

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ) (2.4.5)

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (4.3.2.)

УДК 662.997:621.472

DOI: 10.24160/1993-6982-2023-1-100-105

Использование солнечной энергии для теплоснабжения сельских жилых домов с личным подсобным хозяйством в Сибири

Н.В. Цугленок, А.В. Бастрон, Т.Н. Бастрон

Рассмотрена экспериментальная система солнечного теплоснабжения (ССТ) индивидуального (сельского) жилого дома с пристроенной теплицей. Определено количество тепловой энергии, производимой ССТ в климатических условиях пригорода Красноярска, рассчитанное с учетом КПД СК и данных сайта NASA.

По результатам исследований сделаны следующие выводы:

- в ходе проведенных исследований установлено, что использование ССТ для отопления индивидуальных жилых домов и пристроенных теплиц в климатических условиях Сибири технически возможно и целесообразно;
- по данным расчетов в течение года количество тепловой энергии, производимой экспериментальной ССТ от трех СК, составляет 7903 кВт·ч;
- использование СК в системе солнечного теплоснабжения позволило снизить расход твердого топлива в котле на 25...30%, по сравнению с предыдущими отопительными периодами.

Ключевые слова: индивидуальный (сельский) жилой дом, личное подсобное хозяйство, теплица, отопление, система солнечного теплоснабжения, вакуумированный солнечный коллектор, солнечное излучение, подпочвенный обогрев, температура.

Для цитирования: Цугленок Н.В., Бастрон А.В., Бастрон Т.Н. Использование солнечной энергии для теплоснабжения сельских жилых домов с личным подсобным хозяйством в Сибири // Вестник МЭИ. 2023. № 1. С. 100—105. DOI: 10.24160/1993-6982-2023-1-100-105.

Use of Solar Energy for Heat Supply of Rural Residential Buildings with Personal Subsidiary Farming in Siberia

N.V. Tsuglenok, A.V. Bastron, T.N. Bastron

An experimental solar heat supply system of an individual (rural) residential building with an attached greenhouse is considered. The amount of thermal energy produced by the solar heat supply system under the climatic conditions of the Krasnoyarsk suburb, evaluated taking into account the solar collector efficiency and the NASA website data has been determined.

Based on the study results, the following conclusions have been drawn:

- it has been found in the course of the accomplished research that the use of a solar heating system for heating individual residential buildings and attached greenhouses under the climatic conditions of Siberia is technically possible and expedient;
- according to the numerical assessment data, the annual amount of thermal energy produced by the experimental solar heat supply system from three solar collectors is 7903 kWh;
- owing to the use of solar collectors in the solar heat supply system, the consumption of solid fuel in the boiler was decreased by 25–30% in comparison with the previous heating periods.

Key words: individual (rural) dwelling house, personal subsidiary farm, greenhouse, heating, solar heat supply system, vacuumed solar collector, solar radiation, subsoil heating, temperature.

For citation: Tsuglenok N.V., Bastron A.V., Bastron T.N. Use of Solar Energy for Heat Supply of Rural Residential Buildings with Personal Subsidiary Farming in Siberia. Bulletin of MPEI. 2023;1:100—105. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2023-1-100-105.

Введение

Мировой опыт показывает, что одним из возможных вариантов теплоснабжения сельских жилых домов является использование систем солнечного теплоснабжения (ССТ) [1 — 14]. Согласно обзору мирового рынка гелиоустановок, общая установленная мощность ССТ на начало 2014 г. составляла 374 ГВт, или 535 млн м². Представленные данные охватывают 96% всех гелиоустановок мира в 60 странах. Большая часть (82%) всех гелиоустановок в мире эксплуатируется в Китае (262,3 ГВт) и странах Европы (44,1 ГВт) [3].

Процесс исследования и внедрения ССТ проходит в настоящее время во многих странах [8 — 12, 14] и почти всех регионах России [1 — 7, 13]. Для повсеместной установки и эффективного использования ССТ в сельских жилых домах усадебного типа и личных подсобных хозяйствах (ЛПХ), расположенных на территории Красноярского края и Сибири в целом, необходимо решить ряд научно-практических задач, связанных с обоснованием и выбором рациональных конструкций и режимов работы систем теплоснабжения, использующих ССТ, с учетом мест их установки и ориентации по сторонам света.

