

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ-УТИЛИЗАТОРЕ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ МОБИЛЬНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

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

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

В данной работе проведен сравнительный теоретический анализ эффективности и применимости некоторых известных типов тепловой изоляции применительно к режимам, характерным для систем рекуперации МКУ. Исследование осуществляется численным способом в среде ANSYS посредством моделирования процессов теплопередачи в системе «теплоноситель – стенка – горячий газ – снека – изоляция – окружающая среда», т.е. в упрощенном прототипе рекуперативного теплообменника. В качестве внешней изоляции теплообменника использовались четыре наиболее распространенных типа изоляции: вспененные теплоизоляционные материалы, волокнистые, экранно-вакуумная и активная водяная изоляция.

Ключевые слова: рекуперация тепла, тепловой поток, теплообмен, тепловые потери, теплообменный аппарат, тепловая эффективность, трубы.

Введение

Цель данной работы заключается в определении оптимального типа внешней тепловой изоляции, при котором тепловые потери теплообменника будут минимальными.

Актуальность поставленной цели обусловлена тем, что вся энергия, генерируемая в ДВС и затрачиваемая на сжатие газа в мобильной компрессорной установке, выбрасывается в окружающую среду в виде тепла. Рекуперация этой тепловой энергии обратно в установку в механической форме представляет собой актуальную научно-техническую задачу. Эффективность системы рекуперации тепловых потерь определяется не только эффективностью схемы рекуперации, но и эффективностью отдельных её элементов, важнейшим из которых является теплообменник-утилизатор.

Как известно, практически вся энергия, генерируемая в силовом агрегате (как правило, в ДВС) и затрачиваемая на сжатие газа в мобильных компрессорных установках (МКУ) различных конфигураций, выбрасывается в окружающую среду в виде тепла [1–3]. Рекуперация этой тепловой энергии в технологическую схему МКУ позволяет существенно повысить её энергоэффективность, т.е. снизить удельный расход топлива, расходуемого на привод силового агрегата [4–13]. Повышение экономичности МКУ во многом определяется тепловой эффективностью рекуперативного теплообменника, являющегося одним из основных технологических элементов системы рекуперации тепловых потерь МКУ [3]. В свою очередь, тепловая эффективность рекуперативного теплообменника зависит в том числе от величины тепловых потерь в окружающую среду, т.е. от величины термического сопротивления, обеспечиваемого применяемой теплоизоляцией. При этом надо иметь в виду, что кроме

теплофизических свойств теплоизоляции при конструировании рекуперативного теплообменника следует учитывать допустимый диапазон её эксплуатационных температур, себестоимость, технологичность, вес, долговечность и др. Таким образом, правильный выбор теплоизоляции для рекуперативного теплообменника является актуальной задачей при разработке систем рекуперации тепловых потерь МКУ.

В данной работе проведён сравнительный теоретический анализ эффективности и применимости некоторых известных типов тепловой изоляции применительно к режимам, характерным для систем рекуперации МКУ. Исследование осуществляется численным способом посредством моделирования процессов теплопередачи в системе «теплоноситель – стенка – горячий газ – снека – изоляция – окружающая среда», т.е. в упрощённом варианте рекуперативного теплообменника. В качестве внешней изоляции теплообменника использовались четыре наиболее распространённых типа изоляции: вспененные теплоизоляционные материалы, волокнистые, вакуумная и активная водяная изоляция [14]. Одним из недостатков большинства твердых теплоизоляционных материалов состоит в том, что они имеют определённый, часто ограниченный, ресурс работы, и их свойства с течением времени ухудшаются. Кроме того, во многих случаях имеются ограничения по уровню допустимой рабочей температуры [15–17]. Достоинством вакуумной изоляции является неограниченный ресурс при соблюдении технологии изготовления теплообменника, возможность эксплуатации практически при любых температурах. К недостаткам вакуумной изоляции следует отнести существенное влияние тепловых потерь от излучения, которые могут быть устранены с помощью экранов и наполнения пористыми материалами [18–24].

Постановка задачи

Для достижения поставленной цели ставятся следующие задачи:

1. Подготовить расчетную схему.
2. Провести расчет тепловых потерь с применением Ansys Fluent.
3. Выполнить анализ влияния твердой, экранно-вакуумной и «активной» водяной изоляции по полученным данным.

Анализ процессов теплообмена проводился на основе известных уравнений конвективного теплообмена, теплопроводности и теплообмена излучением, которые содержатся в пакете ANSYS. В качестве граничных условий были приняты следующие. Температура входящего горячего воздуха равномерно распределена по входному сечению и равна $T_0 = 900$ К; температура входящей воды, также равномерно распределённая по входному для воды сечению, $T_B = 300$ К; температура наружного воздуха составляет 273 К. Коэффициент теплоотдачи между наружным воздухом и наружной поверхностью прототипа считается постоянным. Диаметры наружной и внутренней труб, а также толщины их стенок представлены на рис. 1. На рисунке указаны также массовые расходы воды и газа. Эпюры скоростей потоков на входе соответствующих сечений

принимались равномерными. В таблице представлены сравнительные характеристики теплоизоляционных материалов (табл. 1), используемых в расчете [25–27].

Таким образом, объектом исследования является конструкция, состоящая из двух коаксиальных трубок, между которыми протекает горячий газ (выхлопные газы ДВС), а по осевому каналу течёт вода. На внешней поверхности трубки большего диаметра может быть размещена теплоизоляция одного из рассматриваемых типов (рис. 1–6).

