по снижению энергопотребления программными методами, с использованием возможностей цифровых датчиков переходить в спящий режим и обратно.

Ключевые слова: *регистратор параметров, датчик ускорения, датчик температуры, морозостойкие источники тока, низкое энергопотребление*

Введение. Условия хранения и транспортировки современных высокотехнологичных изделий должны соответствовать весьма жестким требованиям. В ряде областей (самолето- и вертолетостроение, ракетно-космическая техника и т.д.) до момента применения изделий предполагаются длительные сроки их хранения, достигающие нескольких десятков лет. Как правило, это подвесное оборудование и иные специализированные авиационные грузы. Практический опыт показывает, что требования по условиям хранения и транспортировки выполняются не всегда. В результате применения изделий, которые хранились или перевозились с нарушениями, вероятность возникновения отказов или некорректного функционирования увеличивается с ростом величин отклонений параметров окружающей среды или физических воздействий от их допустимых значений. Негативно влияет и продолжительность воздействия климатических условий, не соответствующих предписываемым требованиям. Конечный пользователь в большинстве случаев не имеет достоверной информации о реальных условиях хранения и транспортировки грузов. Наличие такой информации позволит отказаться от использования изделий, подвергшихся воздействиям, уровень которых превышает предусмотренные разработчиками нормы, и тем самым предотвратить срыв задач, возлагаемых на эти изделия. Данные о том, когда именно были превышены допустимые уровни воздействий на груз, позволят в случае рекламаций сократить время расследования и однозначно определить сторону, ответственную за несоблюдение требований.

Задачи регистрации условий хранения и перевозки для большинства грузов, чувствительных к параметрам окружающей среды, решены. Специальные устройства — логгеры позволяют измерять температуру, влажность, ускорения и сохранять измеренные значения параметров в энергонезависимой флэш-памяти. Эта задача не решена для специализированных грузов со сроком хранения 10 лет и более, а также для климатических условий, характерных для крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока. Потребность в создании таких логгеров объективно существует.

Использованию представленных на рынке логгеров для регистрации параметров хранения и транспортировки специализированных грузов препятствует ряд факторов. Во-первых, подавляющее большинство этих устройств производится за рубежом и их использование в ряде областей ограничено действующим законодательством. Во-вторых, все доступные на российском рынке логгеры рассчитаны на работу в течение недостаточно длительного периода — от нескольких месяцев до одного-двух лет. В-третьих, нижнее значение диапазона температур, регистрируемых существующими логгерами, как правило, ограничено возможностями полупроводниковых датчиков и составляет $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, что не соответствует реальным погодным условиям в ряде климатических зон России.

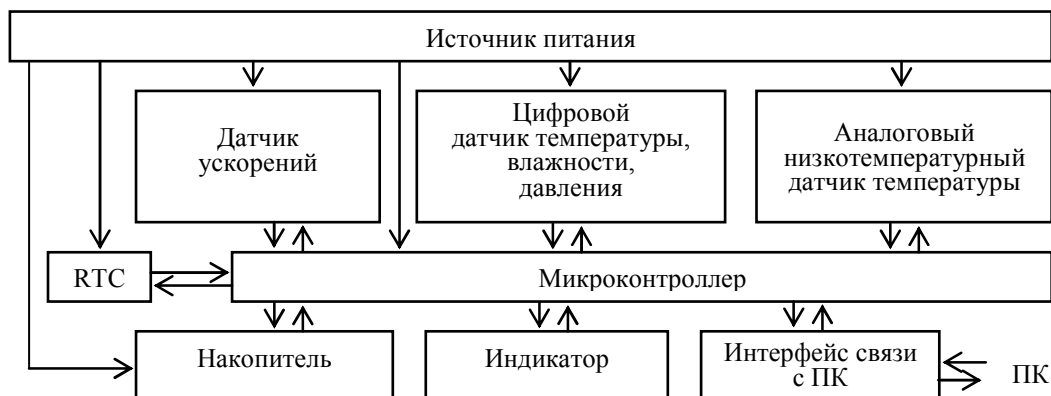
Цель настоящей статьи — описание концепции построения регистратора условий хранения и транспортировки специализированных грузов, который позволит обеспечивать долговременное протоколирование условий хранения и транспортировки высокотехнологичных дорогостоящих специализированных грузов в холодном климате. Задачи, вытекающие из указанной цели, обусловлены спецификой условий эксплуатации регистратора и включают в себя разработку его структуры и решение проблем обеспечения долговременного автономного электроснабжения и экономного расходования электроэнергии, морозостойкости, подбора элементной базы.

