

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ С ВАКУУМНОЙ И ВОЗДУШНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЕЙ

В. И. Карагусов¹, И. С. Колпаков², В. А. Немыкин², И. Н. Погуляев²

¹Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

²Научно-технический комплекс «Криогенная техника»,
Россия, 644105, г. Омск, ул. 22 Партсъезда, 97, корп. 1

В статье представлен разработанный экспериментальный стенд для исследования радиационной системы жизнеобеспечения. В состав экспериментального стенда входит измерительный модуль с тремя измерительными ячейками: с вакуумной, воздушной теплоизоляцией и без теплоизоляции. Задачами исследования является проведение экспериментальных исследований радиационной системы жизнеобеспечения в дневное и ночное время в условиях сибирской зимы.

В ходе исследования выявлено, что радиационная панель, установленная определенным образом, может излучать больше энергии, чем получать обратно от окружающей среды или, наоборот, получать больше энергии, чем излучать в окружающую среду. В результате ее температура может быть ниже температуры окружающего воздуха, что позволяет получать холодопроизводительность без затрат энергии. Температура может быть выше температуры окружающего воздуха, что позволяет получать тепловую энергию от Солнца. Эти процессы являются экологически чистыми и относятся к возобновляемым источникам энергии.

Ключевые слова: радиационные системы жизнеобеспечения, вакуумная теплоизоляция, многослойно-экранная изоляция, обогрев, охлаждение, солнечное излучение, возобновляемые источники энергии.

Введение

Радиационные системы жизнеобеспечения могут выполнять две функции: нагрев теплоносителя от солнечного излучения для целей обогрева или горячего водоснабжения [1] и охлаждение теплоносителя путем излучения в небо для целей кондиционирования воздуха или охлаждения продуктов и пр. [2]. При определенной организации процессов теплообмена излучением и соблюдении мер безопасности жизнедеятельности эти две функции могут быть объединены.

В радиационных системах жизнеобеспечения тепловой поток может иметь два направления: от окружающей среды к радиационной панели и от радиационной панели в окружающую среду [3]. В первом случае происходит нагрев теплоносителя от солнечного излучения для обогрева помещений или подогрева воды. Во втором случае происходит охлаждение теплоносителя [4] для кондиционирования воздуха и захлаживания камер для хранения, например, продуктов [5].

При ориентации радиационной панели на открытый участок неба она может излучать большее количество энергии, чем поступающее от окружающей среды. При этом ее температура может быть ниже температуры окружающего воздуха, что позволяет получить холод в ночное время экологически чистым способом без затрат энергии [6]. В дневное время радиационная система может получать солнечную тепловую энергию для, например, отопления, что позволяет использовать возобновляемый источник энергии [7].

На рис. 1 показана схема радиационной системы жизнеобеспечения с объединением функций обо-

грева и охлаждения. В качестве примера приведена двухконтурная схема с двумя насосами: в первом циркуляционном контуре с радиационной панелью 1 и насосом 5 заправлена незамерзающая жидкость, во втором — вода. Коммутация потоков жидкостей осуществляется при помощи клапанов (вентилей при ручном управлении) 7–16.

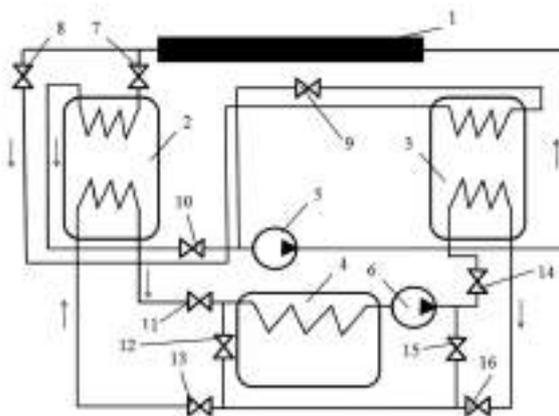


Рис. 1. Схема двухконтурной радиационной системы жизнеобеспечения с объединением функций обогрева и охлаждения:
1 — радиационная панель; 2 — аккумулятор холода; 3 — аккумулятор теплоты; 4 — теплообменники (радиаторы, батареи, воздухоохладители) в помещениях; 5, 6 — насосы; 7–16 — клапаны (вентили)
Fig. 1. A two-circuit scheme of the radiation life-support system with the integration of heating and cooling functions:
1 — a radiation panel;
2 — a cold accumulator; 3 — a heat accumulator;
4 — heat exchangers (radiators, batteries, air coolers) in premises; 5, 6 — pumps; 7–16 — valves

