

УДК 681.518

Разработка системы автоматизированного мониторинга параметров микроклимата и автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии модельного объекта

А. В. Кайчёнов, С. А. Лукин, А. А. Яроцкая*

*Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск, Россия;
e-mail: yarotskayaaa@mstu.edu.ru

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
07.10.2022;

получена
после доработки
15.11.2022

Ключевые слова:

строительство,
Арктика,
микроклимат,
автоматизированная
система,
контроль,
управление

Арктика – стратегически важный для России регион. В процессе поиска новых решений для быстрого строительства энергоэффективных и безопасных зданий в Арктике необходимо вести разработки по созданию систем контроля и поддержания микроклимата в помещении, обеспечения оптимального использования ресурсов и реализации систем управления зданием. Непрерывный автоматический контроль поможет повысить комфорт и безопасность в помещении, а также снизить затраты энергии. Возможность удаленной передачи данных позволит оперативно реагировать на экстренные ситуации и предпринимать действия по недопущению развития аварий. Сотрудниками и студентами кафедры автоматики и вычислительной техники Мурманского государственного технического университета проведена разработка и апробация программно-аппаратного комплекса на базе модельного объекта на территории университета. На первом этапе группой исследователей разработана система автоматизированного мониторинга параметров микроклимата и автоматизированная система контроля и учета электрической энергии. В статье представлено подробное описание функционала разработанных программно-аппаратных модулей; излагается концепция автоматизированной системы управления зданием, которая в данный момент является следующим этапом развития системы.

Для цитирования

Кайчёнов А. В. и др. Разработка системы автоматизированного мониторинга параметров микроклимата и автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии модельного объекта. Вестник МГТУ. 2022. Т. 25, № 4. С. 298–304. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-4-298-304>.

Development of a system for automated monitoring of microclimate parameters and an automated system for monitoring and accounting for electricity of a model facility

Alexander V. Kaychenov, Sergey A. Lukin, Alexandra A. Yarotskaya*

*Murmansk State Technical University, Murmansk, Russia;
e-mail: yarotskayaaa@mstu.edu.ru

Article info

Received
07.10.2022;

received
in revised form
15.11.2022

Key words:

building,
Arctic,
microclimate,
automated system,
control,
management

Abstract

The Arctic is a strategically important region for Russia. In the process of searching for new solutions for the rapid construction of energy-efficient and safe buildings in the Arctic, it is necessary to develop systems for monitoring and maintaining indoor microclimate, ensuring optimal use of resources and implementing building management systems. Continuous automatic monitoring will help to increase comfort and safety in the room, as well as to reduce energy costs. The possibility of remote data transmission will allow you quickly respond to emergency situations and take actions to prevent the development of accidents. Employees and students of the Department of Automation and Computer Engineering of the Murmansk State Technical University have carried out the development and testing of a software and hardware complex based on a model object on the University territory. At the first stage, a group of researchers has developed a system for automated monitoring of microclimate parameters and an automated system for electric energy metering. The paper presents a detailed description of the functionality of the developed hardware and software modules; it describes the concept of an automated building management system, which is currently the next stage in the development of the system.

For citation

Kaychenov, A. V. et al. 2022. Development of a system for automated monitoring of microclimate parameters and an automated system for monitoring and accounting for electricity of a model facility. *Vestnik of MSTU*, 25(4), pp. 298–304. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-4-298-304>.

Введение

Арктика – стратегически важный для России регион. К приоритетным направлениям развития относятся: комплексное социально-экономическое развитие региона; развитие науки и технологий; создание современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры; обеспечение экологической безопасности; международное сотрудничество в Арктике; обеспечение военной безопасности, защиты и охраны государственной границы Российской Федерации в Арктике (*Buryachenko et al., 2021a*). Развитие данного региона сдерживается отсутствием зданий, обеспечивающих оптимальные условия для жизни и работы человека (*Ерещенко и др., 2021*).