Требования к регистратору. На основе анализа пожеланий эксплуатирующих организаций были выработаны требования к регистратору как устройству, которое будет устанавливаться в тару с сопровождаемым специализированным грузом и осуществлять мониторинг параметров хранения и транспортировки, а при превышении ими заранее определенных допустимых границ — сохранять их в энергонезависимой памяти. Контролируемые параметры: температура окружающей среды, влажность воздуха, атмосферное давление, ускорение по трем осям, время.

Регистратор должен быть автономным и сохранять свою функциональность в течение не менее чем 15 лет. Замена источника питания на протяжении всего срока работы регистратора не должна производиться.

Регистратор должен быть неотключаемым: включение его в режим регистрации параметров осуществляется однократно при его упаковке в тару с сопровождаемым грузом. До включения регистратор с установленным источником питания пребывает в режиме низкого энергопотребления и ожидания перевода в режим настройки. В режиме настройки в память регистратора вводятся граничные значения контролируемых параметров для конкретного типа груза, текущая дата, время, служебная информация, например серийный номер изделия и иные данные.

Регистратор должен записывать информацию на несъемный твердотельный накопитель. Объем памяти твердотельного накопителя и способ представления данных должны обеспечивать возможность сохранения всей информации, которая представляет интерес для дальнейшей отбраковки специализированных грузов. Регистратор должен иметь индикатор, показывающий по запросу (нажатие кнопки) сообщение о том, были ли превышены допустимые климатические или механические воздействия на груз. Структурная схема регистратора показана на рисунке.



Энергоснабжение регистратора. Для работы регистратора требуется обеспечить его энергией на протяжении длительного периода службы, измеряемого годами. Замена или подзарядка батареи и даже контроль ее состояния в процессе длительного срока хранения специализированных грузов невозможны. Источник энергии должен, во-первых, иметь емкость, достаточную для бесперебойной работы устройства на всем протяжении его службы, во-вторых, быть морозостойким.

В таре специализированных грузов достаточно свободного места для размещения регистратора с батареями, занимающими значительный объем. Начальная высокая емкость батарей компенсирует саморазряд за период службы. Вопрос морозостойкости батарей невозможно решить увеличением их емкости. В настоящее время разработаны и выпускаются морозостойкие одноразовые элементы питания (например, на основе литий-тионилхлорида, LiSOCl_2 , работающие при температуре от $-60\text{ }^\circ\text{C}$) и морозостойкие аккумуляторы (литий-полимерные, LiPol с дополнительной маркировкой LC, сохраняющие не менее 75 % емкости при температуре от $-40\text{ }^\circ\text{C}$, и литий-железо-фосфатные, LiFePO_4 , — минимальная температура, при которой сохраняется до 75 % емкости, $-30\text{ }^\circ\text{C}$, они могут быть применены при менее жестких климатических требованиях) [1—4].

Наиболее перспективными источниками тока для регистратора условий хранения и транспортировки специализированных грузов в настоящее время представляются литий-тионилхлоридные элементы (номинальное напряжение 3,6 В, срок хранения — от 10 до 15 лет, максимальный — до 20 лет, саморазряд 1 %/год, плотность энергии от 800 до 1400 Вт·ч/л) [5].

Элементная база регистратора. Следующая задача — обеспечение заявленных характеристик при ограниченных температурных диапазонах современных цифровых полупроводниковых датчиков температуры. К несомненным достоинствам таких датчиков относится крайне низкое энергопотребление, что позволяет использовать их в длительно функционирующих устройствах с батарейным питанием [6]. При работе регистратора возможны периоды, когда температура окружающей среды будет существенно ниже предельной для этого датчика. Например, цифровой датчик температуры, атмосферного давления и относительной влажности воздуха, bmp280 (Bosch Sensortec), рассчитан на работу при температуре от $-40\text{ }^\circ\text{C}$ [7]. Платиновые термометры сопротивления производства компании IST (Inovative Sensor Technology) позволяют работать при температуре от $-200\text{ }^\circ\text{C}$ [8]. Перспективны и низкотемпературные датчики на основе кремниевого p—n-перехода — WAD306, которые обладают достаточной линейностью термохимической характеристики в диапазоне от -80 до $+100\text{ }^\circ\text{C}$ [9].