Теория

Суммарный тепловой поток определяется выражением [2, 19]:

$$Q = Q_T + Q_K + Q_{И'} \quad (1)$$

где Q_T — тепловой поток, обусловленный теплопроводностью; Q_K — конвективный тепловой поток; $Q_{И'}$ — тепловой поток, обусловленный излучением. При этом если между поверхностью канала и водой тепловой поток передаётся в основном конвекцией и теплопроводностью, то теплообмен между стенками канала через зазор из выхлопных газов осуществляется сразу тремя способами.

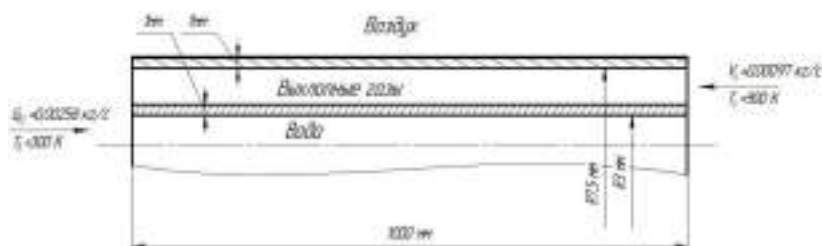


Рис. 1. Расчётная схема теплообменника без наружной изоляции
Fig. 1. The design scheme of the heat exchanger without external insulation

Таблица 1. Свойства рассматриваемых теплоизоляционных материалов
Table 1. Properties of the insulating materials in question

Материал	Средняя плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Максимальная рабочая температура, °С	Срок службы, лет
Вспененные теплоизоляционные материалы				
Пенополиуретан (ППУ)	60–80	0,019–0,035	130	20–50
Вспененный полиэтилен (ППЭ)	20–80	0,034–0,037	110	25–50
Вспененный каучук	40–80	0,023–0,036	175	20
Пеностекло	180	0,05–0,07	485	100
Армопенобетон	200–250	0,05	300	
Пенополимерминерал	200–250	0,047	150	20
Волокнистые теплоизоляционные материалы				
Минеральная вата	50–125	0,030–0,052	700	50
Кварцевые волокна	140–255	0,05	1100	50
Базальтовое супертонкое волокно (БСТВ)	18–25	0,035–0,036	900	50
Иные теплоизоляционные материалы				
Вакуумные изоляционные панели	–	0,002	–	–
Экранно-вакуумная изоляция	–	$5 \cdot 10^{-5}$	–	–
Активная водяная изоляция	998	0,55	99	–

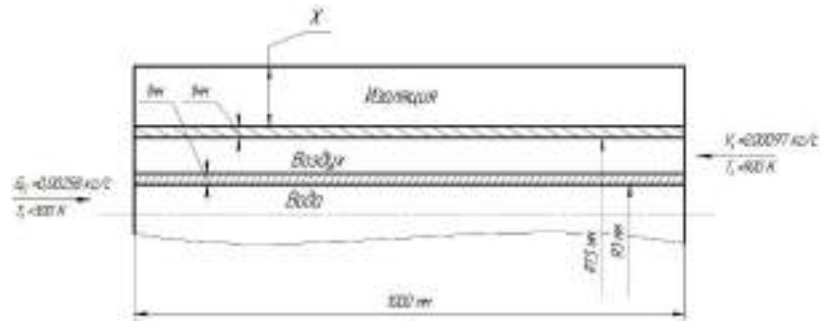


Рис. 2. Расчетная схема с твердой изоляцией
 Fig. 2. Calculation scheme with solid insulation

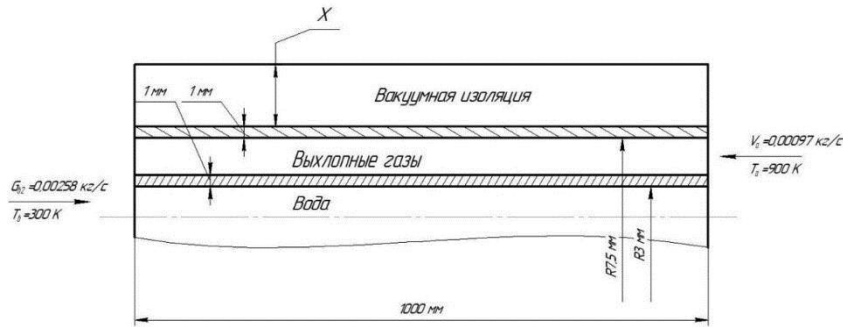


Рис. 3. Расчетная схема с вакуумной изоляцией
 Fig. 3. Calculation scheme with vacuum insulation

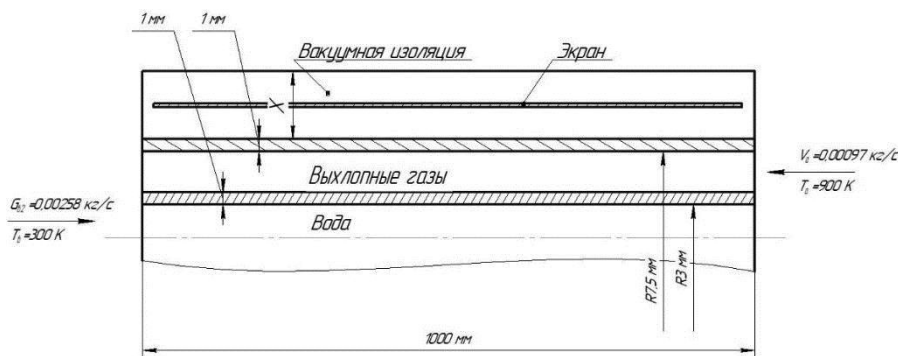


Рис. 4. Расчетная схема с вакуумной изоляцией и применением одного экрана
 Fig. 4. Calculation scheme with vacuum insulation and the use of one screen

