

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-11-54-63

Куцев Л.А., Уваров В.А., Крюков И.В., *Брежнев Д.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: danil_breznev@rambler.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА СО СПИРАЛЬНЫМ ЗМЕЕВИКОВОМ

Аннотация. В Российской Федерации жилищно-коммунальное хозяйство является одной из важнейших отраслей народного хозяйства. Для обеспечения потребителей теплом и поддержания в заданной температуре в системах отопления и горячего водоснабжения жилых и общественных зданий необходимо применение эффективных теплообменных аппаратов. При решении инженерных задач, направленных на совершенствование конструктивных особенностей теплообменных аппаратов, необходимо в первую очередь провести исследование теплотехнических характеристик применяемого оборудования. Это позволит выявить недостатки оборудования и предложить оригинальную конструкцию или рекомендации по совершенствованию определенных элементов. Это особенно важно при разработке теплообменных аппаратов, применяемых в жилищно-коммунальном хозяйстве топливно-энергетического комплекса РФ. В данной работе исследовались теплотехнические характеристики кожухотрубного теплообменного аппарата со спиральным змеевиком, определены параметры температуры на выходе из греющего и нагреваемого контуров, рассчитан коэффициент теплопередачи K , $[Вт/(м^2 \times ^\circ C)]$, при различных температурных режимах работы, был описан алгоритм проведения натурного эксперимента на лабораторной установке с пошаговым указанием выполненных действий. В выводах были проанализированы результаты экспериментальной работы над аппаратом, а также сформулировано предложение по созданию теплообменного аппарата локального производства.

Ключевые слова: теплообменный аппарат, змеевик, турбулизация, коэффициент теплопередачи, натурный эксперимент.

Введение. Жилищно-коммунальное хозяйство является важной составной частью топливно-энергетического комплекса Российской Федерации. Рассматривая динамику процесса отпуски тепловой энергии (рис. 1), можно отметить, что наиболее энергоемкими являются центральный и приволжский федеральные округа. Далее следуют сибирский, северо-западный и уральский федеральные округа. Значительно меньшее

потребление тепловой энергии в дальневосточном, южном и северокавказском федеральных округах. Самое малое потребление тепловой энергии наблюдается в северокавказском федеральном округе. Общее потребление тепловой энергии в Российской Федерации за период 2021 года составляет 1341,9 млн. Гкал [1, 2].

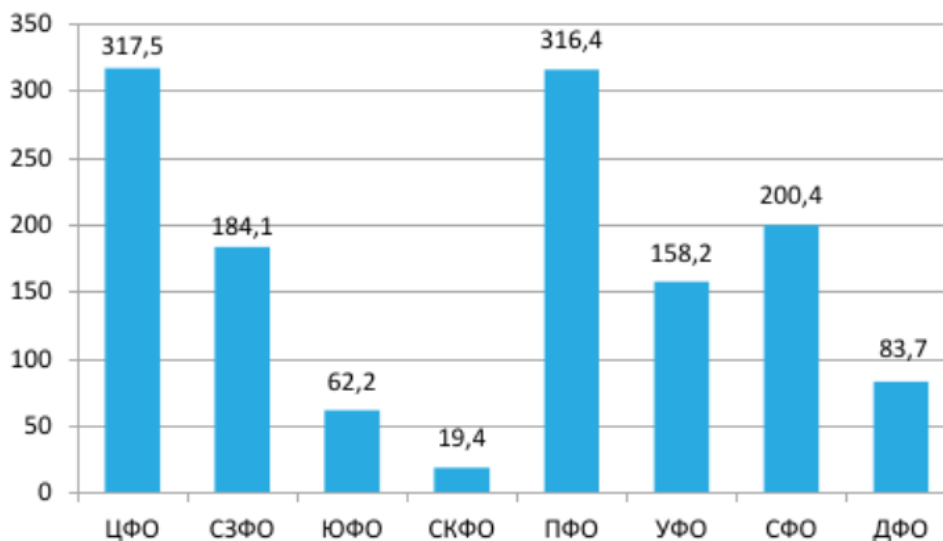


Рис. 1. Отпуск тепловой энергии по федеральным округам (без учета отпуски и потребления тепла от промышленных котельных) в 2021 г., млн Гкал

Отпуск тепловой энергии от источников тепла в системах централизованного теплоснабжения снизился за последние 17 лет на 147 млн. Гкал, что объясняется повышением эффективности работы теплогенерирующего оборудования: котельных, ТЭЦ, АТЭЦ, теплообменных агрегатов, снижение потерь тепла в инженерных сетях. Минимальное значение отпуска тепловой энергии зафиксировано в 2020 г. (1 221 млн Гкал).