Цель исследования — оценка возможности экспериментальной ССТ индивидуального жилого дома с пристроенной теплицей в условиях пригорода Красноярска.

Материалы и методы

В СНТ «Нива» Красноярского государственного аграрного университета, расположенному в Емельяновском районе Красноярского края, выполнена экспериментальная ССТ индивидуального жилого дома с пристроенной теплицей (рис. 1).

ССТ имеет замкнутый первичный контур, подача теплоносителя (в качестве теплоносителя взят антифриз) идет от теплообменника, соединенного с тремя последовательно включенными солнечными коллекторами (СК) с 30-ю вакуумированными трубками, преобразующими солнечную энергию в тепловую. Объем бака-теплообменника — 500 л. В ССТ имеется два контура: от одного обогревается индивидуальный жилой дом с системой низкотемпературного напольного отопления, а от второго — пристроенная теплица.

Пристроенная теплица длиной 8,4 м и шириной 4,2 м сооружена на железобетонном фундаменте с



Рис. 1. Индивидуальный жилой дом с пристроенной теплицей (15 февраля 2017 г.)

глубиной залегания в грунт 600 мм и толщиной стены 300 мм, утеплена пеноплексом толщиной 50 мм по всей поверхности внутренней стены фундамента. Металлокаркас выполнен из профилированной трубы, фасад и кровля остеклены тройным остеклением в рамном трехкамерном профиле PROPLEX, торцы теплицы закрыты поликарбонатом толщиной 8 мм.

Теплица отапливается путем циркуляции теплоносителя в системе металлопластиковых труб, расположенных в подпочвенном слое на глубине около 200 мм от поверхности (рис. 2).

Система отопления управляет за счет типового контроллера, поставляемого китайским производителем системы солнечного теплоснабжения. Контроллер включает и отключает циркуляционные насосы трех указанных контуров в зависимости от заданной температуры.

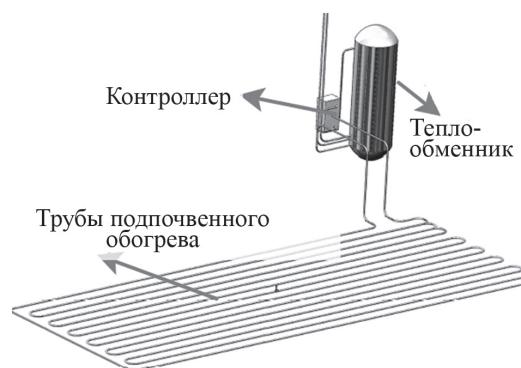


Рис. 2. Система подпочвенного обогрева теплицы

Наблюдение за температурными показателями начаты в августе 2016 г., для этого в теплице на разных уровнях грунта и высот над грунтом, на трубопроводах подачи и обратки теплоносителя и за пределами теплицы на улице установлены датчики температуры DS1820 и многоканальный USB-термометр MP707R. Сбор данных поступал с датчиков температуры с заданным интервалом и записывался в файл в формате html на жесткий диск ПЭВМ.

Расчет параметров ССТ индивидуального жилого дома с пристроенной теплицей начинается с расчета солнечного излучения (СИ) в месте установки ССТ. Вычисление СИ на поверхности солнечных коллекторов (СК) ССТ, установленных под разными углами наклона, проходит с использованием данных по солнечной радиации сайта NASA [15] (рис. 3).

Результаты расчета поступления солнечного излучения для СНТ «Нива» Емельяновского района Красноярского края на сайте NASA приведены в табл. 1.

Выработку тепловой энергии СК ССТ сельского жилого дома в течение года рассчитаем с учетом угла наклона СК и коэффициента полезного действия вакуумированного СК, определяемого как

$$\eta_{\text{СК}} = \eta_0 - U_{L1} \frac{T_{\text{cp}} - T_{\text{окр}}}{R_{\beta}} - U_{L2} \frac{(T_{\text{cp}} - T_{\text{окр}})^2}{R_{\beta}}, \quad (1)$$

