

# ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД, РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ДАТЧИКА ОБЛЕДЕНЕНИЯ

**БУБНОВ Владимир Петрович**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры<sup>1</sup>;  
e-mail: bubnov1950@yandex.ru

**БАРАУСОВ Виктор Александрович**, генеральный директор<sup>2</sup>; e-mail: barausov@gmail.com

**ЗАБУЗОВ Вячеслав Сергеевич**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры<sup>3</sup>; e-mail: zzwvss80@mail.ru  
**СУЛТОНОВ Шохрух Холмурзаевич**, аспирант<sup>1</sup>; e-mail: sultonovsh@yandex.ru

<sup>1</sup>Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, кафедра «Информационные и вычислительные системы», Санкт-Петербург

<sup>2</sup>ООО «КТН», Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, кафедра «Информационно-вычислительных систем и сетей», Санкт-Петербург

В статье представлен испытательный стенд для исследования характеристик датчика определения льда или снега на любой контролируемой поверхности. Для проведения лабораторного эксперимента разработан испытательный стенд, состоящий из трех частей: исполнительной, в которую входят объект испытания и системы, обеспечивающие воздействие различных эксплуатационных факторов; информационно-управляющей, в которую входят системы управления и измерительные системы, информирующие о параметрах поведения объекта испытания и стенда; системы энергопитания. В качестве контроллера датчика обледенения был использован микроконтроллер ATmega2560 на аппаратной платформе ARDUINO Mega 2560, с SD-картой и часами реального времени. Приводится структурная схема испытательного стенда. Представлена программа и методика испытания. По результатам испытаний были построены зависимости температуры рабочей поверхности пластины от времени с момента включения нагревателя. Для экономии времени на поверхность пластин помещались, с целью имитации их обледенения, заранее заготовленные кусочки льда. Для оценки функционирования датчика обледенения в реальных метеоусловиях и метода обнаружения обледенения на рабочей поверхности разработана и исследована компьютерная имитационная модель в среде Matlab. Она позволяет произвести анализ протекающих тепловых процессов в системе «объект нагрева». Обсуждаются результаты проведенных испытаний.

**Ключевые слова:** датчик обледенения; испытательный стенд; климатическая камера; нагреватель; контроллер; термодатчик.

**DOI:** 10.20295/2412-9186-2022-8-03-276-286

## ▼ Введение

Актуальность проведения исследований в направлении разработки отечественных датчиков обледенения (ДО) (как конструкции, так и применяемого математического обеспечения) определяется отсутствием на российских железных дорогах надежных и точных ДО, а также отечественного математического обеспечения к ним [1]. Целью настоящей статьи является описание испытательного стенда, программы проведения испытаний и результатов эксперимента, подтверждающих новый способ определения льда или снега на любой контролируемой поверхности и корректирующих разработанное программное обеспечение для ДО.

## 1. Структурная схема датчика обледенения

В качестве экспериментального образца использовался ДО, созданный компанией ООО «КТН» (г. Санкт-Петербург) на основании патента [2].

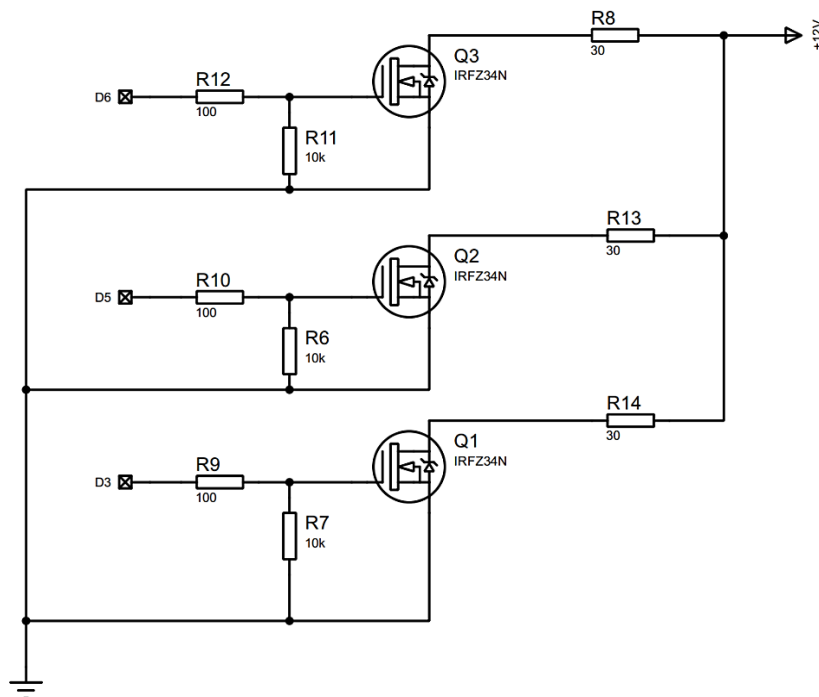
Особенности конструкции ДО, алгоритмы управляющей программы и описания программ представлены в работах [2–11].

Структурная схема датчика обледенения и его контроллера представлены на рис. 1.

Датчик обледенения помещен в металлический корпус, внутри которого дополнительно размещены первый и второй чувствительные элементы (ЧЭ), снабжен теплопроводной



**Рис. 1.** Структурная схема датчика обледенения и контроллера



**Рис. 2.** Схема управления нагревателям

пластиной с внешней рабочей поверхностью для воздействия на нее окружающей среды, встроенным датчиком температуры (термодатчик) и нагревателем [3].