Совершенствование способов отпуска тепла потребителям при минимальных затратах является важной стратегической задачей. В работе [4] рассмотрены этапы развития теплоэнергетики. На период с 2020 по 2050 гг. планируется переход к системе теплоснабжения четвертого поколения. Основными особенностями такой системы являются надёжная передача температуры горячего теплоносителя для систем отопления и горячего водоснабжения при низкой начальной температуре, сниженные потери тепловой энергии в тепловой сети, использование возобновляемых источников энергии, интегрированных в сеть теплоснабжения, использование интеллектуальной интегрированной энергетической системы [5]. Стоит отметить, что эффективная передача тепла для систем отопления и горячего водоснабжения жилищно-коммунального сектора невозможна без современных теплообменных аппаратов, обладающих высоким коэффициентом теплопередачи. Поэтому этот пункт также может быть отнесен к системам теплоснабжения четвертого поколения [6].

Основная часть. Теплообменные аппараты являются одним из основных видов технологического оборудования котельных, центральных тепловых пунктов (ЦТП), индивидуальных тепловых пунктов (ИТП). Назначение теплообменного аппарата – передача тепла от горячего теплоносителя, поступающего от теплогенерирующего оборудования или тепловых сетей, к нагреваемому, который используется для систем отопления и горячего водоснабжения (ГВС) [7].

Наибольшее применение в РФ получили кожухотрубные теплообменные аппараты. Однако данные аппараты обладают относительно невысоким коэффициентом теплопередачи по сравнению с пластинчатыми теплообменными аппаратами [8, 9]. Несмотря на высокую эффективность пластинчатых теплообменных аппаратов стоит отметить их основные недостатки:

- зарастание теплообменной поверхности пластины приводит к существенному снижению коэффициента теплопередачи;
- повреждение резиновых прокладок при разборке и чистке пластин теплообменного аппарата, что приводит к их быстрому износу и необходимости замены.

В условиях сильной загрязнённости теплоносителя пластинчатые теплообменные аппараты использовать нецелесообразно.

Для повышения эффективности работы, наиболее распространённого кожухотрубного теплообменного аппарата, разрабатываются кожухотрубные теплообменники со спиральным змеевиком. Это является актуальной задачей. Так применение гладкой трубы, изогнутой в виде спирали, позволяет увеличить теплоотдачу от греющего теплоносителя к стенке трубы до 1,5 раз [10–13].

Одним из примеров теплообменного аппарата со спиральным змеевиком является теплообменник фирмы Нехоніс (Польша). Высокая эффективность данного теплообменного аппарата обусловлена рифленой поверхностью трубок змеевика, что увеличивает турбулентность потока и повышает теплопередачу, а компактные размеры позволяют уменьшить пространство для его монтажа. Однако стоит отметить, что корпус данного аппарата цельный, без возможности его разборки. В этом случае замена змеевика или проведение очистки от накипи и загрязнений наружной поверхности змеевика невозможно без нарушения целостности корпуса аппарата [14, 15].

Одним из важных аспектов экспериментальных исследований является оценка эффективности работы теплообменника для разработки отечественного кожухотрубного змеевикового теплообменного аппарата. В работе приведены формулы расчета коэффициента теплопередачи; температурного напора; количество тепла, идущее на нагрев нагреваемого теплоносителя; количество теплоты, переданное от греющего теплоносителя нагреваемому контуру; общее количество тепла, поступающее от греющего теплоносителя нагреваемому контуру.

Для оценки эффективности работы данного теплообменного аппарата с целью разработки более совершенной отечественной конструкции, которая позволит в рамках импортозамещения производить собственное теплообменное оборудование, необходимо провести подробное изучение конструктивных особенностей, а также провести оценку теплотехнических характеристик [16, 17].

Методы исследований. Целью эксперимента является определение теплотехнических характеристик исследуемого кожухотрубного теплообменного аппарата фирмы Нехоніс со спиральным змеевиком. В результате эксперимента планируется получить значения температур на выходе из греющего и нагреваемого контуров, а также выполнить расчет коэффициента теплопередачи K , $[Вт/(м^2 \times ^\circ C)]$.