где η_0 — коэффициент полезного действия солнечного коллектора без учета потерь тепловой энергии в СК, т. е. при равенстве температур воздуха окружающей среды $T_{\text{окр}}$ и средней температуры теплоносителя в СК T_{cp} ; U_{L1} , U_{L2} — коэффициенты тепловых потерь СК, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; R_{β} — мощность СИ, приходящаяся на поверхность СК, наклоненную под углом β к горизонту, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Для СК следует принять КПД $\eta_0 = 0,76$, а коэффициенты тепловых потерь $U_{L1} = 2,118 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $U_{L2} = 0,004 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

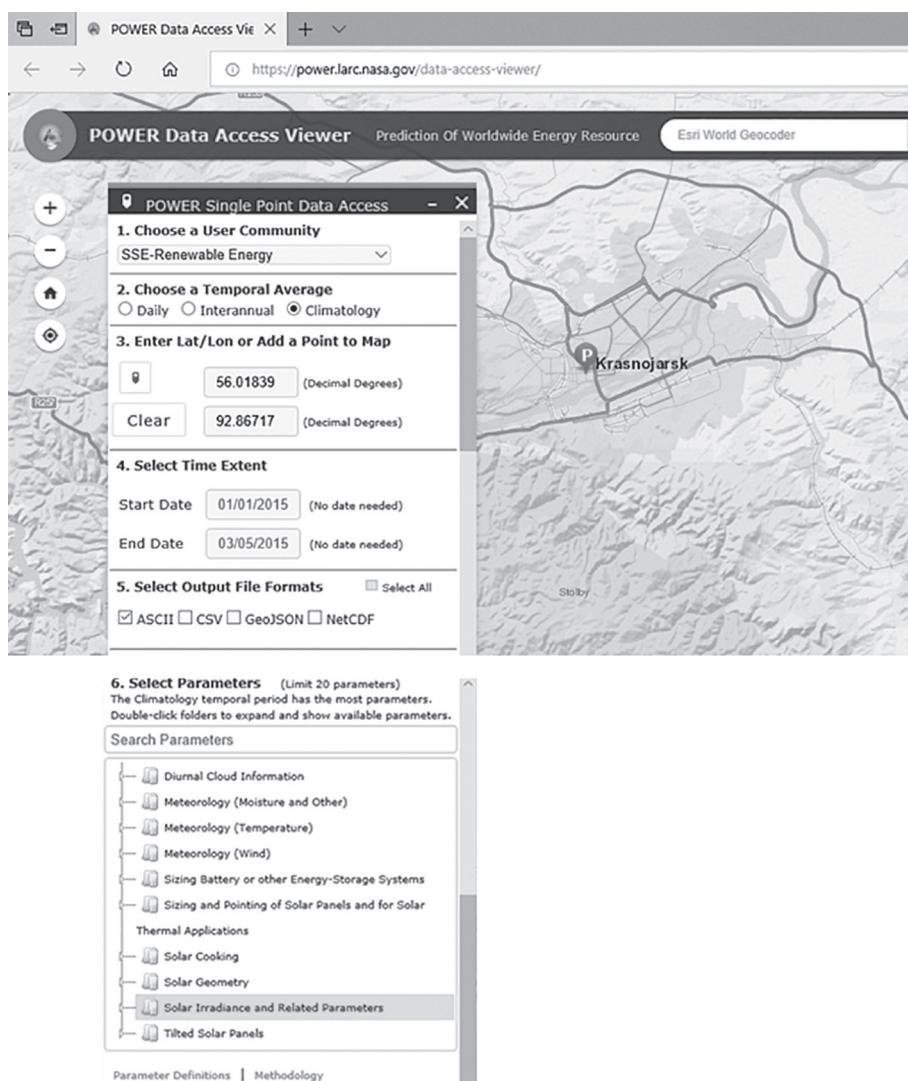


Рис. 3. Сайт NASA (для примера внесены координаты СНТ «Нива» Емельяновского района Красноярского края)

Таблица 1

Результаты расчета на сайте NASA среднемесячного дневного прихода солнечного излучения на наклоненную под углом β поверхность солнечного коллектора \mathcal{E}^{β} , кВт·ч/м²