В качестве нагревателя использовался резистор (серии SQP) мощностью 5 Вт и номиналом  $10 \pm 0,2$  Ом. Каждый нагреватель закреплен

на нижней поверхности пластины чувствительного элемента. Схема управления нагревателем представлена на рис. 2. Для измерения температуры рабочей поверхности пластины использовалась термопара хромель — алюмель. Датчик рабочим концом крепится в пластине максимально близко к рабочей поверхности.

## 2. Испытательный стенд

Цель эксперимента — подтверждение работоспособности экспериментального образца ДО на всем диапазоне значений температур от +5 до –55 °С с шагом в 5 градусов; определение необходимой задержки включения нагревателей для каждого значения температуры окружающей среды и корректировка программного обеспечения.

Для проведения лабораторного эксперимента разработан испытательный стенд, состоящий из трех частей:

1. Исполнительной, в которую входят объект испытания и системы, обеспечивающие воздействие различных эксплуатационных факторов.

2. Информационно-управляющей, в которую входят системы управления и измерительные системы, информирующие о параметрах поведения объекта испытания и стенда.

3. Системы энергопитания.

Общий вид испытательного стенда для проведения лабораторного эксперимента представлен на рис. 3, а структурная схема — на рис. 4.

Нижний уровень является исполнительной частью испытательного стенда, в состав которой входят климатическая камера модели

SN600С (характеристика представлена в табл. 1) для проведения испытаний с контролем температуры и относительной влажности и датчик обледенения.

Климатическая камера позволяет имитировать условия, максимально приближенные к природным, желаемую температуру и влажность внутри рабочего объема камеры.

Верхний уровень представляет собой информационно-управляющую часть, которая обеспечивает подготовку и проведение испытания, регистрацию и обработку параметров в реальном времени. В состав оборудования верхнего уровня входят контроллер, компьютер с интерфейсом монитора порта (рис. 5).

В качестве контроллера был использован микроконтроллер ATmega2560 на аппаратной платформе ARDUINO Mega 2560, с SD-картой и часами реального времени, представленный на рис. 6. SD-карта служит для считывания заранее подготовленных параметров эксперимента, а также хранения записанных результатов для последующего анализа работы датчика обледенения в реальных метеоусловиях. Для вывода даты и времени записи данных на SD-карту применены часы реального времени DS3232. Платформа подключена к компьютеру



Рис. 3. Общий вид испытательного стенда

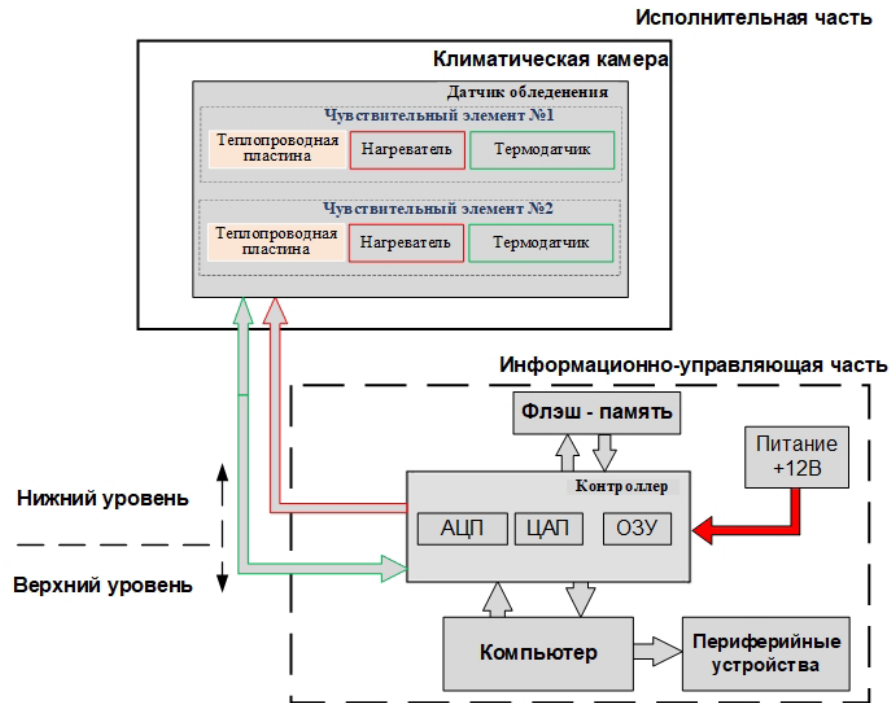


Рис. 4. Структурная схема испытательного стенда

Таблица 1

**Технические характеристики климатической камеры SN600C**

Наименование функции	Параметры
Виды испытаний	тепло; холод; влажность
Полезный объем	557 л
Диапазон значений температур	от -75 до +180 °С
Диапазон значений относительной влажности	10-98 %
Точность значений относительной влажности	1-3 %
Внешние габариты (Ш × Г × В)	1100 × 1705 × 1911
Полезные внутренние габаритные размеры (Ш × Г × В)	850 × 733 × 895
Скорость охлаждения не менее	4 °С/мин
Точность поддержания температуры по времени	±0,25 °С/±0,3 °С

