

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗУГЛЕРОДНОЙ РАДИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ В ВЕСЕННИЙ И ОСЕННИЙ ПЕРИОДЫ

В. И. Карагусов

Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

Солнечная энергия относится к возобновляемой безуглеродной энергии. Экспериментальные исследования, проведенные в весенне-осенние периоды 2018–2021 гг. в условиях резко континентального климата Западной Сибири, позволили сделать ряд выводов о применимости радиационной системы жизнеобеспечения для коттеджей, сельских домов и других отдельно стоящих строений. За время исследований было проведено большое количество экспериментальных измерений температур с записью их в память логгера 88598. Температуры фиксировались на измерительной ячейке экспериментального стенда. Полученные экспериментальные данные обрабатывались. Весной и осенью радиационное кондиционирование рациональнее заменять на вентиляцию, так как в ночное время разница температур между радиационной панелью и окружающим воздухом невелика.

Ключевые слова: система жизнеобеспечения, радиационный коллектор, солнечное излучение, тепловой поток, безуглеродная энергия, возобновляемые источники энергии, инсоляция.

Введение

Радиационные системы жизнеобеспечения не используют невозобновляемые источники энергии, такие как электричество и виды топлива, оставляющие углеродный след. Такие системы относятся к экологически чистым и используют инсоляцию в дневное время [1, 2] и излучение в ночное небо в темное время суток [3, 4]. Достоинствами радиационного охлаждения являются отсутствие потребности для своего функционирования линий электропередач, теплотрасс, не требуется пополнение запасов топлива и организация их хранения практически не требует эксплуатационных затрат. К несомненным преимуществам таких систем следует отнести длительный ресурс работы, бесшумность, отсутствие вибраций, простоту полной автоматизации и встраивания в систему «Умный дом».

В дневное время радиационные системы жизнеобеспечения при необходимости выполняют функцию обогрева помещений и горячего водоснабжения, а также создание запасов теплоты для расходования в ночное время. За счет запасов холода, созданных в ночное время, осуществляется кондиционирование воздуха и работа холодильных систем [5]. При недостаточности как тепловой, так и холодильной производительности радиационные системы жизнеобеспечения могут дополняться для совместной работы другими системами жизнеобеспечения.

В первую очередь это касается работы радиационной системы в режиме отопления в осенний, зимний и весенний периоды в северных и сибирских регионах, так как для этих сезонов характерны низкие температуры и инсоляция, что снижает тепловую производительность солнечных коллекторов и, соответственно, влечет за собой увеличение площади их теплообменной поверхности.

Значительным преимуществом радиационных систем жизнеобеспечения является их независимость от местоположения на местности при прочих равных условиях (широта, высота над уровнем моря, рельеф местности и пр.), даже там, где отсутствует электроснабжение. Такие системы находят применение в отдаленных и труднодоступных районах, горной местности и на необитаемых объектах [6].

Технология радиационного обогрева заключается в нагреве солнечных коллекторов за счет инсоляции в светлое время суток, передаче теплоты нагрева через жидкий (вода, незамерзающая жидкость) или газообразный (воздух) теплоноситель в аккумулятор теплоты. Теплота из аккумулятора расходуется по мере необходимости для отопления и горячего водоснабжения [7].

Технология радиационного кондиционирования воздуха состоит из двух этапов. На первом этапе, протекающем в темное время суток, радиационный коллектор отдает теплоту теплоносителя в ночное небо, имеющее температуру ниже температуры радиационного коллектора, затем теплоноситель охлаждает аккумулятор холода. Дополнительный холод в это время можно получить за счет окружающего воздуха, который в условиях континентального и резко континентального климата ночью значительно холоднее, чем в светлое время суток. На втором этапе в светлое время суток холодный теплоноситель из аккумулятора холода охлаждает воздух в помещениях или продукты в холодильных камерах [8, 9].