В процессе поиска новых решений для быстрого строительства энергоэффективных и безопасных зданий в Арктике необходимо вести разработки по созданию систем контроля и поддержания микроклимата в помещении, обеспечения оптимального использования ресурсов и реализации автоматической системы управления зданием (*Ereschenko et al., 2021*). Вопросы, связанные с функционированием жилых и промышленных помещений, в условиях Крайнего Севера очень важны, так как отклонение от нормы может стоить потери запасов, поломки оборудования и создавать угрозу здоровью и жизни людей. Контроль и управление различными параметрами помещений зачастую выполняется вручную, что снижает качество регулирования параметров микроклимата (*Kuzmenkov et al., 2021*). Непрерывный автоматический контроль поможет повысить комфорт и безопасность в помещении, а также снизить затраты энергии. Возможность удаленной передачи данных позволит оперативно реагировать на экстренные ситуации и предпринимать действия по недопущению развития аварий. Данные исследования актуальны в индивидуальном жилищном секторе, причем проектируемые здания наилучшим образом адаптированы для арктического климата.

Материалы и методы

Разработка и апробация программно-аппаратного комплекса системы автоматизированного мониторинга параметров микроклимата (система мониторинга) и система автоматизированного контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) осуществлялась на базе модельного объекта на территории Мурманского государственного технического университета сотрудниками и студентами кафедры автоматизации и вычислительной техники. Модельным объектом является деревянный дом-лаборатория, разделенный на три части. Первая учебная аудитория построена при помощи технологии двойного сруба, вторая – каркасной технологии. Между двумя учебными аудиториями располагаются тамбур и подсобное помещение, выполненные по каркасной технологии (*Максимовская и др., 2019; Buryachenko et al., 2021b*). Главной особенностью модельного объекта является использование нескольких типов наполнителей межстенного пространства ("Минвата", "Флаксан Микс", "Эковата", льняные маты, древесные опилки и стружка) для определения пригодности данных наполнителей для арктического "зеленого" строительства (*Караченцева, 2019; Кузьменков и др., 2019; Кузьменков и др., 2021*).

На первом этапе исследования разработан программно-аппаратный комплекс системы мониторинга, состоящей из измерительной и индикаторной частей. Измерительная подсистема реализована на базе поверенных датчиков ПВТ100 фирмы ОВЕН и предназначена для непрерывного преобразования относительной влажности и температуры в цифровой сигнал, передаваемый по интерфейсу RS-485 (Modbus RTU). Индикаторная подсистема реализована на базе датчиков GY-SHT31-D. Восемь датчиков объединены в один измерительный узел последовательной шиной I2C и подключены к микроконтроллеру ESP8266 через восьмиканальный мультиплексор TCA9548. Для подключения 24 измерительных узлов в систему по интерфейсу RS-485 используются порт UART микроконтроллера ESP8266, конвертер на базе микросхемы MAX485 и четырехканальный преобразователь логического уровня на транзисторах BSS138.

В ходе работы принято решение разделить электронные компоненты узла на две управляющие платы: верхнюю и нижнюю. На верхней плате расположен мультиплексор TCA9548 и винтовые клеммы для подключения датчиков GY-SHT31-D. На нижней плате располагаются микроконтроллер ESP8266, конвертер и преобразователь логического уровня. Платы между собой соединяются шлейфом. В каждом узле индикаторной подсистемы для сопоставления измеренных значений установлен один датчик ПВТ100 в одном структурном слое (см. таблицу) снаружи ограждающих конструкций (out), внутри стен (mid), на внутренней поверхности ограждающей конструкции (in) (*Кайченев и др., 2021*). Внешний вид одного из узлов системы контроля параметров микроклимата представлен на рис. 1.

Таблица. Распределение датчиков ПВТ100 в стенах модельного объекта
Table. Distribution of ПВТ100 sensors within the walls of the model object

Узел	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ПВТ100	in	mid	out	in	mid	out	mid	in	mid	out	in	mid
Узел	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ПВТ 100	mid	out	in	mid	out	in	mid	out	mid	in	mid	out

Параллельно с разработкой системы мониторинга проведены исследования, связанные с разработкой и внедрением АСКУЭ (Buryachenko et al., 2020). Данная система функционирует в соответствии с алгоритмом:

- электросчетчики посылают сигнал на устройство сбора данных;
- данные, полученные с приборов учета, обрабатываются и передаются на компьютеры и контроллеры;
- информация обрабатывается операторами АСКУЭ с применением специально разработанного программного обеспечения.



