

ichesкими sistemami s elektroprivodami / V.G. Titov, O.V. Kriukov // Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Elektrotehnika. – 2021. – T. 64, No. 2. – S. 32-38.

4. Kudriashov G.S. Vliianie vysshikh garmonik na rabotu elektrooborudovaniia v selskikh raspredelitelnykh setiakh / G.S. Kudriashov, A.N. Tretianov. // Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v APK. – 2022. – T. 69, No. 4 (49). – S. 137-142.

5. Kartin V.A. Programmiruemyi elektromagnitnyi privod doziruiushchego ustroistva / V.A. Kartin, K.M. Usonov, A.V. Voltin, V.A. Strelnikov, A.P. Monseev // Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v APK. – 2023. – No. 4 (53). – S. 78-84.

6. Shreiner R.T. Matematicheskoe modelirovanie elektroprivodov peremennogo toka s poluprovodnikovymi preobrazovateliami chastoty / R.T. Shreiner. – Ekaterinburg: RAN Uralskoe otdelenie, 2000. – 653 s.

7. Sokolovskii G.G. Elektroprivody peremennogo toka s chastotnym upravleniem / G.G. Sokolovskii. – Moskva: ITs "Akademiiia", 2006. – 272 s.

8. Kudriashov G.S. Vliianie poter elektroenergii na nadezhnost elektrooborudovaniia v selskoi elektroseti 0.4 kVt / G.S. Kudriashov, A.N. Tretianov, O.N. Shlak // Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v APK. – 2021. – T. 68, No. 1 (42). – S. 34-38.

9. Adoshev A.N. Issledovanie elektromagnitnogo apparata aksialnogo ispolneniia elektrotehnologicheskikh protsessov v selskom khoziaistve / A.N. Adoshev, S.N. Antonov, A.N. Grevtsev, S.N. Goriainov // Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v APK. – 2023. – T. 70, No. 4 (53). – S. 85-94.

10. Braslavskii I.Ia. Asinkhronnyi energosberegaiushchii elektroprivod / I.Ia. Braslavskii, Z.Sh. Ishmatov, V.N. Poliakov. – Moskva: Akademiia, 2004. – 256 s.

11. Korn G.P. Spravochnik po matematike dlia nauchnykh rabotnikov / G.P. Korn, T.D. Korn. – Moskva: Nauka, 1974. – 832 s.



УДК 631.12

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-237-7-84-89

М.В. Халин, Т.М. Халина, А.Б. Дорош

M.V. Khalin, T.M. Khalina, A.B. Dorosh

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБОГРЕВОМ ШКАФОВ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS FOR ELECTRIC POWER METERING CABINET HEATING

Ключевые слова: *многоэлектродный композиционный электрообогреватель, система автоматического управления, греющий карбоновый кабель, обогрев щита учета электроэнергии, тепловизионные испытания, термошкаф.*

Выполнен анализ способов обогрева термошкафа – щита учета электроэнергии с оборудованием и дополнительно смонтированной в нем системой автоматического управления (САУ) на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей (МКЭ) или греющего карбонового кабеля 12к. Представлены принципиальные схемы и спецификации САУ рассматриваемых способов обогрева. Для получения графиков зависимостей температуры в местах установки термосопротивлений от времени охлаждения термошкафа в термобарокамере для различных САУ обогревом определены места установки термосопротивлений: внутри термошкафа – в зоне термостата, управляющего нагревом; в верхней части термошкафа – на уровне счетчика электроэнергии и на верхнем электрообогре-

вателе справа; в нижней части термошкафа – на нижнем электрообогревателе справа и нижнем электрообогревателе слева; в термобарокамере – над термошкафом. Проведено исследование работоспособности оборудования термошкафа при отрицательных температурах. Использование термобарокамеры TBV-2000 ILKA дало возможность выполнить комплекс теплофизических испытаний различных САУ обогревом при отрицательных температурах окружающей среды. Полученные результаты позволяют установить стабильную работу предложенных САУ обогревом при использовании электрообогревателей МКЭ до -60°C ; при использовании карбонового кабеля 12к – до -45°C . Осуществлен выбор рациональной САУ обогревом. Выполненная тепловизионная диагностика применяемых электрообогревателей МКЭ показала равномерность тепловых полей и эффективность локального поверхностно-распределенного электрообогрева, что позволяет определить рациональные зоны расположения МКЭ в термошкафу.