В ночном режиме [8] холод запасается в аккумуляторе холода 2, а днем охлаждаются помещения при помощи теплообменников 4. В дневном режиме теплота запасается в аккумуляторе теплоты 3, а ночью обогреваются помещения для поддержания микроклимата в них посредством теплообменников 4.

В других вариантах исполнения система может быть одно-, двух- и трехконтурная. В одноконтурной системе жизнеобеспечения заправляется один незамерзающий теплоноситель, который циркулирует в радиационной панели, аккумуляторах холода и теплоты, а также в теплообменном оборудовании в обеспечиваемых помещениях. В этом варианте требуется всего один жидкостной насос.

В трехконтурной системе жизнеобеспечения незамерзающий теплоноситель циркулирует в контуре радиационной панели. Другой теплоноситель может быть обычным или незамерзающим в зависимости от условий эксплуатации и циркулирует в отдельном контуре аккумулятора холода и системе кондиционирования воздуха. Третий теплоноситель циркулирует в контуре аккумулятора теплоты и системе отопления или подогрева воды. В каждом из трех циркуляционных контуров требуется отдельный жидкостный насос. Теплообменники 4 в теплом и холодном контурах теплоносителей в этом варианте делают отдельными для упрощения коммутации.

Объект исследований

Объектом исследований являются измерительный модуль экспериментального стенда, показанного на рис. 2, для определения интенсивности и направления теплового потока радиационной системы жизнеобеспечения [9]. Экспериментальный стенд состоит из измерительного модуля 1 и четырехканального логгера 88598 2, который фиксирует с необходимой частотой и точностью четыре температуры: три температуры на ячейках I, II, III измерительного модуля и температу-

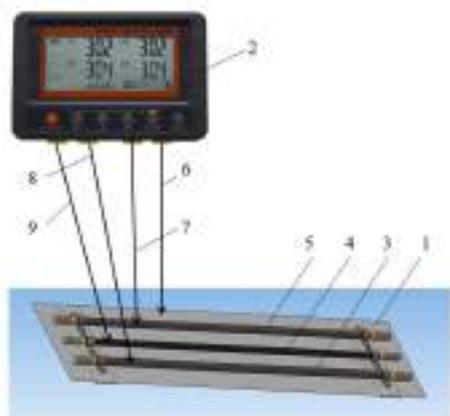


Рис. 2. Схема экспериментального стенда:

- 1 — измерительный модуль;
- 2 — четырехканальный логгер 88598;
- 3 — ячейка III — труба с вакуумной теплоизоляцией;
- 4 — ячейка I — труба без теплоизоляции;
- 5 — ячейка II — труба с воздушной теплоизоляцией;
- 6 — термопара t_{oc} ;
- 7 — термопара t_2 ; 8 — термопара t_3 ; 9 — термопара t_1

Fig. 2. The scheme of the experimental stand:

- 1 — a measuring module;
- 2 — a four-channel logger 88598;
- 3 — cell III — a tube with vacuum heat insulation;
- 4 — cell I — a tube without heat insulation;
- 5 — cell II — a tube with air heat insulation;
- 6 — a thermocouple t_{oc} ; 7 — a thermocouple t_2 ;
- 8 — a thermocouple t_3 ; 9 — a thermocouple t_1

ру окружающей среды. Четырехканальный логгер 88598 обеспечивает разрешающую способность измерения температуры не хуже $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ при погрешности измерений $\pm 0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такой логгер с термопарами К-типа в условиях круглосуточных измерений [10] сибирской зимой предпочтительней систем с пленочными термометрами сопротивления [11]. Память четырехканального логгера 88598 позволяет проводить длительные исследования на экспериментальном стенде.