Основным параметром, характеризующим работу теплообменника, является коэффициент теплопередачи K . Расчет коэффициента теплопередачи K производился по формуле:

$$K = \frac{Q_{ep}}{F \cdot \Delta \bar{t}}, \quad (1)$$

где Q_{ep} – количество теплоты, переданное от греющего теплоносителя, Вт; F – площадь поверхности теплообмена, м²; $\Delta \bar{t}$ – температурный напор, который определяется в зависимости от направлений движения греющей и нагреваемой жидкости по формуле для противоточного движения жидкостей:

$$\Delta \bar{t} = \frac{(t'_1 - t''_2) - (t'_2 - t''_1)}{\ln \frac{(t'_1 - t''_2)}{(t'_2 - t''_1)}}, \quad (2)$$

где t'_1 – температура греющего теплоносителя на входе в теплообменник, °С; t'_2 – температура греющего теплоносителя на выходе из теплообменника, °С; t''_1 – температура нагреваемой жидкости на входе в теплообменник, °С; t''_2 – температура нагреваемой жидкости на выходе из теплообменника, °С.

Количество теплоты, переданное от греющего теплоносителя, определяется косвенно по известному расходу теплоносителя в греющем контуре и разности температур на входе и выходе:

$$Q_{ep} = \frac{G_{ep} \times c \times (t'_1 - t'_2)}{3600}, \quad (3)$$

где G_{ep} – массовый расход греющего теплоносителя, кг/ч; c – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг×°С); t'_1 – температура воды на входе в греющий контур, °С; t'_2 – температура воды на выходе из греющего контура, °С.

Количество тепла, идущее на нагрев нагреваемого теплоносителя, определялось по формуле:

$$Q_{наг} = \frac{G_{наг} \times c \times (t''_2 - t''_1)}{3600}, \quad (4)$$

где $G_{наг}$ – массовый расход нагреваемого теплоносителя, кг/ч; c – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг×°С); t''_1 – температура воды на входе в нагреваемый контур, °С; t''_2 – температура воды на выходе из нагреваемого контура, °С.

Так как в ходе эксперимента корпус теплообменника не имел тепловой изоляции, часть тепла терялась в окружающее пространство. Общее количество тепла, поступающее от греющего теплоносителя можно представить, как:

$$Q_{ep} = Q_{наг} + Q_{тер}, \quad (5)$$

где $Q_{наг}$ – количество тепла, идущее на нагрев жидкости, Вт; $Q_{тер}$ – количество тепла, теряемое в окружающую среду с поверхности теплообменного аппарата, Вт. Потерями тепла в окружающую среду в ходе эксперимента пренебрегали и расход тепла учитывался по греющему контуру.

Объектом исследования является кожухотрубный теплообменный аппарат со спиральным змеевиком. Схема исследуемого аппарата представлена (рис. 2).

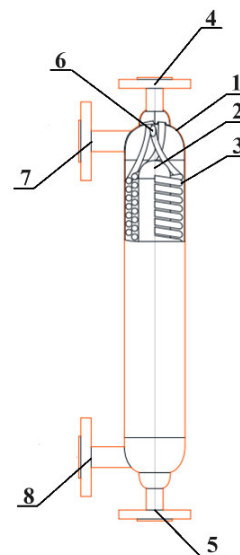


Рис. 2. Кожухотрубный теплообменный аппарат со змеевиком: 1 – цилиндрический кожух; 2 – вытеснитель; 3 – змеевик; 4, 5 – патрубки подвода теплоносителя греющего контура; 6 – каналы; 7, 8 – патрубки подвода теплоносителя нагреваемого контура

Основная часть. Исследуемый теплообменный аппарат состоит из цилиндрического кожуха 1, в полости которого расположен цилиндрический вытеснитель 2, и змеевик 3, представляющий спираль из трёх рифлёных, закрученных вокруг своей оси, труб, навитый вокруг вытеснителя. На внешней поверхности корпуса 1 расположены патрубки 4 и 5 для подачи и отвода греющего теплоносителя. Попадая в теплообменник через патрубок 4, горячий теплоноситель, через каналы 6 направляется в змеевик 3. Проходя через змеевик 3, греющий теплоноситель покидает его. Через патрубок 5 греющий теплоноситель удаляется из теплообменника. Патрубки 7 и 8 служат для подачи и отвода нагреваемого теплоносителя.

Высота аппарата: 585 мм; диаметр кожуха: 80 мм, диаметр трубок змеевика: 8 мм, толщина стенок: 0,6 мм; площадь поверхности змеевика: 0,3 м²; масса теплообменника: 7,1 кг. Полученные геометрические характеристики соответствуют паспортному описанию и характеристикам аппарата.