Рис. 1. Внешний вид узла № 15 модельного объекта
Fig. 1. Appearance of node N 15 of the model object

АСКУЭ предназначена для сбора данных об использовании электроэнергии различными группами потребителей. Основным элементом системы являются счетчики "Энергомера" CE102 R145 (8 штук) с возможностью подключения внешних связей по интерфейсу RS-485 по протоколу передачи данных МЭК 61107-2011.

Основой автоматизированной системы управления модельным объектом является сенсорный панельный контроллер "ОВЕН" СПК107, к которому по интерфейсам RS-485 подключаются остальные элементы системы. СПК107 имеет доступ в Интернет для подключения к облачному сервису Owen Cloud и размещения WEB-визуализации для удаленного управления системой. Реализована защита от несанкционированного внешнего доступа, внедрена система доступа групп пользователей с различными правами. Также СПК107 осуществляет периодическую архивацию параметров системы на внешний накопитель данных. На рис. 2 представлены изображения форм оператора СПК107 в процессе эксплуатации модельного объекта.

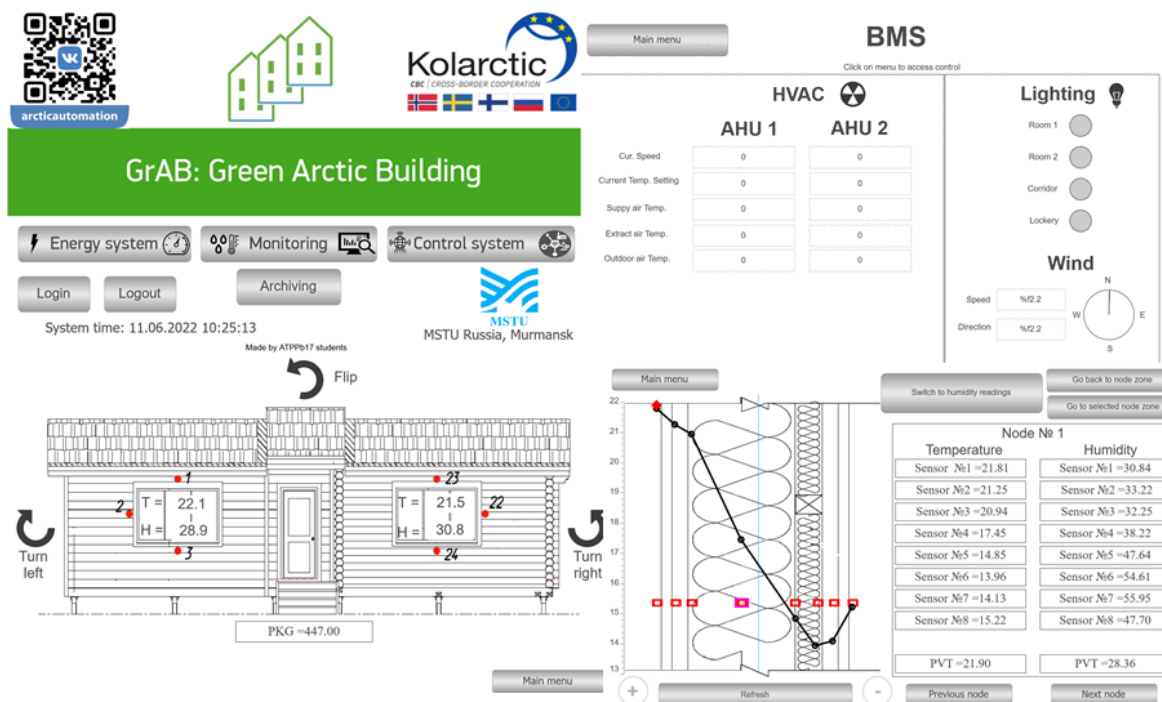


Рис. 2. Формы оператора сенсорного панельного контроллера СПК107
Fig. 2. Forms of the operator of the touch panel controller СПК107

Результаты и обсуждение

На модельном объекте разработаны и апробированы система мониторинга и система автоматизированного контроля и учета электроэнергии здания в соответствии с программой испытаний. В рамках программы проведен эксперимент, направленный на апробацию функционала двух систем. В ходе эксперимента программно-аппаратный комплекс системы мониторинга и АСКУЭ работали продолжительное время (2 171 часов), в течение которого одновременно проводилась необходимая доработка систем, устранялись причины некорректной работы ее элементов. Основным критерием оценки качества работоспособности систем является собранный за время эксперимента архив данных в виде таблиц отдельно для системы мониторинга и АСКУЭ. Полученный массив измеренных значений позволяет не только визуализировать динамику изменения параметров микроклимата, но и отследить расход энергии.

