

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАННО-ВАКУУМНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ МОБИЛЬНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ

Г. И. Чернов, В. Л. Юша, А. М. Калашников

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

В работе проводится исследование эффективности экранно-вакуумной теплоизоляции теплообменного аппарата системы рекуперации тепловых потерь мобильной компрессорной установки с применением методики его расчёта, разработанной на базе пакета Ansys (Fluid Flow — Fluent). По результатам численного анализа рабочих процессов в проточной части кожухотрубного рекуперативного теплообменного аппарата установлена взаимосвязь между параметрами теплоизоляции и характеристиками теплообменника.

Ключевые слова: теплообменный аппарат, рекуперация, тепловая эффективность, тепловые потери, экранно-вакуумная теплоизоляция.

Введение

Целью работы является исследование влияния параметров экранно-вакуумной теплоизоляции на эффективность работы рекуперативного теплообменного аппарата. В проведенных ранее исследованиях показано, что значительная часть энергии, генерируемой в двигателе внутреннего сгорания и направляемая на компримирование газа в мобильной компрессорной установке, в виде тепла выбрасывается в окружающую среду (рис. 1) [1, 2]. Помимо этого, были доказаны возможность и целесообразность рекуперации, по крайней мере, части этой тепловой энергии в технологической схеме мобильной компрессорной установки, а также существенная роль теплообменного аппарата в повышении энергоэффективности такой системы рекуперации [1–5]. Исходя из полученных результатов было установлено, что одним из факторов, определяющих эффективность рекуперативного теплообменника, является величина его внешних тепловых потерь в окружающую среду через корпусные детали. Предварительные расчёты упрощённой схемы рекуперативного теплообменного аппарата подтвердили актуальность задачи по выбору рационального типа и размеров теплоизоляции; одним из предпочтительных вариантов явилась экранно-вакуумная изоляция [6]. В данной работе выполнен уточнённый анализ влияния её параметров на эффективность рекуперативного теплообменника.

Постановка задачи

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать методику численного анализа уточнённой модели рекуперативного тепло-

обменного аппарата с применением Ansys (Fluid Flow — Fluent).

2. Исследовать влияние режимов работы теплообменного аппарата на величину тепловых потерь.

3. Провести параметрический анализ влияния экранно-вакуумной изоляции на эффективность теплообменного аппарата.

Анализ рабочих процессов в рассматриваемом теплообменнике проводился с использованием расчётной методики, базирующейся на уравнениях теплопроводности, конвективного теплообмена и теплообмена излучением, а также уравнениях, описывающих движение газа и жидкости и их фазовые изменения, содержащиеся в пакете Ansys (Fluid Flow — Fluent). При моделировании теплообменных процессов были приняты следующие граничные условия: температура горячего воздуха на входе $T_r = 550^\circ\text{C}$; температура холодной воды на входе $T_B = 10^\circ\text{C}$; внешняя температура окружающей среды $T_n = 0^\circ\text{C}$ (рис. 2). Коэффициент теплоотдачи α между окружающей средой и внешней поверхностью теплообменного аппарата принимался постоянным.

Исходя из результатов проведенных ранее исследований [6], для рассматриваемого рекуперативного теплообменника был отобран наиболее эффективный вид теплоизоляции [6–8]: экранно-вакуумная изоляция с одним и пятью экранами [9–21]. Это обусловлено тем, что при данной теплоизоляции достижимы наиболее низкие тепловые потери при её низкой себестоимости.

Таким образом, объектом исследования является рекуперативный теплообменник кожухотрубного типа, варианты конструктивной схемы которого представлены на рис. 3, 4. По трубкам такого теплообменника движется вода, в межтрубном пространстве — горячие выхлопные газы, на обечайке расположена экранно-ваку-

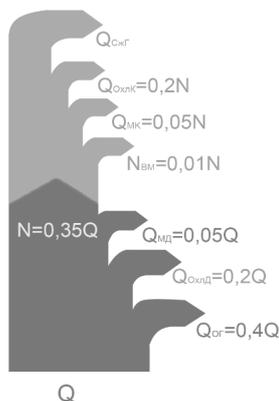


Рис. 1. Тепловые потоки в работе мобильной компрессорной установки:

- Q — подводимая теплота сгорания топлива в ДВС;
- $Q_{ог}$ — теплота, отводимая с отработанными газами;
- $Q_{охла}$ — теплота, отводимая в системе охлаждения ДВС;
- $Q_{МА}$ — теплота, отводимая смазочным маслом в ДВС;
- N — теплота, преобразуемая в полезную работу;
- $N_{вм}$ — затраты мощности на привод вспомогательных механизмов в компрессоре;
- $Q_{МК}$ — теплота, отводимая смазочным маслом в компрессоре;
- $Q_{охлаК}$ — теплота, отводимая в системе охлаждения компрессора;
- $Q_{сжГ}$ — теплота, отводимая от сжатого газа