Такие технологии наиболее целесообразно применять при отсутствии коммуникаций, доставляющих электрическую и тепловую энергию. Следует отметить, что последние мировые тенденции по переходу на малоуглеродную энергетику с последующим полным отказом от углеродного следа делают

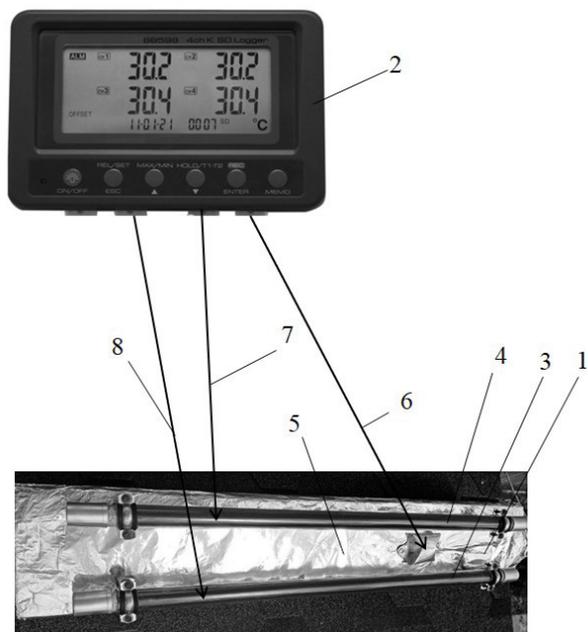


Рис. 1. Схема экспериментального стенда:

- 1 — измерительный модуль;
 2 — четырехканальный логгер 88598;
 3 — ячейка I — труба с воздушной теплоизоляцией;
 4 — ячейка II (дублирующая) — труба с воздушной теплоизоляцией;
 5 — подложка из алюминиевой фольги; 6 — термопара t_{oc} ;
 7 — термопара t_2 ; 8 — термопара t_1
- Fig. 1. Experimental stand layout:
 1 — measuring module;
 2 — four-channel logger 88598; 3 — cell I — air-insulated pipe;
 4 — cell II (duplicate) — air-insulated pipe;
 5 — aluminum foil backing; 6 — thermocouple $t_{ambient}$;
 7 — thermocouple t_2 ; 8 — thermocouple t_1

радиационные системы жизнеобеспечения востребованными практически повсеместно, как это происходит в настоящее время в Европе.

Объект исследований

Значительная часть территории Российской Федерации расположена в зонах с холодным континентальным и резко континентальным климатом, поэтому место проведения экспериментальных исследований было выбрано в Западной Сибири на значительном удалении от городов с координатами $54^{\circ}28'39.0''N$ $74^{\circ}21'54.6''E$ [5].

Проведенные исследования радиационной системы жизнеобеспечения на экспериментальном стенде в зимний и летний периоды были опубликованы в [10]. В настоящее время работа радиационной системы жизнеобеспечения представляет наибольший интерес в весенний и осенний периоды, так как в это время погодные условия наименее стабильны и существует потребность в попеременном обогреве и охлаждении.

На производительность радиационных систем жизнеобеспечения влияют ряд факторов, таких как время года, погодные условия, климатическая зона, регион, размещение и ориентация радиационных панелей и пр.

В данной работе рассматривается работа радиационной системы жизнеобеспечения в весенний и осенний периоды 2018–2021 гг.

Экспериментальные исследования проводились на экспериментальном стенде [10], показанном

на рис. 1, измерительный модуль которого был смонтирован на южном скате пологой крыши одноэтажного строения с уклоном 15° относительно горизонта.

Измерительный модуль содержит две одинаковые, состоящие из черенных медных (медь М3) труб $\varnothing 20 \times 1$. Измеренная сравнительным методом степень черноты медных труб составила от 0,93 до 0,95. Теплоизоляция медных труб осуществлялась размещением снаружи них стеклянных труб наружным диаметром 32 мм и толщиной стенки 3,5 мм; герметизация теплоизолирующей полости сделана из коры пробкового дуба. Под измерительными ячейками размещена отражательная поверхность, выполненная из алюминиевой фольги.

В измерительных ячейках I и II на поверхности медных труб припаяны термопары типа К, для измерения температуры окружающего воздуха используется аналогичная термопара типа К. В полости между стеклянными и медными трубами находится воздух.

