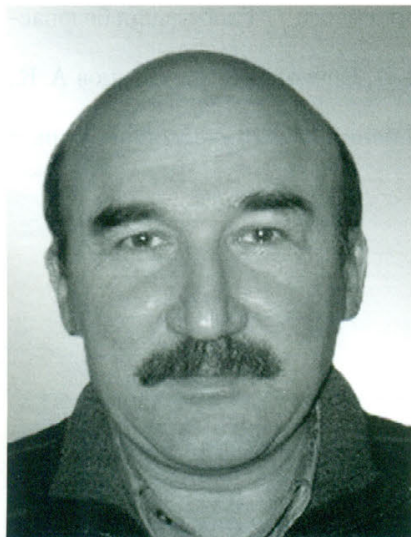


ДИАГНОСТИКА И НАДЕЖНОСТЬ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ

УДК 621.577

Оценка энергетической эффективности современных систем автономного энергоснабжения (на примере тепловых насосов)

Г. Я. Воллов,
кандидат технических наук,
участник Международного
консорциума организаций
в области инженерно-технического
аудита (ОДО «Энерговент»)



В. И. Зуев,
начальник лаборатории
тепловых динамических процессов
и энергосбережения
Технологического института
энергетических обследований,
диагностики и неразрушающего
контроля «ВЕМО»

Рассматриваются вопросы применения имитационных динамических моделей для расчетов и выбора режимов работы систем на базе тепловых насосов, оценки их энергетической эффективности как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации при изменении и варьировании фактических эксплуатационных нагрузок.

Ключевые слова: тепловой насос, имитационная модель, коэффициент трансформации, тепловые нагрузки.

Введение

Стремление уменьшить затраты первичной энергии (потребление топлива) без снижения или даже с увеличением отдачи энергии конечному потребителю за счет более рационального способа ее преобразования – главная тенденция развития современной техники и технологий [1]. Это относится и к системам теплоснабжения самых различных потребителей.

В настоящее время более половины всего топлива, расходуемого в системах энергоснабжения, используется для теплоснабжения.

Там, где потребители теплоты рассредоточены, где природные условия не позволяют применять высокоэффективные установки комбинированной выработки электроэнергии и тепла, основными источниками теплоты остаются различные котельные и печи (от индивидуальных внутридомовых печей до крупных районных котельных), а также различные электронагревательные приборы.

Земля и грунтовые воды сохраняют тепло даже в холодное время года. Тепловые насосы могут использовать это тепло, повышая потенциал отведенного тепла и передавая его в систему отопления.

Тепловой насос, отбирая у внешнего теплоисточника (земля, грунтовые воды, воздух) низкопотенциальное тепло, передает его в систему отопления с необходимой температурой теплоносителя. Для повышения температуры до необходимого уровня тепловая насос отличается тем, что теплота, выработанная им, многократно превышает количество энергии, затраченной на привод самого насоса.

В индивидуальном жилом фонде тепловые насосы могут использоваться для отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования воздуха (где это необходимо). В общественных зданиях тепловые насосы используются в централизованных и децентрализованных системах кондиционирования воздуха, а также для рекуперации тепла в холо-

дильных установках. В промышленности возможно широкое использование тепловых насосов в системах охлаждения, в процессах сушки, испарения, кипения и рекуперации тепла сбросных потоков жидкости.

В силу климатических и некоторых других причин в Европе доминирует использование тепловых насосов в домашних отопительных системах, а именно в индивидуальном жилом фонде.

Оценка энергетической эффективности автономного теплоснабжения на базе тепловых насосов (ТН) (на стадии проектирования) выполняется практически всегда. Однако каждый раз разработчик сталкивается со значительными трудностями. Дело в том, что тепловая эффективность теплонасосных установок напрямую зависит, как правило, только от коэффициента трансформации, т.е. отношения выработанной тепловой энергии ТН к затраченной энергии, как правило электрической, на его привод. При этом коэффициент трансформации теплонасосной установки не является величиной постоянной, а в значительной степени зависит от параметров теплоносителя внешних контуров.