Keywords: *multielectrode composite electric heater, automatic control system, carbon fiber heating cable, electric power metering cabinet heating, thermal imaging tests, thermal cabinet.*

The study concerns the analysis of heating methods of a thermal cabinet: electric power metering cabinet with equipment and additional mounted automatic control system (ACS) based on multi-electrode composite electric heaters or a 12k carbon heating cable. Schematic diagrams and specifications of the automatic control system for the heating methods under consideration are discussed. To obtain graphs of the temperature dependences in the places of installation of thermal resistances on the cooling time of the heating cabinet in the thermal-vacuum chamber for various automatic heating systems, the installation locations of thermal resistances were determined: inside the heating cabinet - in the area of the thermostat that controls the heating; in the upper part of the heating cabinet - at the

level of the electricity meter and on the upper electric heater on the right; in the lower part of the heating cabinet - on the lower electric heater on the right and the lower electric heater on the left; in the thermal-vacuum chamber - above the thermal cabinet. The performance of the thermal cabinet equipment at subzero temperatures was studied. The use of the TBV-2000 ILKA thermal-vacuum chamber made it possible to perform a set of thermophysical tests of various heating ACS at subzero ambient temperatures. The results obtained make it possible to establish stable operation of the proposed heating ACS when using MCE electric heaters down to minus 60°C; when using 12k carbon cable - up to minus 45°C. The selection of a rational automatic control system for heating was carried out. Thermal imaging diagnostics of the used MCE electric heaters showed the uniformity of thermal fields and the efficiency of local surface-distributed electrical heating which made it possible to determine the rational zones for the location of the MCE in the thermal cabinet.

Халин Михаил Васильевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: enefftech@yandex.ru.

Халина Татьяна Михайловна, д.т.н., профессор, зав. кафедрой электротехники и автоматизированного электропривода, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: temf@yandex.ru.

Дорош Александр Борисович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: aldorosh@yandex.ru.

Khalin Mikhail Vasilevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: enefftech@yandex.ru.

Khalina Tatyana Mikhaylovna, Dr. Tech. Sci., Prof., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: temf@yandex.ru.

Dorosh Aleksandr Borisovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: aldorosh@yandex.ru.

Введение

Ускоренное развитие территорий в Сибири, на Дальнем Востоке и Крайнем Севере Российской Федерации требует значительного увеличения потребления электроэнергии и качественного электроснабжения.

В связи с этим использование систем автоматического управления электрообогревом щитов учета электроэнергии с целью получения достоверной информации остается актуальной проблемой особенно для вышеуказанных регионов, в большинстве своем относящихся к умеренным и холодным макроклиматическим районам [1].

Известно, что счетчики электроэнергии выпускаются 2 типов: индукционные и цифровые, которые устанавливаются в щитах учета [2]. Первые функционируют только при положительных температурах, вторые в большинстве своем – до -30°C. Поэтому возникает необходимость экспериментальных климатических ис-

следований работоспособности оборудования шкафов учета электроэнергии при отрицательных температурах, включая -60°C.

Целью исследования является определение работоспособности оборудования в шкафу учета электроэнергии со смонтированной САУ обогревом при резкоотрицательных температурах. К задачам относится выбор рациональной САУ, использующей различные типы электрообогревателей.

Объекты и методы

На испытания представлен термощкаф – шкаф учета электроэнергии с расположенным в нем следующим оборудованием: трехфазным счетчиком электроэнергии Ц Э6850М; терморегулятором; электронным таймером и установленной системой обогрева на базе электрообогревателей МКЭ, общей мощностью 80 Вт, или системой обогрева на основе карбонового кабеля 12к, длиной 4 м и установленной мощностью 85 Вт [3, 4].