Датчик WAD306 является аналоговым, его нецелесообразно включать напрямую к источнику питания, поскольку он будет потреблять энергию на протяжении всего периода работы регистратора и даже в те моменты, когда измерение температуры производится другим датчиком или же не осуществляется совсем (в спящем режиме). Авторами настоящей статьи предложено комбинирование в схеме регистратора двух термодатчиков: цифрового bmp280 и аналогового низкотемпературного WAD306, который подключается на ограниченное время

при падении показаний цифрового датчика температуры ниже $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для этого делитель напряжения, в одном из плеч которого установлен датчик WAD306, целесообразно запитывать не от батареи, а от одного из выходов микроконтроллера, нагрузочная способность которого обеспечивает рекомендуемый ток возбуждения $100\text{ }\mu\text{A}$.

Необходимость регистрации ускорений вызвана возможностью падения грузов при погрузочных работах или при нарушении режимов транспортировки [10, 11]. На выбор датчика ускорения влияют следующие требования: высокий предел измерения ускорения (не ниже 12 g), малое энергопотребление в режиме сна (не выше $1\text{ }\mu\text{A}$), обнаружение свободного падения и пробуждение датчика с последующей активизацией логического выхода. К датчику ускорения не предъявляется требование высокой точности, поскольку он используется для регистрации только грубых воздействий.

Исходя из вышеизложенного, в регистраторе применен трехосевой цифровой датчик ускорения LIS3DHTR производства компании „STMicroelectronics“, который может быть заменен на другой MEMS акселерометр с параметрами, близкими по характеристикам [12, 13].

Датчик LIS3DHTR позволяет понижать энергопотребление до рекордно низких значений ($0,5\text{ }\mu\text{A}$ в режиме „OFF“), при этом сохраняет возможность пробуждения при падении. При обнаружении нулевого ускорения по всем трем осям датчик активирует логический выход, подключенный ко входу внешнего прерывания микроконтроллера. Благодаря этому в состоянии падения микроконтроллер пробуждается, устанавливает максимальную частоту опроса акселерометра и до момента удара начинает активную регистрацию данных.

Недостатком датчика LIS3DHTR является низкая морозостойкость. Производителем заявлена работоспособность при температуре не ниже $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, следовательно, для него должна быть предусмотрена эффективная теплоизоляция и микромощный подогрев. Команда на включение подогрева формируется микроконтроллером на основании показаний сенсора температуры, входящего в состав датчика LIS3DHTR.

Главным узлом регистратора является контроллер. Требованиям по составу периферийных устройств, объему памяти и быстродействию отвечает широкая номенклатура микроконтроллеров, производимых различными компаниями. Большинство импортных микроконтроллеров, доступных на российском рынке, выполнены в промышленном варианте и их работоспособность при температуре ниже $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ не гарантируется. Для обеспечения надежной работы регистратора при низких температурах авторами рекомендованы отечественные микроконтроллеры компании „Миландр“, рассчитанные на работу при температуре от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ [14]. Практически все микроконтроллеры этой компании оснащены интерфейсами I2C и SPI, по которым работают цифровые датчики регистратора. При условии обеспечения достаточной стабильности тактовой частоты отсчет времени может вестись средствами микроконтроллера. Для снижения потребления энергии микроконтроллером более выгодно использование специализированных часов реального времени (RTC) с ультранизким энергопотреблением [15].

Пользовательский интерфейс и хранение данных. Данные об условиях хранения и транспортировки, полученные датчиками физических параметров, должны быть сгруппированы, сжаты для последующего хранения и записаны на накопитель. Объем памяти накопителя должен обеспечивать сохранение всех интересующих данных.