Вторым важным моментом, который следует отметить, является определение и расчет тепловых нагрузок. Методика расчета нагрузок для проектирования таких установок до настоящего времени не нашла отражения в нормативных материалах. Проектировщики либо рассчитывают тепловые нагрузки по утвержденным методикам для проектирования котельных установок, либо пользуются зарубежными нормативными материалами. Последние говорят о том, что к выбору нагрузок для теплонасосных установок нельзя подходить с теми же мерками, как для котельных. Существенное отличие подходов в том, что при проектировании котельных установок расчетная нагрузка – это, обычно, пиковая нагрузка потребителя тепловой энергии и, в некоторых особых случаях, установка аккумулирующих емкостей с целью снижения пиковой нагрузки источника. А в случае с ТН проектируют на существенно меньшие нагрузки, вводя в схему либо пиковые источники, либо идут на заводомый и рассчитанный дискомфорт. Применение аккумулирующих емкостей в теплонасосных системах (ТНС) является нормой.

Для практического решения этих двух проблем предлагается использовать при проектировании подход, который основан на имитационном моделировании как самого теплоисточника, так и потребителей тепловой энергии. При этом имитационная модель должна позволить рассмотреть и оценить работу тепловой насосной установки в динамике.

В качестве инструмента, позволяющего строить имитационные модели, предлагается программа МОДЭН. Все приведенные в настоящей статье рисунки взяты из программы МОДЭН без какой-либо редакторской корректировки, за исключением некоторых комментариев на отдельных рисунках.

Коротко о программе МОДЭН

Программа МОДЭН (версия 3.02) разработана ОДО «Энерговент» (Республика Беларусь, Минск)

[2, 3] в сотрудничестве с Технологическим институтом «ВЕМО» и позволяет моделировать как физическую природу окружающей действительности, так и технологические процессы оборудования, систем и предприятий в целом. Программа дает полное представление о работе моделируемой системы в динамике, приближенное к реальной действительности с задаваемой степенью точности. На выходе – расчет в динамике поведения энергетической системы с выводом всех необходимых параметров системы в графическом, табличном и текстовом виде.

Практические задачи, решаемые с помощью программы МОДЭН:

- моделирование в динамике различных энергетических и технологических систем и процессов;
- моделирование тепловлажностных процессов в ограждающих конструкциях и режимов в помещениях зданий;
- моделирование гидравлических и тепловых процессов в системах теплоснабжения и отопления, с построением пьезометрических графиков;
- моделирование работы систем автоматизации;
- моделирование систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- энергетический аудит, прогнозирование и контроль эффекта от внедрения энергосберегающих мероприятий;
- оценка показателей надежности систем отопления [4].

Метод создания имитационной модели подобен монтажу из готовых блоков (модулей, шаблонов), соответствующих реальной структуре моделируемой системы. Каждый шаблон в программе – это элемент энергетической системы (трубопровод, вентиль, регулятор, насос, компрессор, испаритель, конденсатор и т.д.). Единичные элементы (насос, вентилятор и т.д.) называются объектами. Объекты, соединенные между собой, образуют структуру. Структуры, как и объекты, тоже можно сохранять в виде шаблонов в базе данных МОДЭН.

Внутри каждого объекта имеются алгебраические формулы, математически описывающие его работу – зависимости между различными параметрами. Для связи объекта с внешней средой имеются так называемые порты. Например, объект насос (рис. 1) имеет три порта (вход воды, выход воды и подвод электрической энергии).

Имитационная модель теплового насоса

Тепловой насос, представленный на уровне структуры, показан на рис. 2, а на рис. 3 показан тепловой насос, состоящий из его отдельных объектов (вложенность в структуру).

Расчет теплового насоса в динамических режимах сводится к пересчету его паспортных параметров под конкретные внешние условия работы, а именно фактические рабочие температуры в испарителе и конденсаторе. Паспортные параметры ТН содержатся в базе данных оборудования и материалов МОДЭН. После связи структуры «Тепловой насос» с базой эти параметры переходят в проект. Паспортными параметрами ТН являются:

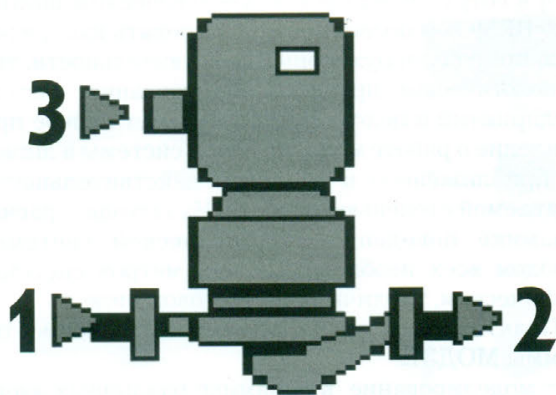


Рис. 1. Шаблон «насос»:

1 – порт входа воды; 2 – порт выхода воды;
3 – порт входа электрической энергии

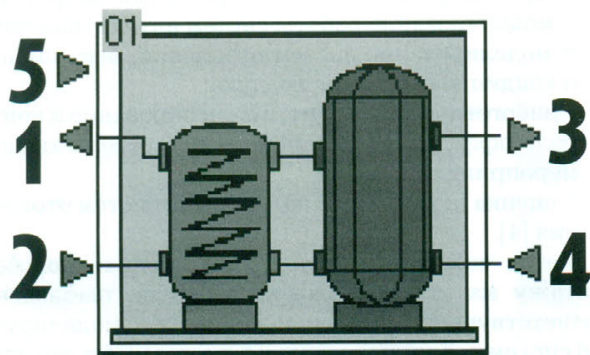


Рис. 2. Шаблон структуры «тепловой насос вода-вода»:

1 – порт выхода воды из испарителя; 2 – порт входа воды в испаритель; 3 – порт выхода воды из конденсатора;
4 – порт входа воды в конденсатор;
5 – порт подвода электрической энергии

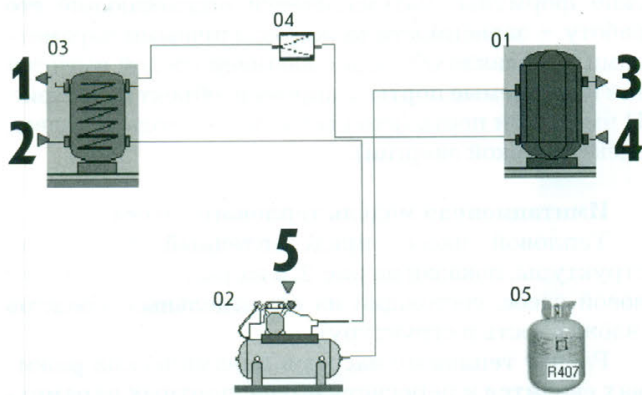


Рис. 3. Состав структуры «тепловой насос вода-вода»:

01 – конденсатор; 02 – компрессор; 03 – испаритель; 04 – дроссель; 05 – хладагент.
1 – порт выхода воды из испарителя; 2 – порт входа воды в испаритель; 3 – порт выхода воды из конденсатора;
4 – порт входа воды в конденсатор;
5 – порт подвода электрической энергии

- тип (марка) теплового насоса (холодильной машины);
- температура входа теплоносителя в испаритель T_{erin} ;
- температура выхода теплоносителя из испарителя T_{erout} ;
- температура входа теплоносителя в конденсатор T_{crin} ;
- температура выхода теплоносителя из конденсатора T_{crou} ;
- мощность на отопление Q_{oh} ;
- мощность на охлаждение $Q_{\text{рс}}$;
- мощность электрическая на привод Ne .

Дополнительно в паспортные параметры мы включили:

- расчетный напор компрессора dP ;
- температуру испарения паспортную T_{rev} ;
- температуру конденсации паспортную T_{rcou} .

Последние три указанных параметра, как правило, не приводятся в паспорте на тепловую машину, но без них расчет ее параметров работы невозможен, поэтому мы вынуждены их значения брать из других источников. В частности, если поставить тепловую машину на так называемый стенд (компьютерный), то можно, «прогнав» тепловую машину на различных режимах работы, откалибровать указанные выше параметры.

Для того чтобы показать возможности имитационного моделирования и представить, как работает ТН в динамических режимах, приведем два численных эксперимента с тепловым насосом марки 200z TermoCIAT LGP. В первом эксперименте проварьировем температуру входа воды в испаритель (при постоянной температуре входа воды в конденсатор $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$), а во втором эксперименте проварьировем температуру входа воды в конденсатор (при постоянной температуре входа воды в испаритель $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$).

