электроснабжения. Эта задача была решена благодаря нестандартному применению и комбинированию всех составляющих энергосистемы ВЕВОС-ГОРН-0020. Благодаря этому себестоимость электроэнергии довольно низка и составляет 60 копеек за 1 кВт·ч

При этом капитальные вложения в строительство установки составляют 1 088 497 руб. При выработке 175200 кВт·ч в год, чистый экономический эффект составил 208 488 руб., а срок окупаемости 3,1 года. Полный экономический эффект от создания системы составил 6,8 доли. ед.

Несмотря на эти показатели по настоящее время ни один инвестор не откликнулся на предложенный проект, что говорит о низком уровне экологической политики в регионах страны.

1. Энергетика <https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергетика>
2. Дипломная работа на тему: «Создание альтернативной энергосистемы (ветер, солнечное излучение и речной сток) для хозяйственного использования в условиях горных регионов РСО-Алания». Студент кафедры техносферной безопасности СКГМИ (ГТУ) Иликоев Г.В., руководитель Цгоев Т.Ф. 2012. – 82 с.
3. Малые ГЭС Северной Осетии. https://wiki2.org/ru/Малые_ГЭС_Северной_Осетии.
4. Иликоев Г.В., Цгоев Т.Ф. Снижение негативного влияния на окружающую среду гидроэлектростанций созданием гидроаккумулирующих электро-станций, а также небольших ГЭС на малых реках. В трудах молодых ученых СКГМИ (ГТУ) – Владикавказ: Издательство «Терек», 2012г. С.227-233.
5. Беззубов, С. И. Солнечные батареи, сенсibilизированные красителем / С. И. Беззубов, В. Д. Долженко // Природа. – 2012. – № 6. – С. 45-50.
6. СПРАВОЧНИК «Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии». Под редакцией В.И.Виссарионова. – М.: Фирма ВИЭН. 2004.

Цгоев Т.Ф., Теблов Р.А.

Состояние и перспективы использование тепловых насосов в регионах России на примере РСО-Алания

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ)

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-17

idsp: sciencerussia-10-12-2018-17

Аннотация

В статье рассмотрены виды и принципы работы тепловых насосов, как альтернативных источников теплоснабжения и их преимущества по экологичности и экономичности перед другими видами источников энергии. Рассмотрен вариант применения теплового насоса типа «грунт-вода» для применения в домах одноэтажной застройки в сельских местностях РСО-Алания.

Ключевые слова: низкопотенциальное тепло, тепловой насос, тепло земли, коэффициент преобразования, коэффициент трансформации.

Abstract

The article deals with the types and principles of operation of heat pumps as alternative sources of heat supply and their pre-property on environmental friendliness and efficiency before other types of energy sources. The variant of application of the heat pump of type "soil-water" for application in houses of one-storeyed building in rural areas of RSO-Alania is considered.

Key words: low-grade heat, heat pump, ground source heat transformation ratio, transformation ratio.

Введение (Introduction). Основным направлением альтернативной энергетики является поиск и использование альтернативных (нетрадиционных) источников энергии. Одним из этих направлений является использование низкопотенциального

тепла земных природных ресурсов (воздуха, воды и почвы) на получение тепловой энергии с помощью тепловых насосов (ТН).

Тепловой насос – это устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой [1].

Целью исследования (Purpose of research) является изучение принципа работы теплового насоса на предмет применения и использования в сельской местности.

Результаты исследований (Research result). Теплонасосные технологии известны более 150 лет. Концепция тепловых насосов была разработана еще в 1852 году выдающимся британским физиком и инженером Уильямом Томсоном (Лордом Кельвином), а изобретателем теплового насоса считают австрийского инженера П. Р. фон Риттингера, который спроектировал и установил первый известный тепловой насос в 1855 году [2]. Но практическое применение ТН приобрел значительно позже, а точнее в 40-х годах XX столетия, когда изобретатель-энтузиаст Роберт Вебер экспериментировал с морозильной камерой. Однажды Вебер случайно прикоснулся к горячей трубе на выходе камеры и понял, что тепло просто выбрасывается наружу. Изобретатель задумался над тем, как использовать это тепло, и решил поместить трубу в бойлер для нагрева воды. В результате Вебер обеспечил свою семью таким количеством горячей воды, которое они физически не могли использовать, при этом часть тепла от нагретой воды попадала в воздух. Это подтолкнуло его к мысли, что от одного источника тепла можно нагревать и воду, и воздух одновременно, поэтому Вебер усовершенствовал свое изобретение и начал прогонять горячую воду по спирали (через змеевик) и с помощью небольшого вентилятора распространять тепло по дому с целью его отопления. Со временем именно у Вебера появилась идея «выкачивать» тепло из земли, где температура не слишком изменялась в течение года. Он поместил в грунт медные трубы, по которым циркулировал фреон, который «собирал» тепло земли. Газ конденсировался, отдавал свое тепло в доме, и снова проходил через змеевик, чтобы подобрать следующую порцию тепла. Воздух приводился в движение с помощью вентилятора и распространялся по дому.