Приборы контроля: ваттметр Э-59; тепловизор RGK TL-160; 6 датчиков температуры в виде термосопротивлений ТПТ-14-1.

Методы испытаний выполнены согласно требованиям ГОСТ 30630.2.1-2013.

Экспериментальная часть, результаты исследований и их обсуждение

Экспериментальная установка, включающая термобарокамеру ТВВ-2000 и термошкаф ШУ-1 УХЛ 1с оборудованием, представлена на рисунках 1, 2. На рисунках 3 и 4 приведены электрические схемы и спецификации систем автоматического управления обогревом. Термосопротивления ТПТ-14-1 в количестве 6 шт. (Т₁...Т₆) расположены внутри и снаружи термошкафа.

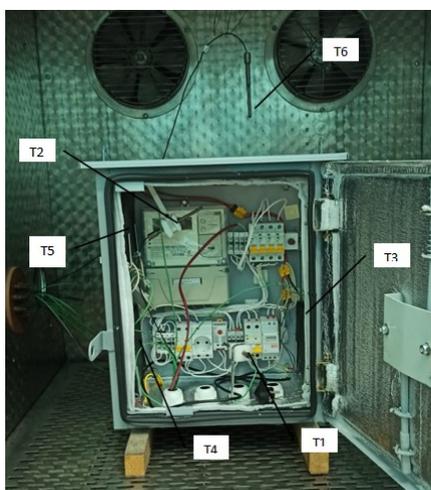


Рис. 1. Термобарокамера с размещенным в ней термошкафом и указанием мест расположения термосопротивлений Т₁...Т₆

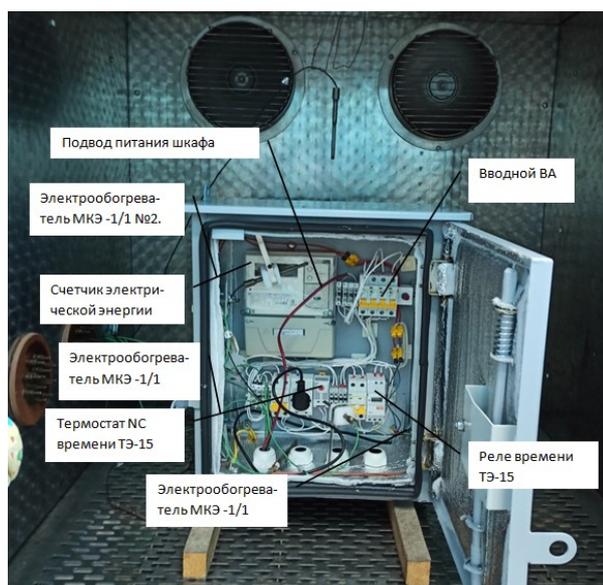
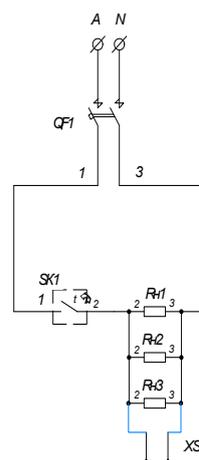


Рис. 2. Термошкаф в режиме работы САУ с электрообогревателями МКЭ



Гвоз. обознач.	Наименование	Кол.	Грим.
SK1	Термостат NC	1	
CF1	Автоматический выключатель ВА 47-29 3р 8А	1	
R1, R2, R3	Электрообогреватель МКЭ-1/1	3	80 Вт
XS1	Розетка на Din-рейку РМ-101	1	

Рис. 3. Принципиальная схема системы автоматического управления обогревом на основе электрообогревателей МКЭ