Угол наклона, °	Месяц												В среднем за год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0	0,75	1,76	3,30	5,12	6,07	6,66	6,62	5,22	3,42	1,92	0,97	0,51	3,53
41	1,60	3,02	4,63	6,02	6,13	6,35	6,52	5,68	4,41	2,97	1,93	1,20	4,21
56	1,77	3,21	4,71	5,80	5,61	5,70	5,90	5,33	4,36	3,09	2,11	1,34	4,08
71	1,84	3,24	4,55	5,30	4,87	4,86	5,06	4,74	4,09	3,05	2,17	1,41	3,76
90	1,78	3,03	4,02	4,32	3,64	3,52	3,69	3,69	3,45	2,76	2,09	1,37	3,11
При оптимальном угле	1,84	3,25	4,71	6,03	6,36	6,79	6,86	5,76	4,42	3,10	2,18	1,41	4,39
Оптимальный угол	74,0	66,0	53,0	37,0	23,0	15,0	17,0	30,0	45,0	60,0	72,0	76,0	47,0

Среднюю температуру теплоносителя в СК рассчитали по выражению

$$T_{\text{ср}} = (T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}})/2,$$

где $T_{\text{вых}}$, $T_{\text{вх}}$ — температуры теплоносителя на выходе и входе в СК, °С.

Результаты и обсуждение

В период с 25 августа 2016 г. по 25 июня 2017 г. сформированы базы данных по изменению температур воздуха и грунта в течение суток. Измерения фиксировали с периодичностью в 2 мин. Зависимости температуры воздуха и грунта в течение суток 16 января 2017 г. представлены в [4].

Оценено количество тепловой энергии, производимой ССТ в климатических условиях пригорода Красноярска, расчитанной с учетом КПД СК (1) и данных сайта NASA. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Проведенные исследования показали, что тепловая энергия, производимая ССТ с тремя вакуумированными СК с тридцатью трубками в каждом влияет на тепловой баланс системы теплоснабжения индивидуального жилого дома с пристроенной теплицей в пригороде Красноярска с середины февраля, однако пик влияния падает на период с первой декады марта до второй декады ноября.

В течение года количество тепловой энергии, производимой ССТ от трех СК, составляет 7903 кВт·ч.

Использование в индивидуальном жилом доме с системой низкотемпературного напольного отопления тепловой энергии, полученной за счет использования СК, в период с марта по ноябрь, позволило снизить расход твердого топлива в твердотопливном котле на 25...30% по сравнению с предыдущими отопительными периодами. ССТ позволило круглогодично ис-

Таблица 2

Результаты расчета ССТ

Месяц	КПД СК	СИ за сутки на СК при угле наклона СК 41°, кВт·ч/м ²	Показатель			Тепловая энергия, выработанная ССТ за сутки, кВт·ч	Тепловая энергия, выработанная ССТ за месяц ССТ, кВт·ч
			Тепловая энергия, выработанная СК за сутки при угле 41°, кВт·ч/м ²	Тепловая энергия, выработанная СК за сутки при угле 0°, кВт·ч/м ²	Тепловая энергия, выработанная ССТ за сутки при угле 0°, кВт·ч/м ²		
1	0,24	1,60	0,38		4,770		148
2	0,31	3,02	0,94		11,63		326
3	0,31	4,63	1,44		17,83		553
4	0,42	6,02	2,53		31,40		942
5	0,49	6,13	3,00		37,31		1156
6	0,50	6,35	3,18		39,43		1183
7	0,51	6,52	3,33		41,30		1280
8	0,51	5,68	2,90		35,98		1115
9	0,37	4,41	1,63		20,27		608
10	0,29	2,97	0,86		10,70		332
11	0,24	1,93	0,46		5,750		173
12	0,19	1,20	0,23		2,830		88
В среднем за год	0,37	4,21	1,56		19,35		7903

пользовать теплый пол (в предыдущие годы отопление на летний период было отключено, на поверхности бетонного пола, покрытого плиткой, была некомфортная температура).

Другим приемником тепловой энергии в летний период, помимо системы отопления дома, стал дополнительный медный теплообменник, расположенный в бочке на 200 л и предназначенный для подогрева воды в теплице (вода для полива подается в бочку из скважины с температурой 8 °C). Горячая вода из бочки, по мере надобности, перемещалась с помощью циркуляционного насоса в надувной бассейн объемом 9 м³, расположенный во дворе дома.

Л и т е р а т у р а

1. Бастрон А.В., Михеева Н.Б., Судаев Е.М. Горячее водоснабжение сельских бытовых потребителей Красноярского края с использованием солнечной энергии. Красноярск: Изд-во Красноярского гос. аграрного ун-та, 2016.

