

УДК 621.317.7

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В СИСТЕМАХ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

Бородин Д.М., Созонов С.В., Конев В.В., Половников Е.В.
ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»,
Тюмень, e-mail: konev@tsoгу.ru

При разработке средств тепловой подготовки агрегатов, узлов и систем машин, эксплуатируемых при низких отрицательных температурах, следует уделить большое внимание мониторингу их теплового состояния. Для этого проведен анализ датчиков для измерения температур. На данный момент существует большое количество способов измерения температур. Все они подразделяются по принципу действия. Существует большое количество датчиков для измерения температуры, основанных на данных принципах. Однако при построении автоматизации средств тепловой подготовки машины особую роль играют эксплуатационные качества датчиков различной конструкции при использовании их в узлах автоматизации для определения температуры узлов, агрегатов и систем машин. От качества работы датчиков зависит эффективность работы системы автоматизации. По результатам проведенного анализа датчиков измерения их принципа действия, достоинств и недостатков представлена их классификация. На этой основе определено, что в исследованиях целесообразно использовать полупроводниковые датчики на основе стабилитрона с нормированным температурным коэффициентом (ТКУ). Предложено использовать датчик типа LM135, LM235, LM335. Датчик можно сразу подключить на вход аналого-цифрового преобразователя. Сигнал с датчика легко оцифровывается без дополнительных таблиц в памяти микроконтроллера и сложных вычислений, требующих много процессорного времени. Это позволило разработать программно-аппаратный измерительный комплекс для температурного мониторинга систем строительно-дорожных машин.

Ключевые слова: измерение температуры, полупроводниковый датчик, терморезистор, термопара, микроконтроллер, аналогово-цифровой преобразователь

EQUIPMENT FOR MEASURING TEMPERATURE IN THE SYSTEM CONSTRUCTION MACHINERY

Borodin D.M., Sozonov S.V., Konev V.V., Polovnikov E.V.
Federal State Educational Institution of Higher Education Tyumen State Oil and Gas University,
Tyumen, e-mail: konev@tsoгу.ru

In developing the resources of thermal preparation of units, assemblies and systems, machines operated at low temperatures below zero, should pay more attention to the monitoring of the thermal state. For this analysis conducted sensors for measuring temperature. At the moment, there are many ways to measure the temperature. All of them are divided according to the principle of action. There are a large number of sensors to measure temperature, based on these principles. However, in the construction of means of automation of thermal preparation of cars special role played by the performance of the different designs of sensors when used in automation nodes to determine the temperature of components, assemblies and systems of machines. From the quality of the sensors depends on the efficiency of the automation system. According to the results of the analysis of the measurement sensor operating principle, advantages and disadvantages of their classification. On this basis, it is determined that it is advisable to use in studies based on semiconductor detectors with zener normalized temperature coefficient (TKU). It is proposed to use a LM135 type sensor, LM235, LM335. The sensor can be directly connected to the input of analog-to-digital converter. The signal from the sensor is digitized easily without additional tables in the memory of the microcontroller and complex calculations that require a lot of CPU time. It is possible to develop hardware and software for measuring complex temperature monitoring road construction machinery systems.

Keywords: temperature measurement, a semiconductor sensor, a thermistor, a thermocouple, a microcontroller, an analog-digital converter

Строительно-дорожные машины (СДМ) эксплуатируются в различных природно-климатических условиях [5, 10]. Процесс выполнения ими работ осуществляется как на легких, так и на весьма тяжелых режимах. Это приводит к тому, что во всех системах СДМ (охлаждения, газораспределения, торможения, гидропривода и т.д.) изменяется тепловое состояние и, как следствие, приводит к изменению эффективности работы СДМ [6, 7, 11].

Для исследования тепловых процессов в системах, с целью совершенствования СДМ, используются различные дат-

чики. В результате проведенного анализа датчиков и аппаратных комплексов они разделены по принципу действия на основе: свойства жидких и газообразных сред; температурного коэффициента расширения металлов; измерения сопротивления; термоэлектрического эффекта; измерения температуры на p-n переходе полупроводника; изменения частоты колебаний кристалла кварца в зависимости от температуры; регистрации инфракрасного излучения, нагретых тел [1, 2, 3]. В таблице представлена классификация датчиков измерения температуры.