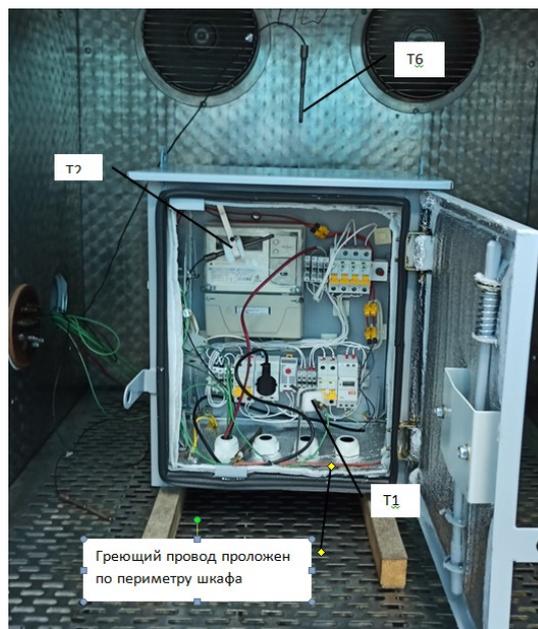
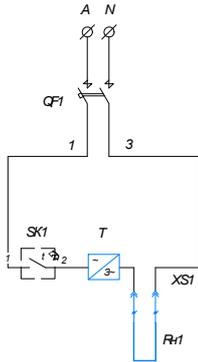


Рис. 4. Термошкаф в режиме работы САУ с карбоновым кабелем 12к

При работе барокамеры в течение 30 мин. и падении в ней температуры до -30°C включилась САУ обогревом в режиме работы на основе электрообогревателей МКЭ, при этом температура в зоне установки Т₁ и Т₂ определена - 9°C и 0°C, далее наблюдалось повышение температуры (рис. 6). При снижении температуры в барокамере до -40°C наблюдался режим стабилизации температуры в термошкафу.

При понижении температуры в барокамере до -60°C температура в термошкафу в случае

использования САУ с электрообогревателями МКЭ в зоне T_1 и T_2 составила -7°C и $+12^{\circ}\text{C}$ соответственно.



Гвоз. обознач.	Наименование	Кол.	Прим.
SK1	Термостат NC	1	
QF1	Автоматический выключатель ВА 47-29 Зр 8А	1	
Rn1	Карбоновый провод 12К-33 Ом	4м	85 Вт
XS1	Розетка на DIN-рейку FM-101	1	
T	Регулятор мощности (диммер) AC220В, до 2000Вт	1	

Рис. 5. Принципиальная схема САУ с карбоновым кабелем 12к

При работе барокамеры и использовании САУ с карбоновым кабелем 12к и температуре в зоне установки T_6 -30°C температура в месте установки T_1 и T_2 находилась в пределах -10°C и $+10^{\circ}\text{C}$ (рис. 7). При достижении температуры T_6 -45°C температура в месте установки T_1 и T_2 составила -16°C и $+7^{\circ}\text{C}$ соответственно. При построении температурных зависимостей отсчет

времени эксперимента выполнен справа налево.

В результате выполненных исследований получены графики зависимостей температуры от времени охлаждения термошкафа в термобарокамере для различных САУ обогревом (рис. 6, 7) [5].

Анализ полученных зависимостей (рис. 6, 7) показал, что при практически одинаковых мощностях различных типов обогревателей (МКЭ – 80 Вт, карбоновый кабель – 85 Вт) более высокую энергоэффективность МКЭ имел за счёт поверхностно-распределенного обогрева. Электрообогреватели МКЭ обеспечивают положительную температуру в зоне счетчика учета электроэнергии при температуре окружающей среды -60°C , карбоновый кабель – -45°C .

Для определения стабильности функционирования электрообогревателей МКЭ выполнены исследования с помощью тепловизора RGK TL-160 (рис. 8).

Выполненная тепловизионная диагностика электрообогревателей МКЭ показала равномерность тепловых полей и эффективность локального поверхностно-распределенного электрообогрева, что позволяет определить рациональные зоны расположения МКЭ в термошкафу учета электроэнергии [6, 7].