При помощи камеры видеоскопа проводилось внутренне обследование полости греющего и нагреваемого контуров.

В полости днища корпуса греющего контура находятся три отверстия, через которые греющий теплоноситель попадает в трубки спирального змеевика. Внутренняя поверхность трубок имеет выпуклую скрученную поверхность. В полости нагреваемого контура находятся 3 трубки спирального змеевика, поверхность трубок скрученная, выпуклая. В середине корпуса по всей высоте нагреваемого контура расположен вытеснитель, имеющий в верхней и нижней части отверстие. Таким образом, нагреваемый теплоноситель не только омывает наружную поверхность вытеснителя, но еще и попадает в его внутреннее пространство. Трубки спирального змеевика расположены по всей высоте вытеснителя, местами соприкасаются наружными стенками.

Эксперимент проводился в специализированной лаборатории по изучению гидродинамических и теплообменных процессов на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. Экспериментальная установка представлена на рисунке 2.

Экспериментальная установка состоит из следующих основных элементов: исследуемого теплообменного аппарата 2, электрического нагревателя 1, подающего насоса 3, тепловычислителя 4, отопительного прибора 5, расширительного бака 6, магнитных расходомеров 7, датчиков температуры 8 (рис. 6). Кроме этого, экспериментальная установка включает в себя пластиковые трубопроводы, гибкие металлические подводы, запорно-регулирующую арматуру, манометры.

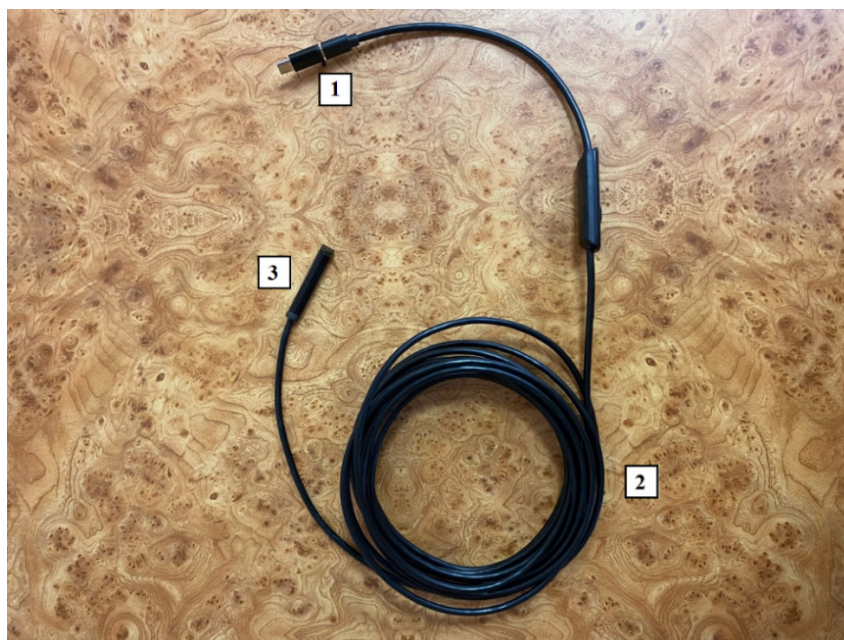


Рис. 3. Фотография видеоскопа: 1 – адаптер для подключения к смартфону, 2 – провод; 3 – камера со светодиодами



Рис. 4. Фото греющего контура



Рис. 5. Фото нагреваемого контура



Рис. 6. Фотография экспериментальной установки

Алгоритм подготовки оборудования к проведению эксперимента включает в себя следующие этапы:

1. Включение электрического нагревателя, включение насоса греющего контура.

2. Выставление необходимых для эксперимента параметров температуры на электрическом нагревателе.

3. Нагрев греющего теплоносителя до необходимой температуры и снятие параметров с тепловычислителей.

4. По достижению заданной температуры, включается насос нагреваемого контура.

5. После запуска насоса нагреваемого контура снимаются показания теплосчетчика в течение 5 минут.

В ходе проведения эксперимента измерялись следующие параметры:

- температуры на входе и выходе в греющий контур;
- температуры на входе и выходе в нагреваемый контур;
- массовый расход воды в греющем контуре;
- массовый расход воды в нагреваемом контуре.

Полученные данные будут использоваться для расчета количества тепла, температурного напора и коэффициента теплопередачи.

Температуры теплоносителей в греющем и нагреваемом контуре измерялись посредством датчиков температуры Взлет ТПС Pt500 L70, а расходы теплоносителей измерялись при помощи электромагнитного расходомера Взлет ЭР ЛайтМ 440Л В. Значения указанных параметров фиксировались при помощи тепловычислителя Взлет ТСРВ-042.