Fig. 1. Heat flows in the operation of a mobile compressor unit:

- Q — supplied heat of combustion in the engine;
- $Q_{ог}$ — heat removed with used gases;
- $Q_{охла}$ — heat removed in the engine cooling system;
- $Q_{МА}$ — heat removed by the lubricating oil in the engine;
- N — heat converted to useful work;
- $N_{вм}$ — the power requirement for the drive of auxiliary mechanisms in the compressor;
- $Q_{МК}$ — heat removed by the oil in the compressor;
- $Q_{охлаК}$ — heat removed in the compressor cooling system;
- $Q_{сжГ}$ — heat removed from compressed gas

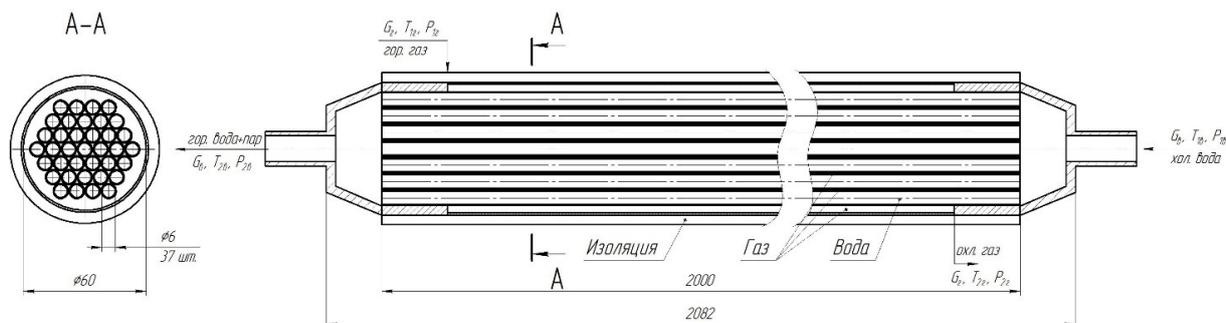


Рис. 2. Схема теплообменного аппарата
Fig. 2. Scheme of heat exchanger

умная теплоизоляция (рассмотрены варианты с различным количеством экранов и разным остаточным давлением).

Теория

Суммарный тепловой поток и его составляющие определяются известными зависимостями. Для суммарного теплового потока справедливо следующее выражение [7, 22]:

$$Q = Q_T + Q_K + Q_{И'} \quad (1)$$

где Q_T — тепловой поток, обусловленный теплопроводностью; Q_K — конвективный тепловой поток; $Q_{И'}$ — тепловой поток, обусловленный излучением. При этом если между поверхностью деталей проточной части и водой тепловой поток передаётся в основном конвекцией и теплопроводностью, то теплообмен между поверхностями



Рис. 3. Схема теплообменного аппарата с экранно-вакуумной изоляцией (1 экран)
 Fig. 3. Scheme of heat exchanger with screen-vacuum insulation (1 screen)

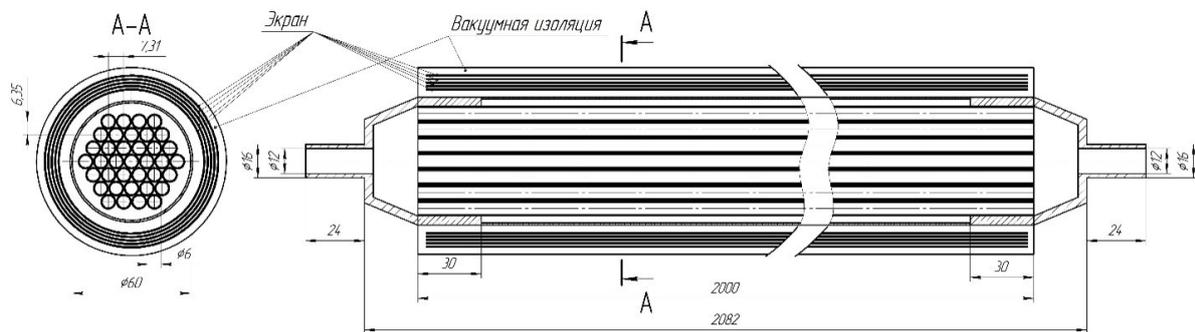


Рис. 4. Схема теплообменного аппарата с экранно-вакуумной изоляцией (5 экранов)
 Fig. 4. Diagram of heat exchanger with screen-vacuum insulation (5 screens)