Величина Q_T определяется выражением [2, 19]:

$$Q_T = \frac{\lambda}{\delta} \cdot F_{CP} (T_1 - T_2), \quad (2)$$

где $F_{CP} = \sqrt{F_1 \cdot F_2}$ — среднегеометрическая площадь двух поверхностей, между которыми передаётся тепло теплопроводностью; λ — коэффициент теплопроводности вещества, в котором распространяется тепло теплопроводностью; δ — толщина слоя вещества, в котором тепло распространяется теплопроводностью; T_1 — температура теплой поверхности; T_2 — температура холодной поверхности;

Расчет конвективного теплопритока Q_K определяется выражением [2, 19]:

$$Q_K = 18,2 a_{пр} \cdot \frac{k+1}{k-1} \cdot F_2 (T_1 - T_2) \cdot \frac{p}{\sqrt{M_r \cdot T_1}}, \quad (3)$$

где M_r — массовый расход; k — показатель адиабаты; F_2 — площадь холодной поверхности; p — давление; $a_{пр}$ — коэффициент проводимости.

Расчет теплового потока $Q_{и}$, передаваемого излучением между двумя поверхностями, определяется выражением [2, 19]:

$$Q_{и} = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_s} \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4) \psi, \quad (4)$$

где ε_1 — степень черноты горячей поверхности; ε_2 — степень черноты холодной поверхности; σ — постоянная Стефана–Больцмана; ε_s — степень черноты абсолютно черного тела;

$\psi = \int_{F_1} \int_{F_2} \frac{\cos(\varphi_1) \cdot \cos(\varphi_2)}{\pi r^2} dF_2$ — угловой коэффициент излучения.

В качестве граничных условий были приняты следующие: температура входящего горячего воздуха равномерно распределена по входному сечению и равна $T_0 = 900$ К; температура входящей воды, также равномерно распределённая по входному для воды сечению, $T_B = 300$ К; температура наружного

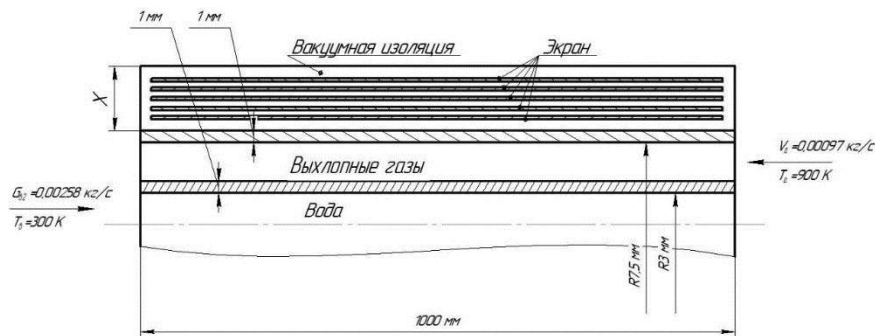


Рис. 5. Расчетная схема с вакуумной изоляцией и применением пяти экранов
Fig. 5. Calculation scheme with vacuum insulation and the use of five screens

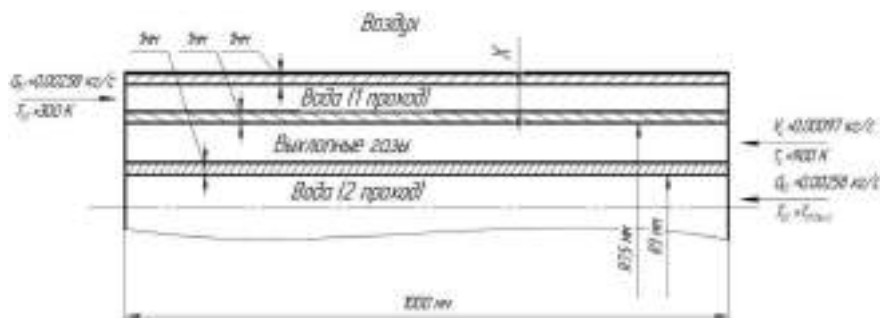


Рис. 6. Расчётная схема теплообменника с активной водной изоляцией
Fig. 6. The design scheme of a heat exchanger with active water insulation

воздуха составляет 273 K; коэффициент теплоотдачи между наружным воздухом и наружной поверхностью прототипа считается постоянным.

Диаметры наружной и внутренней труб, а также толщины их стенок представлены на рис. 1, 2. На рисунках указаны также массовые расходы воды и газа. Эпюры скоростей потоков на входе соответствующих сечений принимались равномерными.

Методика проведения расчёта рассматриваемого объекта в среде ANSYS состоит в последовательном выполнении следующих операций:

1. В SolidWorks строится 3D-модель с разной толщиной сектора «3»: 0 мм, 1 мм, 5 мм, 10 мм, 15 мм, 20 мм, 25 мм, 40 мм.