Установка работает следующим образом. Теплоноситель греющего контура нагревается в электрическом котле до заданной температуры, движется по трубопроводу до участка с ультразвуковым расходомером, где снимаются показания о его температуре и расходе. После этого, горячий теплоноситель попадает в греющий контур теплообменного аппарата, где отдаёт свою тепловую энергию по мере продвижения через спиральный змеевик нагреваемому теплоносителю. Продвигаясь дальше по контуру, теплоносителя проходит через ультразвуковой расходомер, где фиксируются параметры температуры теплоносителя на выходе из теплообменного аппарата, после чего возвращается на подогрев в электрический котел и цикл повторяется. Теплоноситель нагреваемого контура проходит в ультразвуковой расходомер, отображая температуру до совершения теплообмена, попадая в нагреваемый контур теплообменного аппарата, омывая трубки спирального змеевика, вследствие чего, нагреваясь, после чего, нагретый теплоноситель удаляется из теплообменника, проходя через расходомер-счётчик, установленный после теплообменника, завершая цикл, начиная новый.

В процессе проведения эксперимента данные о работе теплообменного аппарата выводятся на программный компонент тепловычислителя, которые снимаются для дальнейшей численной обработки и получения сведений о работе теплообменного аппарата.

Массовый расход греющего и нагреваемого теплоносителя в ходе эксперимента составлял в среднем 220 и 700 кг/ч соответственно. Изменение температуры теплоносителей при проведении эксперимента объясняется остыванием жидкости и выходом теплообменного аппарата на рабочий режим работы, так как при эксплуатации систем отопления с учетом дополнительных теплоступлений в отапливаемое помещение влияет на теплотери помещения. Стоит отметить, что эксперимент проводился в помещении с постоянной температурой равной 23 °С.

При температуре 85 °С, установленной на котле диапазон изменения температуры греющего теплоносителя на входе греющего контура 74–85 °С; температура греющего теплоносителя на выходе 60–67 °С; температура нагреваемого теплоносителя на выходе 39–63 °С; величина коэффициента теплообмена меняется в диапазоне 381–3200 Вт/(м²×°С). Наблюдается рост величины *K*.

При температуре на котле 75 °С так же наблюдается рост величины *K*, однако при этой температуре коэффициент не превышает отметки 2200 Вт/(м²×°С).

На диаграмме (рис. 7) показана зависимость коэффициента теплообмена от температуры нагреваемого теплоносителя на выходе из кожуха теплообменного аппарата в диапазоне 40–65°С.

Выводы. В результате натурального эксперимента исследованы теплотехнические характеристики кожухотрубного змеевикового теплообменника. Установлено, что в диапазоне температуры 55–65 °С величина коэффициента теплопередачи составляет в среднем около 2700 Вт/(м²×°С).

При увеличении температуры греющего контура до 65 °С наблюдается рост коэффициента теплопередачи *K*. Исследования проводились при температурах 75 °С и 85 °С для греющего контура.

В ходе проведения экспериментальных исследований был получен патент на кожухотрубный змеевиковый теплообменник с измененным способом подачи нагреваемого теплоносителя.

В процессе импортозамещения для разработки современного, отечественного теплообменного оборудования целесообразно использовать эффект турбулизации нагреваемого теплоносителя. Это позволит интенсифицировать процесс передачи тепла от греющего контура теплоносителя к нагреваемому у пристеночных слоёв впусков теплоносителя внутри контуров, избегая повышения местных гидравлических сопротивлений.