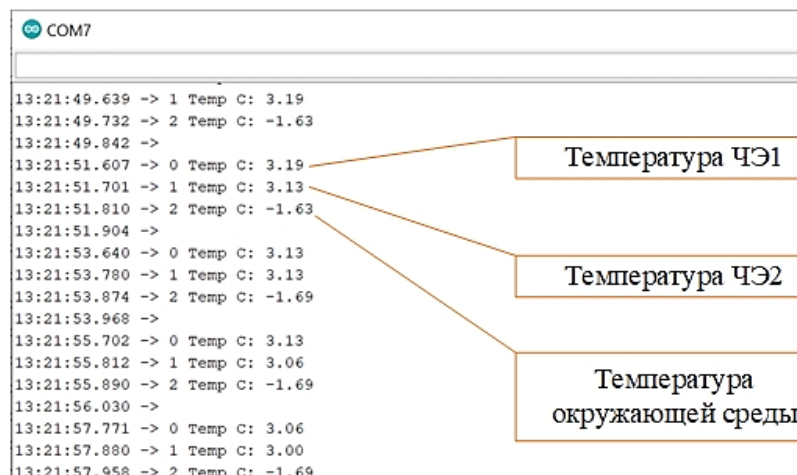


Рис. 5. Интерфейс монитора порта

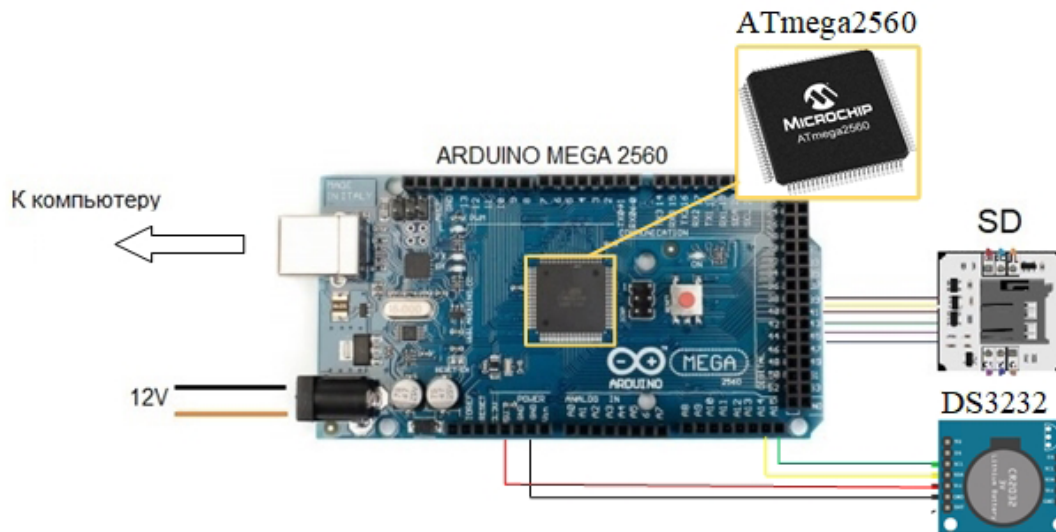


Рис. 6. Контроллер с флэш-памятью

Таблица 2

**Характеристика ARDUINO Mega 2560**

Микроконтроллер	ATmega328
Рабочее напряжение	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7–12 В
Входное напряжение (предельное)	6–20 В
Цифровые входы/выходы	14
Аналоговые входы	6
Постоянный ток через вход/выход	40 мА
Постоянный ток для вывода 3,3 В	50 мА
Флэш-память	32 Кб
ОЗУ	2 Кб
EEPROM	1 Кб
Тактовая частота	16 МГц

посредством кабеля USB, питание осуществляется при помощи адаптера AC/DC.

Характеристика аппаратной платформы ARDUINO Mega 2560 представлена в табл. 2.

Взаимосвязь между оборудованием испытательного стенда представлена на рис. 7.

Метод обнаружения обледенения представляет собой следующую последовательность операций [2, 4, 5]:

- в климатической камере устанавливается датчик обледенения;
- датчик обледенения подключается к контроллеру;

- термодатчик первого чувствительного элемента определяет начальную температуру  $T_{10}$  рабочей поверхности пластины;
- если  $T_{10} \leq 0^\circ\text{C}$ , то включают нагреватель первого чувствительного элемента;
- после включения нагревателя первого чувствительного элемента через заданный интервал задержки  $\Delta t$  включается нагреватель второго чувствительного элемента, что определяет асинхронность включения нагревателей;
- начинается одновременное отслеживание изменения во времени температуры рабочей поверхности обоих чувствительных элементов, которое определяется по формуле (1) посредством датчика и контроллера:

$$T_1 = f_1(t), T_2 = f_2(t), \tag{1}$$

где  $T_1, T_2$  — температуры рабочей поверхности пластин ЧЭ;

$f_1, f_2$  — функции, соответствующие эмпирической зависимости;

$t$  — текущее время с момента включения указанного нагревателя до значения, превышающего температуру фазового превращения воды «твердое — жидкое» —  $0^\circ\text{C}$ .

- делается заключение о наличии или отсутствии льда или снега по формуле (2): о наличии свидетельствует только практическое обнуление величины ( $\Delta T(t) = 0$ ):