2. 3D модель экспортируется в ANSYS для дальнейшего построения расчётной сетки: геометрии объединяются в Part; задается тип материала для каждой геометрии (тело/жидкость); задаются имена для каждой геометрии.

3. 3D модель экспортируется в ANSYS Meshing.

4. Для каждого из материалов формируется своя сетка с учетом необходимой точности расчета. На участках, требующих более точного расчета, сетка дополнительно улучшается: для воздуха, текущего по каналу, значение y^+ определено в интервале $y^+ \leq 10$; у пристеночной области создается сгущение сетки по линейному закону роста с коэффициентом роста, равным 1,2.

5. Задание граничных условий происходит в модуле Fluent: присваиваются свойства материалов, задаются типы течения и поверхности, участвующие в процессе теплового излучения (проводится расчет угловых коэффициентов), задаются входные и выходные параметры потоков воды и воздуха, настраиваются интерфейсы, выставляются параметры расчета.

6. Выполняется расчет.

Результаты

На рис. 7 представлены зависимости относительных тепловых потерь в рассматриваемом объекте от толщины внешней изоляции для различных типов твердых теплоизоляционных материалов, представленных в табл. 1.

Как видно из графиков (рис. 7), при отсутствии тепловой изоляции во всех случаях тепловые потери относительно велики и достигают 34 %. По мере роста толщины изоляции потери снижаются, причём для каждого типа изоляции по-разному. Наиболее существенное снижение потерь наблюдается у пенополиуретана, наименьшее снижение потерь имеет место у пеностекла. При толщине изоляции 25–30 мм можно говорить об условной стабилизации тепловых потерь для каждого типа изоляции на определённом уровне.

Из этих зависимостей видно (рис. 8), что увеличение толщины изоляции, увеличение вакуума и увеличение числа экранов приводит к уменьшению относительных тепловых потерь. Небольшое увеличение тепловых потерь для графиков 3, 6 и 9 обусловлено двумя факторами — ростом доли переносимого тепла излучения по сравнению с конвекцией и теплопроводностью, а также тем, что увеличение толщины вакуумного зазора (толщины изоляции) приводит к увеличению наружной поверхности теплообменника, а значит, и к величине потерь за счёт излучения.

На основе проведённого исследования можно сделать следующие выводы: применительно к рассматриваемому объекту тепловая изоляция позволяет снизить величину тепловых потерь с 34 % до 5 %; наименьшие потери из исследованного ряда изоляций достигаются при использовании экранно-вакуумной изоляции; для каждого типа изоляции при

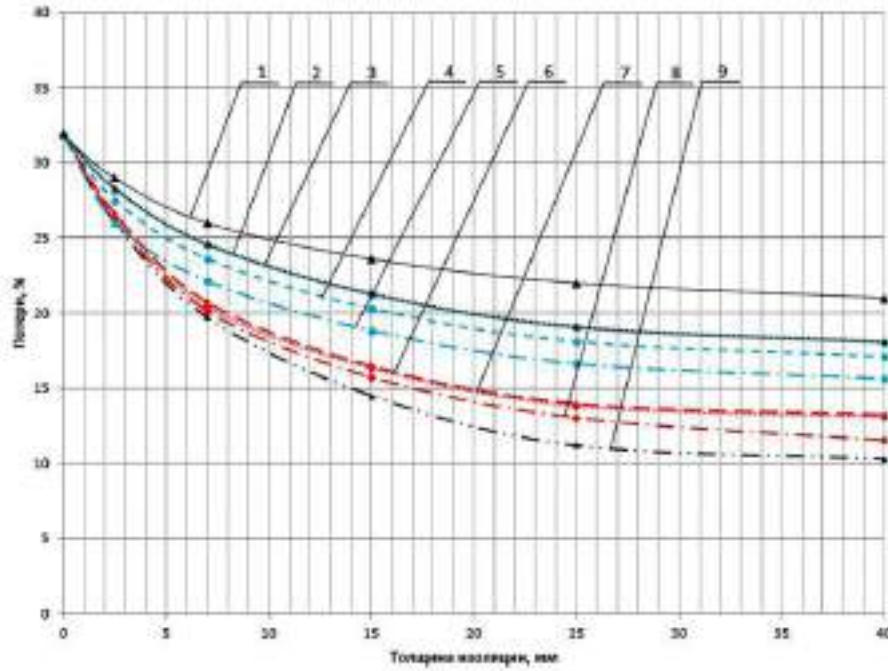


Рис. 7. График зависимости тепловых потерь от толщины изоляции:
 1 — пеностекло; 2 — кварцевые волокна; 3 — армопенобетон;
 4 — пенополимерминерал; 5 — минеральная вата;
 6 — базальтовое супертонкое волокно (БСТВ);
 7 — вспененный полиэтилен (ППЭ); 8 — вспененный каучук;
 9 — пенополиуретан (ППУ)

Fig. 7. Graph of the dependence of heat losses on insulation thickness:
 1 — foam glass; 2 — quartz fibers; 3 — armopenobeton;
 4 — foam polymer mineral; 5 — mineral wool;
 6 — basalt superfine fiber (BSTF); 7 — foamed polyethylene (PPE);
 8 — foamed rubber; 9 — polyurethane foam (PPU)