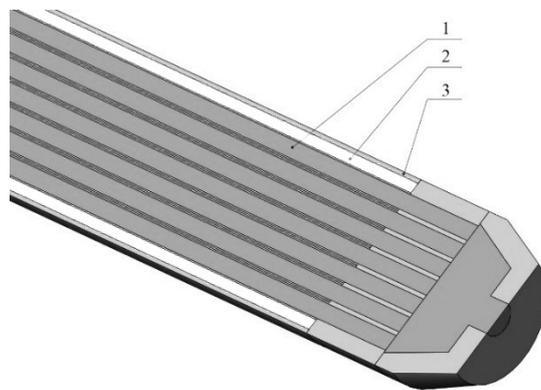


Рис. 5. Расчётная трехмерная модель теплообменного аппарата:
 1 — холодная вода; 2 — горячие газы;
 3 — корпус теплообменного аппарата
 Fig. 5. The calculated three-dimensional model of the heat exchanger:
 1 — cold water; 2 — hot gases;
 3 — heat exchanger housing

ми деталей проточной части в межтрубном пространстве осуществляется одновременно тремя способами [7, 22].

Численное решение в среде Ansys (Fluid Flow — Fluent) рассматриваемого объекта будет состоять из следующих этапов:

1. Выполняется модель теплообменника с различной толщиной теплоизоляционного слоя сохраняется в формате «.x_t»: 0 мм, 2 мм, 5 мм, 10 мм, 15 мм (рис. 5).

2. Строится конечно-элементная модель расчетной области. Для описания явлений, происхо-

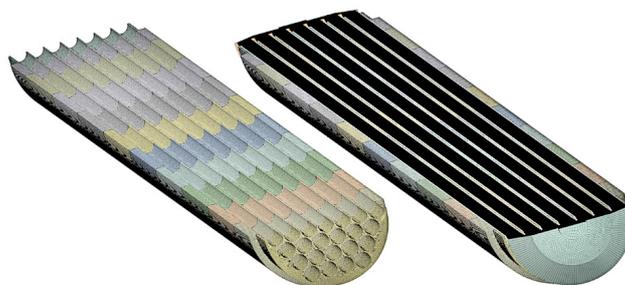


Рис. 6. Сеточная модель теплообменного аппарата
Fig. 6. Mesh model of heat exchanger

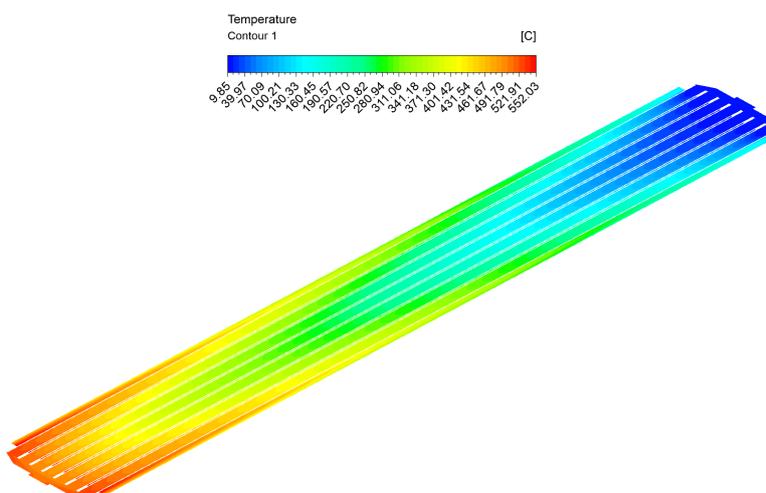


Рис. 7. Пример распределения температуры в проточной части теплообменного аппарата при использовании экранно-вакуумной изоляции (1 экран)
Fig. 7. Example of temperature distribution in the flow part of the heat exchanger using screen-vacuum insulation (1 screen)

дующих в теплообменнике, обеспечивается определенное значение безразмерного коэффициента высоты первой пристеночной ячейки: для газа и жидкости значение y^+ определено в интервале ≤ 10 ; у пристеночной области создается сгущение сетки по линейному закону роста с коэффициентом роста, равным 1,2 (рис. 6).

3. Устанавливаются граничные и начальные условия:

- активируются необходимые для выбранной задачи параметры анализа: модель фазового состояния, энергетическая модель, модели типа течения и указываются поверхности участвующие в процессе теплового излучения (проводится расчет угловых коэффициентов);
- зонам присваиваются созданные материалы;
- выставляются граничные условия потоков горячего газа и воды;
- задаются опции контроля расчета;
- определяются параметры расчета.

4. Происходит запуск расчета.

5. Выполняется обработка полученных результатов проведенного эксперимента.

Результаты

На рис. 7 представлен градиент распределения температуры в проточной части рекуперативного теплообменника с экранно-вакуумной теплоизоляцией (вариант с 1 экраном).

