

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Выборнова Д.В. на тему: *«Использование теплоты шахтных вод
с помощью парокомпрессионных теплонасосных установок»*,
представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.03 – *Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.*

Актуальность избранной темы

Использование альтернативных источников энергии и вторичных энергоресурсов является одним из действенных способов снижения энергоёмкости, уменьшения стоимости коммунальных услуг, улучшения экологических показателей. Имеющийся на большом количестве предприятий большой объем сбросной низкопотенциальной теплоты позволяет замесить значительную часть ископаемого топлива. Но использование этой теплоты связана с техническими трудностями и индивидуально для условий каждого объекта. Поэтому рассматриваемая работа, посвящённая повышению эффективности теплонасосных установок, использующей теплоту шахтных вод для систем теплоснабжения, путем совершенствования теплообменных процессов на основании параметрического и структурного анализа, является актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Степень обоснованности научных положений и выводов подтверждается адекватностью принятых в работе допущений, строгостью формальных преобразований, использованием фундаментальных законов и уравнений теплообмена, применением современных проверенных математических методов, а также согласованием результатов расчёта с данными экспериментальных исследований и с данными литературных научно-технических источников.

Следовательно, научные положения, выводы и рекомендации, полученные соискателем в работе, являются в достаточной мере обоснованными.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций основана на использовании поверенных контрольно-измерительных приборов и оборудования, верифицированных и сертифицированных компьютерных программ, а также на сопоставлении и анализе полученных результатов с экспериментом.

Впервые разработана математическая модель потоков теплоты и эксергии для теплового насоса, утилизирующего теплоту шахтных вод. Выделены зависимости определяющих параметров (эксергетического КПД, коэффициента преобразования теплоты и эффективности теплонасосной установки) от главных факторов – температуры испарения и конденсации, что позволяет выбирать наиболее целесообразную схему теплонасосной установки (ТНУ) в зависимости от конкретных исходных данных. Также доказана целесообразность использования цикла теплонасосной установки с квазидвухступенчатым сжатием (КДС) с целью снижения температуры перегрева в конце сжатия в компрессоре, что позволит увеличить срок службы ТНУ без снижения ее термодинамической эффективности.

Задачи, поставленные автором в работе, с точки зрения научной и практической ценности соответствуют уровню кандидатской диссертации.

Основное содержание работы

Во *введении* предлагаются объект и предмет научных исследований, научная новизна, определены цели и поставлены задачи исследования, показана практическая значимость полученных результатов, а также актуальность исследуемого вопроса.

В *первом разделе* исследована возможность утилизации теплоты шахтных вод, установлено, что наиболее важными факторами, влияющими на состав шахтных вод и их тепловой потенциал, являются глубина залегания и способ извлечения шахтных вод на поверхность, минералогический состав горных пород,

омываемых шахтными водами и географическое расположение шахты. Также выполнен анализ существующих отечественных и зарубежных теплонасосных установок, утилизирующих теплоту шахтных вод. Сделан вывод о целесообразных схемах ТНУ для утилизации теплоты шахтных вод и тепловом потенциале шахтных вод.

Во *втором разделе* рассмотрены потоки теплоты и эксергии при использовании различных схем теплонасосных установок. В процессе анализа выделены рабочие контуры тепловых насосов, что позволило составить балансовые уравнения теплоты и эксергии в теплонасосных установках. Использование дополнительных поверхностей нагрева приводит к незначительному увеличению потерь эксергии, однако этот факт компенсируется значительным ростом эксергетического КПД по сравнению с традиционными схемами. Наиболее эффективной является схема с переохладителем и промежуточным теплообменником. В случаях, требующих высокой температуры теплоносителя систем теплоснабжения целесообразно применять цикл с КДС. Для уменьшения эксергетических потерь при сжатии хладагента (ХА) в компрессоре в работе предлагается охлаждать фреон, а именно, использовать КДС для установок, работающих на аммиаке в качестве ХА, в частности.

В *третьем разделе* изложен способ планирования и проведения эксперимента по выявлению наиболее рациональных режимов работы ТНУ. В ходе исследований установлено, что необходимо стремиться к более высокой температуре в испарителе и минимальным потерям давления ХА при циркуляции по контуру ТНУ. Также было установлено, что для увеличения коэффициента преобразования теплоты необходимо развивать площади теплообмена в испарителе и конденсаторе, а также использовать дополнительные поверхности теплообмена. Значения расчетных и экспериментальных значений эксергетического КПД, коэффициента преобразования и эффективности ТНУ имеют отклонение не более 5%, что дает возможность говорить об адекватности полученной математической модели потоков теплоты и эксергии.