Классификация датчиков измерения температуры

Тип датчика	Принцип действия	Закон (математический, физический)
Жидкостные и газовые термометры	Свойства среды (расширяться и сжиматься)	Закон Бойля – Мариотта, закон Авогадро, закон Шарля
Термобиметаллы	Изменяемый температурный коэффициент линейного расширения соединенных металлов	Величина дискретная (включен/выключен)
Термо-резистивные	Изменение сопротивления электрического тока в зависимости от температуры. Режим работы зависит от выбранной рабочей точки на вольт-амперной характеристике	Для NTC-терморезисторов экспоненциальное уравнение третьего порядка Стейнхарта – Харта, упрощенная
Термопары	Термоэлектрический эффект	Принцип Зеебека
Полупроводниковые	Влияние температуры на «р-п» переход полупроводника	Зависит от используемого полупроводника

В системах автоматики широкое применение получили биметаллические, газовые и жидкостные датчики, т.к. обеспечивают два положения – замкнуть/разомкнуть контакты при определенной температуре, а также для визуального контроля температуры по шкале. Ограничение использования объясняется низкой точностью измерений температуры и перевода показания датчиков в электрический сигнал. Также данные приборы обладают большой инерционностью [4].

При проведении исследований необходимо многократное измерение опытов (это определяет надежность измерений) [9], а также возможность работать с результатами данных (фиксация, запоминание, переработка, передача), полученных с датчиков в условиях электронных автоматизированных средств обработки показаний с датчиков. Для того чтобы преобразовать электрические величины, поступающие с датчиков, в температуру, используются аналогово-цифровые преобразователи (АЦП) [8]. Возможность обработки большого количества информации за доли секунды обеспечивается использованием микроконтроллеров. Интерфейсы передачи данных (RS-232, SPI, I2C и др.), а также контроллеры, содержащие компараторы и АЦП, преобразуют аналоговые электрические величины в цифровую информацию. Это позволяет измерять быстроменяющиеся процессы с высоким качеством измерений. При этом исследования проводятся с меньшими затратами труда и времени [3].

Основными преимуществами термо-резистивных датчиков или термисторов является высокая чувствительность, стабильность характеристик во времени. Они основаны на принципе изменения электрического сопротивления полупроводника или проводника при изменении температуры [2, 3]. По типу используемых материалов подразделяются:

– полупроводниковые (кремниевые). Достоинство – линейная зависимость и стабильность во времени;

– резистивные детекторы температуры. Достоинство – измерение высоких температур (более 600–700 °С). Недостаток – нелинейность характеристик датчиков и высокая стоимость (металлы платиновой группы, вольфрам);

– термисторы. Недостаток – необходимость их калибровки, большая нелинейность, а также старение материалов датчиков (из металл-оксидных соединений).

По типу зависимости сопротивления от температуры, различают NTC-термисторы (с ростом температуры сопротивление падает); PTC-термисторы (с ростом температуры сопротивление растет). Схемы включения термистора представлены на рис. 1. Наиболее простым вариантом подключения термистора к АЦП является схема 1 (рис. 1). При подборе резистора (R_a), примерно равным значению сопротивления термистора, в районе измеряемых температур, значения напряжения на входе АЦП будут изменяться по линейному закону. Это обеспечивает точность при подборе табличных значений, записанных в память микроконтроллера. При подборе номинала резистора (R_a) и термистора учитывается, протекающий через термистор ток, который вызывает нагрев термистора. Это вносит искажение показаний. При этом мощность, рассеиваемая на термисторе, не должна превышать 1–2 мВт. То есть, при напряжении U_0 d 5В (R_a) должен быть, как минимум 10 кОм. В схеме 2 (рис. 1) присутствует дополнительный резистор (R_b), он предназначен для уменьшения рассеиваемой на термисторе мощности. Схемы 3 и 4 (рис. 1) являются обратными к схемам 1 и 2 (рис. 1). Эти схемы оправданы для измерения низких отрицательных температур.