Измерительный модуль экспериментального стенда состоит из трех измерительных ячеек: 3 — ячейка III — медная черненная труба с вакуумной теплоизоляцией ($0,01\dots 0,00001\text{ МПа}$) между медной и стеклянными трубами, расположенными коаксиально; 4 — ячейка I — медная черненная труба без теплоизоляции; 5 — ячейка II — медная черненная труба с теплоизоляцией разреженным воздухом ($0,06\dots 0,09\text{ МПа}$) между медной и стеклянными трубами, расположенными коаксиально.

Степень черноты медных труб — $0,93\dots 0,95$ — определялась сравнительным методом. На всех трех медных трубах установлены хромель-алюмелевые термопары (тип К), четвертая такая же термопара укрыта многослойной экранно-пенополиэтиленовой теплоизоляцией и измеряет температуру окружающего воздуха без влияния ветра. Внутри медных труб находится разреженный воздух под давлением $0,06\dots 0,09\text{ МПа}$.

Материалы: внутренняя труба — медь МЗ $\text{Ø} 20 \times 1$; наружная труба — стекло $\text{Ø} 32 \times 3,5$; герметизирующие пробки — кора пробкового дуба; покрывающие — из пенополистирола с защитой из майлара.

Фотография измерительного модуля экспериментального стенда в положении под углом $71,5$ градуса к горизонту приведена на рис. 3. Ориентация труб измерительных ячеек север — юг.

Давление и влажность наружного воздуха измеряются локальной метеостанцией.

Погодные условия с 01.01.2018 г. по 07.01.2018 г.: ясная погода с редкими перистыми облаками; давление атмосферного воздуха $773\dots 775\text{ мм. рт. ст.}$; ветер переменных направлений $0\dots 2\text{ м/с}$; температура — $15\dots -35\text{ }^{\circ}\text{C}$; влажность воздуха $72\dots 75\%$. Эти погодные условия приводили к выпадению инея на измерительном модуле и к выпадению снега в ночное время с ясного неба. Иней и снег с измерительного модуля убирался механически. В ночь на 02.01.2018 г. — полнолуние.

Методы исследования

Экспериментальные исследования проводились путем измерения четырех температур на измерительном модуле: t_1 ; t_2 ; t_3 ; t_{oc} в соответствии с рис. 2.



Рис. 3. Фотография измерительного модуля экспериментального стенда в положении под углом $71,5$ градуса к горизонту
Fig. 3. The photograph of the measuring module of the experimental stand position at an angle of $71,5$ degrees to the horizon

Измерения проводились в двух положениях измерительного модуля экспериментального стенда: горизонтальном и под углом 71,5 градуса к горизонту, что соответствует направлению на Солнце в зените для данного времени и данного местоположения измерительного модуля [12]. Ориентация труб измерительного модуля север — юг. Изменение положения измерительного модуля с горизонтального на положение под углом 71,5 градуса к горизонту было проведено 05.01.2018 г. в 11:24. Измерительный модуль устанавливается на открытой площадке или на крыше.

Результаты первых экспериментов показали принципиальную работоспособность экспериментального стенда, интервал между измерениями — 1 мин.

На рис. 4–6 показаны результаты экспериментальных измерений температур в дневное время, полученные 4, 5 и 6 января 2018 г. при горизонтальном расположении измерительного модуля и под углом 71,5 градуса к горизонту.

На рис. 7–9 показаны результаты экспериментальных измерений температур в ночное время, полученные 3, 4 и 6 января 2018 г. при горизонтальном расположении измерительного модуля и под углом 71,5 градуса к горизонту.

На рис. 4–9 температуры соответствуют термометрам, показанным на рис. 2: t_{oc} — температура окружающего воздуха; t_1 — температура трубы

без теплоизоляции; t_2 — температура трубы с воздушной теплоизоляцией; t_3 — температура трубы с вакуумной теплоизоляцией.