$$\Delta T(t) = T_1(t) - T_2(t). \tag{2}$$

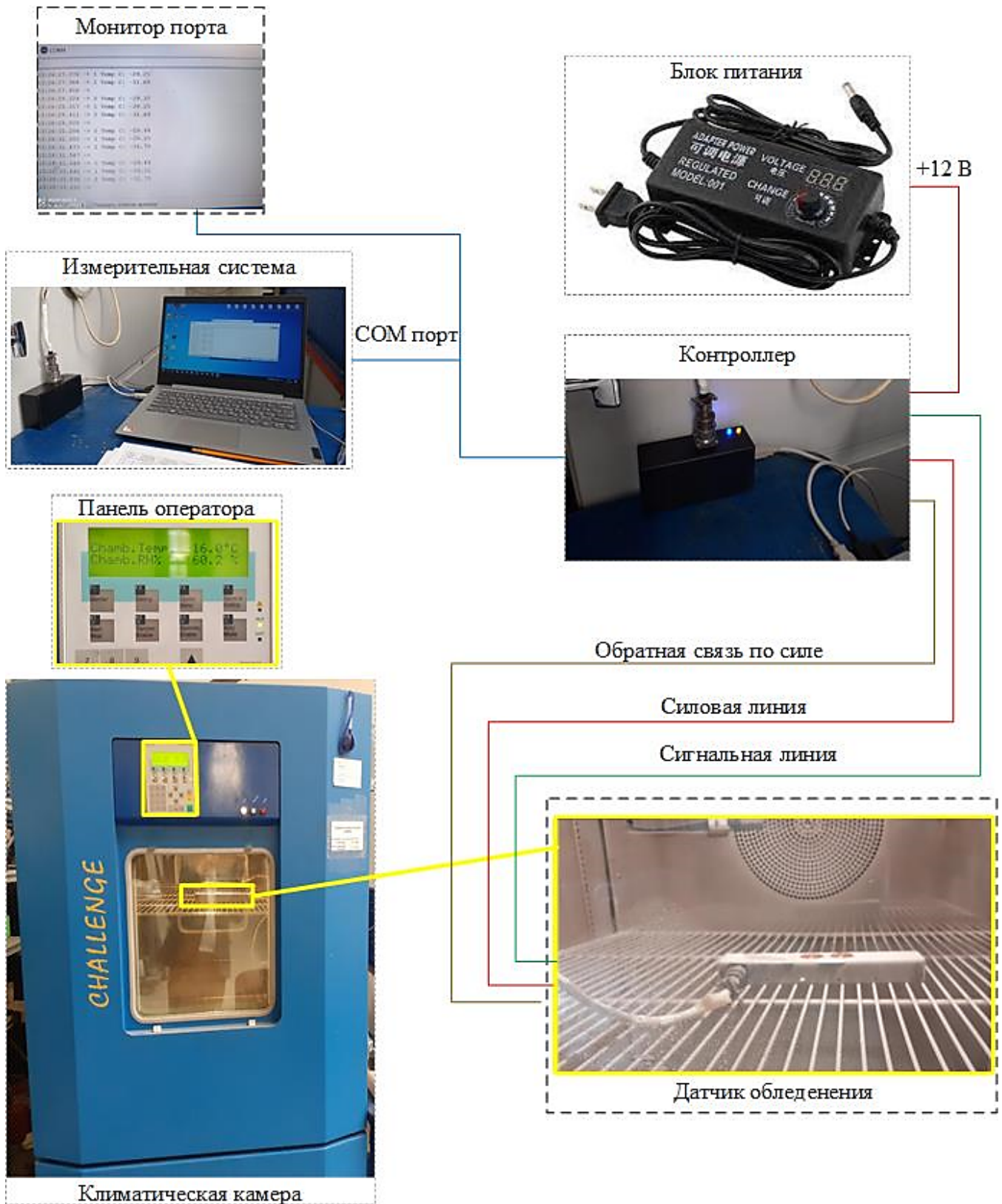


Рис. 7. Взаимосвязь между оборудованием испытательного стенда

### 3. Программа испытания

Программа испытаний представлена на рис. 8.

По результатам испытаний были построены зависимости температуры рабочей поверхности пластины от времени с момента включения нагревателя, представленные на рисунках ниже.

Для экономии времени на поверхность пластин помещались, с целью имитации их обледенения, заранее заготовленные кусочки льда [6]. При включении нагревателей лед начинал плавиться только в точках контакта с поверхностью пластин, этим моментам соответствуют максимумы на кривых. При дальнейшем расплавлении лед опускался на пластины, приходя с ними в полный контакт. При этом теплоотдача пластин увеличивалась, их

температура падала, а затем стабилизировалась до момента полного расплавления льда.

### 4. Обсуждение результатов испытаний

Для оценки функционирования датчика обледенения в реальных метеоусловиях и метода обнаружения обледенения на рабочей поверхности разработана и исследована компьютерная имитационная модель в программе MATLAB. Она позволяет произвести анализ протекающих тепловых процессов в системе «объект нагрева».

Результаты моделирования датчика обледенения на контролируемой поверхности представлены на рис. 9, где использовался пакет MATLAB SIMULINK.