Таблицы, в которых фиксировались показания системы мониторинга, содержат данные о температуре и влажности со всех датчиков измерительной и индикаторной подсистем.

Таблицы, в которых фиксировались показания АСКУЭ, содержат следующие данные:

- напряжение;
- сила тока;
- потребленная мощность по двум тарифам;
- суммарная потребленная мощность.

Архивирование всех параметров системы мониторинга производилось с сентября 2021 г. и происходило непрерывно, за исключением случаев модернизации и технического обслуживания системы. С февраля 2022 г. после изменения алгоритма архивирования данных производилось сохранение значений АСКУЭ. Графическое представление архивных данных за 90 дней мониторинга марта – апреля 2022 г. отображено на рис. 3–5, что является показательным результатом эксперимента. Зеленым цветом на графиках обозначены данные из каркасной части модельного объекта, оранжевым – из части с бревенчатой конструкцией, синим – данные по окружающей среде.

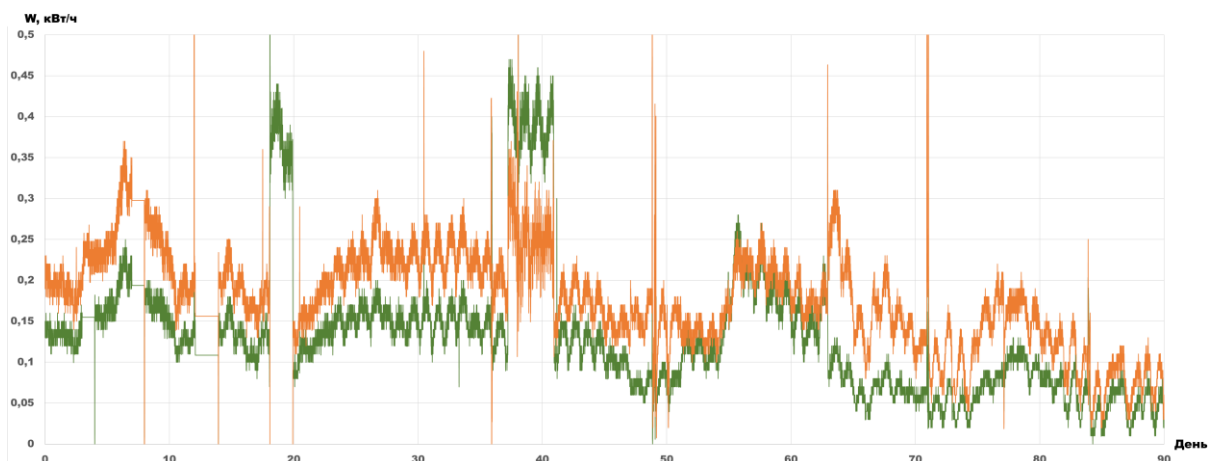


Рис. 3. Данные по потреблению электроэнергии группами потребителей модельного объекта
Fig. 3. Data on electricity consumption by consumer groups of the model facility



Рис. 4. Данные по температуре в аудиториях модельного объекта
Fig. 4. Data on temperature in the classrooms of the model object

За время испытаний программно-аппаратного комплекса системы мониторинга и АСКУЭ затраты электроэнергии на отопление здания и использование приточно-вытяжной установки (ПВУ) составили 2 881 КВт/ч. Среднесуточная температура в каркасной части здания в этот период составила +22,5 °С, в бревенчатой части – +23,84 °С при среднесуточной уличной температуре +2 °С. Среднесуточная относительная влажность в каркасной части здания составила 19,96 %, в бревенчатой части – 21 %, окружающей среды (уличная влажность) – 71,97 %.