Отметим, что повышение давления горячего газа в межтрубном пространстве приводит к интенсификации теплоотдачи со стороны газа и к увеличению количества теплоты, воспринимаемого водой за счёт увеличения её расхода. При фиксированных температурах воды на входе в теплообменный аппарат и на выходе из него увеличение давления газа в межтрубном пространстве от 0,1 МПа до 0,2 МПа позволяет увеличить расход воды и улучшить удельные характеристики теплообменного аппарата даже без внешней изоляции, в частности, количество теплоты, приходящееся на единицу площади теплообменной поверхности (рис. 8).

На рис. 9 представлена зависимость относительных внешних тепловых потерь теплообменного аппарата $\Delta Q_{cm}/\Delta Q_r$ от давления газа

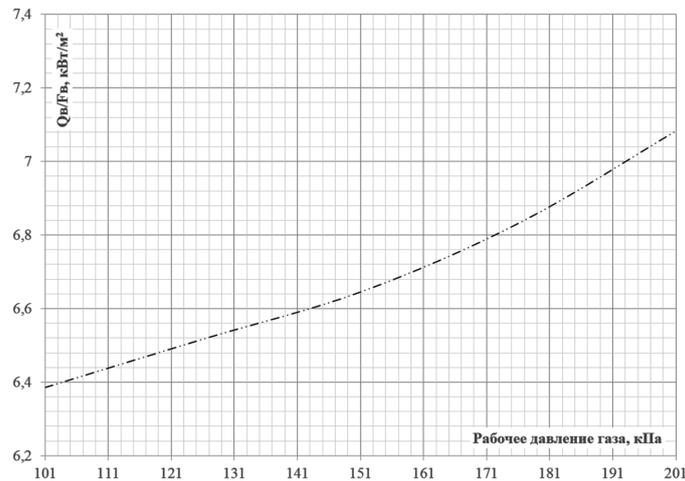


Рис. 8. График зависимости отношения тепла, переданного воде, к площади теплообмена, от давления газа в межтрубном пространстве
Fig. 8. Graph of the ratio of heat transferred to water to the area of heat exchange, the gas pressure in the annular space

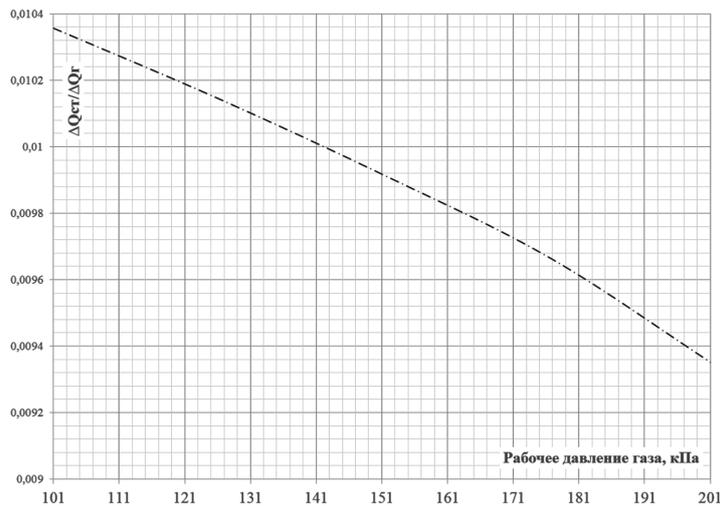


Рис. 9. График зависимости отношения внешних тепловых потерь к количеству тепла, переданного воде, от давления газа в межтрубном пространстве
Fig. 9. Graph of the ratio of external heat loss to the amount of heat transferred to the water, the gas pressure in the annular space

в межтрубном пространстве (ΔQ_{cm} — внешние тепловые потери, ΔQ_r — количества тепла, отведённого от газа к воде и в окружающую среду). Наблюдается незначительное снижение доли внешних тепловых потерь, то есть с ростом давления происходит более интенсивный рост тепловой эффективности. Можно утверждать, что повышение давления газа в проточной части как минимум не ухудшает тепловую эффективность рекуперативного теплообменника при известном улучшении его удельных характеристик.

На рис. 10, 11 представлена зависимость относительных тепловых потерь в рассматриваемых объектах от толщины экранно-вакуумной изоля-

ции с различным числом экранов и различным остаточным давлением воздуха в полости обечайки.

Из полученных графиков видно, что при начальном увеличении толщины изоляции, количества экранов и снижении остаточного давления имеет место уменьшению относительных тепловых потерь. При дальнейшем увеличении толщины изоляции и снижении остаточного давления интенсивность снижения тепловых потерь падает. Ранее показано, что это же относится к количеству экранов [6].