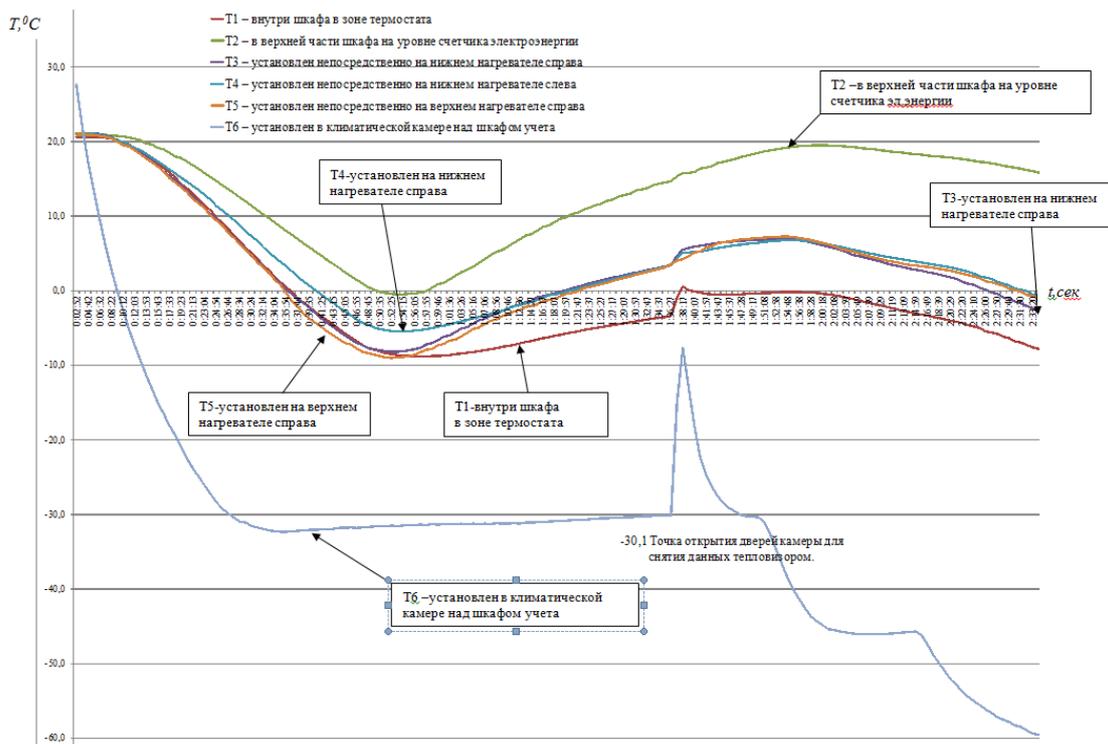


Рис. 6. Зависимость температуры в местах установки термосопротивлений от времени охлаждения термошкафа в режиме работы САУ обогревом на основе МКЭ