Результаты и обсуждение

Из графиков, приведенных на рис. 4–6 для дневного времени, видно, что температуры, t_2 и t_3 выше, чем t_{oc} , что показывает направление теплового потока от окружающей среды к измерительным ячейкам измерительного модуля.

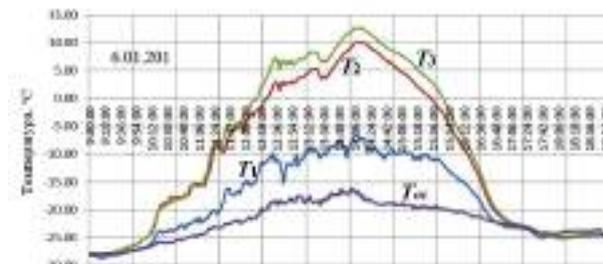


Рис. 6. Результаты экспериментальных измерений температур от времени, в дневное время, полученные 6 января 2018 г. при положении измерительного модуля под углом 71,5 градуса к горизонту
Fig. 6. The results of experimental temperature measurements according to time, in the daytime, obtained on January 6th, 2018 at the position of the measuring module at an angle of 71,5 degrees to the horizon

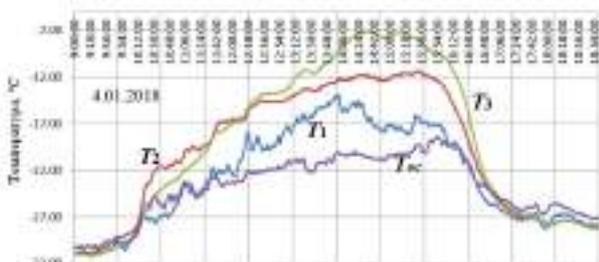


Рис. 4. Результаты экспериментальных измерений температур от времени, в дневное время, полученные 4 января 2018 г. при горизонтальном расположении измерительного модуля
Fig. 4. The results of experimental temperature measurements according to time, in the daytime, obtained on January 4th, 2018 with the horizontal location of the measuring module

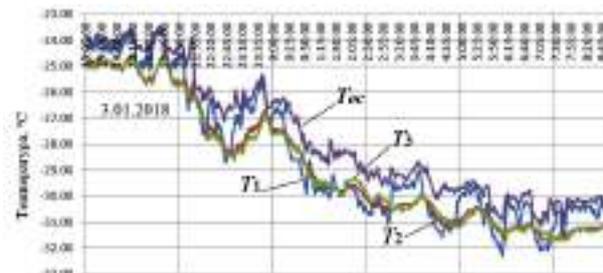


Рис. 7. Результаты экспериментальных измерений температур от времени, в ночное время, полученные 3 января 2018 г. при горизонтальном расположении измерительного модуля
Fig. 7. The results of experimental temperature measurements according to time, in the nighttime, obtained on January 3rd, 2018 with the horizontal location of the measuring module

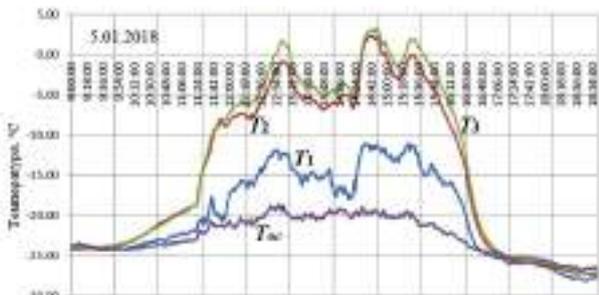


Рис. 5. Результаты экспериментальных измерений температур от времени, в дневное время, полученные 5 января 2018 г.; в 11:24 горизонтальное положение измерительного модуля изменено на положение под углом 71,5 градуса к горизонту
Fig. 5. The results of experimental temperature measurements according to time, in the daytime, obtained on January 5th, 2018; at 11:24 a.m. a horizontal position of the measuring module was changed to the position at an angle of 71,5 degrees to the horizon