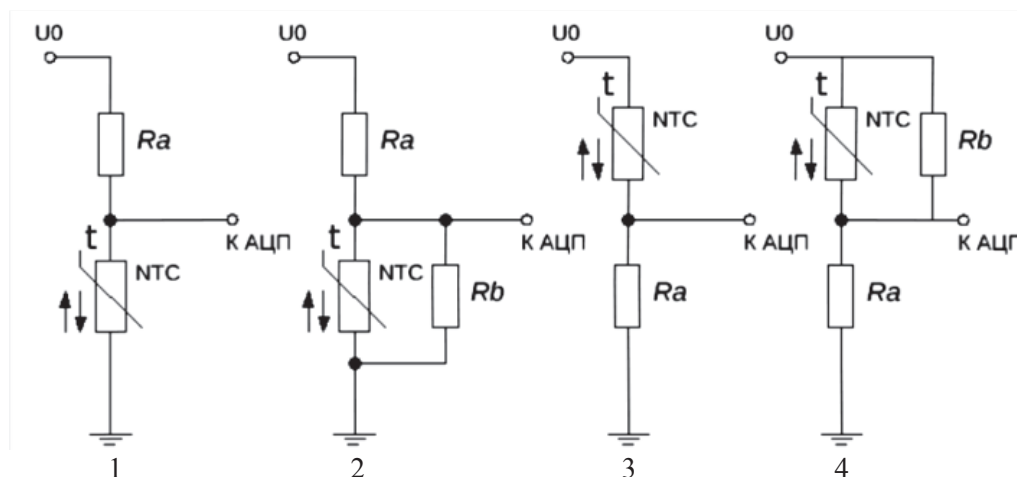


Рис. 1. Схемы включения термистора

Для измерения температур также широко используются термопары (термопреобразовательный элемент, состоящий из спая разнородных металлов: медь, хромель, алюмель, платина и др.). Работа термопар основана на возникновении ЭДС в цепи, при разности температур между спаями металлов. Величина ЭДС будет зависеть от качества металлов в спаяе и разности температур между ними. Преимущество – большой диапазон измеряемой температуры (от -200 до $+2500$ °С), обладают быстрым откликом на изменение температуры. Недостаток – сложность обработки сигнала, т.е. преобразование напряжения в значение температуры и подверженность помехам, так как происходит изменение сигнала на уровне микровольт. При этом помехи от паразитных электрических и магнитных полей могут быть значительными. Для исключения этого влияния применяется экранирование. Так как сигнал, поступающий с термопары, слабый, а изменение напряжения в зависимости от температуры измеряется в мкВ/°С, поэтому применяются специальные усили-

тели сигнала – операционные усилители с большим коэффициентом усиления (100–125). Существуют специализированные микросхемы усилителей термопар.

Группой авторов в исследованиях теплового состояния систем СДМ используются датчики типа LM135, LM235, LM335. Они просты и доступны в работе, обеспечивают точность измерений в допустимых пределах погрешностей (0,5–1%). Для обработки информации с датчиков, анализа и формирования сигналов управления используется устройство сбора данных. Информация во времени преобразуется и представляется в цифровой форме. Для этого разработан и создан аппаратно-измерительный комплекс ADC-SCIENCE V1.1 (рис. 2).

ADC-SCIENCE V1.1 позволяет использовать различные аналоговые датчики: термопары, термисторы, полупроводниковые датчики. Также предусмотрено подключение тензодатчиков и других измерительных цепей. Поддержка конкретного типа датчика определяется программным обеспечением и «прошивкой» устройства.

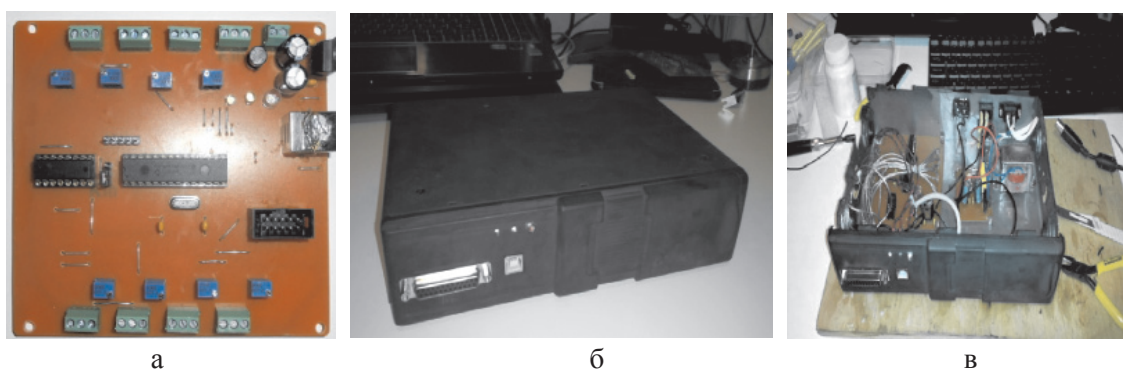


Рис. 2. Измерительный комплекс ADC-SCIENCE V1.1:
а – системная плата; б – внешний вид; в – вид со снятой крышкой