На основе проведённого исследования можно сделать следующие выводы: применение

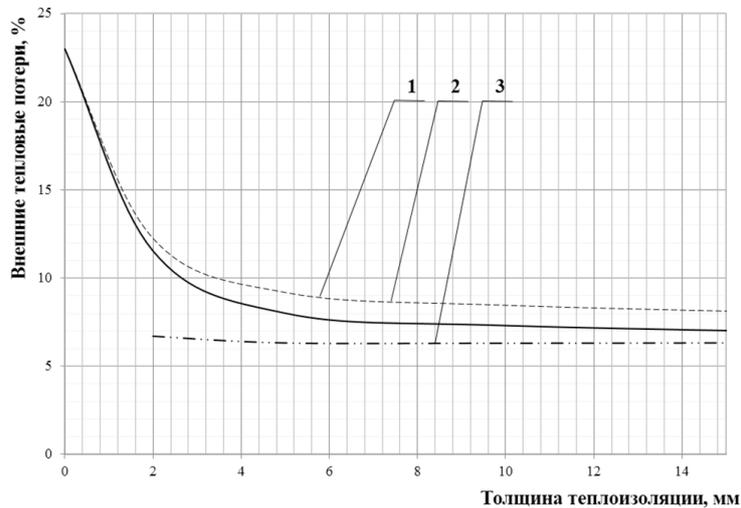


Рис. 10. Зависимость внешних тепловых потерь теплообменника от толщины теплоизоляционного слоя и величины остаточного давления (количество экранов — 1):

1 — $P_{н} = 0,1$ МПа; 2 — $P_{н} = 0,04$ МПа; 3 — $P_{н} = 0,001$ МПа

Fig. 10. Dependence of external heat losses of the heat exchanger on the thickness of the heat-insulating layer and the value of the residual pressure (the number of screens is 1):

1 — $P_{н} = 0,1$ МПа; 2 — $P_{н} = 0,04$ МПа; 3 — $P_{н} = 0,001$ МПа

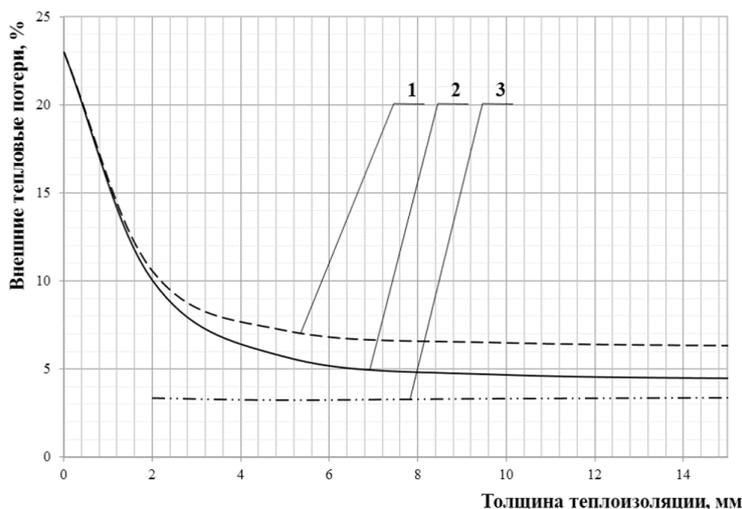


Рис. 11. Зависимость внешних тепловых потерь теплообменника от толщины теплоизоляционного слоя и величины остаточного давления (количество экранов — 5):

1 — $P_{н} = 0,1$ МПа; 2 — $P_{н} = 0,04$ МПа; 3 — $P_{н} = 0,001$ МПа

Fig. 11. Dependence of external heat losses of the heat exchanger on the thickness of the heat-insulating layer and the value of the residual pressure (the number of screens is 5):

1 — $P_{н} = 0,1$ МПа; 2 — $P_{н} = 0,04$ МПа; 3 — $P_{н} = 0,001$ МПа

экранно-вакуумной теплоизоляции позволяет снизить тепловые потери в окружающую среду с 20–25% (без внешней теплоизоляции) до 4–6%; при толщине экранно-вакуумной изоляции более 6–8 мм интенсивность снижения тепловых потерь становится незначительной; при снижении величины остаточного давления с 0,1 МПа до 0,01 МПа снижение внешних тепловых потерь составляет около 2%.

Заключение

Таким образом, проведённый параметрический анализ одного из возможных вариантов реальной конструктивной схемы теплообменника системы рекуперации тепловых потерь мобильной компрессорной установки показал, что в данной схеме существует возможность обеспечить требуемую компактность теплообменного

аппарата при сохранении его высокой энергоэффективности за счёт применения эффективной внешней экранно-вакуумной теплоизоляции, а также за счёт повышения рабочего давления выхлопных газов в межтрубном пространстве. Количественные параметры такой теплоизоляции, разумеется, будут зависеть от типоразмера, температурного режима и тепловой мощности теплообменника.