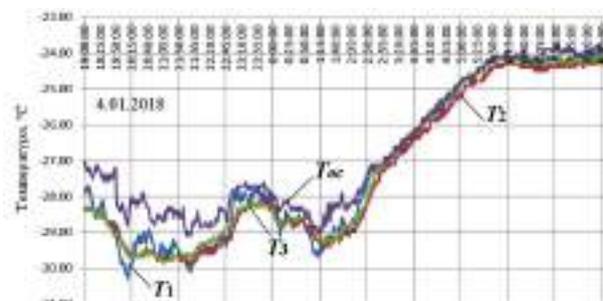


Рис. 8. Результаты экспериментальных измерений температур от времени, в ночное время, полученные 4 января 2018 г. при горизонтальном расположении измерительного модуля
Fig. 8. The results of experimental temperature measurements according to time, in the nighttime, obtained on January 4th, 2018 with the horizontal location of the measuring module

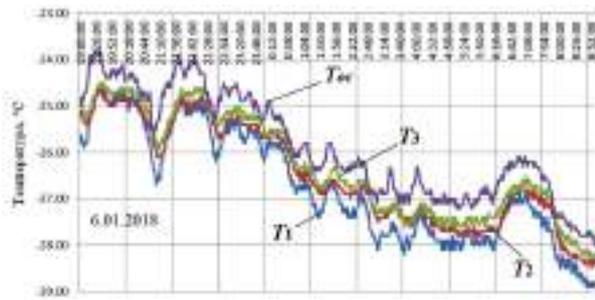


Рис. 9. Результаты экспериментальных измерений температур от времени в ночное время, полученные 6 января 2018 г. при положении измерительного модуля под углом 71,5 градуса к горизонту
 Fig. 9. The results of experimental temperature measurements according to time, in the nighttime, obtained on January 6th, 2018 at the position of the measuring module at an angle of 71,5 degrees to the horizon

Температура t_1 черной медной трубы выше температуры окружающей среды из-за нагрева солнечным излучением, но ниже, чем t_2 и t_3 теплоизолированных черных медных труб. Температура t_3 выше, чем t_2 , так как давление в межтрубном пространстве ячейки III ниже, чем в межтрубном пространстве ячейки II. Колебания температуры на ячейке I больше, чем на ячейках II и III и даже колебания температуры окружающей среды t_{oc} , так как ячейка I обдувается ветром.

Графики, приведенные на рис. 7–9 для ночного времени, показывают, что температуры t_1 , t_2 и t_3 ниже, чем t_{oc} , что определяет направление теплового потока к окружающей среде от измерительных ячеек измерительного модуля.

Температуры t_2 и t_3 отличаются незначительно, что говорит о том, что в ночное время при тепловом потоке от измерительных ячеек в окружающую среду качество вакуумной изоляции не имеет большого значения в отличие от дневного времени при тепловом потоке противоположного направления.

Максимальная разность температур ночью 03.01.2018 г. при горизонтальном расположении измерительного модуля составила 1,9 градуса для всех трех ячеек, но в разные моменты времени.

Максимальная разность температур ночью 04.01.2018 г. при горизонтальном расположении измерительного модуля составила 1,5 градуса для ячейки I; 1,6 градуса для ячеек II и III.

Максимальная разность температур ночью 06.01.2018 г. при положении измерительного модуля под углом 71,5 градуса к горизонту составила 1,1 градуса для ячейки I; 0,8 градуса для ячейки II и 0,7 градуса для ячейки III.

Следует отметить, что при горизонтальном расположении измерительного модуля в разные моменты времени максимальные разности температур всех трех ячеек менялись местами, а ночью 06.01.2018 г. при положении измерительного модуля под углом 71,5 градуса к горизонту температура t_1 была самой низкой практически постоянно. Это связано с выпадением инея на стеклянные трубы измерительных ячеек II и III.

На черную медную нетеплоизолированную трубу ячейки I иней не выпадал, поэтому 06.01.2018 г. ее температура в условиях безветрия была ниже всех остальных.

Выводы и заключение

1. Проведенные экспериментальные исследования в дневное время с 04.01.2018 г. по 06.01.2018 г. показали, что для целей нагрева в зимнее время ориентация на Солнце значительно лучше горизонтальной.

