

## ОТЗЫВ

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

*Актуальность избранной темы.* Непрерывающиеся разногласия на современном геополитическом уровне касательно цен на поставки газообразного топлива послужили реальным толчком для переоценки взглядов на природные и альтернативные топливно-энергетические ресурсы. Возникла необходимость в повышении энергетической безопасности государства путем разработки и развития собственных энергетических ресурсов, а также путем перехода на более доступные и экономически целесообразные энергоносители. Однако процесс перестройки всей огромной системы тепло- и электрогенерации инерционен и имеет ряд проблем на своем пути, в то время как обстоятельства требуют принятия решений и определенного развития. Следовательно, необходимо искать пути ускорения процесса перехода на альтернативные и экологически чистые виды топливно-энергетических ресурсов, в связи с дефицитом которых намечается четкая тенденция к использованию на предприятиях альтернативных источников энергии. В частности, на угледобывающих предприятиях в качестве низкотемпературного источника теплоты может использоваться шахтная вода, которая после осветления поступает в теплообменник-испаритель теплонасосной установки (ТНУ). Для более эффективной работы и правильного подбора вновь устанавливаемого теплонасосного оборудования необходимо глубоко проанализировать особенности термодинамического цикла ТНУ, что и осуществлено в работе.

***Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.*** Обоснованность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, подтверждается корректным использованием методов математического моделирования, результатами натурных экспериментов, а также апробацией основных результатов диссертации на конференциях, семинарах и в опубликованных работах. Результаты диссертации, представленные на защиту, физически обоснованы, проверены численно, тем самым не возникает сомнений в их адекватности.

***Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций.*** Достоверность научных положений диссертации подтверждается применением современных методов расчетов, достаточной сходимостью полученных в ходе вычислительного эксперимента результатов исследований с известными результатами исследований других авторов, а также с результатами внедрения на предприятиях ДП «Донецкий Промстройниипроект» (г. Донецк), КП «Макеевтеплосеть» (г. Макеевка), КП «Донецкоблкоммунэнерго» (г. Донецк).

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что разработана математическая модель потоков теплоты и эксергии для различных схем ТНУ, в том числе работающих по циклу с квазидвухступенчатым сжатием (КДС), позволяющая определять термодинамическую эффективность отдельных процессов и теплонасосной установки в целом, с экспериментальным подтверждением эффективности процессов, протекающих в ТНУ. Автором впервые предложена усовершенствованная схема применения парокомпрессионной ТНУ с КДС, позволяющая эффективно утилизировать теплоту шахтных вод. В процессе исследований разработаны рекомендации по выбору ХА, а также определены особенности осуществления цикла применительно к такому источнику низкопотенциальной теплоты как шахтная вода, которые заключаются в использовании цикла с квазидвухступенчатым сжатием для предотвращения перегрева компрессора. Кроме того, обоснована эффективность применения ТНУ, использующей теплоту шахтной воды, по

бивалентной схеме подключения пикового догревателя, что нашло отражение в патентах на полезную модель №75611 (опубл. 10.12.2012), № 88671 (опубл. 25.03.2014).

***Основное содержание работы.*** Во введении приводится информация, раскрывающая объект и предмет научных исследований, научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов, а также степень апробации работы.

В *первом разделе* автором выполнен анализ текущего состояния систем шахтного водоотлива, а также возможности включения в схему теплоснабжения теплонасосной установки, использующей теплоту шахтных вод. Выделены преимущества и недостатки существующих методов и подходов эксергетического анализа тепловых насосов, утилизирующих теплоту низкопотенциальных стоков в отечественной и зарубежной практике. Для уменьшения температуры перегрева компрессора в процессе сжатия хладагента предложено применить цикл с квазидвухступенчатым сжатием. Анализ конструкций тепловых насосов и характеристик хладагентов позволил выявить недостатки при их эксплуатации и определить направление исследования минимизации потерь теплоты и эксергии, а также сформулировать задачи исследований.

Во *втором разделе* изучено влияние типа схемы и вида хладагента на потоки теплоты и в теплонасосных установках, утилизирующих теплоту шахтных вод. В ходе расчетно-аналитических исследований установлено, что использование схемы с переохладителем и промежуточным теплообменником позволяет увеличить термический КПД, коэффициент преобразования теплоты и электроэнергии на 30%. Необходимая «теплота топлива» при этом снижается на 23%. Внесение дополнительных теплообменных поверхностей положительно отражается на эксергетических показателях установки. Также доказано, что при осуществлении цикла с КДС при снижении температуры в конце сжатия в среднем на 30% эксергетический КПД увеличивается на 17%. При этом срок службы компрессора – основного узла ТНУ – существенно

увеличивается. Кроме того, вид ХА необходимо выбирать из условий экологической безопасности, а также, чтобы диапазон изменения энтальпий ХА в процессе испарения и конденсации был максимальным.