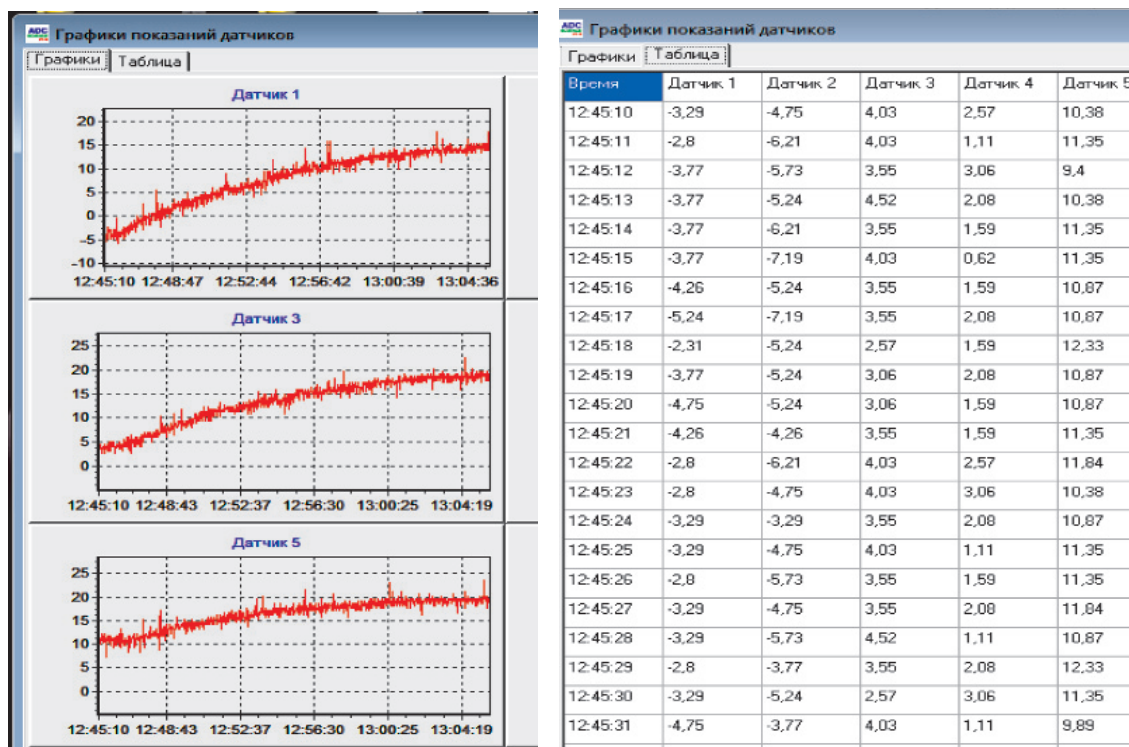


Рис. 3. Представление в цифровом и графическом виде программы управления ADC-SCIENCE V1.1

В соответствии с этим разработано программное обеспечение, позволяющее выполнять сбор данных с датчиков и последующее их представление в цифровом и графическом виде (рис. 3). Программное обеспечение работает по ОС Windows XP/Vista/7. Также доступна терминальная версия программы для работы в ОС Linux. Возможности программы включают: сбор и обработку данных с датчиков; систематизацию данных; возможность экспорта данных в программы Excel и GNU Octave; возможность сохранения данных с последующим конвертированием в Excel, GNU Octave; показание графиков в реальном времени при работе с устройством. Управление системой и ее мониторинг осуществляются пультом оператора и разработанного программного обеспечения. Это позволяет наблюдать за системой в режиме реального времени и программировать систему на конкретные действия, как с оператором, так и на аппаратном уровне.

Также в данном устройстве заложены функции управления внешними устройствами, такими как реле, силовые ключи для управления внешней нагрузкой, всего предусмотрено 6 каналов управления внешней нагрузкой. Включение/выключение каналов можно запрограммировать по событию с датчика, т.е. данное устройство

может служить в качестве термостата или другого переключающегося в зависимости от внешних условий устройства. На данный момент существует несколько модификаций устройства, рассчитанных под конкретные задачи и различные датчики.

Список литературы

1. Ахмеджанов Р.А., Чередов А.И. Физические основы получения информации: учебное пособие. – М.: Изд-во: УМЦ ЖДТ (Маршрут), 2013. – 212 с.
2. Ким К.К., Анисимов Г.Н., Чураков А.И. Проверка средств измерений электрических величин: учебное пособие. – М.: Изд-во: УМЦ ЖДТ (Маршрут), 2014. – 141 с.
3. Ким К.К., Анисимов Г.Н. Электрические измерения неэлектрических величин: учебное пособие. – М.: Изд-во: УМЦ ЖДТ (Маршрут), 2014. – 136 с.
4. Конев В.В., Созонов С.В., Бородин Д.М. Датчики для исследования теплового состояния машин, эксплуатируемых в условиях Крайнего Севера и Арктики // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 1. – URL: ivdon.ru/magazine/n1y2015/2791.
5. Конев В.В., Серебренников А.А., Бородин Д.М., Половников Е.В., Саудаханов Р.И. Модернизация гидропривода строительного-дорожных машин для северных условий эксплуатации // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – URL: science-education.ru/121-17422.
6. Конев В.В., Пирогов С.П., Бородин Д.М. Экспериментальные исследования гидропривода строительного-дорожных машин // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – URL: science-education.ru/121-17665.
7. Конев В.В. Совершенствование системы предпусковой тепловой подготовки двигателя землеройной машины (на примере двигателя экскаватора ЭО-4121А): дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04. – Тюмень, 2002. – 137 с.