2. Экспериментальные исследования в дневное время с 03.01.2018 г. по 06.01.2018 г. показали, что для целей охлаждения в зимнее время горизонтальная ориентация является предпочтительной.

3. При ночной работе радиационной системы охлаждения при сильных морозах и высокой влажности качество теплоизоляции не имеет принципиального значения, важно защитить излучающие элементы от ветра.

4. При дневной работе радиационной системы охлаждения качество теплоизоляции имеет большое значение. С другой стороны, следует решить, нести ли существенные затраты на дорогую вакуумную теплоизоляцию и получить на 10...15 % больше теплоты от Солнца или за меньшие средства увеличить на 15...20 % площадь менее дорогих радиационных панелей без вакуумной изоляции за то же количество солнечной теплоты.

5. Использование радиационных охладителей в условиях сильных морозов и высокой влажности в ночное время нецелесообразно, в первую очередь, из-за выпадения инея и, во вторую очередь, из-за малой разности температур.

6. Использование радиационных охладителей в условиях сильных морозов и высокой влажности в дневное время имеет хорошие перспективы, так как даже в суровых сибирских условиях позволяет получить от нагрева разность температур в десятки градусов (в этом исследовании был получен нагрев в 30 градусов при температуре воздуха на улице –15...–20 °С).

Список источников

1. Sima J., Sikula O., Kosutova K., Plasek J. Theoretical evaluation of night sky cooling in the Czech Republic // SHC 2013, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry September 23–25, 2013, Freiburg, Germany. Energy Procedia. 2014. Vol. 48. P. 645–653. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.02.075.
2. Enderlin A. R. Radiative cooling to the night sky // Chemical Engineering Undergraduate Honors. Task 4. University of Arkansas. Fayetteville, Arkansas. 2015. 30 p.
3. Tsoy A. P., Granovskiy A. S., Baranenko A. V., Tsoy D. A. Effectiveness of a night radiative cooling system in different geographical latitudes // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1876. 020060. DOI: 10.1063/1.4998880.
4. 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.
5. Цой А. П., Цой Д. А. Методы повышения энергоэффективности холодильных систем с радиационным охлаждением // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 8-й Междунар. науч.-техн. конф., Омск, 26 февраля–2 марта 2018 г. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. С. 156–157. ISBN 978-5-8042-0583-7.
6. Goforth M. A., Gilchrist G. W., Sirianni, J. D. Cloud effects on thermal down welling sky radiance // Proceedings. 2002. Vol. 4710, Thermosense XXIV. P. 203–213. DOI: 10.1117/12.459570.
7. Лаповок Е. В., Ханков С. И. Влияние пропускания атмосферой теплового излучения земной поверхности на климат Земли // Вестник Международной академии холода. 2017. № 1. С. 62–65. DOI: 10.21047/1606-4313-2017-16-1-62-65.

8. Sima J., Sikula O., Kosutova K. [et al.]. Theoretical evaluation of night sky cooling in the Czech Republic // Energy Procedia. 2014. Vol. 48. P. 645–653. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.02.075.

9. Карагусов В. И., Гошля Р. Ю., Сердюк В. С., Колпаков И. С., Немыкин В. А., Погуляев И. Н. Экспериментальный стенд для исследования радиационных систем жизнеобеспечения: первые эксперименты // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 8-й Междунар. науч.-техн. конф., Омск, 26 февраля–2 марта 2018 г. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. С. 159–160. ISBN 978-5-8042-0583-7.

10. Chen Z., Zhu L., Raman A. [et al.]. Radiative cooling to deep sub-freezing temperatures through a 24-h day-night cycle // Nature Communications. 2016. Vol. 7. P. 1–5. DOI: 10.1038/ncomms13729.

11. Гошля Р. Ю., Карагусов В. И., Маянков И. В., Третьяков А. В., Тишкунов С. А., Бычков Д. В., Лангеман Д. В. Пленочные термометры сопротивления для измерения криогенных температур // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 8-й Междунар. науч.-техн. конф., Омск, 26 февраля–2 марта 2018 г. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. С. 190. ISBN 978-5-8042-0583-7.