В *четвертом разделе* предложен алгоритм экономической оценки эффективности ТНУ, использующей теплоту шахтной воды и программа для

расчета эффективности циклов ТНУ. Результаты работы внедрены на предприятии ДП «Донецкий Промстройиниипроект» и при реконструкции системы теплоснабжения в п. Кирово (Донецкая обл.) с использованием теплоты шахтных вод шахты «Северная». Также доказан экономический и экологический эффект от внедрения данного вида энергосберегающих технологий.

Общие замечания

1. В качестве хладагента в работе исходя из высокой хладопроизводительности выбран аммиак. Такой выбор не является достаточно обоснованным, т.к. согласно табл. Б.1-Б.4 цикл с хладагентом-фреоном R600a характеризуется большим коэффициентом преобразования теплоты и значительно меньшей удельной работой сжатия.

2. Отсутствуют рекомендации минимального расхода и температуры шахтной воды, позволяющих эффективно утилизировать теплоту с помощью теплового насоса.

3. При расчете технико-экономических показателей целесообразно было бы учесть возможность кондиционирования на базе данных ТНУ в летний период года.

4. В работе используется термин «теплота топлива», под которым подразумевается работа сжатия в компрессоре (выражение 2.4). У термина «топливо» имеется однозначное определение – это *«горючие в-ва, осн. составной частью к-рых является углерод, применяемые с целью получения при их сжигании тепловой энергии»*. Поэтому использовать этот термин для потоков энергии или теплоты некорректно. Кроме того часто под топливным эквивалентом подразумевается первичное топливо, которое необходимо для получения работы или теплоты, а в рассматриваемой работе «теплота топлива» не учитывает потери в компрессоре и его приводе.

5. На рис. 2.14 приведено изменение эксергетического КПД в зависимости от температуры конденсации. Рисунок очень сложный, для анализа его было необходимо разбить на три рисунка, выделив например схемы 1, 2, 3. Анализируя рисунок, можно заметить разный характер изменения эксергетического КПД. Например для схем № 1 и № 2 при температуре испарения 10°C он растет от 0,40

до 0,44, а при температуре испарения 20°C практически не изменяется (равен 0,50), начиная снижаться в правой части графика. При этом для схемы № 3 характер изменения кривых при двух температурах конденсации идентичен. Характер изменения кривых на рис. 2.14 различен, между тем как в следующих графиках (рис. 2.15-2.17) для всех условий изменение имеет подобный вид. Если сравнивать рис. 2.15 и 2.17 видно, что для некоторых режимов происходит одновременное уменьшение эксергетического КПД и эксергетических потерь. Это требует пояснения.

6. На рис. 3.8. приведены «опытные значения эксергетического КПД», но в работе отсутствует информация, каким методом эти опытные значения определялись.

7. В работе имеется ряд погрешностей в оформлении, например в тексте нет ссылки на работу 122 библиографического списка.

Заключение

Диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной задачи в области теплоснабжения и энергосбережения, заключающейся в повышении эффективности теплонасосных установок, использующей теплоту шахтных вод для систем теплоснабжения. Новые зависимости термодинамических характеристик эффективности ТНУ, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики. Результаты работы позволяют достичь упрощения термодинамического анализа теплонасосных установок, утилизирующих теплоту шахтных вод и реализации их промышленного проектирования.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации приводятся сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов. Предложенные автором диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями. Основные научные

результаты диссертации опубликованы в девяти рецензируемых научных изданиях, кроме того соискателем получены два патента на полезную модель.

Несмотря на приведённые выше замечания, работа отвечает требованиям Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 – теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры
энергетики теплотехнологии
тел. +7 910 322 83 91, e-mail: trubaev@gmail.com

П.А. Трубаев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова)

РФ, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46,

тел. +7 (4722) 54-20-87,

факс+7 (4722) 55-71-39,

rector@intbel.ru,

www.bstu.ru

Подпись Трубаева П.А. подтверждаю

Проректор по научной работе
БГТУ им. В.Г. Шухова



Евтушенко Е.И.