

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКОЙ ТИПА «ГРУНТ-ВОДА» ФИЛИАЛА МЭИ В Г. ВОЛЖСКОМ

Ф.А. Ерохин, И.А. Болдырев

Филиал НИУ «МЭИ» в г. Волжском
404110 г. Волжский, Волгоградская обл., пр. Ленина, д. 69
Тел.: (8443) 210160, факс: (8443) 210166, e-mail: vfmei@vfmei.ru

Заключение совета рецензентов: 03.09.15 Заключение совета экспертов: 06.09.15 Принято к публикации: 09.09.15

В данной работе теоретически рассчитаны основные показатели эффективности работы теплового насоса. Выявлены значения температуры грунта, при которой тепловой насос работает в максимально эффективном режиме. Экспериментально определен коэффициент трансформации теплового насоса. Рассмотрены особенности управления тепловым насосом для повышения энергоэффективности.

Ключевые слова: тепловой насос, коэффициент трансформации, температура, управление.

OPERATING AND CONTROL OF «GROUND-WATER» HEAT PUMP IN VOLZHISKY BRANCH OF THE NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY «MOSCOW POWER ENGINEERING INSTITUTE»

F.A. Erokhin, I.A. Boldyrev

Volzhsky Branch of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute»
69 Lenin str., Volzhsky, Volgograd reg., 404110, Russia
Tel.: (8443) 210160, fax: (8443) 210166, e-mail: vfmei@vfmei.ru

Referred: 03.09.15 Expertise: 06.09.15 Accepted: 09.09.15

The main indicators of the efficiency of the heat pump were theoretically calculated. The values of soil temperature at which the heat pump operates in the effectively were identified. The ratio of the heat pump experimentally determined. The features of the heat pump control for energy efficiency reviewed.

Keywords: heat pump, split coefficient of transformation, temperature, control.



*Федор Андреевич
Ерохин
Fedor A. Erokhin*

Сведения об авторе: зав. лабораторией ВФ МЭИ.
Образование: ВФ МЭИ (2015).
Область научных интересов: нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.
Публикации: 15.

Information about author: head of laboratory, Volzhsky Branch of Moscow Power Engineering Institute.
Education: Volzhsky Branch of Moscow Power Engineering Institute (2015).
Research area: alternative and renewable energy sources.
Publications: 15.



Илья Анатольевич
Болдырев
Ilya A. Boldyrev

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» ВФ МЭИ.

Образование: МЭИ (ТУ) (2007).

Область научных интересов: нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, автоматизация и управление.

Публикации: 30.

Information about author: Ph.D., Associate Professor of the Department “Automation of technological processes and production” Volzhsky Branch of Moscow Power Engineering Institute.

Education: Moscow Power Engineering Institute (2007).

Research area: alternative and renewable energy, automation and control.

Publications: 30.

Применение тепловых насосов для систем отопления в нашей стране не является повсеместным, в том числе ввиду того, что в России развита система централизованного теплоснабжения. Однако централизованное теплоснабжение неприемлемо для отопления индивидуальных домов в сельской местности по ряду причин, в том числе из-за значительной удаленности потребителя от ТЭЦ. В силу этого наиболее рациональными системами для множества частных жилых строений при отсутствии централизованного газоснабжения следует считать местные системы отопления на основе тепловых насосов. В отличие, например, от электрической системы отопления, которая на 1 кВт затраченной электроэнергии дает 1 кВт тепла, тепловой насос на 1 кВт электроэнергии может давать от 3 до 5 кВт и более тепловой энергии за счет использования низкопотенциального тепла, отбираемого у воздуха, грунта или другого источника. Тепловые насосы (ТН), осуществляя обратный термодинамический цикл на низкокипящем рабочем веществе, черпают возобновляемую низкопотенциальную тепловую энергию из окружающей среды (воздух, грунт, вода) и повышают ее потенциал до уровня, необходимого для теплоснабжения.