Современные накопители на SD-картах вмещают объемы данных, достаточные для сохранения набора значений всех контролируемых параметров с периодичностью в доли секунд на протяжении назначенного срока службы регистратора. Для минимизации энергопотребления запись данных об окружающей среде ведется с интервалами в десятки минут, что дополнительно повышает экономичность расходования памяти накопителя.

Внешнее управление работой регистратора на протяжении периода измерений и сохранения данных не требуется. Однако при открытии тары со специализированным грузом необходимо взаимодействие регистратора с пользователем. Эта задача решается за счет применения

примитивного кнопочного пульта управления, который не потребляет электроэнергию в режиме ожидания, что положительно сказывается на общем КПД регистратора.

Для информирования лица, распаковывающего груз, о сохранности или несохранности этого груза используется индикатор, который поочередно, „по кольцу“, отображает дополнительную информацию: тип груза, его заводской номер и фактический срок хранения. В случае нарушения условий хранения или транспортировки на индикатор выводятся максимальные значения физических параметров, превышающие допустимые пределы, а также продолжительность действия этих величин.

Считывание протокола и запись в накопитель конфигурационной информации производятся при подключении регистратора к персональному компьютеру через интерфейс связи. Анализ тенденций развития вычислительной техники и интерфейсов связи показывает, что USB-интерфейс будет оставаться распространенным в обозримом будущем [16, 17].

Программное обеспечение регистратора должно гарантировать максимальную экономию электроэнергии, поэтому в микроконтроллере должна быть деактивирована вся неиспользуемая периферия. Сам микроконтроллер должен пребывать в режиме низкого энергопотребления (в режиме сна), пробуждаясь лишь по сигналам прерываний от акселерометра или по прерываниям встроенного таймера для выполнения климатических измерений. С учетом инерционности тепловых процессов эти измерения могут выполняться с интервалами в десятки минут.

Заключение. Регистратор, выполненный с учетом предложенных рекомендаций по его структуре, электроснабжению компонентов, обеспечению морозостойкости и подбору элементов, позволит обеспечить долговременное протоколирование фактических условий хранения и транспортировки высокотехнологичных дорогостоящих специализированных грузов, чувствительных к параметрам окружающей среды и механическим воздействиям, с последующим извещением получателя о соблюдении или нарушении требований разработчика и изготовителя этих грузов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Zheng Fenghua, Zhong Wentao, Deng Qiang.* Three-dimensional (3D) flower-like MoSe₂/N-doped carbon composite as a long-life and high-rate anode material for sodium-ion batteries // *Chemical Engineering Journal.* 2019. Vol. 357. P. 226—236.
2. *Li Fu, Luo Guoen, Yu Jingfang.* Terminal hollowed Fe₂O₃@SnO₂ heterojunction nanorods anode materials with enhanced performance for lithium-ion battery // *J. of Alloys and Compounds.* 2019. Vol. 773. P. 778—787.
3. *Hu Guorong, Xie Xiaoming, Cao Yanbing.* Ultrasonic-assisted synthesis of LiFePO₄/C composite for lithium-ion batteries using iron powder as the reactant // *J. of Alloys and Compounds.* 2019. Vol. 773. P. 1165—1171.
4. *Dubaniewicz T. H. Jr., DuCarme J. P.* Internal short circuit and accelerated rate calorimetry tests of lithium-ion cells: Considerations for methane-air intrinsic safety and explosion proof/flameproof protection methods // *J. of Loss Prevention in the Process Industries.* 2016. Vol. 43. P. 575—584.
5. *Майская В.* Батареи для беспроводных систем. Какие выбирать? // *Электроника: наука, технология, бизнес.* 2009. № 6. С. 66—69.
6. *Agrawal P., Chitranshi G.* Internet of things for monitoring the environmental parameters // *Proc. of the Intern. Conf. on Information Technology (InCITE): The Next Generation IT Summit on the Theme — Internet of Things — Connect Your Worlds, New York.* 2016.
7. BMP280. Digital Pressure Sensor: Datasheet. May 5th, 2015. Document Number BST-BMP280-DS001-11 rev. 1.14.
8. PW Series. Platinum Sensor with Wires Aor Extended Operating Temperature Range in Class A: Datasheet. Innovative Sensor Technology. DTPPW_E2.2.4.
9. *Пушкарев М.* Популярныe контактные технологии термометрии // *Компоненты и технологии.* 2006. № 1. С. 140—146.

