

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наумейко А. В. Оптимизация конструкции и режимов работы газоздушных теплогенераторов и жаротрубно-дымогарных водогрейных котлов: дис. ... к-та техн. наук. Екатеринбург, 2005. 165 с.
2. URL: <http://kotlomaniya.ru/kotly/zharotrubnye-parovye-kotly.html>.
3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-rezhimov-energeticheskikh-kotlov-pri-szhiganii-ver>.
4. URL: <http://akz22.ru/kotel-zhar>.
5. Васильев А. В., Антропов Г. В., Баженов А. И. [и др.]. Повышение надежности жаротрубных водогрейных котлов // Промышленная энергетика. 1998. № 7. С. 28–32.

УДК 621.43 + 621.51

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАННЫХ РАНЕЕ ВИДОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В УПРОЩЕННОЙ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА И ПОЛНОЦЕННОЙ МОДЕЛИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА**

А. М. Калашников, И. Д. Обухов

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

**Аннотация.** В данной работе выполнено сравнение эффективности теплообменной изоляции относительно исследованной ранее упрощенной модели проточной части теплообменного аппарата и новой модели полноценного рекуперативного теплообменника на базе существующей мобильной компрессорной установки, с применением ранее разработанной методики численного анализа при помощи Ansys (Fluid Flow - Fluent). Объектом исследования являются две конструкции, одна из которых состоит из двух коаксиальных трубок, между которыми протекает горячий газ (выхлопные газы двигателя внутреннего сгорания), а по осевому каналу течёт вода, а вторая представляет собой трубный пучок, в котором движется вода, соединенного с двух сторон зоной смешения и внешнего кожуха, в котором движутся выхлопные газы двигателя внутреннего сгорания. На внешней поверхности обеих конструкций были размещены твердые теплоизолирующие материалы. В исследовании рассматривались наиболее эффективные виды твердой теплоизоляции: базальтовое супертонкое волокно, вспененный каучук, пенополиуретан. Проведенный с Ansys (Fluid Flow - Fluent) сравнительный анализ эффективности подобранной теплоизоляции применительно к упрощенной модели теплообменного аппарата и полноценной модели рекуперативного теплообменного аппарата показал рост эффективности теплоизоляции применительно к реальной конструкции теплообменного аппарата.

**Ключевые слова:** *тепловая эффективность, теплообменный аппарат, рекуперация, тепловые потери.*

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-72-76

## I. ВВЕДЕНИЕ

В проведенных ранее исследованиях было продемонстрировано, как значительная часть генерируемой в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) энергии, направляемой на сжатие газа в мобильной компрессорной установке (МКУ), отводится в атмосферу [1]. Используя систему рекуперации этих тепловых потерь, становится возможным обеспечить их частичный возврат в технологическую схему МКУ, при этом существенное влияние на термодинамическую эффективность системы рекуперации на базе цикла Ренкина оказывает конструкция рекуперативного теплообменного аппарата (ТА) [1–4]. Результаты проведенных ранее исследований упрощенной схемы «труба в трубе» позволили установить степень влияния внешней изоляции на величину тепловых потерь в окружающую среду [5]. Однако применительно к другому конструктивному исполнению ТА соотношение площадей полезной теплообменной поверхности и поверхности обечайки могут иметь существенное различия. Помимо этого, рабочее давление горячего газа в проточной части рекуперативного ТА будет зависеть от рабочего перепада давления на расширительной машине, что не может не отразиться на тепловых потерях ТА и его удельных характеристиках. Именно эти факторы и рассмотрены в данной статье.

## II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной работе выполнено сравнение эффективности теплообменной изоляции относительно первоначальной упрощенной модели проточной части ТА (рис. 1) и новой модели полноценного рекуперативного ТА

на базе существующей МКУ (рис. 2), с применением ранее разработанной методики численного анализа при помощи Ansys (Fluid Flow - Fluent).