12. Карагусов В. И., Сердюк В. С., Колпаков И. С., Немыкин В. А., Погуляев И. Н. Экспериментальное определение величины и направления теплового потока радиационной системы жизнеобеспечения // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 8-й Междунар. науч.-техн. конф., Омск, 26 февраля–2 марта 2018 г. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. С. 107–108. ISBN 978-5-8042-0583-7.

КАРАГУСОВ Владимир Иванович, доктор технических наук, старший научный сотрудник (Россия), профессор кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология» Омского государственного технического университета.

SPIN-код: 7624-3122

AuthorID (РИНЦ): 176942

ORCID: 0000-0002-7268-649X

Адрес для переписки: karvi@mail.ru

КОЛПАКОВ Иван Сергеевич, инженер 2-й категории НТК «Криогенная техника», г. Омск.

Адрес для переписки: I.Kolpaskov2020@yandex.ru

НЕМЫКИН Владислав Александрович, ведущий инженер НТК «Криогенная техника», г. Омск.

Адрес для переписки: 9239238@gmail.com

ПОГУЛЯЕВ Иван Николаевич, инженер 2-й категории НТК «Криогенная техника», г. Омск.

Адрес для переписки: aimtcoin@gmail.com

Для цитирования

Карагусов В. И., Колпаков И. С., Немыкин В. А., Погуляев И. Н. Экспериментальное исследование радиационной системы жизнеобеспечения с вакуумной и воздушной теплоизоляцией // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2017. Т. 2, № 1. С. 26–32. DOI: 10.25206/2588-0373-2018-2-1-26-32.

Статья поступила в редакцию 19.03.2018 г.

© В. И. Карагусов, И. С. Колпаков, В. А. Немыкин, И. Н. Погуляев

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF RADIATION LIFE SUPPORT SYSTEM WITH VACUUM AND AIR HEAT INSULATION

V. I. Karagusov¹, I. S. Kolpakov², V. A. Nemykin², I. N. Pogulyaev²

¹Omsk State Technical University,

Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

²Scientific and Technical Complex «Cryogenic technique»,

Russia, Omsk, 22 Parts'ezda str., 97/1, 644105

Radiation heating systems for residential, office, industrial and other premises are actively used in many regions of the planet. Nevertheless, the potential of radiation energy is involved in small amounts. Moreover, radiation systems can not only heat the rooms, but also cool them or other objects.

If to place the radiation panel in a certain way, it can radiate more energy than getting back from the environment or vice versa, getting more energy than radiating it to the environment. As a result, its temperature can be lower than the ambient temperature, which allows to obtain a cooling capacity without energy consumption. The temperature can be higher than the ambient air, which makes it possible to obtain thermal energy from the sun. These processes are environmentally friendly and refer to renewable energy sources.

Keywords: radiation life support systems, vacuum heat insulation, multi-layer screen insulation, heating, cooling, solar radiation, renewable energy sources.