В первом численном эксперименте коэффициент трансформации COP изменяется (рис. 4) в пре-

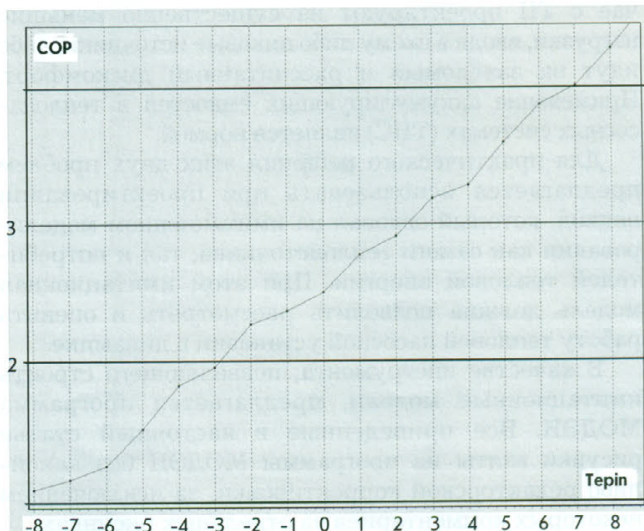


Рис. 4. Зависимость коэффициента трансформации (COP) от температуры входа воды в испаритель $-T_{\text{erin}}$ (эксперимент 1)

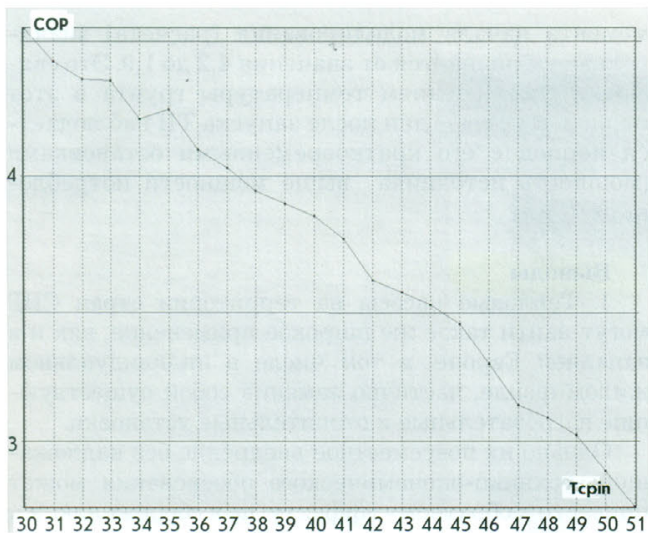


Рис. 5. Зависимость коэффициента трансформации (COP) от температуры входа воды в конденсатор – T_{срin} (эксперимент 2)

делах от значения 2,05 (при T_{срin}=−8 °C) до 3,65 (при T_{срin}=8 °C), а во втором эксперименте (рис. 5) от 4,55 (при T_{срin}=30 °C) до 2,8 (при T_{срin}=51 °C).

Имитационная модель системы с тепловыми насосами

Тепловые насосы – лишь один из элементов энергетических схем автономного теплоснабжения на базе тепловых насосов. В общую энергетическую схему помимо ТН – трансформаторов энергии входят также источники тепловой энергии, как-то: грунт, воздух, вода и т.д. и т.п., а также потребители

тепловой энергии. Также в схему входят и такие стандартные элементы, как трубопроводы, насосы, теплообменники и пр. Необходимым элементом такой схемы теплоснабжения (на это указывалось и ранее), как правило, является пиковый источник теплоты, например электродкотел. Пример схемы теплонасосной системы с использованием теплоты грунтовой воды приведен на рис. 6.

После составления имитационной модели необходимо провести ее расчет за определенный характерный период: он может составлять и час, и месяц, а для теплонасосной системы с грунтовыми теплообменниками расчетный период составляет не менее года. В течение всего периода расчета меняются не только климатические условия (параметры окружающей среды), но и режимы, и параметры работы источника и потребителя.

На рис. 7 приведена схема теплонасосной системы с кольцевой сетью, ставшей довольно популярной в последнее время.

Еще раз отметим, что все эти и другие системы считаются в МОДЭН в динамических режимах.

Некоторые результаты моделирования ТНС

Приведем некоторые результаты моделирования теплонасосной системы с горизонтальными грунтовыми теплообменниками. Так из рис. 8 видно, что мощность отбора теплоты от грунта падает с 1 ноября по 1 февраля, а затем начинает расти. Это вызвано повышением температуры грунта, связанным с увеличением теплоступления от солнечной радиации (на широте г. Бреста).