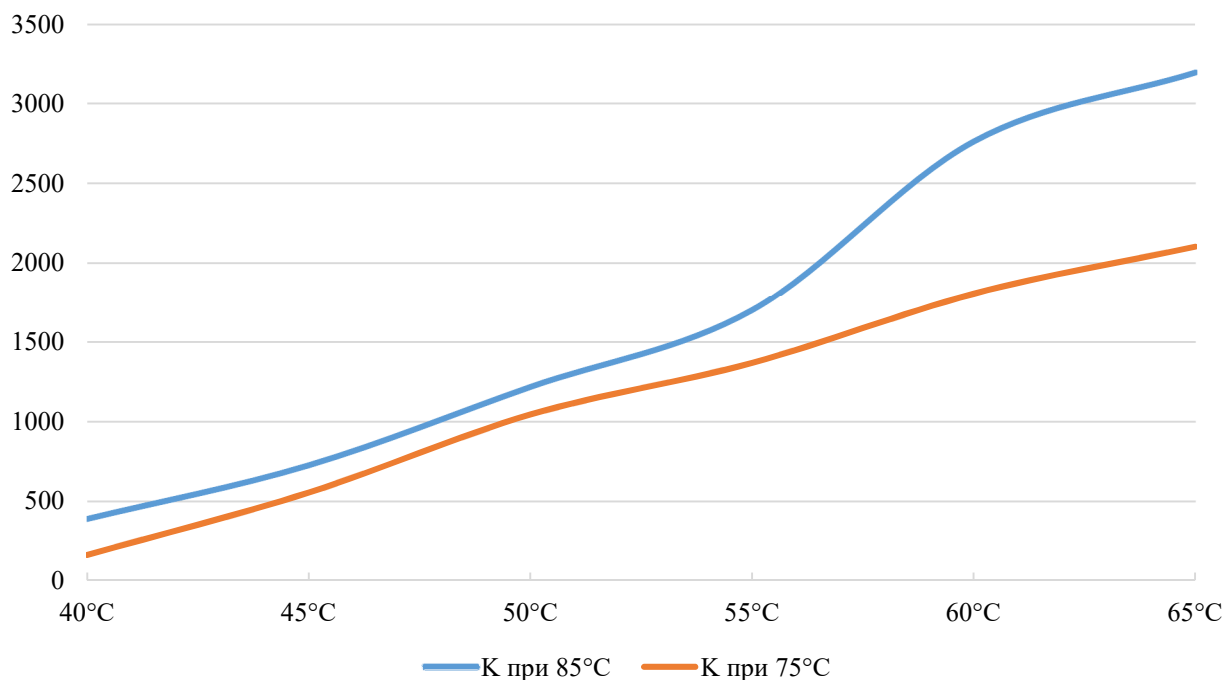


Рис. 7. Диаграмма зависимости коэффициента теплопередачи K от температуры греющего контура

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отчет Министерства энергетики РФ «О состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2021 году»: официальный сайт. Москва. Обновляется в течение суток. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/24393> (дата обращения: 25.08.2023)

2. Теплоснабжение населенных пунктов // Федеральная служба государственной статистики, 2022. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/jkh3.docx> (дата обращения 25.08.2023).

3. Энхжаргал Х., Намхайням Б., Батмэнд Л., Баярсайхан Г., Лхамсурэн Г. Тенденции развития систем теплоснабжения // Новости теплоснабжения. 2023. № 1(232). С. 16–25.

4. Якшин С.С., Саввин Н.Ю., Кушев Л.А. Современные способы повышения эффективности работы отопительных приборов в ЖКХ // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых, Курск, 01 декабря 2020 года / сборник научных статей Всероссийской научной конференции перспективных разработок, в 2-х томах. Том 2. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 304–307.

5. Липин А.А., Романенко Ю.Е., Шибашов А.В., Липин А.Г. Расчет теплообменных аппаратов. Кожухотрубчатые теплообменники : учебное пособие. Иваново : ИГХТУ, 2017. 76 с.

6. Брежнев Д.А., Саввин Н.Ю., Бычкова Н.Д. Способы интенсификации тепловых процессов в спиральных теплообменниках // Наука.

Технологии. Инновации: Сборник научных трудов XVI Всероссийской научной конференции молодых ученых. В 11-ти частях, Новосибирск, 05–08 декабря 2022 года. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2022. С. 179–182.

7. Sultan K.F., Hamad K.A. Intensification of heat transfer and flow in heat exchanger with shell and helically coiled tube by using nano fluids // IJESRT Journal. 2015. Vol. 4(1). Pp. 446–460.

8. Кустов Б.О., Бальчугов А.В., Бадеников А.В., Герасимчук М.В., Захаров К.Д. Экспериментальные исследования перспективных способов интенсификации теплопередачи в трубчатом теплообменнике // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. №. 3. С. 174–183.

9. Nellis G., Klein S. Heat transfer. Cambridge university press, 2008. 1091 p.

10. Bejan A., Kraus A.D. (ed.). Heat transfer handbook. John Wiley & Sons, 2003. Vol.1. 1480 p.

11. Кушев Л.А., Никулин Н. Ю. Повышение эффективности работы кожухотрубного теплообменного аппарата // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2015. №. 5. С. 284–287.

12. Hewitt G.F., Shires G.L., Bott T. Process heat transfer. Begell House, 1994. 1042 p.

13. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 1975. 497 с.