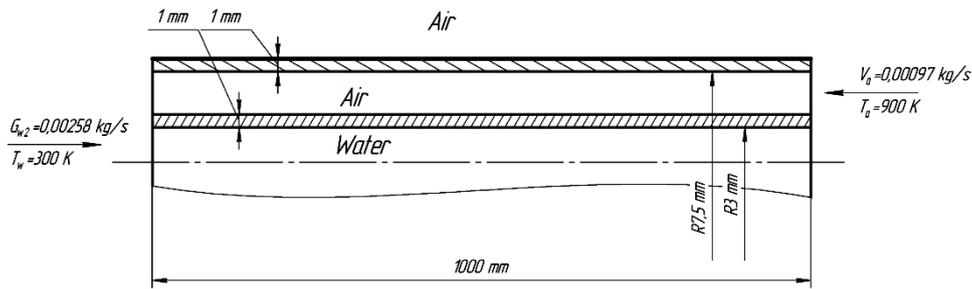


Рис. 1. Расчётная схема упрощенного прототипа проточной части ТА без наружной изоляции

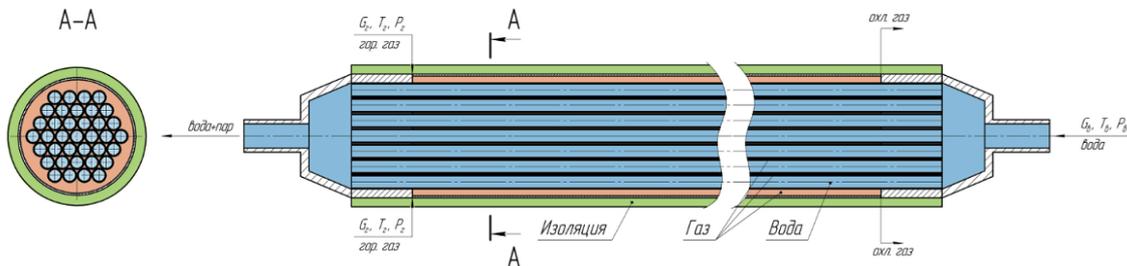


Рис. 2. Расчётная схема полноценного ТА без наружной изоляции

Исходя из результатов проведенных ранее исследований, для новой модели были отобраны наиболее эффективные виды твердой теплоизоляции: базальтовое супертонкое волокно (БСТВ), вспененный каучук (ВК), пенополиуретан (ППУ) [5–7].

Таким образом, объектом исследования являются две конструкции, одна из которых состоит из двух коаксиальных трубок, между которыми протекает горячий газ (выхлопные газы ДВС), а по осевому каналу течёт вода (рис. 1), а вторая представляет собой трубный пучок, в котором движется вода, соединенного с двух сторон зоной смешения и внешнего кожуха, в котором движутся выхлопные газы ДВС (рис. 2). На внешней поверхности обеих конструкций были размещены твердые теплоизолирующие материалы (рис. 3).

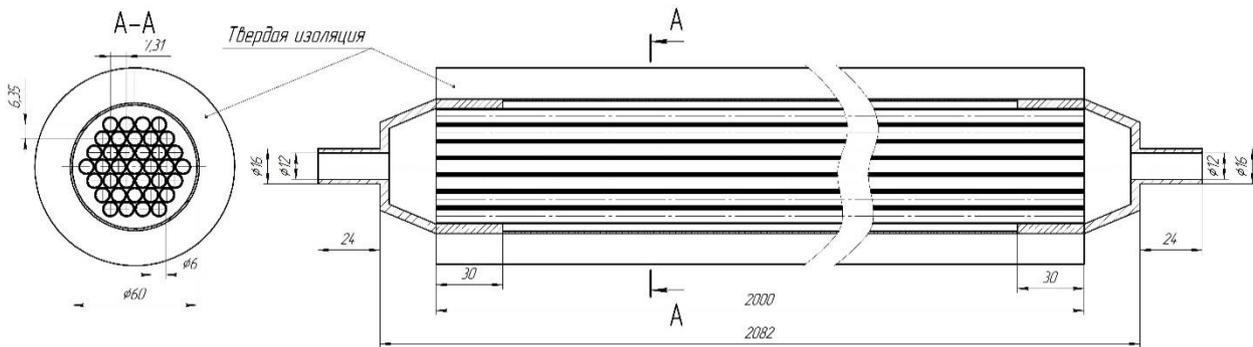


Рис. 3. Расчетная схема полноценного ТА с твердой изоляцией

### III. ТЕОРИЯ

Моделирование теплообменных процессов в новом рекуперативном ТА проводился на базе уравнений теплопроводности, конвективного теплообмена и теплообмена излучением, содержащиеся в пакете Fluid Flow - Fluent [5]. При моделировании теплообменных процессов были приняты следующие граничные условия: температура горячего воздуха на входе  $T_g$  равная  $550^\circ\text{C}$ ; температура воды на входе  $T_w$  равна  $10^\circ\text{C}$ ; внешняя температура окружающей среды  $T_n$  равна  $0^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  между окружающей средой и внешней поверхностью ТА считается постоянным.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На рисунке 5 представлено распределение температуры внутри рекуперативного ТА изолированного ППУ.