Список источников

1. Yusha V. L., Chernov G. I., Kalashnikov A. M. The study of the mobile compressor unit heat losses recovery system waste heat exchanger thermal insulation types influence on the operational efficiency // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1876, Issue 1. P. 020054-1–020054-8. DOI: 10.1063/1.4998874.
2. Yusha V. L., Chernov G. I., Kalashnikov A. M., Zinoveva A. V. The heat losses recovery system efficiency analysis of the mobile compressor unit with the additional cooling loop // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2007, Issue 1. P. 030031-1–030031-8. DOI: 10.1063/1.5051892.
3. Chernov G. I., Yusha V. L., Sherban K. V., Kalashnikov A. M. Modeling of the processes of heating organic coolant in the system of heat losses recuperation of the mobile compressor unit on the basis of a low-speed single-stage // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 858 (1). P. 226–232. DOI: 10.1088/1742-6596/858/1/012008.
4. Yang B., Jiang Y., Fu L. [et al.]. Conjugate heat and mass transfer study of a new open-cycle absorption heat pump applied to total heat recovery of flue gas // Applied Thermal Engineering. 2018. Vol. 138. P. 888–899. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2018.04.054.
5. Yuan H., Sun P., Zhang J. [et al.]. Theoretical and experimental investigation of an absorption refrigeration and pre-desalination system for marine engine exhaust gas heat recovery // Applied Thermal Engineering. 2018. Vol. 150. P. 224–236. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2018.12.153.
6. Yusha V. L., Chernov G. I., Kalashnikov A. M. The efficiency comparative analysis of the mobile compressor unit heat losses recovery system flow part elements thermal insulation different types // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2007, Issue 1. P. 030029-1–030029-9. DOI: 10.1063/1.5051890.
7. Архаров А. М., Афанасьев В. Н. [и др.]. Тепло-техника. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 712 с. ISBN 5-7038-2439-7.
8. Бабичев А. П., Бабушкина Н. А., Братковский А. М. [и др.]. Физические величины. Справочник / под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с. ISBN 5-283-04013-5.
9. Yang J., Lourenço M. I., Estefen S. F. Thermal insulation of subsea pipelines for different materials // International Journal of Pressure Vessels and Piping. 2018. Vol. 168. P. 100–109. DOI: 10.1016/j.ijpvp.2018.09.009.
10. Fantucci S., Lorenzati A., Capozzoli A. [et al.]. Analysis of the temperature dependence of the thermal conductivity in Vacuum Insulation Panels // Energy and Buildings. 2019. Vol. 183. P. 64–74. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.10.002.
11. Pásztor Z., Horváth T., Glass S. V. [et al.]. Experimental investigation of the influence of temperature on thermal conductivity of multilayer reflective thermal insulation // Energy and Buildings. 2018. Vol. 174. P. 26–30. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.06.012.
12. Choi B., Song T.-H. Investigation of edge taping method applied to vacuum insulation panels // Energy and Buildings. 2017. Vol. 134. P. 52–60. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.11.005.
13. Al-Neama A. F., Kapur N., Summers J. [et al.]. An experimental and numerical investigation of the use of liquid flow in serpentine microchannels for microelectronics cooling // Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 116. P. 709–723. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.02.001.

Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 116. P. 709–723. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.02.001.

14. Ghani I. A., Sidik N. A. C., Mamat R. [et al.]. Heat transfer enhancement in microchannel heat sink using hybrid technique of ribs and secondary channels // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2017. Vol. 114. P. 640–655. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.06.103.

15. Schmidt D., Kallert A., Blesl M. [et al.]. Low temperature district heating for future energy systems // Energy Procedia. 2017. Vol. 116. P. 26–38. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.052.

16. Kim J.-H., Boaf F. E., Kim S.-M. [et al.]. Aging performance evaluation of vacuum insulation panel (VIP) // Case Studies in Construction Materials. 2017. Vol. 7. P. 329–335. DOI: 10.1016/j.cscm.2017.09.003.

17. Liang Y., Wu H., Huang G. [et al.]. Thermal performance and service life of vacuum insulation panels with aerogel composite cores // Energy and Buildings. 2017. Vol. 154. P. 606–617. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.08.085.

18. Başoğul Yu., Demircan C., Keçebaş A. Determination of optimum insulation thickness for environmental impact reduction of pipe insulation // Applied Thermal Engineering. 2016. Vol. 101. P. 121–130. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.03.010.

19. Berge A., Adl-Zarrabi B. Long term performance of vacuum insulation panels in hybrid insulation district heating pipes // Energy Procedia. 2017. Vol. 116. P. 334–342. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.080.

20. Berge A., Hagentoft C.-E., Adl-Zarrabi B. Field measurements on a district heating pipe with vacuum insulation panels // Renewable Energy. 2016. Vol. 87, Part 3. P. 1130–1138. DOI: 10.1016/j.renene.2015.08.056.

21. Filimonov R., Sorvari J. Numerical study on the effect of cross-section orientation on fluid flow and heat transfer in a periodic serpentine triangular microchannel // Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 125. P. 366–376. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.07.027.