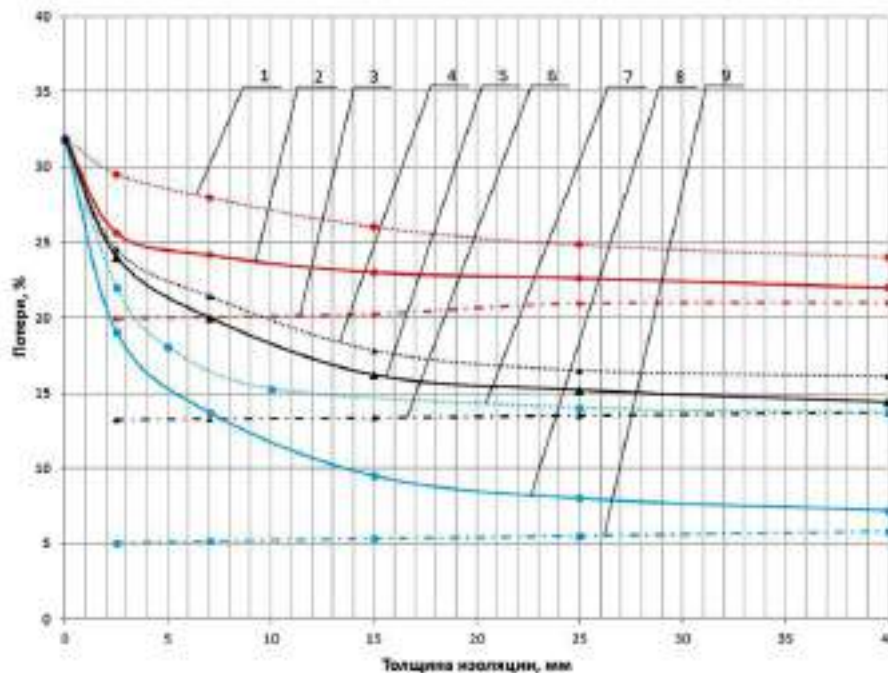


Рис. 8. График зависимости тепловых потерь от толщины изоляции и количества экранов:
 1 — давление 1 атм (экранов = 0); 2 — давление ~ 0,4 атм (экранов = 0);
 3 — давление ~ 0,01 атм (экранов = 0); 4 — давление 1 атм (экранов = 1);
 5 — давление ~ 0,4 атм (экранов = 1); 6 — давление ~ 0,01 атм (экранов = 1);
 7 — давление 1 атм (экранов = 5); 8 — давление ~ 0,4 атм (экранов = 5);
 9 — давление ~ 0,01 атм (экранов = 5)

Fig. 8. Graph of the dependence of heat losses on insulation thickness and number of screens:
 1 — pressure 1 atm (screens = 0); 2 — pressure ~ 0,4 atm (screens = 0);
 3 — pressure ~ 0,01 atm (screens = 0); 4 — pressure 1 atm (screens = 1);
 5 — pressure ~ 0,4 atm (screens = 1); 6 — pressure ~ 0,01 atm (screens = 1);
 7 — pressure 1 atm (screens = 5); 8 — pressure ~ 0,4 atm (screens = 5);
 9 — pressure ~ 0,01 atm (screens = 5)

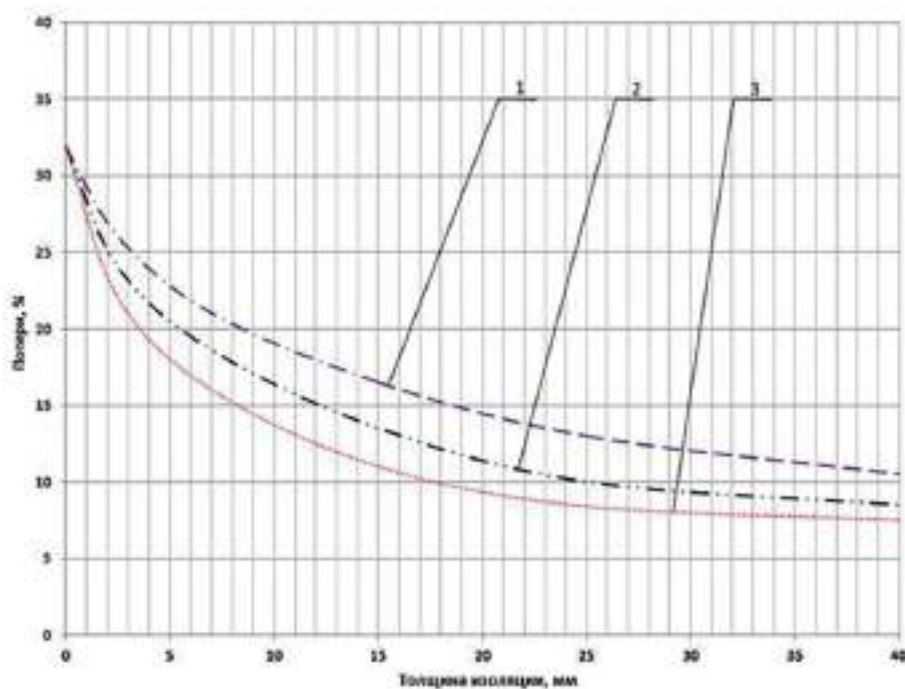


Рис. 9. Зависимость тепловых потерь от толщины слоя теплоносителя во внешнем кольцевом канале при различных массовых расходах теплоносителя:
 1 — массовый расход воды 0,003 кг/с; 2 — массовый расход воды 0,015 кг/с;
 3 — массовый расход воды 0,03 кг/с