Принципиальная схема теплового насоса [3] с указанием направления движения холодильного агента для отопления и охлаждения здания приведена на рис.1. Наружный теплообменник расположен у источников тепла, внутренний - в помещении, которое нужно нагревать зимой и охлаждать летом.

Рис. Принципиальная схема работы теплового насоса:

1 - наружный теплообменник; 2 - направление движения хладагента при охлаждении помещения; 3 - направление движения хладагента при отоплении помещения; 4 - четырехходовой кран-переключатель; 5 - внутренний теплообменник; 6 - регулирующий вентиль; 7 - компрессор.

Из нагнетательной линии компрессора горячие пары хладагента поступают в четырехходовой кран, который направляет их в соответствующий теплообменник.

Если холодильная машина работает как тепловой насос для отопления здания, то горячий хладагент поступает во внутренний теплообменник, где конденсируется, отдавая тепло теплоносителю (воздуху или воде). Затем хладагент, пройдя регулирующий вентиль, поступает в наружный теплообменник, где он кипит, забирая тепло для своего кипения от окружающей среды (воздуха, воды). Затем пары

хладагента снова проходят через четырехходовой кран, который их направляет во всасывающую линию компрессора, после чего процесс начинается снова.

В качестве низкопотенциальных (низкотемпературных) источников теплоты могут использоваться:

а) вторичные энергетические ресурсы: теплота вентиляционных выбросов; теплота серых канализационных стоков; сбросная теплота технологических процессов и т.п.

б) нетрадиционные возобновляемые источники энергии: теплота окружающего воздуха; теплота грунтовых и геотермальных вод; теплота водоёмов и природных водных потоков; теплота поверхностных и более глубоких слоев грунта; теплота солнечной энергии и т. п.

Тепловой насос характеризуется следующими параметрами: тепловой мощностью $Q_{\text{кон}}$ (тепловой энергией, выделяющейся при конденсации пара рабочего вещества в конденсаторе в единицу времени); холодильной мощностью $Q_{\text{исп}}$ (тепловой энергией, передаваемой рабочему веществу при его испарении в испарителе в единицу времени); мощностью $P_{\text{ком}}$, затрачиваемой на перекачивание рабочего вещества, и коэффициентом преобразования энергии $\mu_{\text{ТНУ}}$.

Энергетическая эффективность теплонасосной установки (ТНУ) оценивается коэффициентом преобразования, который есть отношение полученной тепловой мощности в конденсаторе в единицу времени и затраченной мощности $P_{\text{ком}}$ на привод компрессора:

$$\mu_{\text{ТНУ}} = \frac{Q_{\text{кон}}}{P_{\text{ком}}}. \quad (1)$$

Коэффициент преобразования больше единицы, и он тем выше, чем меньше величина дополнительной энергии, затраченной в компрессоре. Обычно он равен 2...4, т.е. на 1 кВт · ч затрачиваемой на привод энергии может быть получено 2...4 кВт · ч за счет использования низкопотенциального источника энергии.

Чем выше $\mu_{\text{ТНУ}}$, тем эффективнее тепловой насос. Коэффициент преобразования зависит от:

- разности температур источника низкопотенциальной теплоты (ИНТ) и источника высокопотенциальной теплоты (ИВТ) (чем она выше, тем ниже COP),
- термодинамических свойств хладагента,
- особенностей термодинамического цикла,
- технического совершенства конструкции теплового насоса.

В зависимости от этих факторов значения COP колеблются от 2,5 до 5.