На рис. 9 приведен график среднего значения коэффициента трансформации с 1 ноября. Видно, что величина коэффициента трансформации с

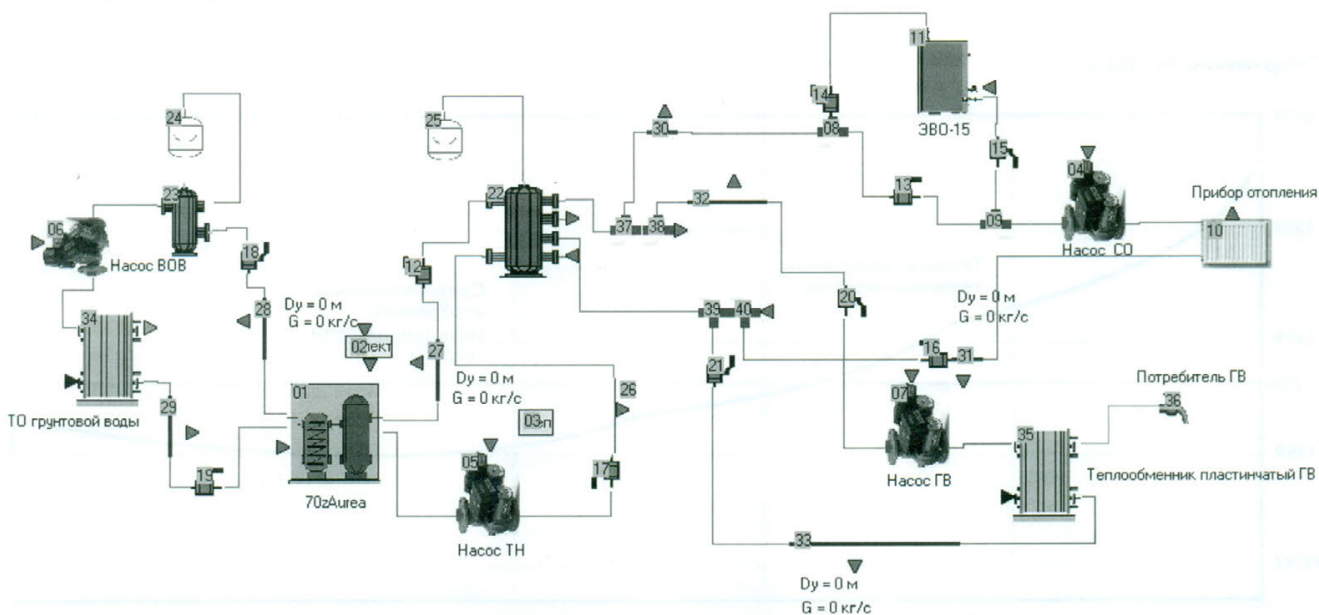


Рис. 6. Схема ТНС, использующая теплоту грунтовых вод:

01 – ТН; 04,05,06,07 – насосы; 10 – система отопления; 11 – пиковый электродкотел; 12-15,18-21,36 – запорная арматура; 22 – гидравлический разделитель; 23 – буферная емкость; 24,25 – расширительный бак; 34 – теплообменник; 35 – теплообменник горячего водоснабжения

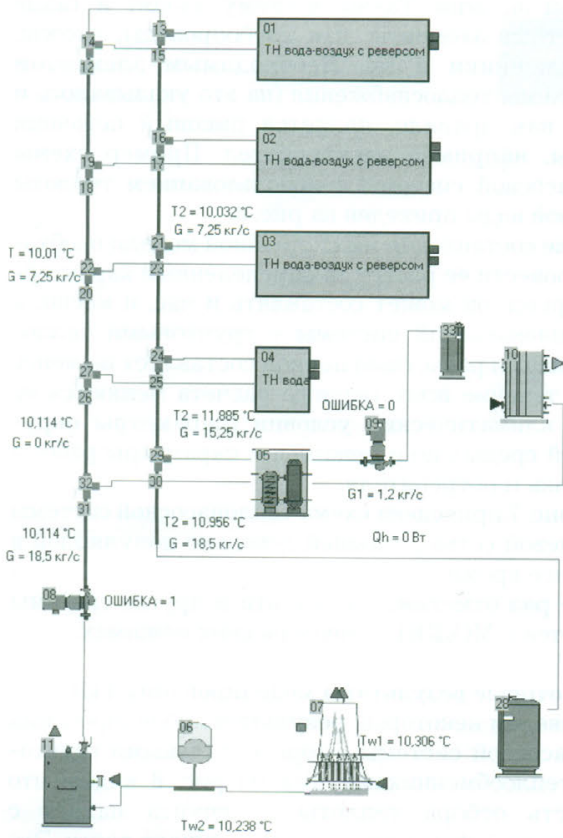


Рис. 7. Схема ТНС с кольцевой сетью:

- 01...04 – тепловые насосы воздух-вода реверсивные;
- 05 – тепловой насос вода-вода для горячего водоснабжения;
- 06 – расширительный бак; 07 – радиатор; 11 – котел водогрейный;
- 28 – буферная емкость

момента начала моделирования (расчета) значительно уменьшается от значения 4,2 до 1,9. Это связано с уменьшением температуры грунта в этот период. В первые дни после запуска ТН наблюдается период с его кратковременными остановками (мощность источника выше мощности потребления).

Выводы

1. Тепловые насосы на территории стран СНГ могут найти такое же широкое применение, как и в западной Европе, в том числе в индивидуальном жилом фонде, частично заменив собой существующие нагревательные и отопительные установки.

Однако их повсеместное внедрение без надлежащего технико-экономического обоснования может привести к обратному эффекту: не к сбережению, а к расточительству.

В большинстве случаев необходима индивидуальная разработка схем теплонасосных установок.

2. Применение имитационных динамических моделей позволяет разработчикам, проектантам и эксплуатационному персоналу проводить расчеты и выбирать режимы и параметры работы теплонасосных систем и давать оценку их энергетической эффективности как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации при изменении и варьировании фактических эксплуатационных нагрузок. Имитационное динамическое моделирование позволяет также проводить определение тепловых нагрузок и вариантный расчет схем энергетических систем на базе тепловых насосов с определением их энергетической эффективности.