Fig. 9. Dependence of heat losses on the thickness of the coolant layer in the outer annular channel at various mass flow rates of the coolant:
 1 — mass flow rate of water 0,003 kg/s; 2 — mass flow of water 0,015 kg/s;
 3 — mass flow rate of water 0,03 kg/s

увеличении её толщины потери стабилизировались на определённом уровне, что приводит к отсутствию необходимости увеличивать толщину изоляции свыше 25 мм; наибольший интерес с точки зрения долговечности работы тепловой изоляции и её эффективности представляют экранно-вакуумная и её модификации с использованием экранов различной степени черноты и количества; приращение эффективности экранирования уменьшается с ростом числа экранов (при толщине изоляции 40 мм эффективность экранно-вакуумной изоляции примерно сравнивается с эффективностью вакуумной изоляции при одинаковой глубине вакуума).

Как видно из представленных результатов (рис. 9), с ростом расхода активной водяной изоляции и её толщины происходит уменьшение тепловых потерь до 7,5 %.

Заключение

На основе проведённого исследования можно сделать следующие выводы:

1. Несмотря на то, что исследуемый в данной работе объект существенно отличается от реальной конструкции рекуперативного теплообменника либо является её частным случаем, проведённые исследования позволяют сделать принципиальный вывод о предпочтительном применении экранно-вакуумной изоляции, которая обеспечивает не только минимальные тепловые потери в окружающую среду, но и гарантированно высокие эксплуатационные характеристики. Кроме того, такое конструктивное решение позволяет потенциальному изготовителю получить дополнительную степень независимости от внешних поставщиков. В связи с этим можно рекомендовать экранно-вакуумную изоляцию как одну из основных при разработке

и исследовании перспективных рекуперативных теплообменников для высокоэкономичных МКУ.

2. «Активная» теплоизоляция сравнима по эффективности с экранно-вакуумной изоляцией и может быть рассмотрена в качестве альтернативной при разработке и исследовании перспективных рекуперативных теплообменников для высокоэкономичных МКУ.

Список источников

1. Юша В. Л., Чернов Г. И. Термодинамический анализ эффективности мобильных компрессорных установок с рекуперацией тепловых потерь: моногр. Омск: Изд-во ОмГТУ. 2014. 102 с.
2. Луканин В. Н., Алексеев И. В., Шатров М. Г. [и др.]. Двигатели внутреннего сгорания: теория рабочих процессов. В 3 кн. 3-е изд., перераб. и испр. М.: Высшая школа, 2007. Кн. 1. 479 с.
3. Архаров А. М., Афанасьев В. Н. [и др.]. Теплотехника. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2004. 712 с. ISBN 5-7038-2439-7.
4. Chernov G. I., Vasilyev V. K., Balakin P. D., Kalashnikov A. M. The analysis of ANSYS package applicability for calculating the elements of the heat losses recuperation system in the power unit of the mobile compressor unit // International Conference on Oil and Gas Engineering, OGE. Procedia Engineering. 2016. Vol. 152. P. 226–232. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.695.
5. 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 858. 2017. P. 226–232.
6. Yusha V., Chernov G. Effectiveness analysis of using the Rankine cycle and cycle of refrigeration machine for recuperation of heat losses in mobile compressor unite // 8th International Conference on compressors and coolants. Papiernička, Slovakia. 2013. P. 45.