References

1. Sima J., Sikula O., Kosutova K., Plasek J. Theoretical evaluation of night sky cooling in the Czech Republic // SHC 2013, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry September 23–25, 2013, Freiburg, Germany. Energy Procedia. 2014. Vol. 48. P. 645–653. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.02.075. (In Engl.).
2. Enderlin A. R. Radiative cooling to the night sky // Chemical Engineering Undergraduate Honors. Task 4. University of Arkansas. Fayetteville, Arkansas. 2015. 30 P. (In Engl.).
3. Tsoy A. P., Granovskiy A. S., Baranenko A. V., Tsoy D. A. Effectiveness of a night radiative cooling system in different geographical latitudes // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1876. 020060. DOI: 10.1063/1.4998880. (In Engl.).
4. 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.).
5. Tsoy A. P., Tsoy D. A. Metody povysheniya energoeffektivnosti kholodil'nykh sistem s radiatsionnym okhlazhdeniyem [Methods for improving the energy efficiency of refrigeration systems with radiation cooling] // Tekhnika i tekhnologiya neftekhimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva. *Oil and Gas Engineering*. Omsk: OmSTU Publ., 2018. P. 156–157. (In Russ.).
6. Goforth M. A., Gilchrist G. W., Sirianni J. D. Cloud effects on thermal down welling sky radiance // Proceedings. 2002. Vol. 4710, Thermosense XXIV. P. 203–213. DOI: 10.1117/12.459570. (In Engl.).
7. Lapovok E. V., Hankov S. I. Vliyaniye propuskaniya atmosferoy teplovogo izlucheniya zemnoy poverkhnosti na klimat Zemli [Earth's climate and the transmission of earth's heat radiation through the atmosphere] // Vestnik mezhdunarodnoj akademii holoda. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2017. No. 1. P. 62–65. (In Russ.).
8. Sima J., Sikula O., Kosutova K. [et al.]. Theoretical evaluation of night sky cooling in the Czech Republic // Energy Procedia. 2014. Vol. 48. P. 645–653. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.02.075. (In Engl.).
9. Karagusov V. I., Goshlya R. Yu., Serdyuk V. S., Kolpakov I. S., Nemykin V. A., Pogulyaev I. N. Eksperimental'nyy stand dlya issledovaniya radiatsionnykh sistem zhizneobespecheniya: pervyye eksperimenty [Experimental stand for the study of radiation life support systems: the first experiments] // Tekhnika i tekhnologiya neftekhimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva. *Oil and Gas Engineering*. Omsk: OmSTU Publ., 2018. P. 159–160. (In Russ.).
10. Chen Z., Zhu L., Raman A. [et al.]. Radiative cooling to deep sub-freezing temperatures through a 24-h day-night cycle // Nature Communications. 2016. Vol. 7. P. 1–5. DOI: 10.1038/ncomms13729. (In Engl.).
11. Goshlya R. Yu., Karagusov V. I., Mayankov I. V., Tret'yakov A. V., Tishkunov S. A., Bychkov D. V., Lange-man D. V. Plenochnyye termometry soprotivleniya dlya izmereniya kriogennykh temperature [Film resistance thermometers for measuring cryogenic temperatures] // Tekhnika i tekhnologiya neftekhimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva. *Oil and Gas Engineering*. Omsk: OmSTU Publ., 2018. P. 190. (In Russ.).
12. Karagusov V. I., Serdyuk V. S., Kolpakov I. S., Nemykin V. A., Pogulyaev I. N. Eksperimental'noye opredeleniye velichiny i napravleniya teplovogo potoka radiatsionnoy sistemy zhizneobespecheniya [Experimental determination of the magnitude and direction of the heat flow of the radiation life support system] // Tekhnika i tekhnologiya neftekhimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva. *Oil and Gas Engineering*. Omsk: OmSTU Publ., 2018. P. 107–108. (In Russ.).

KARAGUSOV Vladimir Ivanovich, Doctor of Technical Science, Senior Research Scientist, Professor of Refrigeration and Compressor Engineering 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



KOLPAKOV Ivan Sergeevich, Engineer of Scientific and Technical Complex «Cryogenic Technique», Omsk. Address for correspondence: I.Kolpackov2020@yandex.ru
NEMYKIN Vladislav Alexandrovich, Leading Engineer of Scientific and Technical Complex «Cryogenic Technique», Omsk.

Address for correspondence: 9239238@gmail.com

POGULYAEV Ivan Nikolaevich, Engineer of Scientific and Technical Complex «Cryogenic Technique», Omsk. Address for correspondence: aimtcoin@gmail.com

For citations

Karagusov V. I., Kolpakov I. S., Nemykin V. A., Pogulyaev I. N. Experimental investigation of radiation life support system with vacuum and air heat insulation // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2018. Vol. 2, no 1. P. 26–32. DOI: 10.25206/2588-0373-2018-2-1-26-32.

Received 19 March 2018.

© V. I. Karagusov, I. S. Kolpakov, V. A. Nemykin, I. N. Pogulyaev