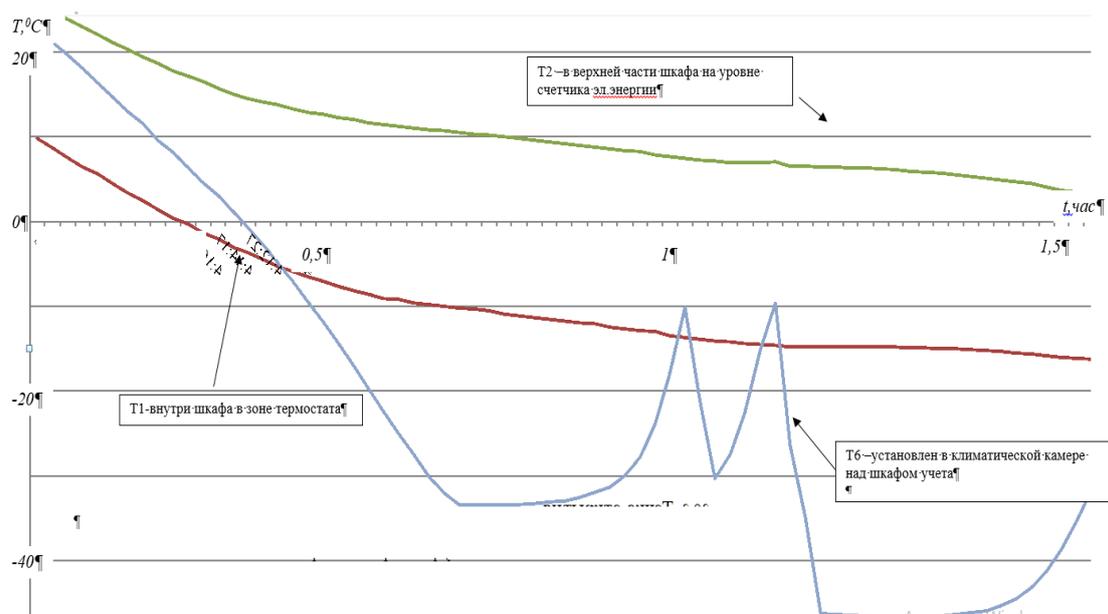


Рис. 7. Зависимость температуры в местах установки термосопротивлений от времени охлаждения термошкафа в режиме работы САУ обогрева на основе карбонового кабеля 12к

Выводы

САУ на основе электрообогревателей МКЭ обеспечивает поддержание рабочих температур оборудования в термошкафу при температурах окружающей среды до -60°C .

Рекомендовано использование САУ обогрева на основе МКЭ для поддержания положительной температуры в щите учета электроэнергии в соответствии с требованиями эксплуатации оборудования. По результатам тепловизионной диагностики предложено изменить места расположения электрообогревателей МКЭ в

щите учета электроэнергии для более энергоэффективного обогрева.

Предложенные системы управления обогревом термошкафа учета электроэнергии на основе композиционных МКЭ и карбонового кабеля 12К показали стабильную работу при низких температурах. Однако температурный режим функционирования систем при -60°C , соответствующий ГОСТ 30360.1-2013, обеспечивается только при использовании электрообогревателей МКЭ.