Роль вторичного измерительного прибора выполняет четырехканальный логгер 88598, характеристики которого с заданным временным интервалом фиксируют одновременно до четырех температур в интервале от минус $60^{\circ}C$ до $120^{\circ}C$, с погрешностью измерений $\pm 0,02^{\circ}C$.

Стенд обеспечивает измерения температур непрерывно в течение суток и круглый год. Запись производится с интервалом между измерениями температур 5 мин. Перебои с электроэнергией компенсируются резервным электропитанием. Значительную часть времени стенд находится в необслуживаемом режиме.

Методы исследования

Платформой для проведения экспериментальных исследований служит измерительный модуль с воздушно-теплоизолированными ячейками. Площадь теплообменной поверхности каждой из медных труб составляла $0,02 \text{ м}^2$. Ориентация измерительного модуля — восток-запад, теплообменная поверхность измерительных ячеек ориентирована юг-север.

Измерения температуры и их запись логгером 88598 производились у ячеек, а также у атмосферного воздуха вблизи измерительного модуля в затененном месте.

В данной статье приводятся экспериментально-расчетные исследования инсоляционной системы отопления в весенние и осенние периоды 2018, 2019, 2020 и 2021 гг.

В процессе проведения экспериментальных исследований выяснилось значительное натекание воздуха из атмосферы в вакуумную полость. Это привело к необходимости регулярного вакуумирования теплоизоляционной полости, что было невозможно в необслуживаемом режиме. В результате давление в вакуумной теплоизоляционной полости возрастало до атмосферного.

Расчетная обработка экспериментальных исследований [5, 10] позволила сделать вывод, что тепловая производительность солнечного коллектора с вакуумной теплоизоляцией больше, чем у коллектора с воздушной теплоизоляцией, на 10...20 %.

Оценочные расчеты показали, что капитальные вложения и эксплуатационные расходы на солнечный коллектор с вакуумной теплоизоляцией в разы больше, чем на такой же коллектор с воздушной

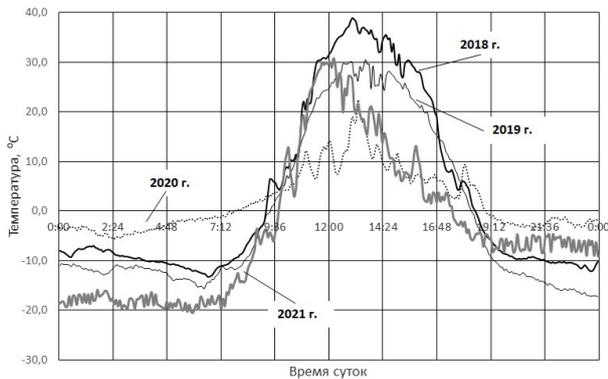


Рис. 2. Температуры измерительной ячейки I 17 марта
Fig. 2. Temperatures for measuring cell I March 17

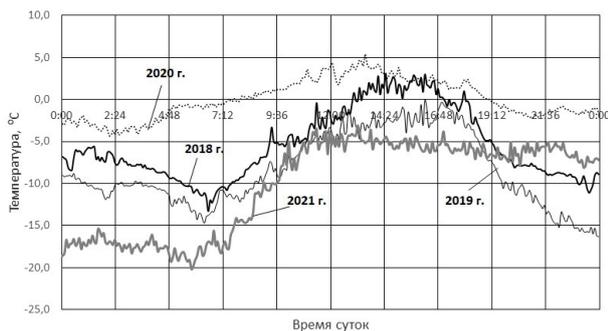


Рис. 3. Температуры окружающего воздуха 17 марта
Fig. 3. Temperatures for ambient air March 17

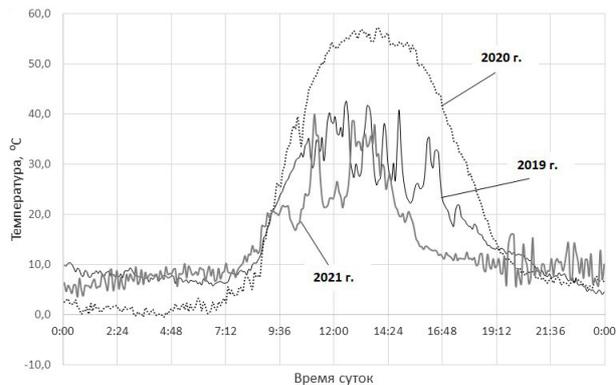


Рис. 4. Температуры измерительной ячейки I 9 октября
Fig. 4. Temperatures for measuring cell I October 9

