

**ПРИБЛИЖЕННЫЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА КОНДЕНСАТОРОВ
ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

Одним из основных элементов парокомпрессионного теплового насоса (ТН), определяющим его технико-экономические показатели, является конденсатор перегретого пара хладагента, поступающего в него после компрессора. Конденсация перегретого пара в аппаратах теплопроизводительностью до 30 кВт осуществляется в горизонтальных трубах. В настоящее время при проектировании конденсаторов и анализе их работы в составе тепловых насосов используют интегральные методики расчета, которые достаточно просто можно адаптировать к конкретным условиям эксплуатации. Однако недостаточно исследованным остается вопрос о влиянии перегрева пара на уровень подогрева воды в конденсаторе. При расчете конденсаторов могут использоваться альтернативные подходы. В первом случае учет перегрева пара при пленочной конденсации проводится введением поправок к расчетным формулам коэффициентов теплоотдачи насыщенного пара, а во втором случае – разбиением поверхности конденсации на две зоны: охлаждения перегретого пара и конденсации. В данной работе выполнен сравнительный анализ этих подходов к расчету конденсаторов перегретого пара с хладагентом R410a: в целом по 1-му участку (однозонная модель) и по 2-м участкам (двухзонная модель).

Объектом исследования является конденсатор теплопроизводительностью 10 кВт, в который поступает перегретый пар хладагента с температурой 105,3°C, давлением 3,4 МПа и расходом 0,0346 кг/с, выполняющий одновременно функцию теплового аккумулятора и буферной емкости низкотемпературной теплонасосной системы отопления и горячего водоснабжения. Аппарат выполнен в виде теплоизолированного цилиндрического бака объемом 500 л с внутренним диаметром 0,75 м. Поверхность теплообмена конденсатора представляет собой спиральный змеевик труба в трубе диаметром 0,5 м, погруженный в нагреваемую жидкость. Внутренняя труба – 14×1 мм, наружная – 21×1,5 мм. Схема течения потоков хладагента в трубе и нагреваемой воды в кольцевом канале противоточно-перекрестная.

При использовании обеих методик расчета конденсатора решается система уравнений теплового баланса и теплопередачи [1], которая дополняется замыкающими соотношениями для определения ко-

эффицентов теплоотдачи.

Теплоотдача со стороны конденсирующегося хладагента во всех случаях определялась по зависимости работы для насыщенного пара [2] с учетом особенности методики расчета. В однозонной модели значение коэффициента теплоотдачи корректировалось поправочным коэффициентом перегрева. В двухзонной модели на участке конденсации конденсировался насыщенный пар и применялась оригинальная зависимость.

В двухзонной методике для расчета коэффициентов теплоотдачи на участке охлаждения перегретого пара хладагента использовались уравнения работ [3, 4] в зависимости от режима течения потока. Для нагреваемой воды коэффициент теплоотдачи в кольцевом канале с адиабатной внешней поверхностью для рассматриваемой конструкции конденсатора рассчитывается по уравнению [5]. Физические свойства сред определялись по значениям средних температур на рассматриваемых участках.

Результаты теплового расчета исследуемого конденсатора на номинальном режиме, полученные с использованием двухзонной и однозонной моделей представлены на рисунке 1.

Получено, что температура нагретого теплоносителя на выходе из аппарата при использовании двухзонной и однозонной моделей практически одинакова и соответственно равна $49,8^{\circ}\text{C}$ и $49,9^{\circ}\text{C}$. Это следует из уравнения теплового баланса аппарата. В тоже время поверхность теплообмена (длина змеевика L) конденсатора, коэффициенты теплопередачи k и температурные напоры Δt отличаются.

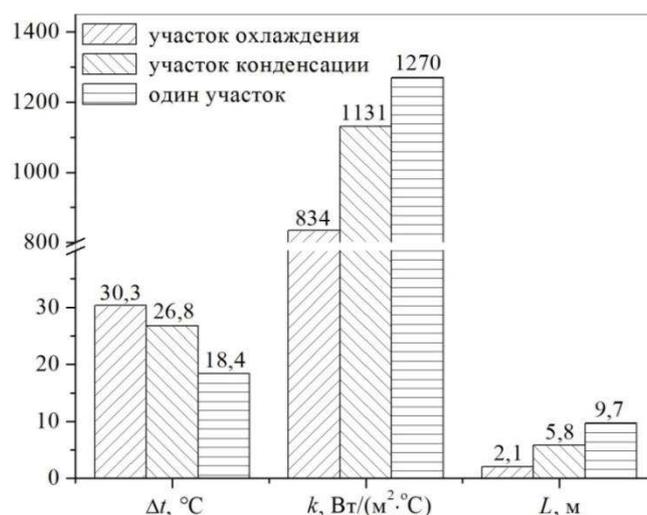


Рисунок 1 – Изменение параметров на участках конденсатора

Температурный напор в однозонной модели ограничен температурой насыщения на входе и выходе конденсатора, что приводит к его минимизации. В то время как в двухзонной модели локальные темпера-

турные напоры на входе и выходе рассматриваемых участков выше, что и является причиной повышения на них среднелогарифмических температурных напоров.

Существенное различие температурных напоров по сравнению с коэффициентом теплопередачи в одно- и двухзонной моделях приводит к увеличению поверхности теплообмена при использовании однозонной модели в 1,23 раза.

Недостатком метода теплового расчета конденсатора с использованием однозонной модели является ограничение на расход, а соответственно и на выходную температуру нагреваемой воды, которая не превышает температуру насыщения. В тоже время двухзонная методика позволяет изменять расход воды в более широком диапазоне, что при перекрестно-противоточной схеме течения потоков обосновывает возможность нагрева воды больше температуры насыщения.

Для рассматриваемых условий работы конденсатора получено, что при уменьшении расхода воды от 0,06 до 0,042 кг/с ее температура на выходе конденсатора становится больше температуры насыщения 55°C. Максимальный нагрев воды составил 66,9°C при расходе 0,042 кг/с, что выше температуры насыщения на 11,9°C. При этом температура стенки на участке охлаждения выше, чем на участке конденсации. Эта особенность не учитывается при использовании однозонной модели расчета конденсатора.

Таким образом, тепловой расчет конденсаторов следует проводить отдельно по участкам охлаждения перегретого пара и фазового перехода. Такой подход позволяет адекватно учесть особенности процесса конденсации перегретого пара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Здитовецкая С.В., Володин В.И. Метод расчета пароконденсационных трансформаторов теплоты // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2012. № 5. С. 76-82.
2. Cavallini A., Zecchin R.A. Dimensionless correlation for heat transfer in forced convection condensation. // Proceedings 6th Int. heat transfer conference. 1974. Vol. 3. P. 309–313.
3. Тепловой и гидравлический расчет теплообменного оборудования АЭС. Методические указания: РД 24.035.05-89. Л.: НПО ЦКТИ, 1991. 211 с.
4. Каст В. Конвективный тепло- и массоперенос. М.: Энергия, 1980. 49 с.
5. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках. М.: Атомиздат, 1974. 408 с.