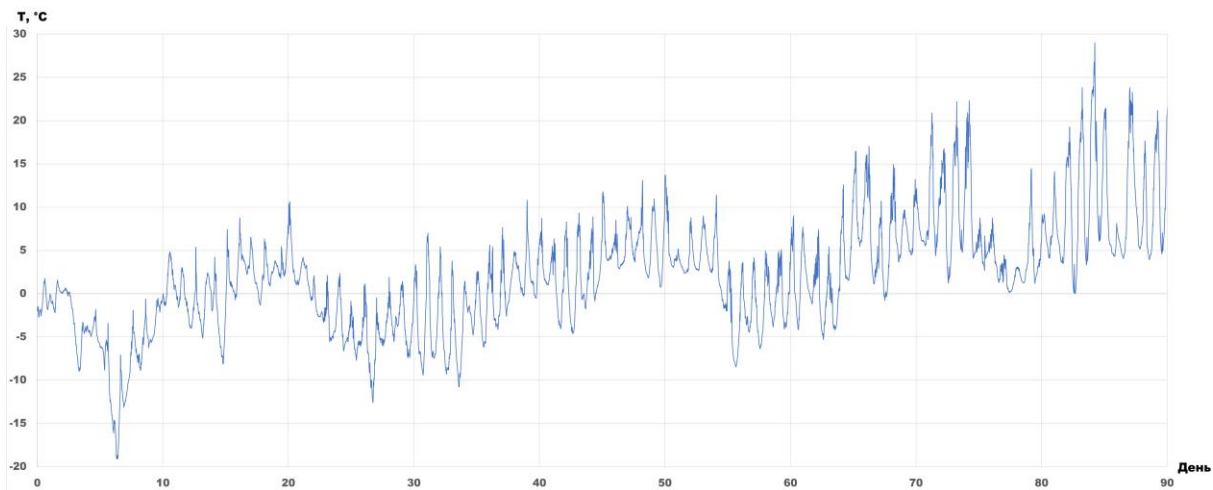


Рис. 5. Данные по температуре окружающей среды за исследуемый период
Fig. 5. Ambient temperature data for the study period

В ходе экспериментов показана возможность использования данных систем как в исследованиях, так и в процессах, где требуется поддержание заданных параметров микроклимата в помещении и эффективное расходование энергии.

Заключение

Проведены разработка и исследование систем мониторинга параметров микроклимата и АСКУЭ модельного объекта в г. Мурманске на территории Мурманского государственного технического университета. Испытания систем показали их работоспособность и завершились подписанием акта о внедрении в производство.

Следующим этапом исследования является создание автоматизированной системы управления зданием (АСУЗ). Данная система предполагает управление параметрами микроклимата внутри модельного объекта. В зависимости от данных, которые поступают с системы контроля параметров микроклимата, будет осуществляться управление вентиляцией, освещением и электроотоплением здания. Функционирование разрабатываемой АСУЗ предполагается как в ручном, так и в автоматическом режимах с адаптацией к различным условиям эксплуатации модельного объекта.

Завершающей стадией исследования является создание единой адаптивной системы автоматического управления параметрами внутренней среды здания, которая осуществляет поддержание оптимальных условий (комфорт и качество внутренней среды) для жизни и работы человека внутри модельного объекта в соответствии с "зелеными" стандартами.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Ерещенко В. В., Кайченко А. В., Яценко В. В., Яроцкая А. А. [и др.]. Разработка и исследование возможностей программно-аппаратного комплекса измерения температуры и влажности модельного объекта "Опытный" // Наука и образование – 2020 : материалы Всерос. науч.-практ. конф., Мурманск, 1 декабря 2020 года. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2021. С. 12–17. EDN: IQTTMX.
- Кайченко А. В., Лукин С. А., Рабынин А. Б. Исследование метрологических свойств измерительной части системы мониторинга параметров микроклимата модельного объекта "Опытный" // Наука и образование – 2020 : материалы Всерос. науч.-практ. конф., Мурманск, 1 декабря 2020 года. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2021. С. 24–32. EDN: MFSETM.
- Караченцева Я. М. Выбор системы теплоснабжения при индивидуальном строительстве в условиях Крайнего Севера // Наука и образование – 2018 : материалы Всерос. науч.-практ. конф., Мурманск, 15 ноября 2018 г. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2019. С. 194–199. EDN: JFKFEK.