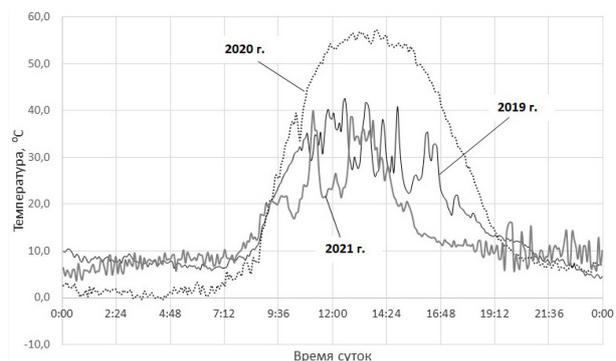


Рис. 5. Температуры окружающего воздуха 9 октября
Fig. 5. Temperatures for ambient air October 9

теплоизоляции, поэтому сделан вывод о целесообразности использования радиационных коллекторов с воздушной теплоизоляцией и большей на те же 10...20 % площадью поверхности теплообмена для компенсации потерь через воздушную теплоизоляцию [10].

Результаты и обсуждение

На производительность радиационной системы жизнеобеспечения влияют конструктивные и погодные факторы, а также регион, широта, долгота и высота над уровнем моря, близко стоящие здания и деревья. Большое значение имеет конструкция крыши объекта и ее ориентация.

Погодные условия оказывают значительное влияние на работу радиационной системы жизнеобеспечения, как в светлое, так и в темное время суток. Несмотря на достаточную точность краткосрочных прогнозов, невозможно учесть тень от каждого облака, которая падает на радиационную панель и изменяет величину инсоляции и, как следствие, тепловую производительность радиационного коллектора. В морозные дни возможно выпадение снега и инея даже в ясную погоду.

На большей части Евразии погодные условия в один и тот же календарный день в разные годы могут отличаться. Экспериментальные исследования показали, что наибольшие различия отмечают весной и осенью. На рис. 2 для сравнения приведены результаты экспериментальных измерений температуры ячейки I с воздушной теплоизоляцией в течение суток 17 марта 2018 г., 17 марта 2019 г., 17 марта 2020 г. и 17 марта 2021 г. На рис. 3 при-

ведены результаты экспериментальных измерений температуры окружающего воздуха вблизи ячейки I для 17 марта 2018 г., 17 марта 2019 г., 17 марта 2020 г. и 17 марта 2021 г. На рис. 4 приведены результаты экспериментальных измерений температуры ячейки I, измеренные 9 октября 2019 г., 9 октября 2020 г. и 9 октября 2021 г. На рис. 5 приведены результаты экспериментальных измерений температуры окружающего воздуха вблизи ячейки I для 9 октября 2019 г., 9 октября 2020 г. и 9 октября 2021 г. Полученные результаты показывают, что в весенние и осенние дни температура радиационного коллектора и температура окружающего воздуха в разные годы изменяются хаотично, что не позволяет судить о тенденциях, связанных с глобальным потеплением.

Весной и осенью радиационное кондиционирование рациональнее заменять на вентиляцию, так как в ночное время разница температур между радиационной панелью и окружающим воздухом невелика.

Выводы и заключение

Радиационные системы жизнеобеспечения не используют невозобновляемые источники энергии, такие как электричество и виды топлива, оставляющие углеродный след. Такие системы относятся к экологически чистым и используют инсоляцию в дневное время и излучение в ночное небо в темное время суток.

Расчетная обработка экспериментальных исследований позволила сделать вывод, что тепловая производительность солнечного коллектора с ваку-

умной теплоизоляцией больше, чем у коллектора с воздушной теплоизоляцией на 10...20 %.