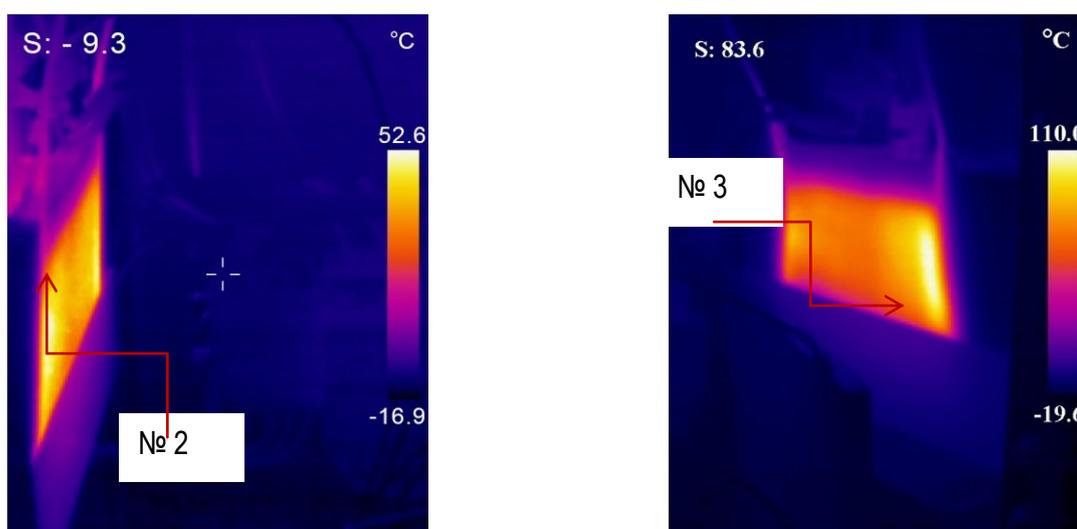


Рис. 8. Тепловизионная диагностика электрообогревателей МКЭ № 2 и 3

Библиографический список

1. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей: нац. стандарт Российской Федерации: дата введения 01.07.1981. – Москва: Изд-во стандартов, 1986. – 27 с. – Текст: непосредственный.
2. Электронные и индукционные счетчики. – Текст: электронный // ООО «Электрические машины»: сайт. – URL: <https://www.em-nn.ru/psch4tm05m.htm> (дата обращения: 22.02.2024).
3. Электрообогреватели для шкафов автоматики, сигнализации, сельского хозяйства и объектов энергетики. – Текст: электронный // Электрообогреватели МКЭ: сайт. – URL: <https://eet22.tilda.ws/> (дата обращения: 22.02.2024).
4. Одножильный углеволоконный карбоновый греющий кабель 12к. – Текст: электронный // ИГК 12к. Паспорт: сайт. – URL: <https://carbon-cable.ru/product/odnozhilnyj-uglevolokonnyj-karbonovyj-greyushhij-kabel-100-metrov12k-33om-m/> (дата обращения: 22.02.2024).
5. Асташин, Д. И. Экспериментальные исследования системы обогрева счетчика электроэнергии / Д. И. Асташин, А. В. Ведманкин. – Текст: непосредственный // Наука и молодежь: материалы XIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Барнаул, 18-22 апреля 2022 года / АлтГТУ. – Барнаул, 2022. – Т. 1. – С. 298-292.
6. Разработка энергоэффективных технологий обогрева и опытных образцов изделий на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей: отчет о НИОКР / Т. М. Халина, М. В. Халин, А. Б. Дорош [и др.]. – Барнаул, 2012. – 123 с. – Текст: непосредственный.
7. Халина, Т. М. Энергоэффективные технологии и технические средства локального обогрева для АПК / Т. М. Халина, М. В. Халин,

А. Б. Дорош. – Текст: непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31, № 3. – С. 65-71.

References

1. GOST 16350-80 Klimat SSSR. Raionirovanie i statisticheskie parametry klimaticheskikh faktorov dlia tekhnicheskikh tselei: nats. standart Rossiiskoi Federatsii: data vvedeniia 01.07.1981. – Moskva: Izdatelstvo standartov, 1986. – 27 s.
2. Elektronnye i induktsionnye schetchiki // ООО «Elektricheskie mashiny»: sait URL: <https://www.em-nn.ru/psch4tm05m.htm> (data obrashcheniia 22.02.2024).
3. Elektroobogrevateli dlia shkafov avtomatiki, signalizatsii, selskogo khoziaistva i obiektov energetiki // Elektroobogrevateli MKE: sait URL: <https://eet22.tilda.ws> (data obrashcheniia: 22.02.2024).
4. Odnoshilnyi uglevolokonnyi karbonovyi greiushchii kabel 12k / Kabel IGK 12k. Pasport: sait URL: <https://carbon-cable.ru/product/odnozhilnyj-uglevolokonnyj-karbonovyj-greyushhij-kabel-100-metrov12k-33om-m/> (data obrashcheniia: 22.02.2024).
5. Eksperimentalnye issledovaniia sistemy obogreva schetchika elektroenergii / Astashin D.I., Vedmankin A.V. // Nauka i molodezh. Mat. XIX Vseros. nauch.-tekhn. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh / AltGTU. – Barnaul, 2022. – Т. 1. – S. 298-292.
6. Razrabotka energoeffektivnykh tekhnologii obogreva i opytnykh obraztsov izdelii na osnove mnogoelektrodnykh kompozitsionnykh elektroobogrevatelei: otchet o NIOKR / T.M. Khalina; M.V. Khalin, A.B. Dorosh, i dr. – Barnaul, 2012. – 123 s.
7. Khalina, T.M. Energoeffektivnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva lokalnogo obogreva dlia APK / T.M. Khalina, M.V. Khalin, A.B. Dorosh // Dostizheniia nauki i tekhniki APK. – 2017. – Т. 31, No. 3. – S. 65-71.