7. Navarro-Peris E., Miguel Corberan J., Ancik Z. Evaluation of the potential recovery of compressor heat losses to enhance the efficiency of refrigeration systems by means of thermoelectric generation // *Applied thermal engineering*. 2015. Vol. 89. P. 755–762. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2015.06.033.
8. Rieder de Oliveira Neto, César Adolfo Rodriguez Sotomonte, Christian J. R. Coronado [et al.]. Technical and economic analyses of waste heat energy recovery from internal combustion engines by the organic rankine cycle // *Energy conversion and management*. 2016. Vol. 129. P. 168–179. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.10.012.
9. Sharifah Rafidah, Wan Alwi, Carmen KarMun Lee [et al.]. Targeting the maximum heat recovery for systems with heat losses and heat gains // *Energy conversion and management*. 2014. Vol. 87. P. 1098–1106. DOI: 10.1016/j.enconman.2014.06.067.
10. Carcasci C., Winchler L. Thermodynamic analysis of an Organic Rankine Cycle for waste heat recovery from an aeroderivative intercooled gas turbine // *Energy Procedia*. 2016. Vol. 101. P. 862–869. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.11.109.
11. Amicabile S., Lee J.-Ik, Kum D. A comprehensive design methodology of organic Rankine cycles for the waste heat recovery of automotive heavy-duty diesel engines // *Applied Thermal Engineering*. 2015. Vol. 87. P. 574–585. DOI:10.1016/j.applthermaleng.2015.04.034.
12. Bari S., Hossain S. N. Design and optimization of compact heat exchangers to be retrofitted into a vehicle for heat recovery from a diesel engine / The 6th BSME International Conference on thermal engineering. 2015. Vol. 105. P. 472–479. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.05.077.
13. Zavattoni S. A., Gaetano A., Montorfano D. [et al.]. A novel CSP receiver based on airlight energy technology — optimization of the thermal insulation system by means of CFD analysis // *Energy Procedia*. SolarPACES 2013 International Conference. 2013. Vol. 49. P. 589–598.
14. 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.
15. 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 // *International conference on Oil and Gas Engineering (OGE-2017)*. AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1876. DOI: 10.1063/1.4998874.
16. Ferle A. Einsatz von vacuumdämmung in hochbau // 8 Europäische Passivhaustagung. Krems, Austria. 2014. P. 171–177.
17. Choi, Bongsu, Tae-Ho Song. 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.
18. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. М.: Энергоиздат. 1981. 415 с.
19. Caps R., Friscke J. Konzepte für den Einsatz, von evakuierten Dämmungen bei Passivhäusern. 4 Passivhaus Tagung, Kassel, Marz. 2000. S. 171–177.
20. Caps R., Friscke J. Vakuüm dämmungen in der Anwendung. 5 Passivhaus Tagung, Reutlingen, Februar. 2001. S. 247–254.
21. Armin Binz. Hightech-materialen von dem Durchbruch. Passivhaus Tagung, Ludvig-shafen. 2005. S. 219–224.
22. Ferle A. Einsatz von Vacuum dämmung in Hochbau. Europäische Passivhaustagung. Krems, Austria. 2004. S. 171–177.
23. Oehler S. Münsterländer Hof renoviert. Internationale Passivhaus Tagung, Hannover. 2006. S. 57–62.
24. Diefenbach N. Modernisierung von Zweifamilienhäusern auf unterschiedliche energetische Standards unter Einsatz von Großelementen mit Vakuümdämmung. Internationale Passivhaustagung, Hannover. 2006. S. 63–68.
25. Daşdemir A., Ertürk M., Ural T. [et al.]. Optimal economic thickness of pipe insulation considering different pipe materials for HVAC pipe applications // *Applied Thermal Engineering* 121. P. 242–254. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.04.001.
26. Fricke J., Heinemann U., Ebert H. P. Vacuum insulation panels-From research to market // *Vacuum*. 2008. Vol. 82, Issue 7. P. 680–690. DOI: 10.1016/j.vacuum.2007.10.014.
27. Дульнев Г. Н., Сигалова Г. В. Теплопроводность моно- и полидисперсных зернистых материалов // *Строительная теплофизика*. М., Л.: Энергия. 1966. С. 40–47.

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

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

SPIN-код: 2144-5462

AuthorID (РИНЦ): 176943

Адрес для переписки: gj_chernov2002@mail.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

Юша В. Л., Чернов Г. И., Калашников А. М. Сравнительный анализ эффективности различных типов теплоизоляции в теплообменнике-утилизаторе системы рекуперации тепловых потерь мобильных компрессорных установок // *Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение*. 2017. Т. 2, № 1. С. 33–41. DOI: 10.25206/2588-0373-2018-2-1-33-41.

Статья поступила в редакцию 12.03.2018 г.

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

COMPARATIVE ANALYSIS OF EFFICIENCY OF DIFFERENT TYPES OF THERMAL INSULATION IN HEAT EXCHANGER-UTILIZER OF HEAT LOSS RECOVERY SYSTEM OF MOBILE COMPRESSOR UNITS

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

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

In this paper, a comparative theoretical analysis of the efficiency and applicability of some known types of thermal insulation in relation to the regimes typical for the MCU recovery systems is carried out. The study is carried out numerically by modeling heat transfer processes in the «coolant-wall-hot gas-snack-insulation-environment» system, i.e. in a simplified version of the recuperative heat exchanger. As the external insulation of the heat exchanger, four most common types of insulation are used: foam insulation materials, fibrous, vacuum and active water insulation.

Keywords: heat recovery, heat flow, heat exchange, heat losses, heat exchanger, thermal efficiency, pipes.