22. Луканин В. Н., Алексеев И. В., Шатров М. Г. [и др.]. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов. 3-е изд., перераб. и испр. М.: Высшая школа, 2007. 479 с.

ЧЕРНОВ Герман Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология».

SPIN-код: 2144-5462; AuthorID (РИНЦ): 176943

Адрес для переписки: gi_chernov2002@mail.ru

ЮША Владимир Леонидович, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Холодильная и компрессорная техника и технология», декан нефтехимического института.

SPIN-код: 1503-9666; AuthorID (РИНЦ): 610283

ORCID: 0000-0001-9858-7687

Адрес для переписки: yusha@omgtu.ru

КАЛАШНИКОВ Александр Михайлович, ассистент кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология».

SPIN-код: 5496-5209; AuthorID (РИНЦ): 888551

ORCID: 0000-0002-6847-4937

Адрес для переписки: 2_lives@mail.ru

Для цитирования

Чернов Г. И., Юша В. Л., Калашников А. М. Параметрический анализ эффективности экранно-вакуумной теплоизоляции рекуперативного теплообменника системы рекуперации тепловых потерь мобильной компрессорной установки // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2019. Т. 3, № 1. С. 57–65. DOI: 10.25206/2588-0373-2019-3-1-57-65.

Статья поступила в редакцию 26.02.2019 г.

© Г. И. Чернов, В. Л. Юша, А. М. Калашников

PARAMETRIC ANALYSIS EFFICIENCY SCREEN-VACUUM THERMAL INSULATION OF REGENERATIVE HEAT EXCHANGER HEAT LOSS RECOVERY SYSTEM MOBILE COMPRESSOR PLANT

G. I. Chernov, V. L. Yusha, A. M. Kalashnikov

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

In this work, a study is conducted of the effectiveness of the screen-vacuum thermal insulation of the heat exchanger of the heat loss recovery system of a mobile compressor unit using the method of its calculation developed on the basis of the Ansys package (Fluid Flow — Fluent). According to the results of the numerical analysis of working processes in the flow part of the shell-and-tube recuperative heat exchanger, the interrelation between the parameters of thermal insulation and the characteristics of the heat exchanger has been established.

Keywords: heat exchanger, recovery, thermal efficiency, heat loss, screen-vacuum insulation.

References

1. Yusha V. L., Chernov G. I., Kalashnikov A. M. The study of the mobile compressor unit heat losses recovery system waste heat exchanger thermal insulation types influence on the operational efficiency // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1876, Issue 1. P. 020054-1 – 020054-8. DOI: 10.1063/1.4998874. (In Engl.).
2. Yusha V. L., Chernov G. I., Kalashnikov A. M., Zinoveva A. V. The heat losses recovery system efficiency analysis of the mobile compressor unit with the additional cooling loop // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2007, Issue 1. P. 030031-1 – 030031-8. DOI: 10.1063/1.5051892. (In Engl.).
3. Chernov G. I., Yusha V. L., Sherban K. V., Kalashnikov A. M. Modeling of the processes of heating organic coolant in the system of heat losses recuperation of the mobile compressor unit on the basis of a low-speed single-stage // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 858 (1). P. 226 – 232. DOI: 10.1088/1742-6596/858/1/012008. (In Engl.).
4. Yang B., Jiang Y., Fu L. [et al.]. Conjugate heat and mass transfer study of a new open-cycle absorption heat pump applied to total heat recovery of flue gas // Applied Thermal Engineering. 2018. Vol. 138. P. 888 – 899. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2018.04.054. (In Engl.).
5. Yuan H., Sun P., Zhang J. [et al.]. Theoretical and experimental investigation of an absorption refrigeration and pre-desalination system for marine engine exhaust gas heat recovery // Applied Thermal Engineering. 2018. Vol. 150. P. 224 – 236. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2018.12.153. (In Engl.).
6. Yusha V. L., Chernov G. I., Kalashnikov A. M. The efficiency comparative analysis of the mobile compressor unit heat losses recovery system flow part elements thermal insulation different types // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2007, Issue 1. P. 030029-1 – 030029-9. DOI: 10.1063/1.5051890. (In Engl.).
7. Arkharov A. M., Afanas'yev V. N. [et al.]. Teplotekhnika [Heat engineering]. 2nd ed. Moscow: BMSTU Publ., 2004. 712 p. ISBN 5-7038-2439-7. (In Russ.).
8. Babichev A. P., Babushkina N. A., Bratkovskiy A. M. [et al.]. Fizicheskiye velichiny. Spravochnik [Physical quantities. Handbook] / Eds. I. S. Grigoriev, E. Z. Meylikhov. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1991. 1232 p. ISBN 5-283-04013-5. (In Russ.).
9. Yang J., Lourenço M. I., Estefen S. F. Thermal insulation of subsea pipelines for different materials // International Journal of Pressure Vessels and Piping. 2018. Vol. 168. P. 100 – 109. DOI: 10.1016/j.ijpvp.2018.09.009. (In Engl.).
10. Fantucci S., Lorenzati A., Capozzoli A. [et al.]. Analysis of the temperature dependence of the thermal conductivity in Vacuum Insulation Panels // Energy and Buildings. 2019. Vol. 183. P. 64 – 74. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.10.002. (In Engl.).
11. Pásztor Z., Horváth T., Glass S. V. [et al.]. Experimental investigation of the influence of temperature on thermal conductivity of multilayer reflective thermal insulation // Energy and Buildings. 2018. Vol. 174. P. 26 – 30. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.06.012. (In Engl.).
12. Choi B., Song T.-H. Investigation of edge taping method applied to vacuum insulation panels // Energy and Buildings. 2017. Vol. 134. P. 52 – 60. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.11.005. (In Engl.).
13. Al-Neama A. F., Kapur N., Summersa J. [et al.]. An experimental and numerical investigation of the use of liquid flow in serpentine microchannels for microelectronics cooling // Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 116. P. 709 – 723. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.02.001. (In Engl.).
14. Ghani I. A., Sidik N. A. C., Mamatd R. [et al.]. Heat transfer enhancement in microchannel heat sink using hybrid technique of ribs and secondary channels // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2017. Vol. 114. P. 640 – 655. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.06.103. (In Engl.).
15. Schmidt D., Kallert A., Blesl M. [et al.]. Low temperature district heating for future energy systems // Energy Procedia. 2017. Vol. 116. P. 26 – 38. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.052. (In Engl.).
16. Kim J.-H., Boafó F. E., Kim S.-M. [et al.]. Aging performance evaluation of vacuum insulation panel (VIP) // Case Studies in Construction Materials. 2017. Vol. 7. P. 329 – 335. DOI: 10.1016/j.cscm.2017.09.003. (In Engl.).
17. Liang Y., Wu H., Huang G. [et al.]. Thermal performance and service life of vacuum insulation panels with aerogel composite cores // Energy and Buildings. 2017. Vol. 154. P. 606 – 617. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.08.085. (In Engl.).