Оценочные расчеты показали, что капитальные вложения и эксплуатационные расходы на солнечный коллектор с вакуумной теплоизоляцией в разы больше, чем на такой же коллектор с воздушной теплоизоляцией, поэтому сделан вывод о целесообразности использования радиационных коллекторов с воздушной теплоизоляцией и большей на те же 10...20 % площадью поверхности теплообмена для компенсации потерь через воздушную теплоизоляцию.

В весенний и осенний периоды в дневное время коллектор разогревается до температурных значений в 40...60 °С, из чего следует вывод о целесообразности обогрева помещений радиационной системой жизнеобеспечения в весенний и осенний периоды.

Весной и осенью радиационное кондиционирование рациональнее заменять на вентиляцию, так как разница температур между радиационной панелью в ночное время и окружающим воздухом велика.

Радиационная система обогрева в весенний и осенний периоды позволяет экономить на отоплении, а в ряде случаев исключить потребление невозобновляемых источников энергии, что уменьшает углеродное загрязнение атмосферы.

Список источников

1. Bhowmika H., Amin R. Efficiency improvement to flat plate solar collector using reflector // *Energy Reports*. 2017. Vol. 3. P. 119–123. DOI: 10.1016/j.egypr.2017.08.002.
2. Chen Z., Furbo S., Perers B. [et al.]. Efficiencies of Flat Plate Solar Collectors at Different Flow Rates // *Energy Procedia*. 2012. Vol. 30. P. 65–72. DOI: 10.1016/j.egypro.2012.11.009.
3. Qingyuan Z., Yu L. Potentials of Passive Cooling for Passive Design of Residential Buildings in China // *Energy Procedia*. 2014. Vol. 57. P. 1726–1732. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.10.161.
4. Goforth M. A., Gilchrist G. W., Sirianni J. D. Cloud effects on thermal down welling sky radiance // *Proc. SPIE 4710, Thermosense XXIV*, March 15, 2002. Orlando. 2002. Vol. 4710. P. 203–213. DOI: 10.1117/12.459570.
5. Karagusov V. I., Kolpakov I. S. Influence of Clouds and Air Temperature on the Performance of the Radiation Heating

System // *AIP Conf. Proc.* 2019. Vol. 2141, Issue 1. 030041. DOI: 10.1063/1.5122091.

6. Chen Z., Zhu L., Raman A., Fan S. Radiative cooling to deep sub-freezing temperatures through a 24-h day–night cycle // *Nature Communications*. 2016. Vol. 7. 13 p. DOI: 10.1038/ncomms13729.

7. Hashim W. M., Shomran A. T., Jurmut H. A. [et al.]. Case study on solar water heating for flat plate collector // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2018. Vol. 12. P. 666–671. DOI: 10.1016/j.csite.2018.09.002.

8. Tsoy A. P., Granovskiy A. S., Baranenko A. V., Tsoy D. A. Effectiveness of a night radiative cooling system in different geographical latitudes // *AIP Conf. Proc.* 2017. Vol. 1876, Issue 1. 020060. DOI: 10.1063/1.4998880.

9. Enderlin A. R. Radiative Cooling to the Night Sky // *Chemical Engineering Undergraduate Honors*. 2015. Vol. 5. 30 p.

10. Карагусов В. И. Экспериментально-расчетные исследования радиационных панелей системы жизнеобеспечения // *Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение*. 2021. Т. 5, № 1. С. 28–33. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-1-28-33.

КАРАГУСОВ Владимир Иванович, доктор технических наук, старший научный сотрудник (Россия), профессор кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология» Омского государственного технического университета, г. Омск.
SPIN-код: 7624-3122

AuthorID (РИНЦ): 176942

ORCID: 0000-0002-7268-649X

Адрес для переписки: karvi@mail.ru

Для цитирования

Карагусов В. И. Исследование безуглеродной радиационной системы жизнеобеспечения в весенний и осенний периоды // *Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение*. 2022. Т. 6, № 1. С. 9–13. DOI: 10.25206/2588-0373-2022-6-1-9-13.

Статья поступила в редакцию 18.01.2022 г.