- Кузьменков А. А., Караченцева Я. М., Буряченко С. Ю. Обоснование выбора материала ограждающих конструкции стен экспериментального объекта для реализации международного проекта 1089 "Зеленое строительство в Арктическом регионе" (Green Arctic Building – GrAB) // *Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии* : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Петрозаводск, 23–25 сентября 2019 года. Петрозаводск : Изд-во Петропресс, 2019. С. 106–111. EDN: NIWBRL.
- Кузьменков А. А., Караченцева Я. М., Дербенёв А. В. Обоснование конструктивных и технологических решений экспериментального деревянного малоэтажного здания с учетом принципов "зеленого строительства" // *Resources and Technology*. 2021. Т. 18, № 1. С. 66–93. DOI: <https://doi.org/10.15393/j2.art.2021.5522>. EDN: VTLGWT.
- Максимовская О. И., Буряченко С. Ю. "Зеленые" стандарты в строительстве России и стран Запада // *Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии* : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Петрозаводск, Петрозаводский государственный университет, 23–25 сентября 2019 года. Петрозаводск : Изд-во Петропресс, 2019. С. 28–30. EDN: BYNYGA.
- Buryachenko S. Yu., Karachentseva I. M., Voronin Z. A., Kuzmenkov A. A. The influence of enclosing structures of walls on the energy efficiency of a wooden building (on the example of the international project KO 1089 "Green Arctic Building") // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 539, 5th International Conference "Arctic: History and Modernity", Saint-Petersburg, Russia, 18–19 March 2020. IOP Publishing, 2020. Article number: 012024. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/539/1/012024>. EDN: RLRWKK.
- Buryachenko S. Yu., Kuzmenkov A. A., Karachentseva Ya. M., Voronin Z. A. [et al.]. Green building in the northern and Arctic regions // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 937, Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE 2021), Ussurijsk, Russian Federation, 20–21 June 2021. IOP Publishing, 2021a. Article number: 042030. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/4/042030>. EDN: MNJVIT.
- Buryachenko S., Voronin Z., Karachentseva Ya., Kuzmenkov A. [et al.]. Factors influencing the rating of low-rise wooden houses as "green" buildings // *E3S Web of Conferences*, Vol. 263, XXIV International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM–2021), Moscow, Russia, 22–24 April, 2021. EDP Sciences, 2021b. Article number: 05018. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126305018>. EDN: FDHNLK.
- Ereschenko V. V., Kaychenov A. V., Yatsenko V. V., Yarotskaya A. A. [et al.]. Microclimate monitoring system of the model object for improving energy efficiency // *Возможности и перспективы проектов энергосбережения. Опыт Норвегии, Финляндии и Мурманской области* : материалы Русско-норвежской конф., Мурманск, 17 декабря 2020 года. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2021. С. 29–35.
- Kuzmenkov A. A., Kuvshinov D. A., Buryachenko S. Yu., Kaychenov A. V. [et al.]. Monitoring system for temperature and relative humidity of the experimental building // *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 2131, Intelligent Information Technology and Mathematical Modeling 2021 (IITMM 2021), Divnomorskoe, Russia, 31 May – 6 June 2021. IOP Publishing, 2021. Article number: 052070. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/5/052070>. EDN: ZLSZXX.