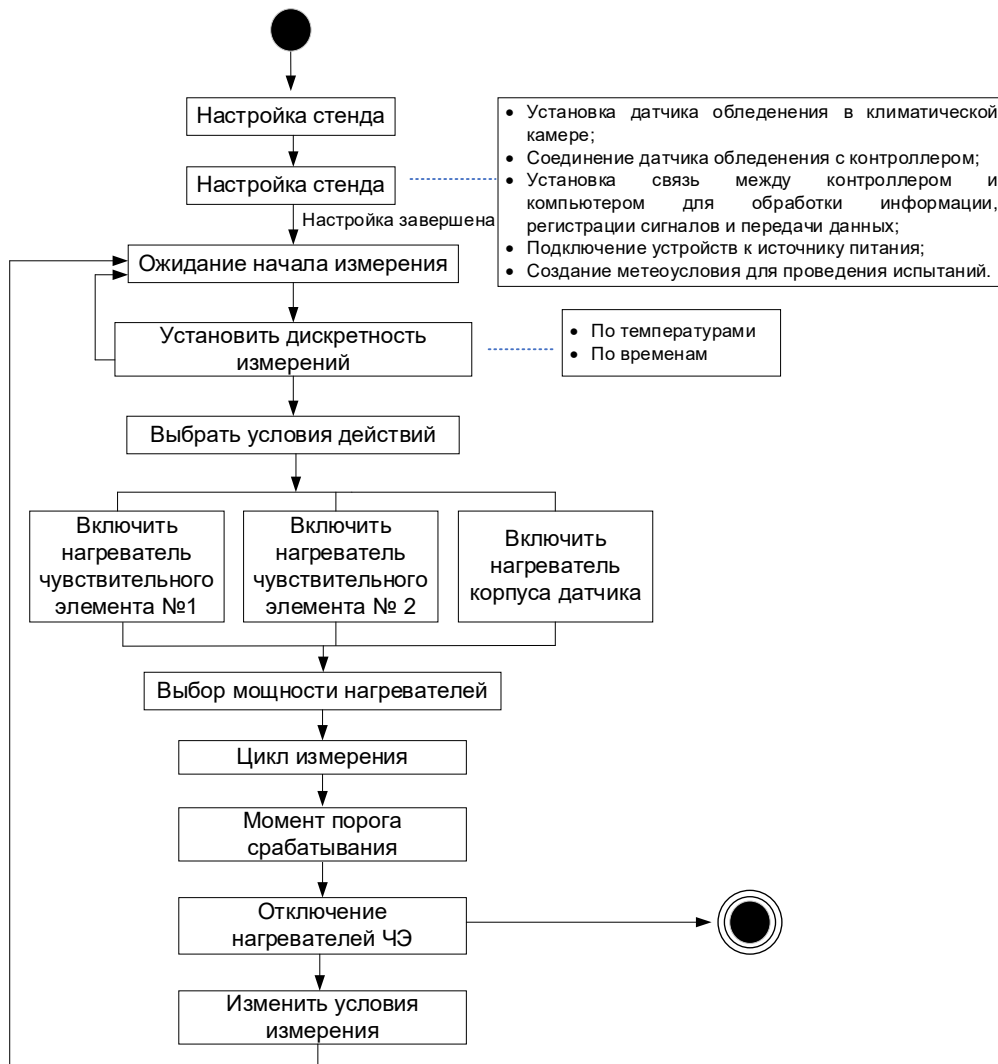


Рис. 8. Программа испытаний

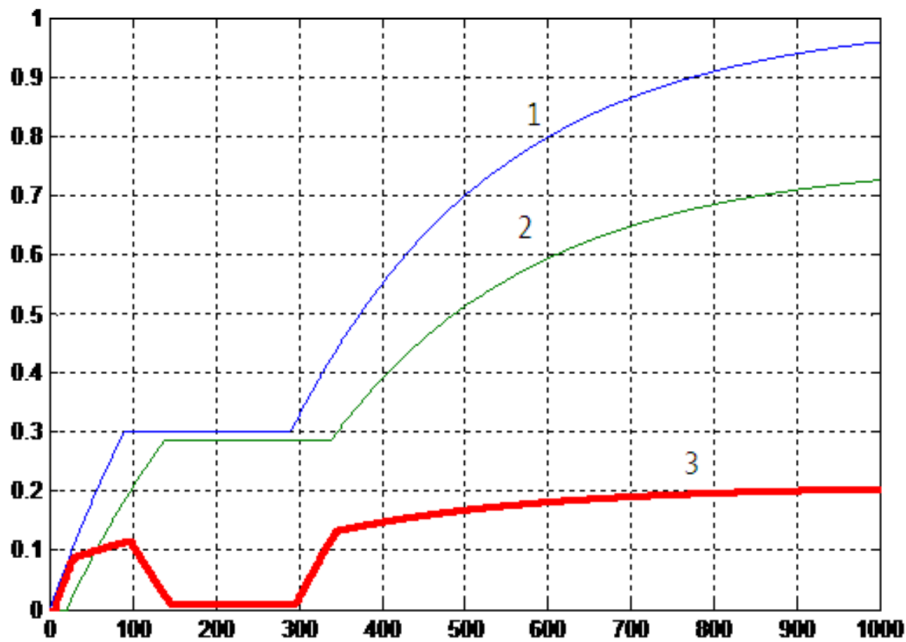


Рис. 9. Результаты при наличии осадков

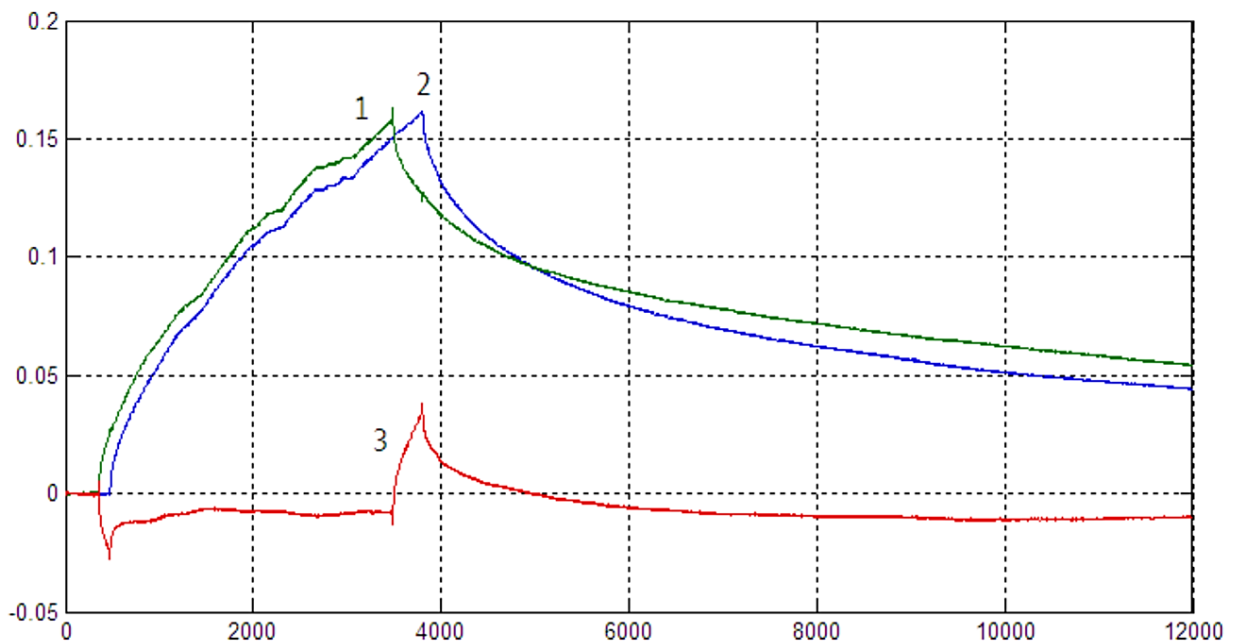


Рис. 10. Результаты при отсутствии осадков

Графики 1 и 2 — сигналы на выходе термопар. Горизонтальные участки соответствуют моментам времени плавления льда. Ординаты этих участков совпадают и равны 0,3. На графике они слегка разнесены по ординате для наглядности. График 3 — разность  $\Delta T(t)$  температуры рабочей поверхности  $T_1$  и  $T_2$ .

Провал в графике на позиции 3 служит признаком наличия снега или льда на поверхности датчика обледенения [2, с. 7–9].

Признак вырабатывается, когда сигнал на выходе разностной схемы становится ниже (по абсолютной величине) некоторого порогового значения [2, с. 10–11].

Полученный на экспериментальных данных результат для ситуации с отсутствием осадков показан на рис. 10.

Результат для ситуации с наличием осадков показан на рис. 11.



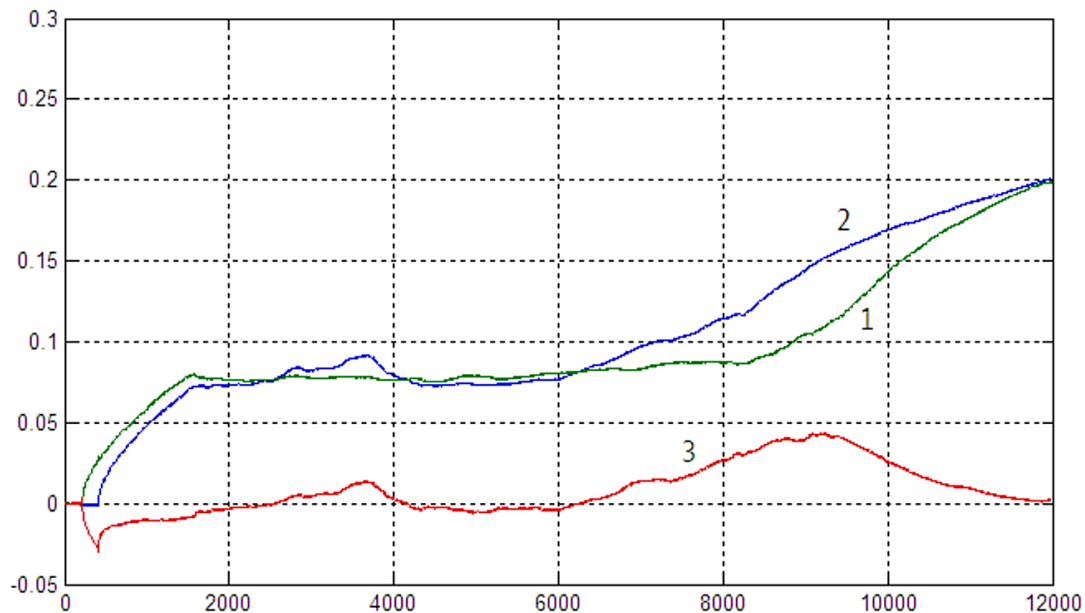


Рис. 11. Результаты при наличии осадков

### Заключение

Проведенный эксперимент подтвердил правильность направления работ по аппаратно-программной реализации предложенного в патенте [2] способа определения льда или снега на контролируемой поверхности; работоспособность экспериментального образца ДО; позволил определить временные задержки включения элементов обогрева ДО для определенных характеристик окружающей среды (температура, влажность и скорость воздушного потока); сформулировать задачи по доработке программного обеспечения ДО.

Проводимые работы по созданию и совершенствованию отечественного ДО позволят решить проблему надежности и достоверности автоматического обогрева стрелочных переводов [12] и контактного провода, что, в свою очередь, приведет к снижению значительных затрат на потребляемую электроэнергию и безопасность движения.

Дальнейшее направление работ авторского коллектива будет посвящено встраиванию ДО в систему автоматического обогрева стрелочных переводов СЭИТ-4М в качестве метеорологического блока.