10. Alexandru C., Ioana M., Vlad C., George C. Crash detection using IMU sensor // Proc. of the 21st Intern. Conf. on Control Systems and Computer Science (CSCS), Univ Politehnica, Bucharest, Romania. 2017. P. 672—676.
11. Amin, Md & Reaz, Mamun Bin Ibne & Sheikh Nasir, Salwa & Bhuiyan, Mohammad. Low cost GPS/IMU integrated accident detection and location system // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9(10).
12. Moschevikin A. P., Sikora A., Lunkov P. V., Fedorov A. A., Maslennikov E. I. Hardware and software architecture of multi mems sensor inertial module // Proc. of the 24th Saint Petersburg Intern. Conf. on Integrated Navigation Systems (ICINS). St. Petersburg, 2017.
13. MEMS Digital Output Motion Sensor: Ultra-Low-Power High-Performance 3-axis "Nano" Accelerometer: Datasheet. Dec., 2016. DocID17530 Rev 2.
14. „Миландр“. Микроконтроллеры и процессоры. 8-разрядные микроконтроллеры [Электронный ресурс]: <https://ic.milandr.ru/products/mikrokontrollery_i_protseessory/8_razryadnye_mikrokontrollery/>, 05.12.2018.
15. Asano H., Hirose T., Ozaki T., Kuroki N., Numa M. An area-efficient resistor-less on-chip frequency reference for ultra-low power real-time clock application // IEEJ Transact. on Electrical and Electronic Engineering. 2018. Vol. 13, iss. 11. P. 1633—1641.
16. The Past, Present and Future of USB. Silicon Labs [Электронный ресурс]: <<https://www.silabs.com/documents/public/white-papers/The-Past-Present-and-Future-of-USB.pdf>>, 05.12.2018.
17. The One Port Revolution: A Complete History of USB, and What's in Store for the Future [Электронный ресурс]: <<https://www.autodesk.com/products/eagle/blog/usb-one-port-revolution/>>, 05.12.2018.

Сведения об авторах

- Дмитрий Анатольевич Киба** — канд. техн. наук; Комсомольский-на-Амуре государственный университет, кафедра промышленной электроники; заведующий кафедрой; E-mail: dakiba@gmail.com
- Надежда Николаевна Любушкина** — канд. техн. наук, доцент; Комсомольский-на-Амуре государственный университет, кафедра промышленной электроники; E-mail: etf@knastu.ru
- Александр Сергеевич Гудим** — канд. техн. наук, доцент; Комсомольский-на-Амуре государственный университет, электротехнический факультет; декан факультета; E-mail: etf@knastu.ru
- Анастасия Александровна Биткина** — Комсомольский-на-Амуре государственный университет, кафедра промышленной электроники; ассистент; E-mail: pe@knastu.ru

Поступила в редакцию
22.05.19 г.

Ссылка для цитирования: Киба Д. А., Любушкина Н. Н., Гудим А. С., Биткина А. А. Регистратор условий хранения и транспортировки специализированных грузов // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 7. С. 668—674.

**RECORDER OF CONDITIONS OF STORAGE AND TRANSPORTATION
OF SPECIALIZED CARGOES**

D. A. Kiba, N. N. Lyubushkina, A. S. Gudim, A. A. Bitkina

*Komsomolsk-on-Amur State University,
681013, Komsomolsk-on-Amur, Russia
E-mail: pe@knastu.ru*

Storage and transportation of specialized goods that are sensitive to environmental parameters and mechanical stress are considered. A recorder of parameters characterizing storage and transportation conditions is described. Specifics of the cargoes under consideration determines rigid requirements imposed on duration of continuous autonomous operation of the recorder, frost resistance, readiness for immediate fixation of the fact of a fall or impact. A concept of design of a recorder that meets these requirements is proposed. The choice of cold-resistant current sources based on lithium-thionyl chloride with a long shelf life, low level of self-discharge and high energy density is substantiated. A set of sensors to measure environmental parameters and mechanical effects is determined, and recommendations on their connections to provide minimum energy consumption are formulated. A solution to the problem of insufficient

lower limit of the operating temperature of the digital thermal sensor is proposed; the solution provides combination of the digital thermal sensor with an analog one. Application of domestic microcontrollers manufactured by Milandr company is justified by meeting the frost resistance requirement. The issues of memory storage and communication interface with a personal computer after a long period of operation of the recorder are considered. The recommendations for reducing energy consumption by software methods are given, using the capabilities of digital sensors to go into sleep mode and back.

