

УДК 62-713

А.С. РУМЯНЦЕВ, студент гр. 2-4М (ИГЭУ)
Научный руководитель М.В. КОЗЛОВА, к.т.н., доцент (ИГЭУ)
г. Иваново

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ
РЕКУПЕРАТИВНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ
ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

Широкое распространение в различных отраслях промышленности нашли двухпоточные рекуперативные теплообменные аппараты (ТОА). Известны различные их конструкции: пластинчатые, кожухотрубные, спиральные, труба в трубе. Одним из наиболее распространенных видов ТОА являются кожухотрубные [1].

В качестве одного из основных показателей эффективности теплообменников принято рассматривать коэффициент теплопередачи, который определяется, в том числе, конструкцией ТОА.

Однако использование только этого показателя не позволяет оценить эффективность применения конкретного теплообменного аппарата в заданных условиях эксплуатации.

В этой связи авторами в качестве показателей эффективности [2] рассматриваются:

- эффективность теплообмена:

$$E = \frac{1 - e^{-NTU \cdot (1 - \frac{W_{\min}}{W_{\max}})}}{1 - \frac{W_{\min}}{W_{\max}} \cdot e^{-NTU \cdot (1 - \frac{W_{\min}}{W_{\max}})}},$$

где NTU – число единиц переноса теплоты в ТОА; W_{\min} , W_{\max} – минимальный и максимальный среди двух теплоносителей водяной эквивалент, Вт/°С;

- показатель энергетической эффективности:

$$E_F = \frac{Q}{\sum_{i=1}^n G_{v_i} \Delta P_i'}$$

где Q – мощность ТОА, кВт; G_{vi} – объемный расход i -го теплоносителя, $\text{м}^3/\text{с}$; ΔP_i – напор, требуемый для прокачки i -го теплоносителя, кПа;

- критерий Глазера:

$$E_{Gi} = \frac{Q}{G_{vi} \Delta P_i};$$

- приведенный критерий Глазера, $^{\circ}\text{C}^{-1}$:

$$\eta_{\text{пр}i} = \frac{E_{Gi}}{\Delta t_{\text{ср}}},$$

где $\Delta t_{\text{ср}}$ – средний логарифмический температурный напор в ТОА, $^{\circ}\text{C}$:

- энергетический критерий, $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})^{-1}$:

$$\eta_{\text{эн}i} = \frac{\alpha_i}{G_{vi} \Delta P_i},$$

где α_i – коэффициент теплоотдачи для i -го теплоносителя, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Для оценки эффективности работы ТОА была применена разработанная авторами программа [3] с адаптацией в нее библиотеки CoolProp, содержащей в себе теплофизические свойства более 100 различных веществ.

Объектом исследования является система охлаждения масла. В качестве модели ТОА принят типоразмерный кожухотрубный маслоохладитель МБ-63-90 с соответствующими технологическими параметрами:

- температура масла на входе в ТОА и выходе из него – 55°C и 45°C соответственно;

- расход масла – $90 \text{ м}^3/\text{ч}$.

В качестве исследуемых хладоносителей кроме воды рассматриваются такие широко применяемые в промышленности энергоносители как этиленгликоль и пропиленгликоль с концентрацией 35%, протекающие в трубном пространстве. Горячим теплоносителем принято минеральное масло Paratherm NF, обладающее хорошими теплоотдающими свойствами, исключительной термостабильностью.

Анализ проводился на основе результатов поверочного расчета при заданной начальной температуре масла, требуемой конечной температуре масла и его расходе. В качестве варьируемого параметра рассматривалась

температура хладоносителей на входе в ТОА. Границы температурных диапазонов для каждой жидкости определялись на основании допустимой скорости движения хладоносителя в трубном пространстве от 0,5 м/с до 2,5 м/с.

В результате был получен ряд параметров, характеризующих теплообмен в маслоохладителе, и построено несколько зависимостей, отражающих эффективность работы системы в различных условиях, на основе которых можно судить о применимости и тепловой и конструкторской эффективности данной установки.

На рис.1 представлены результаты расчета эффективности E ТОА.

Как видно из графика, в общем для всех рассматриваемых хладоносителей диапазоне температур эффективность теплопереноса практически одинакова. Для этиленгликоля было определено минимальное значение температуры $26,8^{\circ}\text{C}$ на входе в аппарат, при котором эффективность наименьшая и составляет 0,355.