14. Cengel A. Heat transfer. New York: McGraw-Hill, 2003. 907 p.

15. Новикова А.Н., Галковский В.А. Сравнительный анализ применения теплообменных

аппаратов на центральных тепловых пунктах // Вестник евразийской науки. 2016. Т. 8. №. 6 (37). С. 98.

16. Mills A.F. Heat transfer. CRC Press, 1992. 888 p.

17. Cervenka B., Holubcik M., Drga J., Malcho M. Modular Spiral Heat Exchanger Thermal Modelling // Applied Sciences. 2022. Vol. 12 (12). 5805 p.

18. Савельев Н.И., Лукин П.М. Расчет и проектирование кожухотрубчатых теплообменных аппаратов // Чебоксары: Изд-во Чуваш. унта. 2010. 79 с.

Информация об авторах

Кущев Леонид Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: leonidkusev@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Уваров Валерий Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: isi@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Крюков Илья Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: iliya.krukov@yandex.ru, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Брежнев Даниил Александрович, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: danil_breznev@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 11.09.2023 г.

© Кущев Л.А., Уваров В.А., Крюков И.В., Брежнев Д.А., 2023

Kushchev L.A., Uvarov V.A., Kryukov I.V., *Brezhnev D.A.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
**E-mail: danil_breznev@rambler.ru*

EXPERIMENTAL STUDY OF HEAT TECHNICAL PARAMETERS OF A SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER WITH A SPIRAL COIL

Abstract. In the Russian Federation, housing and communal services are one of the sectors of the national economy. To provide consumers with heat and maintain a given temperature in conditions of constant heating and hot water supply of residential and public buildings, it is necessary to use heat exchangers. When solving engineering problems aimed at improving the design features of heat exchangers, it is necessary first of all to conduct a study of the thermal characteristics of the equipment used. This will allow you to identify equipment shortcomings and offer original lighting or recommendations for improving some elements. This is especially important when developing heat exchangers used in the housing and communal services of the fuel and energy complex of the Russian Federation. In this work, the thermal characteristics of a condenser heat exchanger with a spiral coil, controlled temperature parameters at the outlet of the heating and heated circuits were studied, the heat transfer coefficient K , $[W/(m^2 \times ^\circ C)]$, was calculated at various operating temperature conditions, and an algorithm for carrying out a natural experiment in a laboratory setup with a step-by-step description of the actions performed. The conclusions analyzed the results of experimental work on the apparatus, and also formulated proposals for the creation of a locally produced heat exchanger.

Keywords: heat exchanger, coil, turbulence, heat transfer coefficient, field experiment.

REFERENCES

1. Report of the Ministry of Energy of the Russian Federation "On the state of thermal power and district heating in the Russian Federation in 2021":

19. Пат. 219900, Российская Федерация, МПК F28D 7/024. Кожухотрубный змеевиковый теплообменник / Л.А. Кущев, В.А. Уваров, Д.А. Брежнев, Н.Ю. Саввин, А.И. Алифанова, И.В. Крюков, Н.А. Архипова, А.В. Ткачев; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова» № 2023118447; заявл. 12.07.2023; опубл. 11.08.2023, Бюл. №23. 6 с.

official website. Moscow. Updated during the day [Otchet Ministerstva energetiki RF «O sostoyanii teploenergetiki i centralizovannogo teplosnabjeniya v Rossiiskoi Federacii v 2021 godu» official site. Moscow. Updated throughout the day]. URL:

<https://minenergo.gov.ru/node/24393> (date of access: 25.08.2023) (rus)

2. Heat supply of settlements. Federal State Statistics Service, 2022. [Teplosnabzhenie nase-lennykh punktov] URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/jkh3.docx> (date of access: 25.08.2023) (rus)

3. Enkhzhargal H., Namhainyam B., Batmand L., Bayarsaikhan G., Lkhamsuren G. Trends in the development of heat supply systems [Tendencii razvitiya sistem teplosnabzheniya]. News of heat supply. 2023. No. 1(232). Pp. 16–25. (rus)

4. Yakshin S.S., Savvin N.Yu., Kushchev L.A. Modern ways to improve the efficiency of heating appliances in housing and communal services [Sovremennye sposoby povysheniya effektivnosti raboty otopitel'nykh priborov v ZHKKH]. Innovative potential of society development: the view of young scientists, Kursk, December 01, 2020. Collection of scientific articles of the All-Russian Scientific Conference of promising developments, in 2 volumes. Volume 2. Kursk: Southwest State University, 2020. Pp. 304–307. (rus)