References

1. Yusha V. L., Chernov G. I. Termodinamicheskiy analiz effektivnosti mobil'nykh kompressornykh ustanovok s rekuperatsiyey teplovykh poter' [Thermodynamic analysis of the efficiency of mobile compressor units with heat loss recovery]. Omsk: OmSTU Publ., 2014. 102 p. (In Russ.).
2. Lukanin V. N., Alekseyev I. V., Shatrov M. G. [et al.]. Dvigateli vnutrennego sgoraniya: teoriya rabochikh protsessov [Internal combustion engines: the theory of work processes]. In 3 books. 3d ed. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2007. Book 1. 479 p. (In Russ.).
3. Arkharov A. M., Afanas'yev V. N. [et al.]. Teplotekhnika [Heat engineering]. Moscow: Bauman MSTU Publ., 2004. 712 p. (In Russ.).
4. Chernov G. I., Vasilyev V. K., Balakin P. D., Kalashnikov A. M. The analysis of ANSYS package applicability for calculating the elements of the heat losses recuperation system in the power unit of the mobile compressor unit // International Conference on Oil and Gas Engineering, OGE. Procedia Engineering. 2016. Vol. 152. P. 226–232. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.695. (In Engl.).
5. 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 858. 2017. P. 226–232. (In Engl.).
6. Yusha V., Chernov G. Effectiveness analysis of using the Rankine cycle and cycle of refrigeration machine for recuperation of heat losses in mobile compressor unite // 8th International Conference on Compressors and Coolants. Papiernička, Slovakia. 2013. P. 45. (In Engl.).
7. Navarro-Peris E., Miguel Corberan J., Ancik Z. Evaluation of the potential recovery of compressor heat losses to enhance the efficiency of refrigeration systems by means of thermoelectric generation // Applied Thermal Engineering. 2015. Vol. 89. P. 755–762. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2015.06.033. (In Engl.).
8. Rieder de Oliveira Neto, César Adolfo Rodriguez Sotomonte, Christian J. R. Coronado [et al.]. Technical and economic analyses of waste heat energy recovery from internal combustion engines by the organic rankine cycle // Energy Conversion and Management. 2016. Vol. 129. P. 168–179. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.10.012. (In Engl.).
9. Sharifah Rafidah, Wan Alwi, Carmen KarMun Lee [et al.]. Targeting the maximum heat recovery for systems with heat losses and heat gains // Energy Conversion and Management. 2014. Vol. 87. P. 1098–1106. DOI: 10.1016/j.enconman.2014.06.067. (In Engl.).
10. Carcasci C., Winchler L. Thermodynamic analysis of an Organic Rankine Cycle for waste heat recovery from an aeroderivative intercooled gas turbine // Energy Procedia. 2016. Vol. 101. P. 862–869. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.11.109. (In Engl.).
11. Amicabile S., Lee J.-Ik, Kum D. A comprehensive design methodology of organic Rankine cycles for the waste heat recovery of automotive heavy-duty diesel engines // Applied Thermal Engineering. 2015. Vol. 87. P. 574–585. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2015.04.034. (In Engl.).
12. Bari S., Hossain S. N. Design and optimization of compact heat exchangers to be retrofitted into a vehicle for heat recovery from a diesel engine / The 6th BSME International Conference on Thermal Engineering. 2015. Vol. 105. P. 472–479. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.05.077. (In Engl.).
13. Zavattoni S. A., Gaetano A., Montorfano D. [et al.]. A novel CSP receiver based on airlight energy technology — optimization of the thermal insulation system by means of CFD analysis // Energy Procedia. SolarPACES 2013 International Conference. 2013. Vol. 49. P. 589–598. (In Engl.).
14. Babichev A. P., Babushkina N. A., Bratkovskiy A. M. [et al.]. Fizicheskiye velichiny. Spravochnik [Physical quantities. Directory] / Ed. I. S. Grigoriev, E. Z. Meilikhov. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1991. 1232 p. (In Russ.).
15. 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 // International Conference on Oil and Gas Engineering (OGE-2017). AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1876. DOI: 10.1063/1.4998874. (In Engl.).
16. Ferle A. Einsatz von vacuumdämmung in hochbau // 8 Europäische Passivhaustagung. Krems, Austria. 2014. P. 171–177. (In Germ.).
17. Choi, Bongsu, Tae-Ho Song. 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.).

18. Isachenko V. P., Osipova V. A., Sukomel A. S. *Teploperedacha* [Heat transfer]. Moscow: Energoizdat Publ., 1981. 415 p. (In Russ.).

19. Caps R., Friscke J. Konzepte für den Einsatz, von evakuirten Dämmungen bei Passivhäusern. 4 Passivhaus Tagung, Kassel, Marz. 2000. S. 171–177. (In Germ.).

20. Caps R., Friscke J. Vakuüm dämmungen in der Anwendung. 5 Passivhaus Tagung, Reutlingen, Februar. 2001. S. 247–254. (In Germ.).

21. Armin Binz. Hightech-materialen von dem Durchbruch. Passivhaus Tagung, Ludvig-shafen. 2005. S. 219–224. (In Germ.).

22. Ferle A. Einsatz von Vacuum dämmung in Hochbau. Europäische Passivhaustagung. Krems, Austria. 2004. S. 171–177. (In Germ.).

23. Oehler S. Münsterländer Hof renoviert. Internationale Passivhaus Tagung, Hannover. 2006. S. 57–62. (In Germ.).

24. Diefenbach N. Modernisierung von Zweifamilienhäusern auf unterschiedliche energetische Standards unter Einsatz von Großelementen mit Vakuümdämmung. Internationale Passivhaustagung, Hannover. 2006. S. 63–68. (In Germ.).

25. Daşdemir A., Ertürk M., Ural T. [et al.]. Optimal economic thickness of pipe insulation considering different pipe materials for HVAC pipe applications // *Applied Thermal Engineering* 121. 2017. P. 242–254. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.04.001. (In Engl.).

26. Fricke J., Heinemann U., Ebert H. P. Vacuum insulation panels-From research to market // *Vacuum*. 2008. Vol. 82, Issue 7. P. 680–690. DOI: 10.1016/j.vacuum.2007.10.014. (In Engl.).

27. Dulnev G. N., Sigalova G. V. Teploprovodnost' mono- i polidispersnykh zernistykh materialov [Thermal conductivity of mono- and polydisperse granular materials] // *Stroitel'naya teplofizika. Stroitel'naya teplofizika*. Moscow, Leningrad: Energiya Publ., 1966. P. 40–47. (In Russ.).

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

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

KALASHNIKOV Aleksandr Mikhaylovich, 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

Yusha V. L., Chernov G. I., Kalashnikov A. M. Comparative analysis of efficiency of different types of thermal insulation in heat exchanger-utilizer of heat loss recovery system of mobile compressor units // *Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering*. 2018. Vol. 2, no. 1. P. 33–41. DOI: 10.25206/2588-0373-2018-2-1-33-41.

Received 12 March 2018.

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