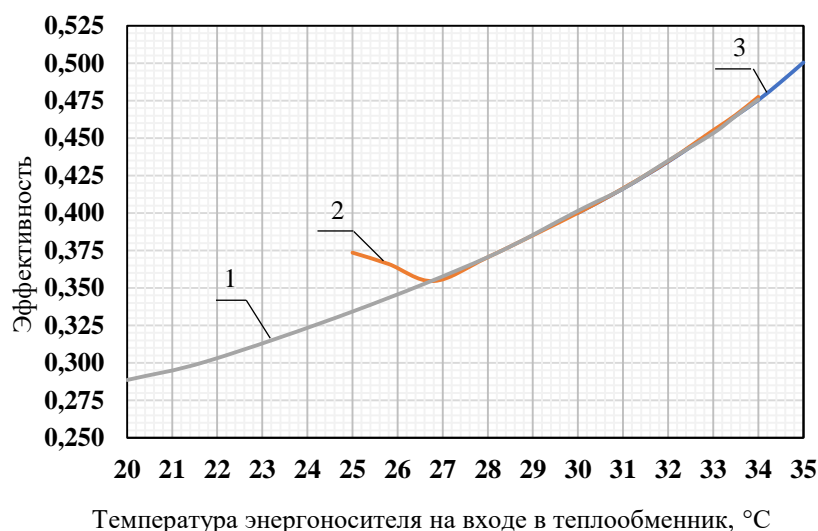


Рис. 1. Зависимость эффективности теплообмена E от температуры холодного энергоносителя на входе в теплообменник: 1 – пропиленгликоль 35%; 2 – этиленгликоль 35%; 3 – вода

На рис. 2 отражена зависимость показателя энергетической эффективности.

Исходя из представленных данных можно сделать вывод о том, что значение данного показателя не превышает 900 единиц для всех рассматриваемых случаев. При этом в общем температурном диапазоне вода показывает значительно лучший результат: при 34°C данный показатель для воды в 2,6 раза больше, чем у пропилен- и этиленгликоля, что является наибольшим соотношением в диапазоне; при 30°C – 1,34 раза выше, чем у пропиленгликоля и в

1,21 раза выше, чем у этиленгликоля. Таким образом можно сделать вывод о том, что при равных тепловых потоках для воды необходимо затрачивать меньшее количество энергии на ее перемещение.

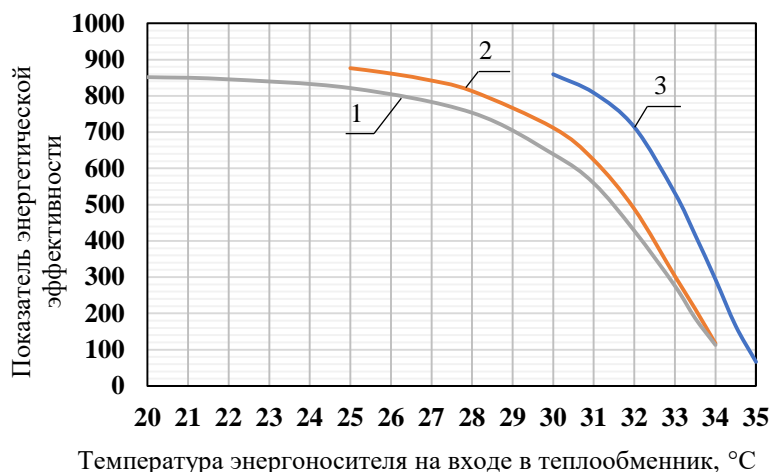


Рис. 2. Зависимость показателя энергетической эффективности ЕФ от начальной температуры холодного энергоносителя: 1 – пропиленгликоль 35%; 2 – этиленгликоль 35%; 3 – вода

Ввиду слабого влияния типа хладоносителя на тип течения со стороны масла далее будут представлены зависимости, относящиеся только к холодным энергоносителям, протекающим в трубном пространстве. Изменение критерия Глазера для них представлено на рис. 3.

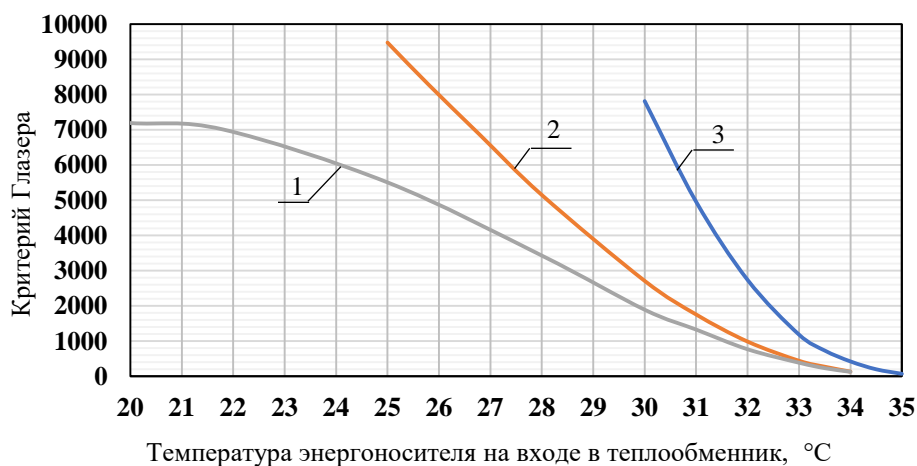


Рис. 3 – Зависимость критерия Глазера $Е_{Г2}$ для холодного энергоносителя от его начальной температуры: 1 – пропиленгликоль 35%; 2 – этиленгликоль 35%; 3 – вода

По характеру зависимости можно судить о значительно более низком сопротивлении со стороны воды по сравнению с прочими рабочими агентами.