Проведено теоретическое исследование работы теплового насоса. На полигоне по исследованию эффективности комбинаций альтернативных и возобновляемых источников энергии филиала МЭИ в г. Волжском [1] имеется тепловой насос типа «грунт-вода», ставший объектом исследования. Для определения эффективности работы рассчитан цикл его работы. На основании методик из работ [2-4] определены эксергетические КПД как отдельных его узлов, так и всей установки. Методика расчета включает в себя определение параметров рабочего агента во всех характерных точках цикла, расчет удельных параметров и определение основных показателей эффективности цикла теплового насоса, в том числе и эксергетические КПД.

Основные характеристики рассматриваемого теплового насоса приведены в табл. 1.

Таблица 1
Характеристики теплового насоса
Mammoth MSR J036WH(L)E

Table 1

Specifications of heat pump
Mammoth MSR J036WH(L)E

Параметр	Значение
Тепловая мощность, кВт	13,2
Потребляемая мощность на обогрев, кВт	3,68
Мощность охлаждения, кВт	12,2
Потребляемая мощность на охлаждение, кВт	2,71
Напряжение питания	380 В/3 ф – 50 Гц
Хладагент	R410a (1,4 кг)

Получены основные параметры эффективности работы ТН: коэффициент трансформации тепла $\mu = 5,301$, коэффициент трансформации обратного цикла Карно $\mu_{\text{Карно}} = 7,78$, эксергетический КПД теплового насоса $\eta_{\text{е.ТН}} = 0,2837$. Для более глубокого анализа аналогично рассчитаны приведенные выше показатели в широком диапазоне температур низкопотенциального источника теплоты $t_{\text{гр}}$, выходящем за рабочие режимы – от минус 50 до + 35 градусов. Такой диапазон необходим для анализа работы ТН в самых различных, в том числе внережимных, условиях работы и определения наиболее оптимального температурного режима, а также для анализа способов повышения эффективности работы теплового насоса. Результаты расчетов приведены на рис. 1 и 2. Полученные значения рассчитаны теоретически и будут отличаться от величин, полученных экспериментально. Однако теоретические расчеты реального цикла позволят дать оценку характера зависимостей основных параметров эффективности.



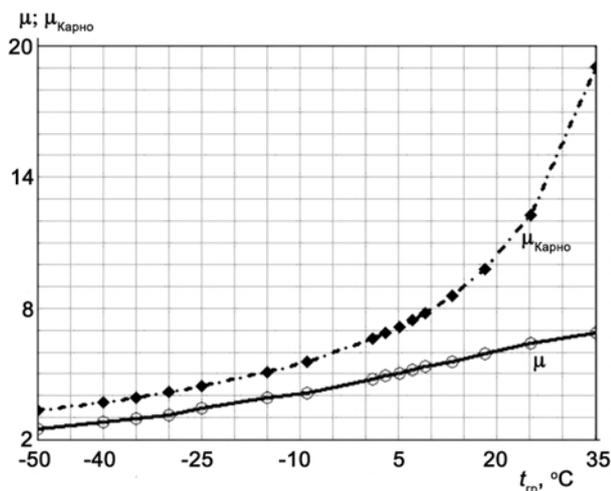


Рис. 1. Зависимость показателей μ и $\mu_{\text{Карно}}$ от $t_{\text{гр}}$
 Fig. 1. Dependence of μ and $\mu_{\text{Карно}}$ from $t_{\text{гр}}$

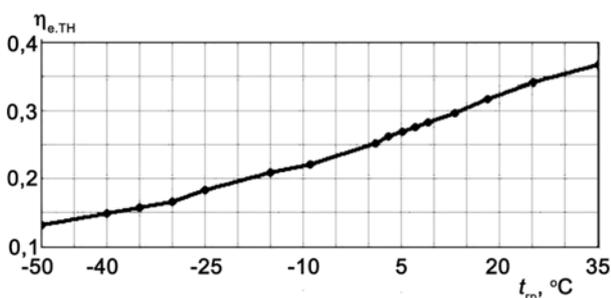


Рис. 2. Зависимость $\eta_{e,ТН}$ от $t_{\text{гр}}$
 Fig. 2. Dependence of $\eta_{e,ТН}$ from $t_{\text{гр}}$

Из рис. 1 и 2 видно, что зависимость коэффициента трансформации μ и эксергетического КПД от температуры является линейной, а коэффициент трансформации обратного цикла Карно зависит от температуры нелинейно и возрастает тем сильнее, чем выше температура низкопотенциального источника теплоты. Степень термодинамического совершенства цикла, т.е. приближение к обратному циклу Карно, происходит при понижении температуры источника низкопотенциального тепла, а при сильном повышении температуры разность между коэффициентом трансформации реального цикла и цикла Карно растет нелинейно.