Отбор теплоты, Вт/100 м

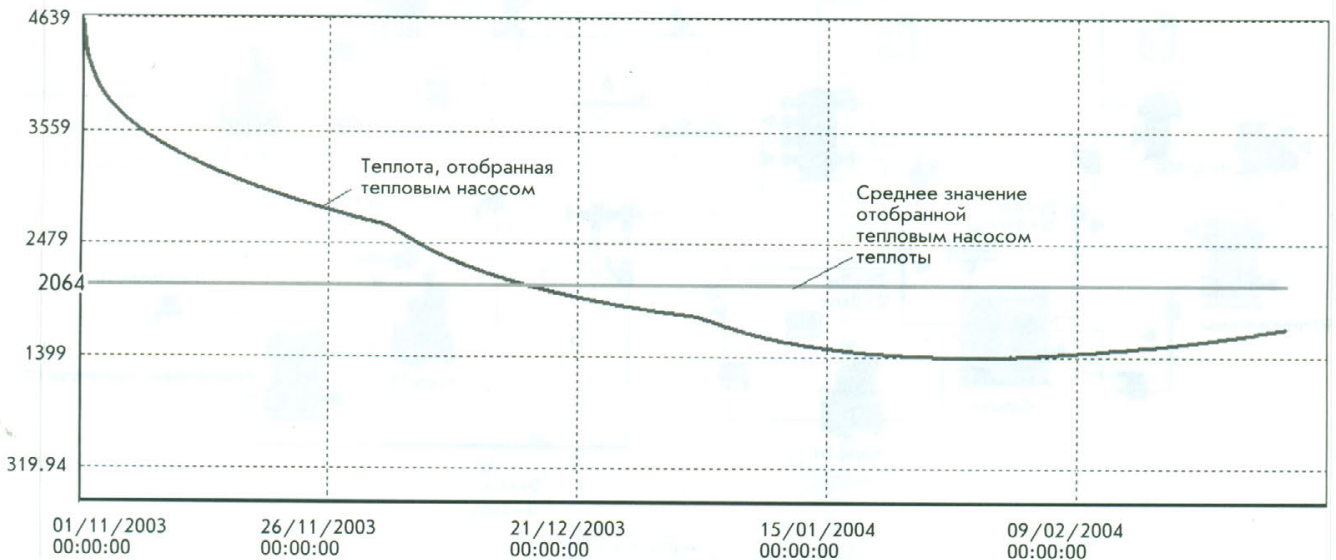


Рис. 8. Мощность отбора теплоты от грунта

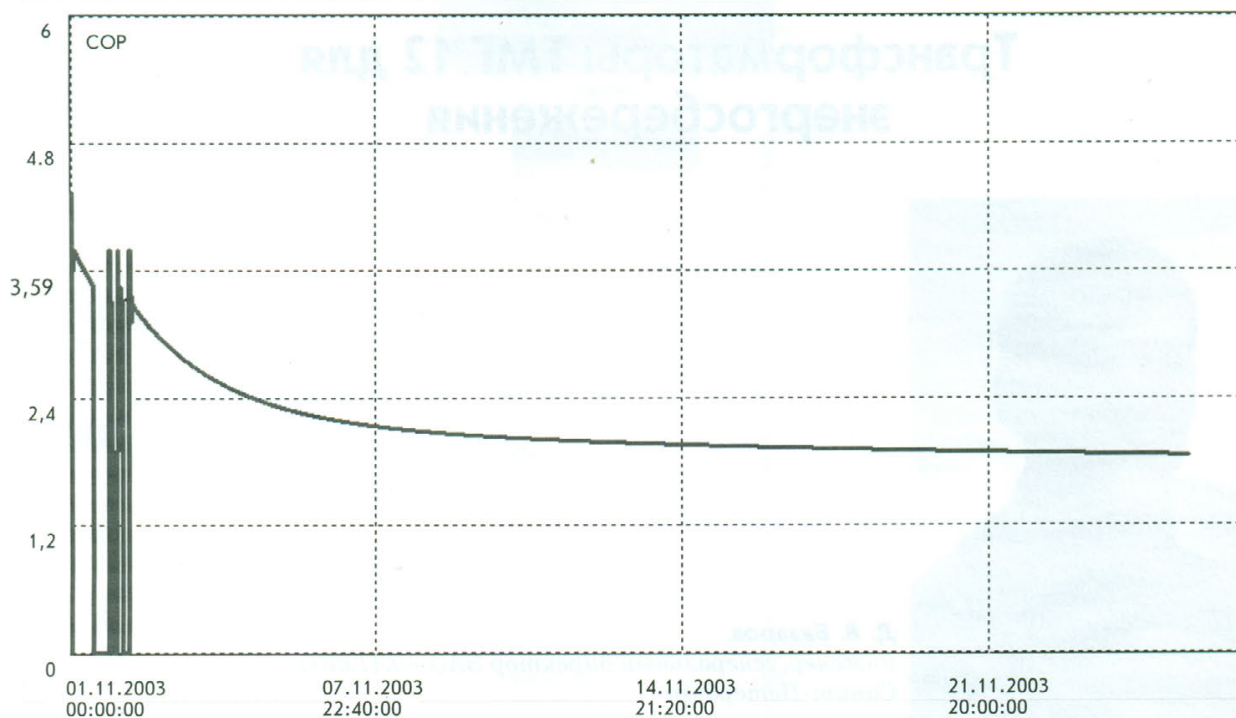


Рис. 9. Среднее значение коэффициента трансформации (COP) за период от начала работы ТН. Колебания в начальный период моделирования связаны с остановкой ТН при достижении нормируемой температуры на входе в конденсатор

3. Программа МОДЭН (версия 3.02), относящаяся к классу программ имитационного моделирования, позволяет инженерно-техническому персоналу проектных, наладочных, эксплуатационных, энергоаудиторских и других организаций разрабатывать и создавать варианты схем автономных систем теплоснабжения на базе тепловых насосов, а также проводить имитационное динамическое

моделирование с целью оценки их энергетической эффективности, разработки и определения эксплуатационных параметров работы, в том числе коэффициентов трансформации и эксплуатационных параметров рабочего тела (теплоносителя) тепловых машин и насосов.

Литература

1. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы / Пер. с англ. — М.: Энергоиздат, 1982. — 224с.
2. Электронный ресурс www.energoevent.com. www.wemo.ru.
3. Электронный ресурс www.wemo.ru.
4. Троицкий-Марков Т. Е., Будадин О. Н., Михайлов С. А., Потапов А. И. Научно-методические принципы энергосбережения и энергоаудита: Научное и учебно-методическое справочное пособие. — М.: Наука, 2005. — 537 с.

ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

2009 **4**
июль -
август



Значение новых стандартов
для работ по оценке и мониторингу
качества электрической энергии
(стр. 10)

Приказ Министерства энергетики Российской Федерации
от 21 апреля 2009 г. № 120
Об утверждении Положения о территориальном органе
Министерства энергетики Российской Федерации
(стр. 51)

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ
от 27 апреля 2009 г. № 25
Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.2505-09
(стр. 55)