

экономических моделей, демонстрирующих эффективность внедрения экологических технологий для предприятий разного масштаба, а также на изучение региональных особенностей потребительского восприятия экологической полиграфической продукции.

Список использованных источников:

1. Экологический менеджмент и маркетинг: учебное пособие / под ред. К.К. Ковалевой. - Минск: Вышэйшая школа, 2021. - 189 с.
2. Саевич, В.В. Устойчивое развитие и экологическая ответственность бизнеса / В.В. Саевич. - Минск: Белорусская наука, 2019. - 245 с.
3. Голубович, А.Д. Экологический маркетинг: теория и практика / А.Д. Голубович. - Минск: БГУ, 2020. - 312 с.
4. Маркетинг в отраслях и сферах деятельности: учебник / под ред. Л.П. Дашковой. - Минск: Современная школа, 2022. - 415 с.
5. Белорусский рынок полиграфических услуг: анализ и перспективы / сост. А.С. Жуковский. - Минск: БГТУ, 2023. - 156 с.

УДК 621.577.6:536.24

С.В. Здитовецкая

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛООБМЕНА В КОНДЕНСАТОРЕ ТЕПЛОВОГО НАСОСА

***Аннотация.** Рассмотрен теплообмен в конструкции конденсатора теплового насоса, выполненного в двух альтернативных вариантах. Проведен сравнительный анализ уравнений подобия для расчета коэффициентов теплоотдачи со стороны хладагента и нагреваемой воды для рассматриваемых вариантов конструкций.*

S.V. Zditovetskaya

Belorussian State Technological University
Minsk, Belarus

ANALYSIS OF HEAT TRANSFER FEATURES IN A HEAT PUMP CONDENSER

***Abstract.** The heat exchange in the design of the heat pump condenser, made in two alternative versions, is considered. A comparative analysis of the similarity*

equations for calculating the coefficients of heat transfer from the refrigerant and heated water for the considered design options is carried out.

Важнейшей задачей в энергетике на сегодняшний день является использование эффективных и экологически чистых технологий. К таким технологиям относятся тепловые насосы (ТН), которые способствуют уменьшению потребления органического топлива и снижению загрязнения окружающей среды.

Теплонасосные системы теплоснабжения зданий включают в себя конденсаторы, баки-аккумуляторы горячего водоснабжения и буферные резервуары водяного отопления. Возможны два варианта технического исполнения. Первый вариант предполагает использование отдельных конструкций для конденсаторов и накопительных емкостей. Второй вариант основан на совмещении функций нагрева и хранения горячей воды в едином устройстве – конденсаторе-аккумуляторе.

В данной работе численным методом проводится сравнительный анализ тепловой эффективности традиционной конструкции конденсатора-аккумулятора с погружным однетрубным змеевиком и предлагаемой конструкции со змеевиком труба в трубе.

Анализ показал, что для предложенных конструкций отсутствуют четкие рекомендации относительно выбора зависимостей для расчета коэффициентов теплоотдачи. Вследствие этого в рамках данной работы был проведен анализ уравнений подобия для расчета коэффициентов теплоотдачи со стороны конденсирующегося потока и нагреваемой воды для рассматриваемых конструкций конденсатора. Сравнительный анализ зависимостей проводился методом вычислительного эксперимента.

Исследовался водонагреватель с тепловым потоком 10 кВт, выполняющий функцию буферной емкости низкотемпературной системы отопления. Емкость устройства составляет 200 л. Температура воды на входе в буферную емкость 30°C, а на выходе – 35°C. Спиральный змеевик выполнен из трубы диаметром 16×1 мм и шагом 18 мм. Змеевик труба в трубе дополнительно включает наружную трубу 27×1 мм. На вход в канал поступает пар хладагента R410a с температурой 85,8°C, давлением 2,4 МПа и расходом 0,047 кг/с. Диаметр простого змеевика и змеевика труба в трубе равен 0,4 м.

Из данных, представленных на рис. 1, видно, что максимальное отклонение от среднего значения коэффициента теплоотдачи 2201 Вт/(м²·°C) составляет 16,3% для зависимости Акерса [1].