8. Мерданов Ш.М., Конеv В.В., Пирогов С.П., Бородин Д.М., Соzonов С.В. Применение аналогово-цифрового преобразователя при оценке теплового состояния элементов гидропривода // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 2. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2420.

9. Серебrennikov А.А., Закирзаков Г.Г., Конеv В.В. Методические указания к выполнению контрольной работы по дисциплине «Основы методики научных исследований» для студентов специальности «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование»: ТюмГНГУ. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2004. – 21 с.

10. Thermal preparation of the trailbuilder fluid drive Konev V., Merdanov S., Karnaukhov M., Borodin D. WIT Transactions on Ecology and the Environment. – 2014. – Т. 190, Vol. 1. – P. 697–706.

11. Merdanov Sh., Konev V., Sozonov S. Experimental research planning heat training hydraulic motors: Scientific enquiry in the contemporary, world: theoretical basics and innovative approach, Vol. 5. – Technical Sciences. Research articles, B&M Publishing (San Francisco, California, USA) 2014. – P. 113–117.

References

1. Ahmedzhanov R.A., CHeredov A.I. Fizicheskie osnovy polucheniya informacii: uchebnoe posobie Izd-vo: UMC ZHDT (Marshrut), 2013 god, 212 p.

2. Kim K.K., Anisimov G.N., CHurakov A.I. Poverka sredstv izmerenij ehlektricheskikh velichin: uchebnoe posobie, Izd-vo: UMC ZHDT (Marshrut), 2014 g. 141 p.

3. Kim K.K., Anisimov G.N. EHlektricheskie izmereniya neehlektricheskikh velichin: uchebnoe posobie, Izd-vo: UMC ZHDT (Marshrut), 2014 g. 136 p.

4. Konev V.V., Sozonov S.V., Borodin D.M. Datchiki dlja issledovaniya teplovogo sostojaniya mashin, jekspluatiruemyh v uslovijah Krajnego Severa i Arktiki // Inženernyj vestnik

Dona (Rus), 2015, no. 1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2791.

5. Konev V.V., Serebrennikov A.A., Borodin D.M., Polovnikov E.V., Saudahanov R.I. Modernizacija gidroprivoda stroitelno-dorozhnyh mashin dlja severnyh uslovij jekspluatatsii // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015, no. 1 URL: science-education.ru/121-17422.

6. Konev V.V., Pirogov S.P., Borodin D.M. Jeksperimentalnye issledovaniya gidroprivoda stroitelno-dorozhnyh mashin // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya, 2015, no. 1 URL: science-education.ru/121-17665.

7. Konev V.V. Sovershenstvovanie sistemy predpuskovoj teplovoj podgotovki dvigatelja zemlerojnoj mashiny (na primere dvigatelja jekskaatora JeO-4121A): dis. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tehn. nauk: 05.05.04. Tjumen, 2002. 137 p.

8. Merdanov Sh.M., Konev V.V., Pirogov S.P., Borodin D.M., Sozonov S.V. Primenenie analogovo-cifrovogo preobrazovatelja pri ocenke teplovogo sostojaniya jelementov gidroprivoda // Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, no. 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2420.

9. Serebrennikov A.A., Zakirzakov G.G., Konev V.V. Metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu kontrolnoj raboty po discipline «Osnovy metodiki nauchnyh issledovanij» dlya studentov specialnosti «Podemno-transportnye, stroitelnye, dorozhnye mashiny i oborudovanie»: TyumGNGU; – Tyumen: TyumGNGU, 2004, 21 p.

10. Thermal preparation of the trailbuilder fluid drive Konev V., Merdanov S., Karnaukhov M., Borodin D. WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2014. T. 190 volume 1. pp. 697–706.

11. Sh. Merdanov, V. Konev, S. Sozonov, Experimental research planning heat training hydraulic motors: Scientific enquiry in the contemporary, world: theoretical basics and innovative approach, Vol. 5. Technical Sciences. Research articles, B&M Publishing (San Francisco, California, USA) 2014. pp. 113–117.