5. Lipin A.A., Romanenko Yu.E., Shibashov A.V., Lipin A.G. Calculation of heat exchangers [Raschet teploobmennyykh apparatov]. Shell-and-tube heat exchangers: a textbook. Ivanovo: IHTU, 2017. 76 p. (rus)

6. Brezhnev D.A., Savvin N.Yu., Bychkova N.D. Methods of intensification of thermal processes in spiral heat exchangers [Sposoby intensivatsii teplovykh processov v spiral'nykh teploobmennikah]. Science. Technologies. Innovations: Collection of scientific papers of the XVI All-Russian Scientific Conference of Young Scientists. In 11 parts, Novosibirsk, 05-08 December 2022. Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2022. Pp. 179–182. (rus)

7. Sultan K.F., Hamad K.A. Intensification of heat transfer and flow in heat exchanger with shell and helically coiled tube by using nano fluids. IJESRT Journal. 2015. Vol. 4(1). Pp. 446–460.

8. Kustov B.O., Balchugov A.V., Badenikov A.V., Gerasimchuk M.V., Zakharov K.D. Experimental studies of promising methods of heat transfer

intensification in a tubular heat exchanger [Eksperimental'nye issledovaniya perspektivnykh sposobov intensivatsii teploperedachi v trubchatom teploobmennike]. Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. 2020. Vol. 331. No. 3. Pp. 174–183. (rus)

9. Nellis G., Klein S. Heat transfer. Cambridge university press, 2008. 1091 p.

10. Bejan A., Kraus A. D. (ed.). Heat transfer handbook. John Wiley & Sons, 2003. Vol.1. 1480 p.

11. Kushchev L.A., Nikulin N. Yu. Improving the efficiency of the shell-and-tube heat exchanger [Povyshenie effektivnosti raboty kozhuhotrubnogo teploobmennogo apparata]. Resource- and energy-efficient technologies in the construction complex of the region. 2015. No. 5. Pp. 284–287. (rus)

12. Hewitt G.F., Shires G.L., Bott T. Process heat transfer. Begell House, 1994. 1042 p.

13. Nashchokin V.V. Technical thermodynamics and heat transfer [Tekhnicheskaya termodinamika i teploperedacha]. Moscow: Higher School, 1975. 497 p. (rus)

14. Cengel A. Heat transfer. New York: McGraw-Hill, 2003. 907 p.

15. Novikova A.N., Galkovsky V.A. Comparative analysis of the use of heat exchangers at central heating points [Sravnitel'nyj analiz primeneniya teploobmennyykh apparatov na central'nykh teplovykh punktah]. Bulletin of Eurasian Science. 2016. Vol. 8. No. 6 (37). p. 98. (rus)

16. Mills A.F. Heat transfer. CRC Press, 1992. 888 p.

17. Cervenka B., Holubcik M., Drga J., Malcho M. Modular Spiral Heat Exchanger Thermal Modelling. Applied Sciences. 2022. Vol. 12 (12). 5805 p.

18. Savelyev N.I., Lukin P.M. Calculation and design of shell-and-tube heat exchangers [Raschet i proektirovanie kozhuhotrubchatykh teploobmennyykh apparatov]. Cheboksary: Chuvash Publishing House. un-ta. 2010. 79 p. (rus)

19. Kushchev L.A., Uvarov V.A., Brezhnev D.A., Savvin N.Yu., Alifanova A.I., Kryukov I.V., Arkhipova N.A., Tkachev A.V. Shell-and-tube coil heat exchanger. Patent RF, no. 2023118447, 2023.

Information about the authors

Kushchev, Leonid A. DSc, Professor. E-mail: leonidkushev@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Uvarov, Valery A. DSc, Professor. E-mail: isi@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kryukov, Ilya V. Ph.D, Docent. E-mail: iliya.kryukov@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Brezhnev, Daniil A. Postgraduate student. E-mail: daniil_breznev@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 11.09.2023

Для цитирования:

Кущев Л.А., Уваров В.А., Крюков И.В., Брежнев Д.А. Экспериментальное исследование теплотехнических параметров кожухотрубного теплообменного аппарата со спиральным змеевиковом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. №11. С. 54–63. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-11-54-63

For citation:

Kushchev L.A., Uvarov V.A., Kryukov I.V., Brezhnev D.A. Experimental study of heat technical parameters of a shell and tube heat exchanger with a spiral coil. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 11. Pp. 54–63. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-11-54-63