В *третьем разделе* получены зависимости таких важных факторов ТНУ, как эксергетический КПД, коэффициент преобразования теплоты и эффективность от основных определяющих параметров работы ТНУ (температуры в испарителе, конденсаторе и потерь давления). Полученные математические зависимости, описывающие работу установки, проверены на реальной действующей модели установки; полученные в результате опытов данные говорят об адекватности математической модели, т.к. расхождение составляет не более 5%. Изменение основных показателей ТНУ происходит синхронно. Максимальные значения приходятся на циклы с минимальной затраченной работой. Увеличение показателей происходит с уменьшением температуры высокопотенциального теплоносителя и увеличением температуры низкопотенциального. Для увеличения коэффициента преобразования теплоты необходимо развивать площади теплообмена в испарителе и конденсаторе, а также использовать дополнительные поверхности теплообмена.

В *четвертом разделе* разработана методика расчета ТНУ, использующей теплоту шахтных вод, позволяющая учесть энергетический потенциал источника теплоты, подобрать тип хладагента, вариант схемы установки и обосновать необходимость применения цикла с квазидвухступенчатым сжатием. Чистый дисконтированный доход от внедрения теплонасосной установки, использующей теплоту шахтной воды в г. Дзержинске, составил 9483,73 руб. при дисконтированном периоде окупаемости 11 лет, что говорит о прибыльности и целесообразности инвестиций в данный вид энергосберегающих мероприятий.

**Общие замечания.** К работе есть ряд замечаний, которые не снижают общей положительной оценки проведенных исследований:

- в работе не нашел отражение вопрос подготовки шахтной воды перед ее подачей к теплообменному оборудованию в случае ее высокой минерализации;

- из текста диссертации и автореферата не понятно, есть ли ограничения по номинальной мощности теплового насоса в рамках эффективной эксплуатации рассматриваемых ТНУ;

- при планировании эксперимента вначале учитывалось пять кодированных факторов, затем их количество сократилось до трех, что никак не объясняется;

- из четвертого раздела диссертации неясно, для какого вида топлива был посчитан предотвращенный выброс;

- при экономической оценке внедрения данного вида энергосбережения не выделяются отдельно капитальные и эксплуатационные затраты;

- следовало рассмотреть шире вопрос утилизации сбросных вод, не только на горнодобывающих предприятиях;

- по результатам исследований не ясна закономерность изменения коэффициента преобразования теплоты от температуры испарителя;

- к сожалению, соискатель не предпринял попытки сформулировать математическую модель теплообмена на базе дифференциальных уравнений переноса теплоты в рамках рабочего контура теплонасосной установки;

- на графиках (рис. 3.8-3.10), где присутствуют экспериментальные данные, не показаны погрешности выполненных экспериментальных исследований.

**Заключение.** Диссертационная работа Выборнова Д.В. «Использование теплоты шахтных вод с помощью парокомпрессионных теплонасосных установок» является завершенной научно-исследовательской работой, поскольку представляет собой полноценный результат всестороннего исследования и включает исследование состояния вопроса, постановку цели и задач исследования, теоретическое обоснование, экспериментальную часть и практическое моделирование, а также разработанные рекомендации по

использованию полученных зависимостей при решении вопросов утилизации теплоты шахтных вод на горнодобывающих предприятиях. Из-за сложности и большого количества взаимосвязанных процессов детерминированные модели строятся с большим количеством упрощений, поэтому автором был найден рациональный выход по использованию термодинамических зависимостей.

Принимая во внимание актуальность и важность проведенных исследований, можно сделать вывод, что приведенные выше замечания не снижают ценности работы, которая полностью удовлетворяет Положению о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 - теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

д. т. н., профессор кафедры  
физики неравновесных процессов,  
метрологии и экологии  
Донецкого национального университета

Ф.В. Недопекин

83001, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24,  
тел. +38(062)3020600  
donnu.canc@mail.ru  
<http://donnu.ru/>



УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
М.Н. МИХАЛЬЧЕНКО