© В. И. Карагусов

STUDY OF CARBON-FREE RADIATION LIFE SUPPORT SYSTEM IN SPRING AND AUTUMN PERIODS

V. I. Karagusov

Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

Solar energy refers to renewable carbon-free energy. Experimental studies conducted in the spring-autumn periods of 2018–2021. In the conditions of the sharply continental climate of Western Siberia allowed us to draw a number of conclusions about the applicability of the radiation life support system for cottages, rural houses and other detached buildings. During the research, a large number of experimental temperature measurements are carried out with their recording in the memory of the logger 88598. The temperatures are recorded on the measuring cell of the experimental stand. The obtained experimental data are processed. In spring and autumn, it is more rational to replace radiation conditioning with ventilation, since at night the temperature difference between the radiation panel and the surrounding air is small.

Keywords: life support system, radiation collector, solar radiation, heat flux, carbon-free energy, renewable energy sources, insolation.

References

1. Bhowmika H., Amin R. Efficiency improvement to flat plate solar collector using reflector // Energy Reports. 2017. Vol. 3. P. 119–123. DOI: 10.1016/j.egypr.2017.08.002. (In Engl.).
2. Chen Z., Furbo S., Perers B. [et al.]. Efficiencies of Flat Plate Solar Collectors at Different Flow Rates // Energy Procedia. 2012. Vol. 30. P. 65–72. DOI: 10.1016/j.egypro.2012.11.009. (In Engl.).
3. Qingyuan Z., Yu L. Potentials of Passive Cooling for Passive Design of Residential Buildings in China // Energy Procedia. 2014. Vol. 57. P. 1726–1732. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.10.161. (In Engl.).
4. Goforth M. A., Gilchrist G. W., Sirianni J. D. Cloud effects on thermal down welling sky radiance // Proc. SPIE 4710, Thermosense XXIV, March 15, 2002. Orlando. 2002. Vol. 4710. P. 203–213. DOI: 10.1117/12.459570. (In Engl.).
5. Karagusov V. I., Kolpakov I. S. Influence of Clouds and Air Temperature on the Performance of the Radiation Heating System // AIP Conf. Proc. 2019. Vol. 2141, Issue 1. 030041. DOI: 10.1063/1.5122091. (In Engl.).
6. Chen Z., Zhu L., Raman A., Fan S. Radiative cooling to deep sub-freezing temperatures through a 24-h day–night cycle // Nature Communications. 2016. Vol. 7. 13 p. DOI: 10.1038/ncomms13729. (In Engl.).
7. Hashim W. M., Shomran A. T., Jurmut H. A. [et al.]. Case study on solar water heating for flat plate collector // Case Studies in Thermal Engineering. 2018. Vol. 12. P. 666–671. DOI: 10.1016/j.csite.2018.09.002. (In Engl.).
8. Tsoy A. P., Granovskiy A. S., Baranenko A. V., Tsoy D. A. Effectiveness of a night radiative cooling system in different geographical latitudes // AIP Conf. Proc. 2017. Vol. 1876, Issue 1. 020060. DOI: 10.1063/1.4998880. (In Engl.).
9. Enderlin A. R. Radiative Cooling to the Night Sky // Chemical Engineering Undergraduate Honors. 2015. Vol. 5. 30 p. (In Engl.).
10. Karagusov V. I. Eksperimental'no-raschetnyye issledovaniya radiatsionnykh paneley sistemy zhizneobespecheniya [Experimental and computational studies of radiation panels of life support system] // Omskiy nauchnyy vestnik. Ser. Aviatzionno-raketnoye i energeticheskoye mashinostroyeniye. *Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering*. 2021. Vol. 5, no. 1. P. 28–33. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-1-28-33. (In Russ.).

KARAGUSOV Vladimir Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor of Refrigeration and Compressor Equipment and Technology Department, Omsk State Technical University, Omsk.
SPIN-code: 7624-3122
AuthorID (RSCI): 176942
ORCID: 0000-0002-7268-649X
Address for correspondence: karvi@mail.ru

For citations

Karagusov V. I. Study of carbon-free radiation life support system in spring and autumn periods // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2022. Vol. 6, no. 1. P. 9–13. DOI: 10.25206/2588-0373-2022-6-1-9-13.

Received January 18, 2022.

© V. I. Karagusov