Keywords: recorder of parameters, acceleration sensor, temperature sensor, frost-resistant current sources, low power consumption

REFERENCES

1. Zheng Fenghua, Zhong Wentao, Deng Qiang. *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 357, pp. 226–236.
2. Li Fu, Luo Guoen, Yu Jingfang, *Journal of Alloys and Compounds*, 2019, vol. 773, pp. 778–787.
3. Hu Guorong, Xie Xiaoming, Cao Yanbing, *Journal of Alloys and Compounds*, 2019, vol. 773, pp. 1165–1171.
4. Dubaniewicz Th.H.Jr., DuCarme J.P. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2016, vol. 43, pp. 575–584.
5. Mayskaya V. *Electronics: Science, Technology, Business*, 2009, no. 6, pp.66–69. (in Russ.)
6. Agrawal P., Chitranshi G. *International Conference on Information Technology (InCITe) – The Next Generation IT Summit on the Theme – Internet of Things – Connect Your Worlds*, NY, IEEE, 2016.
7. *BMP280. Digital Pressure Sensor. Datasheet*, May 5th, 2015. Document number BST-BMP280-DS001-11 rev. 1.14.
8. *PW Series. Platinum sensor with wires aor extended operating temperature range in class A. Datasheet*, Innovative Sensor Technology. DTPPW_E2.2.4.
9. Pushkarev M. *Components & Technologies*, 2006, no. 1, pp.140–146.
10. Cismas A., Matei I., Ciobanu V., Casu G. *21st International Conference on Control Systems And Computer Science (CSCS)*, Bucharest, Univ Politehnica, 2017, pp. 672–676.
11. Amin, Md & Reaz, Mamun Bin Ibne & Sheikh Nasir, Salwa & Bhuiyan, Mohammad. *Indian Journal of Science and Technology*, 2016, no. 9(10).
12. Moschevikin A.P., Sikora A., Lunkov P.V., Fedorov A.A., Maslennikov E.I. *24th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS)*, St. Petersburg, 2017.
13. *MEMS digital output motion sensor: ultra-low-power high-performance 3-axis "nano" accelerometer. Datasheet*. December 2016. DocID17530 Rev 2.
14. https://ic.milandr.ru/products/mikrokontrollery_i_protssory/8_razryadnye_mikrokontrollery.
15. Asano H., Hirose T., Ozaki T., Kuroki N., Numa M. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 2018, no. 11(13), pp. 1633–1641.
16. *The Past, Present and Future of USB. Silicon Labs*, <https://www.silabs.com/documents/public/white-papers/The-Past-Present-and-Future-of-USB.pdf>.
17. *The One Port Revolution: A Complete History of USB, And What's in Store for the Future*, <https://www.autodesk.com/products/eagle/blog/usb-one-port-revolution/>.

Data on authors

- Dmitry A. Kiba** — PhD; Komsomolsk-on-Amur State University, Department of Industrial Electronics; Head of the Department; E-mail: dakiba@gmail.com
- Nadezhda N. Lyubushkina** — PhD, Associate Professor; Komsomolsk-on-Amur State University, Department of Industrial Electronics; E-mail: etf@knastu.ru
- Alexander S. Gudim** — PhD, Associate Professor; Komsomolsk-on-Amur State University, Faculty of Electrical Engineering; Dean of the Faculty; E-mail: etf@knastu.ru
- Anastasia A. Bitkina** — Komsomolsk-on-Amur State University, Department of Industrial Electronics; Assistant; E-mail: pe@knastu.ru

For citation: Kiba D. A., Lyubushkina N. N., Gudim A. S., Bitkina A. A. Recorder of conditions of storage and transportation of specialized cargoes. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 7. P. 668–674 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-7-668-674