В нормальном режиме работы ТН температура $t_{\text{гр}}$ должна быть в пределах от 0 до + 15 °С, что соответствует значениям коэффициента трансформации от 4,6 до 5,6. Дальнейшее повышение температуры низкопотенциального источника тепла дает линейное увеличение коэффициента трансформации, однако степень термодинамического совершенства, в сравнении с обратным циклом Карно, падает. Так, при температуре низкопотенциального источника 1 °С коэффициент трансформации реального цикла меньше коэффициента трансформации цикла Карно в 1,397 раза, а при температуре 25 °С – в 1,914 раза.

Таким образом, увеличение температуры низкопотенциального источника тепла выше 15 градусов нецелесообразно для использования рассматриваемым тепловым насосом. Такое тепло с более высокой температурой можно эффективнее использовать в других циклах трансформации теплоты, которые рассчитаны на более высокие температуры. Однако стоит поддерживать температуру на уровне 10-12 °С, что дает наиболее оптимальные показатели работы цикла теплового насоса. Поддержанию температуры низкопотенциального источника тепла способствует увлажнение грунта, а также приток тепла в летнее время за счет работы ТН в режиме кондиционирования.

Для экспериментального определения коэффициента трансформации тепла использовано оборудование полигона альтернативных источников энергии филиала МЭИ в городе Волжском. Информационно-управляющая система полигона позволяет осуществлять централизованное управление оборудованием полигона, производить сбор, архивацию и обработку параметров работы установок (температуру, давление, электрическую и тепловую мощность и др.) с привязкой к метеоданным, полученным от метеорологической станции полигона. На основе собранных и накопленных данных был проведен анализ эффективности функционирования ТН. Использование ТН типа «грунт-вода» требует применения в схеме (см. рис. 3) вспомогательного оборудования (грунтового теплообменника, накопительного бака, циркуляционных насосов и т.д.).



Рис. 3. Схема теплонасосной установки
 Fig. 3. Scheme of the heat pump system

Были использованы архивные данные, собранные с помощью информационно-управляющей системы, и проанализировано энергопотребление и выработка за период с 15.03.2014 г. по 28.03.2014 г. Данные ведомости энергопотребления приведены в табл. 2.

При определении эффективности теплового насоса принято рассматривать так называемый коэффициент трансформации тепла μ , характеризующий степень термодинамического совершенства цикла работы теплового насоса [4]. Он представляет собой отношение количества теплоты, полученного на выходе из теплового насоса, к затраченной электрической энергии. Но на практике для функционирования системы теплоснабжения на основе теплового насоса

затрачивается дополнительная электрическая энергия для работы вспомогательного оборудования. При этом обычно вспомогательное оборудование не учитывается при теоретических расчетах коэффициента трансформации, поскольку рассматривают только цикл работы теплового насоса в идеальных условиях. Реальные же условия работы почти всегда отличаются от идеальных.

Таблица 2
Ведомость энергопотребления ТН
Table 2
Table of energy consumption

Учет тепловой энергии, кВт·ч	
Контур «Грунт – тепловой насос» $Q_{гр}$	395,7
Контур «Тепловой насос – бак-накопитель» $Q_{б}$	636,4
Контур «Бак-накопитель – отопительные приборы» $Q_{оп}$	637,0
Учет электрической энергии, кВт·ч	
Суммарное энергопотребление $W_{сум}$	239,4
Тепловой насос $W_{тн}$	200,5
Циркуляционный насос контура «Грунт – тепловой насос» $W_{гр}$	18,4
Циркуляционный насос контура «Бак-накопитель – отопительные приборы» $W_{оп}$	20,5

Для оценки эффективности работы теплонасосной установки с учетом всех затрат энергии предлагается ввести понятие эффективный коэффициент трансформации тепла $\mu_{эф}$. Эффективный коэффициент трансформации учитывает не только затраты на трансформацию тепла в тепловом насосе, но также и затраты электроэнергии на перекачку теплоносителей грунтового и отопительных контуров, затраты электроэнергии для привода вентиляторов фанкойлов.