*Исследования, выполненные по данной тематике, проводились в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030». ▲*

### Библиографический список

1. Бубнов В. П. Анализ датчиков автоматической системы обогрева стрелочных переводов / В. П. Бубнов, В. А. Бараусов, Ш. Х. Султонов // Автоматика, связь, информатика. — 2022. — № 4. — С. 8–11. — DOI: 10.34649/AT.2022.4.4.002.
2. Патент № 2685631 Российская Федерация, МПК E01B 7/00 (2006.01), E01B 19/00 (2006.01), E01H 8/08 (2006.01), B64D 15/20 (2006.01). Способ и устройство обнаружения обледенения или снега на контролируемой поверхности: № 2018125617: заявл. 11.07.2018; опубл. 22.04.2019 / С. Г. Селянин; заявитель В. А. Бараусов, П. В. Григорьев. — 20 с.
3. Sulstonov S. Elements of Technical Solutions of the System Purifying of Turnouts Based on an Icing Sensor / S. Sulstonov, V. Bubnov // Lecture Notes in Networks and Systems. — 2022. — Vol. 402 LNNS. — Pp. 889–897. — DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4\_97.
4. Султонов Ш. Х. Структура управляющей программы и способ для обнаружения обледенения на поверхности стрелочных переводов / Ш. Х. Султонов, Н. А. Крицкий, З. Р. Султонова // Интеллектуальные технологии на транспорте. — 2020. — № 2(22). — С. 59–64.
5. Barausov V. A. Designing automatic railway switch heating system with innovative intelligent sensors / V. A. Barausov, V. P. Bubnov, Sh. Kh. Sulstonov // CEUR Proceedings of the Workshop “Intelligent Transport Systems and Transport Security”. St. Petersburg, Russia: CEUR-WS.org, — 2021. — Pp. 3–9.
6. Barausov V. A. Control software for surface ice and snow detecting device / V. A. Barausov, V. P. Bubnov, Sh. Kh. Sulstonov // CEUR Workshop Proceedings of the Workshop “Models and Methods of Information Systems Research”. St. Petersburg, Russia: CEUR-WS.org. — 2020. — Pp. 75–79.

7. Султонов Ш. Х. Алгоритм работы системы управления электрообогревом стрелочных переводов на основе энергосберегающих технологий / Ш. Х. Султонов, В. П. Бубнов // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: сборник трудов LXXX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / ПГУПС, 2020. — С. 74–77.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020619431 RU. Программа для устройства обнаружения обледенения или снега на контролируемой поверхности: № 2020612292: заявл. 21.02.2020: опублик. 17.08.2020 / В. А. Бараусов, П. В. Григорьев, Ш. Х. Султонов. — 1 с.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021619199 RU. Программа для обнаружения осадков в виде льда или снега на поверхности стрелочных переводов: № 2021618324: заявл. 24.05.2021: опублик. 07.06.2021 / В. А. Бараусов, П. В. Григорьев, Ш. Х. Султонов. — 1 с.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022614387 RU. Программа для обеспечения надежного таяния снега и льда на контролируемой поверхности: № 2022613613: заявл. 15.03.2022: опублик. 21.03.2022 / Ш. Х. Султонов, В. П. Бубнов, В. А. Бараусов. — 1 с.
11. Бараусов В. А. Алгоритмы управляющей программы системы автоматической очистки стрелочных переводов на базе датчика определения льда или снега на контролируемой поверхности / В. А. Бараусов, В. П. Бубнов, Ш. Х. Султонов, Д. В. Бараусов // Автоматика на транспорте. — 2021. — Т. 7. — № 2. — С. 231–251. — DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-2-231-251.
12. Султонов Ш. Х. Особенности установки и эксплуатации системы электрообогрева стрелочных переводов СЭИТ-04/СЭИТ-04М производства ООО «КТН» / Ш. Х. Султонов // Интеллектуальные технологии на транспорте. — 2021 — № 3(27). — С. 17–24. — DOI: 10.24412/2413-2527-2021-327-17-24.

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2022, Vol. 8, No. 3, pp. 276–286  
DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-03-276-286

### Test Bench, Ice Sensor Test Results

#### Information about authors

**Bubnov V. P.**, Doctor in Engineering, Professor<sup>1</sup>. E-mail: bubnov1950@yandex.ru

**Barausov V. A.**, General Director<sup>2</sup>. E-mail: barausovv@gmail.com

**Zabuzov V. S.**, PhD in Engineering, Associate Professor<sup>3</sup>. E-mail: zvvss80@mail.ru

**Sultonov Sh. Kh.**, Postgraduate Student<sup>1</sup>. E-mail: sultonovsh@yandex.ru

<sup>1</sup>Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Information and Computing Systems Department, Saint Petersburg

<sup>2</sup>КТН Ltd, Saint Petersburg

<sup>3</sup>Military-Space Academy named after Mozhayskiy A.F., Informational-Computing Systems and Networks Department, Saint Petersburg

**Abstract:** The article presents a test bench for studying the characteristics of the sensor for detecting ice or snow on any controlled surface. To conduct a laboratory experiment, a test bench has been developed, consisting of three parts: executive one, which includes a test object and systems, that ensure the impact of various operational factors; informational-control one, which includes control systems and measuring systems that inform on a test object and bench behavior parameters; power supply systems. ATmega2560 microcontroller on ARDUINO Mega 2560 hardware platform with SD card and real-time clock was used as an icing sensor controller. Block diagram of the test bench is given. Testing program and methodology are presented. Based on the test results, dependences of platen working surface temperature from the time passed after heater cut-in were plotted. For to save time, pre-prepared pieces of ice were placed on surface of the platens in order to simulate their icing. To evaluate icing sensor functioning in real weather conditions and to assess method for icing detection on a working surface, a computer simulation model was developed and studied in MATLAB environment. It allows to hold analysis of ongoing thermal processes in the system “object of heating”. The results of the fulfilled tests are discussed.