2. Бастрон А.В., Гайдаш Г.В. Эффективное использование солнечной энергии в системах тепло- и электроснабжения сельских усадебных домов и ЛПХ // Вестник ИрГСХА. 2015. № 67. С. 92—100.

3. Бутузов В.А., Брянцева Е.В., Бутузов В.В., Гнатюк И.С. Мировой рынок гелиоустановок и перспективы солнечного теплоснабжения в России // Энергосбережение. 2016. № 3—3. С. 70—80.

4. Бастрон А.В., Гайдаш Г.В., Цугленок Н.В. Теплоснабжение индивидуального жилого дома и теплицы с использованием солнечной энергии // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 1(34). С. 35—40.

5. Слесаренко И.В. Исследование и испытания вакуумных солнечных коллекторов в системах теплоснабжения // Фундаментальные исследования. 2016. № 2—3. С. 509—514.

6. Тайсаева В.Т., Мазаев Л.Р. Разработка энергоэффективных биотехнических систем на примере молочной фермы и солнечной теплицы с тепловыми аккумуляторами // Ползуновский вестник. 2014. № 4—1. С. 173—177.

7. Чигак А.С., Шеръязов С.К. Управление режимом работы автономной системы солнечного теплоснабжения // Вестник ИрГСХА. 2017. № 81—2. С. 158—164.

8. Yuhang G., Chao G., Haizhen X. Thermal Properties of Solar Collector Comprising Oscillating Heat Pipe in a Flat-plate Structure and Water Heating System in Low-temperature Conditions // Energies. 2018. V. 11(10). Pp. 2253—2265.

9. Helvacı H., Khan Z. Experimental Study of Thermodynamic Assessment of a Small Scale Solar Thermal System // Energy Conversion and Management. 2016. V. 117. Pp. 567—576.

Выводы

В ходе проведенных исследований установлено, что использование ССТ для отопления индивидуальных жилых домов и пристроенных теплиц в климатических условиях Сибири технически возможно и целесообразно.

Расчеты показали, что в течение года количество тепловой энергии, производимой экспериментальной ССТ от трех СК составляет 7903 кВт·ч;

Использование СК в системе солнечного теплоснабжения снизило расход твердого топлива в котле на 25...30% по сравнению с предыдущими отопительными периодами.

References

1. Bastron A.V., Mikheeva N.B., Sudaev E.M. Gor'yachee Vodosnabzhenie Sel'skikh Bytovykh Potrebiteley Krasnoyarskogo Kraya s Ispol'zovaniem Solnechnoy Energii. Krasnoyarsk: Izd-vo Krasnoyarsnogo Gos. Agrarnogo Un-ta, 2016. (in Russian).

2. Bastron A.V., Gaydash G.V. Effektivnoe Ispol'zovanie Solnechnoy Energii v Sistemakh Teplo- i Elektrosnabzheniya Sel'skikh Usadebnykh Domov i LPKH. Vestnik IrGSKHA. 2015;67:92—100. (in Russian).

3. Butuzov V.A., Bryantseva E.V., Butuzov V.V., Gnatyuk I.S. Mirovoy Rynok Gelioustanovok i Perspektivy Solnechnogo Teplosnabzheniya v Rossii. Energosberezhenie. 2016;3—3:70—80. (in Russian).

4. Bastron A.V., Gaydash G.V., Tsuglenok N.V. Teplosnabzhenie Individual'nogo Zhilogo Doma i Teplitsy s Ispol'zovaniem Solnechnoy Energii. Elektrotehnologii i Elektrooborudovanie v APK. 2019;1(34):35—40. (in Russian).

5. Slesarenko I.V. Issledovanie i Ispytaniya Vakuumnykh Solnechnykh Kollektorov v Sistemakh Teplosnabzheniya. Fundamental'nye Issledovaniya. 2016;2—3: 509—514. (in Russian).

6. Taysaeva V.T., Mazaev L.R. Razrabotka Energoeffektivnykh Biotekhnicheskikh Sistem na Primere Molochnoy Fermy i Solnechnoy Teplitsy s Teplovymi Akkumulyatorami. Polzunovskiy vestnik. 2014;4—1:173—177. (in Russian).