Приведенный к среднему температурному напору в маслоохладителе критерий Глазера будет иметь тот же характер, что и представленный на рис. 3. Для воды его значения лежат в диапазоне от 5,22 до 507 для этиленгликоля – от 9,26 до 489, для пропиленгликоля – от 8,86 до 288. У воды и этиленгликоля прослеживается явная корреляция с критерием Глазера. Кривая, описывающая график пропиленгликоля же, имеет экстремум равный 302°C^{-1} при $21,8^{\circ}\text{C}$, что можно считать его максимальным пределом для данного критерия.

На рис. 4 представлены зависимости для энергетического критерия, характеризующего интенсивность теплоотдачи со стороны нагреваемого энергоносителя по соотношению к работе, затраченной на его прокачку.

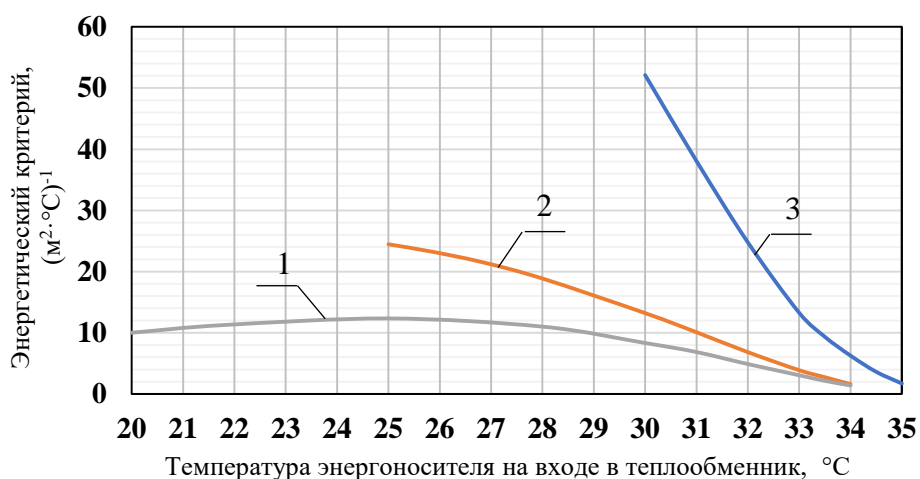


Рис. 4 – Зависимость энергетического критерия $\eta_{\text{э2}}$ для холодного теплоносителя от его начальной температуры: 1 – пропиленгликоль 35%; 2 – этиленгликоль 35%; 3 – вода

Здесь так же прослеживается корреляция с зависимостями, описывающими изменение критерия Глазера на рис.3, но теперь их характер у пропилен- и этиленгликоля имеет значительно менее интенсивный перепад с переменной своей температуры на входе в ТОА. Также, пропиленгликоль имеет эффективный максимум в $12,3 (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1})$ при температуре 25°C .

В числе прочего, стоит отметить, что значение коэффициента теплопередачи на порядок меньше коэффициента теплоотдачи со стороны холодного теплоносителя (α_2) и близок к коэффициенту теплоотдачи со стороны охлаждаемого масла (α_1). Данный факт стоит учитывать при анализе критериев, значительное влияние на которые оказывает значение α_2 .

Проведя анализ полученных в результате исследования данных, можно сделать вывод о более эффективном применении воды в качестве охладителя в более высоком диапазоне температур данного энергоносителя на входе в ТОА и большей эффективности этиленгликоля при меньших. Также в диапазоне положительных температур для этиленгликоля минимальное значение эффективности теплообмена достигается при 26,8°С, а у пропиленгликоля наблюдается максимум для значений приведенного критерия Глазера и энергетического критерия.

Список литературы:

1. Петров, И. Г. Расчет кожухотрубных теплообменных аппаратов / И. Г. Петров // Пакет прикладных программ для расчета теплоэнергетического оборудования : Труды Международной научно-практической конференции “Boiler Designer-2014”, Москва, 27–29 мая 2014 года. – Москва: ТОРУС ПРЕСС, 2014. – С. 106-113;
2. Бажан, П.И. Справочник по теплообменным аппаратам/ П.И. Бажан, Г.Е. Каневец, В.М. Селиверстов. – М.: Машиностроение, 1989. – 259 с.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024665772 Российская Федерация. Тепловой и гидравлический расчеты теплообменных аппаратов с определением показателей эффективности их работы: № 2024664312: заявл. 24.07.2024: опубл. 05.06.2024 / М.В. Козлова, А.С. Румянцев; заявитель ФГБОУ ВО ИГЭУ.

Информация об авторах:

Румянцев Алексей Сергеевич, студент кафедры промышленной теплоэнергетики, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34

Козлова Мария Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская д.34, kozlova.mv@ispu.ru