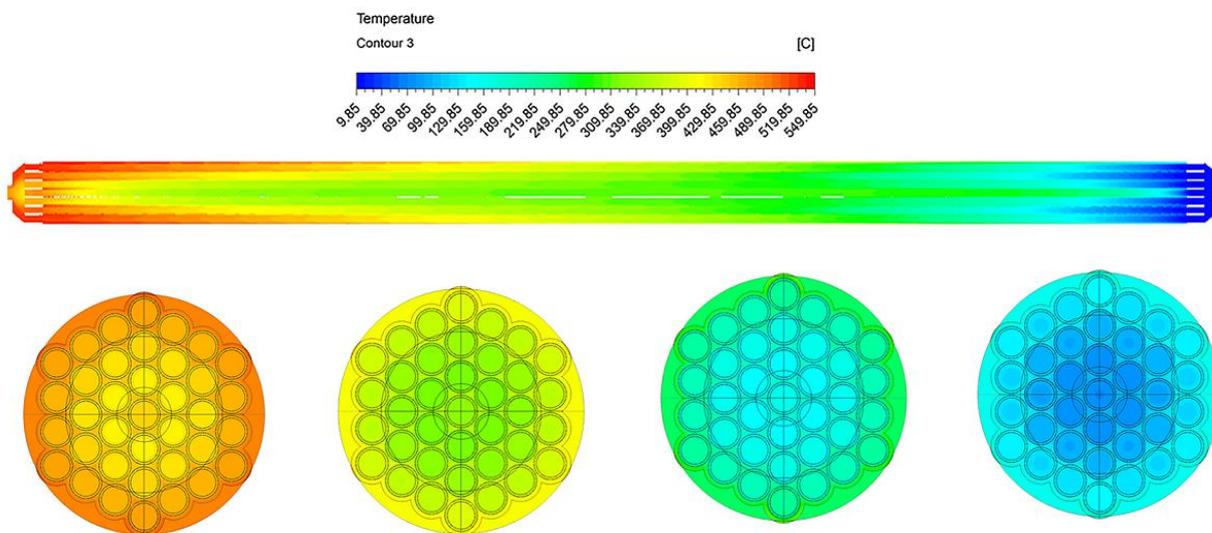


Рис. 4. Распределение температуры в ТА изолированном слоем ППУ (5 мм)

На рис. 5 представлено сравнение эффективности теплоизоляции в новом полноразмерном рекуперативном ТА и старом прототипе упрощенной модели проточной части ТА через зависимости относительных тепловых потерь в рассматриваемых объектах от толщины внешней изоляции для различных типов твердых теплоизоляционных материалов.

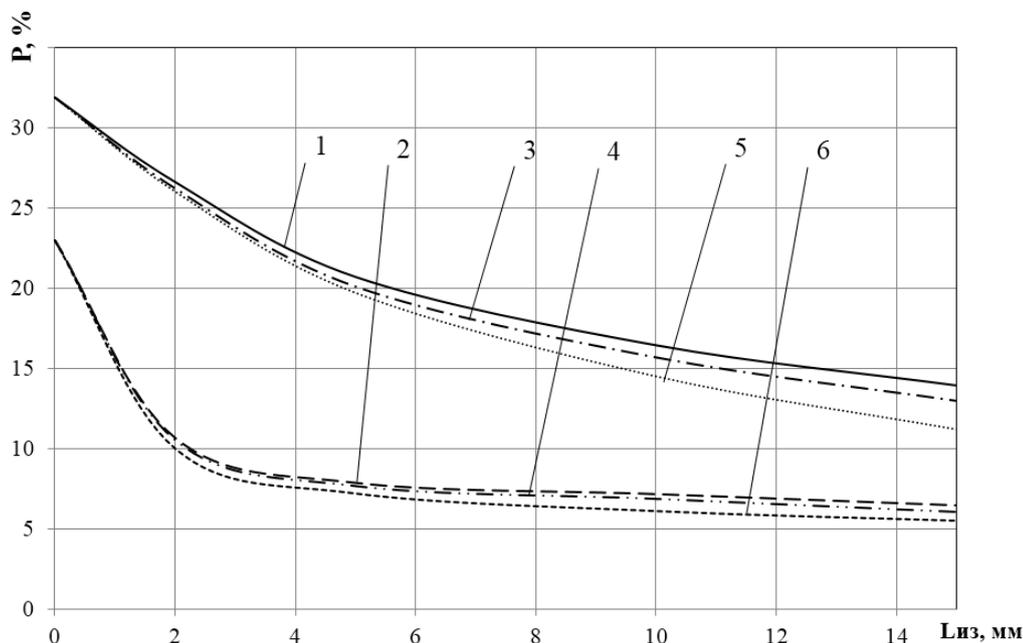


Рис. 5. Влияние толщины теплоизоляционного слоя на внешние тепловые потери:

1 – БСТВ (прототип); 2 – БСТВ (ТА); 3 – ВК (прототип); 4 – ВК (ТА); 5 – ППУ (прототип); 6 – ППУ (ТА)

На рис. 6 и 7 представлены графики, отражающие влияние роста давления газа в межтрубном пространстве на отношения тепла, переданного воде к площади теплообмена и отношения тепловых потерь к количеству тепла, переданного газом.

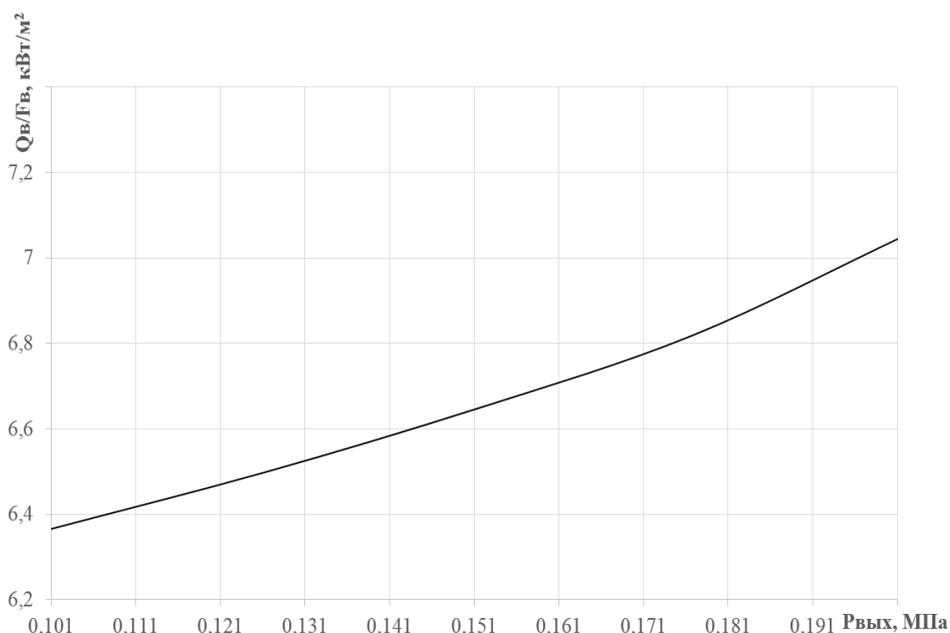


Рис. 6. График зависимости  $Q_{\text{в}}/G_{\text{в}}$  от давления газа

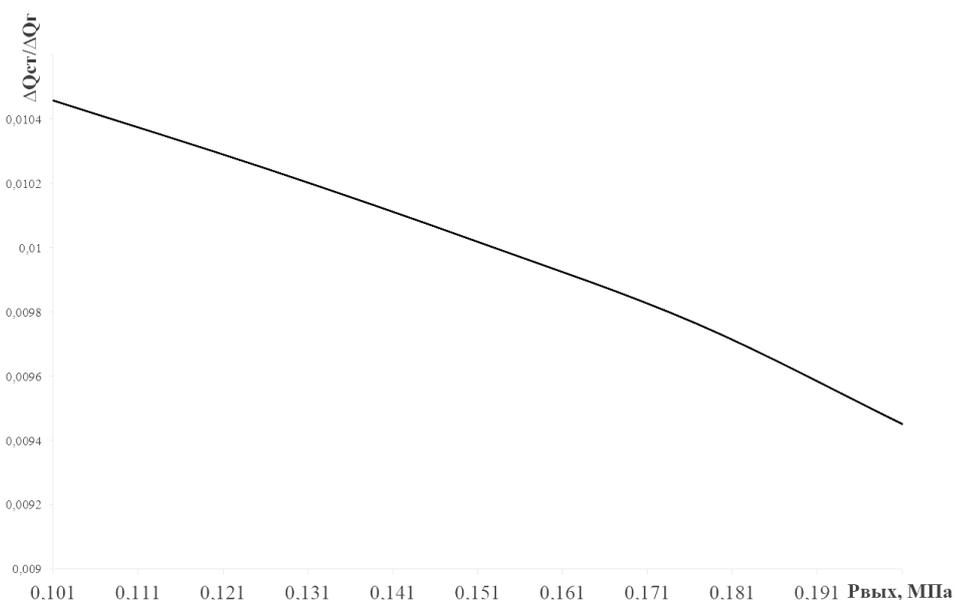


Рис. 7. График зависимости  $\Delta Q_{\text{ст}}/\Delta Q_{\text{г}}$  от давления газа