**Keywords:** icing sensor; test bench; climatic chamber; heater; controller; temperature sensor.

#### References

1. Bubnov V. P. Analiz datchikov avtomaticheskoy sistemy obogreva strelochnykh perevodov [Analysis of sensors of the automatic heating system for turnouts]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics]. 2022, I. 4, pp. 8–11. DOI 10.34649/AT.2022.4.4.002. (In Russian)
2. Selyanin S. G., Barausov V. A., Grigor'ev P. V. Patent № 2685631 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E01B 7/00 (2006.01), E01B 19/00 (2006.01), E01H 8/08 (2006.01), B64D 15/20 (2006.01). Sposob i ustroystvo obnaruzheniya obledeneniya ili snega na kontroliruemoy poverkhnosti: № 2018125617: yayavl. 11.07.2018: opubl. 22.04.2019. 20 p.
3. Sultonov S., Bubnov V. Elements of Technical Solutions of the System Purifying of Turnouts Based on an Icing Sensor. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022, vol. 402 LNNS, pp. 889–897. DOI 10.1007/978-3-030-96380-4\_97.
4. Sultonov Sh. Kh. Struktura upravlyayushchey programmy i sposob dlya obnaruzheniya obledeneniya na poverkhnosti strelochnykh perevodov [The structure of the control program and the method for detecting icing on the surface of turnouts]. *Intellektual'nye tekhnologii na transporte* [Intelligent technologies in transport]. 2020, I. 2(22), pp. 59–64. (In Russian)
5. Barausov V. A., Bubnov V. P., Sultonov Sh. Kh. Designing automatic railway switch heating system with innovative intelligent sensors. *CEUR Proceedings of the Workshop “Intelligent Transport Systems and Transport Security”*. St. Petersburg, Russia: CEUR-WS.org, 2021, pp. 3–9.
6. Barausov V. A. Control software for surface ice and snow detecting device / V.A. Barausov, V.P. Bubnov, Sh.Kh. Sultonov // *CEUR Workshop Proceedings of the Workshop “Models and Methods of Information Systems Research”*. St. Petersburg, St. Petersburg, Russia: CEUR-WS.org, 2020, pp. 75–79.
7. Sultonov Sh. Kh. Algoritm raboty sistemy upravleniya elektroobogrevom strelochnykh perevodov na osnove energosberegayushchikh tekhnologiy [Algorithm of operation of the control system for electric heating of railroad switches based on energy-saving technologies]. *Transport: problemy, idei, perspektivy: sbornik trudov LXXX Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh* [Transport: problems, ideas, prospects: Proceedings of the LXXX All-Russian scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists]. PGUPS Publ., 2020, pp. 74–77. (In Russian)

8. Barausov V. A., Grigor'ev P. V., Sultonov Sh. Kh. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2020619431 RU. Programma dlya ustroystva obnaruzheniya obledeneniya ili snega na kontroliruemoy poverkhnosti: № 2020612292: zayavl. 21.02.2020: opubl. 17.08.2020* [Certificate of state registration of the computer program No. 2020619431 RU. Program for the device for detecting ice or snow on the monitored surface: No. 2020612292: Appl. 02/21/2020: publ. 17.08.2020]. 1 p. (In Russian)
9. Barausov V. A., Grigor'ev P. V., Sultonov Sh. Kh. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2021619199 RU. Programma dlya obnaruzheniya osadkov v vide l'da ili snega na poverkhnosti strelochnykh perevodov: № 2021618324: zayavl. 24.05.2021: opubl. 07.06.2021* [Certificate of state registration of the computer program No. 2021619199 RU. Program for detecting precipitation in the form of ice or snow on the surface of turnouts: No. 2021618324: Appl. 05/24/2021: publ. 06/07/2021]. 1 p. (In Russian)
10. Sultonov, Sh. Kh. Bubnov V. P., Barausov V. A. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2022614387 RU. Programma dlya obespecheniya nadezhnogo tayaniya snega i l'da na kontroliruemoy poverkhnosti: № 2022613613: zayavl. 15.03.2022: opubl. 21.03.2022* [Certificate of state registration of the computer program No. 2022614387 RU. Program to ensure reliable melting of snow and ice on a controlled surface: No. 2022613613: Appl. 03/15/2022: publ. March 21, 2022]. 1 p. (In Russian)
11. Barausov V. A. Algoritmy upravlyayushchey programmy sistemy avtomaticheskoy oчитки strelochnykh perevodov na baze datchika opredeleniya l'da ili snega na kontroliruemoy poverkhnosti [Algorithms of the control program of the system for automatic cleaning of turnouts based on the sensor for determining ice or snow on the controlled surface]. *Avtomatika na transporte* [Automation in transport]. 2021, Vol. 7, I. 2, pp. 231–251. DOI 10.20295/2412-9186-2021-7-2-231-251. (In Russian)
12. Sultonov Sh. Kh. Osobennosti ustanovki i ekspluatatsii sistemy elektroobogreva strelochnykh perevodov SEIT-04/SEIT-04M proizvodstva OOO "KTN" [Features of installation and operation of the electric heating system for turnouts SEIT-04/SEIT-04M manufactured by KTN LLC]. *Intellektual'nye tekhnologii na transporte* [Intelligent technologies in transport]. 2021, I. 3(27), pp. 17–24. DOI 10.24412/2413-2527-2021-327-17-24. (In Russian)