References

- Ereschenko, V. V., Kaychenov, A. V., Yatsenko, V. V., Yarotskaya, A. A. et al. 2021. Development and research of the capabilities of the hardware – software complex for measuring temperature and humidity of the model object "Experimental". Proceedings of All-Russian conf. *Science and education – 2020*. Murmansk, December 1, 2020, pp. 12–17. Murmansk. EDN: IQTTMX. (In Russ.)
- Kaychenov, A. V., Lukin, S. A., Rabyinin, A. B. 2021. Study of the metrological properties of the measuring part of the system for monitoring the parameters of the microclimate of the model object "Experimental". Proceedings of All-Russian conf. *Science and education – 2020*. Murmansk, December 1, 2020, pp. 24–32. EDN: MFSETM. (In Russ.)
- Karachentseva, Ya. M. 2019. The choice of a heat supply system for individual construction in the Far North. Proceedings of All-Russian conf. *Science and education – 2018*. Murmansk, November 15, 2018, pp. 194–199. EDN: JFKFEK. (In Russ.)
- Kuzmenkov, A. A., Karachentseva, Ya. M., Buryachenko, S. Yu. 2019. Justification of the choice of material for the enclosing structures of the experimental facility walls for the implementation of the international project 1089 "Green Building in the Arctic Region" (Green Arctic Building – GrAB). In coll. articles *Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies*. Petrozavodsk, pp. 106–111. EDN: NIWBRL. (In Russ.)
- Kuzmenkov, A. A., Karachentseva, Ya. M., Dербенев, A. V. 2021. Substantiation of design and technological solutions for an experimental wooden low-rise building taking into account the principles of "green

- building". *Resources and Technology*, 18(1), pp. 66–93. DOI: <https://doi.org/10.15393/j2.art.2021.5522>. EDN: VTLGWT. (In Russ.)
- Maksimovskaya, O. I., Buryachenko, S. Yu. 2019. "Green" standards in the construction of Russia and Western countries. In coll. articles *Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies*. Petrozavodsk, pp. 28–30. EDN: BYNYGA. (In Russ.)
- Buryachenko, S. Yu., Karachentseva, Ya. M., Voronin, Z. A., Kuzmenkov, A. A. 2020. The influence of enclosing structures of walls on the energy efficiency of a wooden building (on the example of the international project KO 1089 "Green Arctic Building"). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 539, 5th International Conference "Arctic: History and Modernity", Saint-Petersburg, Russia, 18–19 March 2020. IOP Publishing. Article number: 012024. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/539/1/012024>. EDN: RLRWKK.
- Buryachenko, S. Yu., Kuzmenkov, A. A., Karachentseva, Ya. M., Voronin, Z. A. et al. 2021a. Green building in the northern and Arctic regions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 937, Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE 2021), Ussurijsk, Russian Federation, 20–21 June 2021. IOP Publishing. Article number: 042030. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/4/042030>. EDN: MNJVIT.
- Buryachenko, S., Voronin, Z., Karachentseva, Ya., Kuzmenkov, A. et al. 2021b. Factors influencing the rating of low-rise wooden houses as "green" buildings. E3S Web of Conferences, Vol. 263, XXIV International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM–2021), Moscow, Russia, 22–24 April, 2021. EDP Sciences. Article number: 05018. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126305018>. EDN: FDHNLK.
- Ereschenko, V. V., Kaychenov, A. V., Yatsenko, V. V., Yarotskaya, A. A. et al. 2021. Microclimate monitoring system of the model object for improving energy efficiency. Proceedings of Russian-Norwegian conf. *Opportunities and prospects for energy saving projects. The experience of Norway, Finland and the Murmansk region*. Murmansk, December 17, 2020, pp. 29–35.
- Kuzmenkov, A. A., Kuvshinov, D. A., Buryachenko, S. Yu., Kaychenov, A. V. et al. 2021. Monitoring system for temperature and relative humidity of the experimental building. Journal of Physics: Conference Series, Vol. 2131, Intelligent Information Technology and Mathematical Modeling 2021 (ИТММ 2021), Divnomorskoe, Russia, 31 May – 6 June 2021. IOP Publishing. Article number: 052070. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/5/052070>. EDN: ZLSZXX.

Сведения об авторах

Кайчёнов Александр Вячеславович – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: kaychenovav@mstu.edu.ru

Alexander V. Kaychenov – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk State Technical University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: kaychenovav@mstu.edu.ru

Лукин Сергей Андреевич – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский государственный технический университет, инженер-программист

Sergey A. Lukin – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk State Technical University, Engineer-programmer

Яроцкая Александра Андреевна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский государственный технический университет, ассистент;
e-mail: yarotskayaaa2@mstu.edu.ru

Alexandra A. Yarotskaya – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk State Technical University, Assistant; e-mail: yarotskayaaa2@mstu.edu.ru