#### V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На графике (рис. 5) видно, что в новом варианте конструкции при отсутствии теплоизоляционного слоя тепловые потери достигают 24,5%. Это значение ниже полученного в проведенных ранее исследования, когда вместо полноразмерной модели ТА использовался упрощенный вариант проточной части рекуперативного ТА, тогда значение тепловых потерь составляло 34% [5]. В обоих случаях с ростом толщины изоляции тепловые потери снижаются, с разной степенью интенсивности для разных типов изоляции. ППУ как и ранее показал наилучшие результаты и позволил снизить тепловые потери с ~12% до ~5,5% при длине теплоизоляционного слоя равного 15 мм. При этом в обоих случаях дальнейшее увеличение толщины изоляции не приносит существенного результата.

Из графиков на рис. 6–7, что с ростом давления происходит увеличение интенсивности теплообмена (около 11%), а значит, повышается эффективность рекуперативного ТА.

## VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный с применением Ansys (Fluid Flow - Fluent) сравнительный анализ эффективности подбранной теплоизоляции применительно к упрощенной модели проточной части ТА и полноценной модели рекуперативного ТА на базе существующей МКУ показал рост эффективности теплоизоляции применительно к реальной конструкции ТА. На основе этого можно рекомендовать экранно-вакуумную изоляцию при разработке и исследовании перспективных рекуперативных ТА для высокоэкономичных МКУ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chernov G. I., Yusha V. L., Kalashnikov A. M. The heat losses recovery system efficiency analysis of the mobile compressor unit with the additional cooling loop // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2007. DOI: 10.1063/1.5051892.
2. 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. P. 226–232. DOI: 10.1088/1742-6596/858/1/012008.
3. Bo Yang, Yi Jiang, Lin Fu, Shigang Zhang. 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.
4. Han Yuan, Pengyuan Sun, Ji Zhang, Kunyuan Sun, Ning Mei and Peilin Zhou 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.
5. Chernov G. I., Yusha V. L., 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. DOI: 10.1063/1.5051890.
6. Архаров А. М. Теплотехника. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 712 с.
7. Бабичев А. П., Бабушкина Н. А., Братковский А. М. [и др.]. Физические величины. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.

УДК 621.311

### СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ УСТРАНЕНИЯ КРАЕВОГО ЭФФЕКТА ПРИ ДИСКРЕТНОМ ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗЕ СИГНАЛОВ ТОКА

Б. Ю. Киселёв, Д. В. Коваленко, Л. А. Файфер

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

**Аннотация.** В данной работе изложены краткие теоретические положения, связанные с вейвлет преобразованием непрерывным и дискретным. Описаны недостатки дискретного преобразования Фурье, при анализе нестационарных электроэнергетических сигналов. Рассмотрены все способы устранения краевого эффекта при обработке данных с помощью вейвлет-преобразования встроенных в программный комплекс Matlab. Произведено сравнения данных способов устранения краевого эффекта, посредством расчета действующих значений различных гармонических составляющих при разных способах увеличения длины реализации сигнала. Определены типы увеличения длины реализации данных вносящие наименьшую погрешность в расчет действующих значений гармонических составляющих тока.

**Ключевые слова:** *краевой эффект, гармоническая составляющая, дискретное вейвлет преобразование.*

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-76-80

## I. ВВЕДЕНИЕ

Самым распространённым математическим аппаратом для обработки цифровых сигналов в энергетике является дискретное преобразование Фурье (ДПФ; английский термин – Discrete Fourier Transform, DFT) [1]. При анализе стационарных сигналов ДПФ даёт довольно хорошие результаты. Однако, если сигнал будет нестационарным то такой подход вносит погрешность в расчеты, связанную с отсутствием локализации базисных функций преобразования Фурье. Появляется так называемый «эффект растекания спектра», что приводит к появлению сложного спектра на месте одного узкого пика. В этом случае применение ПФ не рекомендуется.