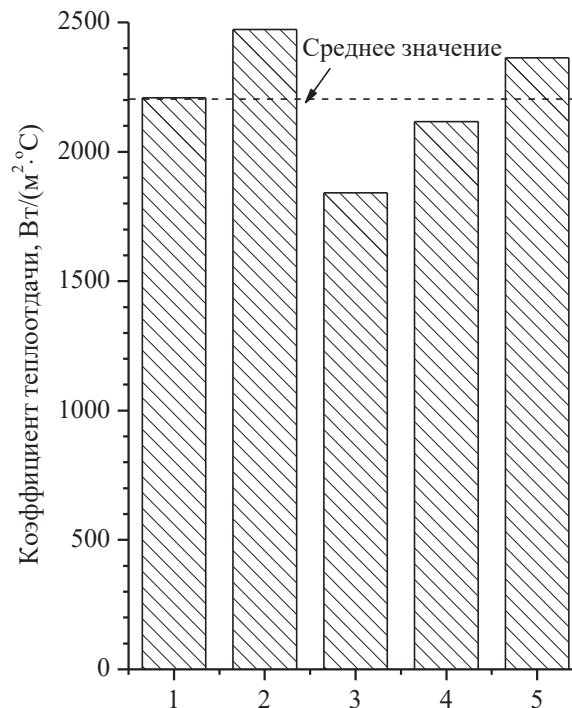


Рис. 1- Коэффициенты теплоотдачи при конденсации хладагента для зависимостей: 1 – Чейто; 2 – Бойко-Кружилин; 3 – Акерс; 4 – Кавалини; 5 – ЦКТИ

Зависимость Бойко-Кружилина [1] позволяет рассчитывать среднюю теплоотдачу при конденсации хладагентов в широком диапазоне изменения сухости пара на входе и выходе конденсатора. Она показала отклонение от среднего значения 12,4%.

Особенностью конструкции с простым змеевиком является низкая скорость потока воды, а соответственно и невысокие значения коэффициентов теплоотдачи, которые являются определяющими в теплопередаче. Следует отметить, что для такой конструкции отсутствуют адекватные данные по теплоотдаче со стороны нагреваемой воды. Предлагаемые зависимости ФЭИ-Жукаускаса и Кулинченко [2] для вынужденного потока не учитывают шаг витков змеевика, зависимость ЦКТИ [3] не учитывает характер потока. Зависимость Нада [4] учитывает эти факторы для смешанной конвекции, но она получена для конкретного сочетания конструктивных параметров теплообменника и требует подтверждения для их широкой области изменения.

Для предлагаемой конструкции с погруженным змеевиком труба в трубе достигается максимальное значение коэффициента теплоотдачи со стороны воды при использовании зависимости Петухова [5], а соответственно и коэффициента теплопередачи.

Сравнение массогабаритных характеристик конструкций показало, что минимальная высота змеевикового спирального нагревателя 0,406 м достигается при использовании конструкции труба в трубе. В случае простого змеевика высота составила 1,64 м, что не соответствует емкости аккумулятора теплоты и требует более длительной работы теплового насоса для нагрева воды до требуемой температуры при ее многократной циркуляции. Масса водоподогревателя труба в трубе также имеет минимальное значение 17,04 кг. Таким образом, целесообразно использовать конструкцию конденсатора со змеевиком труба в трубе, который обладает наилучшими массогабаритными характеристиками.

Список использованных источников

1. Santa R. The Analysis of two-phase condensation heat transfer models based on the comparison of the boundary condition // *Acta Polytechnica Hungarica*. – 2012. – Vol. 9. No. 6. – P. 167–180.
2. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 360 с.
3. Тепловой и гидравлический расчет теплообменного оборудования АЭС. Методические указания: РД 24.035.05-89. – Л.: НПО ЦКТИ, 1991. – 211 с.
4. Performance enhancement of shell and helical coil water coolers using different geometric and fins conditions / S.A. Nada [et. al.] // *Heat Transfer – Asian Research*. – 2016. – Vol. 45(7). – P. 631–647.
5. Петухов Б. С., Генин Л. Г., Ковалев С. А. Теплообмен в ядерных энергетических установках. – Москва: Изд-во МЭИ, 2003. – 548 с.

УДК: 621 548

М. П. Какабаев¹, С. Гылыджов², А. М. Какабаев³

¹Международный университет нефти и газа имени Яшыгельды Какаева

²Туркменский государственный архитектурно-строительный институт

³Институт инженерно-технических и транспортных коммуникаций

Туркменистана,

г. Ашхабад, Туркменистан

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