Сравним коэффициенты μ и $\mu_{эф}$.

Значение коэффициента трансформации μ с учетом экспериментальных данных (табл. 2):

$$\mu = (Q_{гр} + W_{тн}) / W_{тн} = 2,97. \quad (1)$$

Значение эффективного коэффициента трансформации тепла $\mu_{эф}$, учитывающее все потоки энергии:

$$\mu_{эф} = (Q_{гр} + W_{сум}) / W_{сум} = 2,65. \quad (2)$$

Данный показатель говорит о том, что в сравнении с электрическим обогревом тепловой насос дает экономию в 2,65 раза за счет использования низкопотенциального тепла грунта. Однако сам тепловой насос дает экономию в 2,97 раза при заданных одинаковых условиях эксперимента. Для повышения коэффициента $\mu_{эф}$ следует правильно подбирать диаметр труб системы отопления, уменьшать количество местных гидравлических сопротивлений, использовать отопительные приборы с малым гидравлическим сопротивлением, а также по возможности использовать меньшее количество теплоносителя. Реализованная в филиале МЭИ в г. Волжском система управления оборудованием позволяет опробовать различные алгоритмы управления как с целью повышения эффективности, так и для улучшения других эксплуатационных показателей. В частности, для снижения затрат электроэнергии на работу циркуляционного насоса первого контура его включение производится одновременно с пуском компрессора ТН, а отключение – через две минуты после останова компрессора. При этом управление насосом производится с использованием устройства плавного пуска. Такое решение, по сравнению с традиционным, позволяет существенно повысить энергоэффективность без ущерба для надежности.

Для сравнения эффективности систем отопления следует использовать эффективный коэффициент трансформации тепла, а для сравнения эффективности работы непосредственно теплового насоса и другого теплогенератора используется коэффициент трансформации.

Выводы

1. Теоретически рассчитаны основные показатели эффективности работы теплового насоса. Выявлены значения температуры грунта, при которой тепловой насос работает в режиме максимально эффективного использования низкопотенциального тепла, в сравнении с идеальным обратным циклом Карно.

2. Экспериментально определен коэффициент трансформации теплового насоса. Введено понятие эффективного коэффициента трансформации, который учитывает в себе не только затраты электроэнергии на привод компрессора, но и затраты на перекачку рассола, а также затраты на работу вспомогательного оборудования теплонасосной установки и всей системы теплоснабжения на основе теплового насоса.

3. Алгоритмы управления оборудованием полигона альтернативных источников энергии филиала МЭИ в г. Волжском позволяют повысить энергоэффективность.

Список литературы

1. Кузеванов В.С., Болдырев И.А. Исследование эффективности функционирования комбинации нетрадиционных и возобновляемых источников электрической и тепловой энергии // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEE. 2013. №14. С. 49-51.
2. Мартынов А.В. Установки для трансформации тепла и охлаждения. М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. Амерханов Р.А. Тепловые насосы. М.: Энергоатомиздат, 2005.
4. Соколов Е.Я., Бродянский В. М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. М.: Энергоиздат, 1981.

References

1. Kuzevanov V.S., Boldyrev I.A. Issledovanie èffektivnosti funkcionirovaniâ kombinacii netradicionnyh i vozobnovlâemyh istočnikov èlektričeskoj i teplovoj ènergii // Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ – ISJAEE. 2013. №14. S. 49-51.
2. Martynov A.V. Ustanovki dlâ transformacii tepla i ohlaždeniâ. M.: Ènergoatomizdat, 1989.
3. Amerhanov R.A. Teplovye nasosy. M.: Ènergoatomizdat, 2005.
4. Sokolov E.Ï., Brodânskiy V. M. Ènergetičeskie osnovy transformacii tepla i processov ohlaždeniâ. M.: Ènergoizdat, 1981.

Транслитерация по ISO 9:1995