18. Başoğul Yu., Demircan C., Keçebaş A. Determination of optimum insulation thickness for environmental impact reduction of pipe insulation // *Applied Thermal Engineering*. 2016. Vol. 101. P. 121–130. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.03.010. (In Engl.).

19. Berge A., Adl-Zarrabi B. Long term performance of vacuum insulation panels in hybrid insulation district heating pipes // *Energy Procedia*. 2017. Vol. 116. P. 334–342. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.080. (In Engl.).

20. Berge A., Hagentoft C.-E., Adl-Zarrabi B. Field measurements on a district heating pipe with vacuum insulation panels // *Renewable Energy*. 2016. Vol. 87, part 3. P. 1130–1138. DOI: 10.1016/j.renene.2015.08.056. (In Engl.).

21. Filimonov R., Sorvari J. Numerical study on the effect of cross-section orientation on fluid flow and heat transfer in a periodic serpentine triangular microchannel // *Applied Thermal Engineering*. 2017. Vol. 125. P. 366–376. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.07.027. (In Engl.).

22. Lukanin V. N., Alekseyev I. V., Shatrov M. G. [et al.]. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya*. V 3 kn. Kn. 1. *Teoriya rabochikh protsessov* [Internal combustion engines. In 3 bks. Bk. 1. Theory of working processes]. 3d ed. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2007. 479 p. (In Russ.).

CHERNOV German Igorevich, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of Refrigeration and Compressor Engineering and Technology Department. SPIN-code: 2144-5462

AuthorID (RSCI): 176943

Address for correspondence: gi_chernov2002@mail.ru

YUSHA Vladimir Leonidovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Refrigeration and Compressor Engineering and Technology Department, Dean of Petrochemical Department.

SPIN-code: 1503-9666

AuthorID (RSCI): 610283

ORCID: 0000-0001-9858-7687

Address for correspondence: yusha@omgtu.ru

KALASHNIKOV Aleksandr Mikhailovich, Assistant of Refrigeration and Compressor Engineering and Technology Department.

SPIN-code: 5496-5209

AuthorID (RSCI): 888551

ORCID: 0000-0002-6847-4937

Address for correspondence: 2_lives@mail.ru

For citations

Chernov G. I., Yusha V. L., Kalashnikov A. M. Parametric analysis efficiency screen-vacuum thermal insulation of the regenerative heat exchanger heat loss recovery system mobile compressor plant // *Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering*. 2019. Vol. 3, no. 1. P. 57–65. DOI: 10.25206/2588-0373-2019-3-1-57-65.

Received 26 February 2019.

© G. I. Chernov, V. L. Yusha, A. M. Kalashnikov