7. Chigak A.S., Sher'yazov S.K. Upravlenie Rezhimom Raboty Avtonomnoy Sistemy Solnechnogo Teplosnabzheniya. Vestnik IrGSKHA. 2017;81—2:158—164. (in Russian).

8. Yuhang G., Chao G., Haizhen X. Thermal Properties of Solar Collector Comprising Oscillating Heat Pipe in a Flat-plate Structure and Water Heating System in Low-temperature Conditions. Energies. 2018;11(10): 2253—2265.

9. Helvacı H., Khan Z. Experimental Study of Thermodynamic Assessment of a Small Scale Solar Thermal System. Energy Conversion and Management. 2016;117: 567—576.

10. **Xiea Y., Gilmourb M., Yuanc Y., Jind H., Wue H.** A Review on House Design with Energy Saving System in the UK // Renewable and Sustainable Energy Rev. 2017. V. 71. Pp. 29—52.
11. **Bait O., Si-Ameu M.** Tubular Solar-energy Collector Integration: Performance Enhancement of Classical Distillation Unit Links Open Overlay Panel // Energy. 2017. V. 141. Pp. 818—838.
12. **Menegaki A.** Growth and Renewable Energy in Europe: Benchmarking with Data Envelopment Analysis // Renewable Energy. 2013. V. 60. Pp. 363—369.
13. **Velkin V.I.** The Use of Graphical Model for the RES Cluster for Determining the Optimal Composition of the Equipment of Renewable Energy Sources // World Appl. Sci. J. 2013. V. 29(9). Pp. 1343—1348.
14. **Guldenopsa G., Mahdavi A.N., Vuyec C., Van den Berghe W. Rahbar N.** Performance of a Pavement Solar Energy Collector: Model Development and Validation Links Open Overlay Panel // Appl. Energy. 2016. V. 163. Pp. 180—189.
15. **Power** Data Access Viewer. NASA Prediction of Worldwide Energy Resources [Электрон. ресурс] <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата обращения 10.01.2022).
10. **Xiea Y., Gilmourb M., Yuanc Y., Jind H., Wue H.** A Review on House Design with Energy Saving System in the UK. Renewable and Sustainable Energy Rev. 2017;71:29—52.
11. **Bait O., Si-Ameu M.** Tubular Solar-energy Collector Integration: Performance Enhancement of Classical Distillation Unit Links Open Overlay Panel. Energy. 2017;141:818—838.
12. **Menegaki A.** Growth and Renewable Energy in Europe: Benchmarking with Data Envelopment Analysis. Renewable Energy. 2013;60:363—369.
13. **Velkin V.I.** The Use of Graphical Model for the RES Cluster for Determining the Optimal Composition of the Equipment of Renewable Energy Sources. World Appl. Sci. J. 2013;29(9):1343—1348.
14. **Guldenopsa G., Mahdavi A.N., Vuyec C., Van den Berghe W. Rahbar N.** Performance of a Pavement Solar Energy Collector: Model Development and Validation Links Open Overlay Panel. Appl. Energy. 2016;163:180—189.
15. **Power** Data Access Viewer. NASA Prediction of Worldwide Energy Resources [Электрон. ресурс] <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (Data Obrashcheniya 10.01.2022).

Сведения об авторах:

Цугленок Николай Васильевич — член-корреспондент СО РАН, доктор технических наук, профессор Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН
Бастрон Андрей Владимирович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электроснабжения сельского хозяйства Красноярского государственного аграрного университета, e-mail: abastron@yandex.ru
Бастрон Татьяна Николаевна — кандидат технических наук, доцент кафедры системоэнергетики Красноярского государственного аграрного университета

Information about authors:

Tsuglenok Nikolay V. — Corresponding Member of the SB RAS, Dr.Sci. (Techn.), Professor of Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences
Bastron Andrey V. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor, Head of Power Supply of Agriculture Dept., Krasnoyarsk State Agrarian University, e-mail: abastron@yandex.ru
Bastron Tatyana N. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of System Power Engineering Dept., Krasnoyarsk State Agrarian University

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 02.03.2022

The article received to the editor: 02.03.2022

Статья принята к публикации: 24.10.2022

The article has been accepted for publication: 24.10.2022