Эффективность тепловых насосов принято характеризовать величиной безразмерного коэффициента трансформации энергии ($K_{\text{тр}}$), определяемого для идеального цикла Карно по следующей формуле:

$$K_{\text{тр}} = \frac{T_{\text{от}}}{T_{\text{от}} - T_{\text{ист}}} = \frac{T_{\text{конд}}}{T_{\text{конд}} - T_{\text{исп}}} \quad (2)$$

где: $T_{\text{от}}$ – температурный потенциал тепла, отводимого в систему отопления или теплоснабжения, К; $T_{\text{ист}}$ – температурный потенциал источника тепла, К; $T_{\text{конд}}$ – температура конденсации рабочего тела; $T_{\text{исп}}$ – температура испарения рабочего тела.

Коэффициент трансформации теплового насоса, или теплонасосной системы теплоснабжения (ТСТ) $K_{\text{тр}}$ представляет собой отношение полезного тепла, отводимого в систему теплоснабжения потребителю, к энергии, затрачиваемой на работу ТСТ, и численно равен количеству полезного тепла, получаемого при температурах $T_{\text{от}}$ и $T_{\text{ист}}$, на единицу энергии, затраченной на привод ТН или ТСТ.

Различают следующие виды тепловых насосов:

Воздушные. Эти тепловые насосы популярны ввиду низкой стоимости, но их КПД зависит от температуры воздуха снаружи здания. Установки типа воздух-воздух используются для отопления помещений, а воздух-вода – для отопления и/или ГВС.

Водяные. Тепловые насосы типа вода-вода или вода-воздух нагревают, соответственно, воду или воздух. Они более эффективны чем воздушные, но для их установки нужен водоем. Стоимость монтажа при этом существенно выше, чем воздушного, но ниже чем геотермального теплового насоса.

Геотермальные (грунтовые). Монтаж таких установок наиболее дорогой из-за необходимости укладки геотермального поля или бурения скважин. Основную их плюс – устанавливать геотермальный насос можно практически в любой местности. Высокий КПД грунтовых тепловых насосов позволяет использовать низкопотенциальное тепло земли для отопления строений любого типа. Но высокая стоимость приводит к тому, что их чаще устанавливают владельцы жилья большой площади, либо промышленных и производственных зданий.

Наиболее эффективными считаются тепловые насосы, извлекающие тепловую энергию из источников со стабильными температурными показателями, т.е. из воды и грунта

Состояние использования. За рубежом теплонасосная техника находит широкое применение для целей теплоснабжения жилых и офисных зданий более 30 лет [4]. В 2009 г. в мире количество тепловых насосов, использующих тепло грунта, превысило 2,8 млн шт., их суммарная установленная тепловая мощность составила 35 ГВт, а ежегодное производство тепловой энергии – 214 тыс. ТДж. Лидерами по установке ТНУ данного типа стали США и Швеция, большое количество их эксплуатируется в Японии, Германии, Швейцарии. В последние годы ТНУ начали активно внедряться в Китае.

В США эксплуатируется около 7 млн тепловых насосов, из которых больше 50% используется для отопления коттеджей. В Германии работает около 300 000 тепловых насосов. В Швеции, где действует более 150 тысяч тепловых насосов, более широко применяются крупные тепловые насосы мощностью 20...90 МВт. Новой областью применения тепловых насосов является создание высокотемпературных теплонасосных установок открытого цикла для получения пара промышленных параметров. Применение тепловых насосов открытого цикла на водяном паре перспективно на маневренных ТЭЦ, в системах пароснабжения от крупных загородных ТЭЦ, на ТЭЦ при выпаривании солевых растворов. Перспективны также тепловые насосы при охлаждении оборотной сетевой воды в системах дальнего транспорта тепла и утилизации теплоты дымовых газов.

Опыт использования тепловых насосов в нашей стране пока невелик однако условия для их внедрения есть. Но, тем не менее, в России уже начался процесс применения тепловых агрегатов. Конечно, общая мощность установленного оборудования в сравнении со странами-лидерами несоизмеримо мала, но многие общественные здания Перми, Калининграда, Туапсе, Самары, Пензы, Московской и Ленинградской областей уже отапливаются по данной энергосберегающей технологии.

В России разработкой и внедрением тепловых насосов занимается СО РАН (институт теплофизики), ОАО «Иркутскэнерго». Изготавливаются тепловые насосы в Новосибирске, Москве, Нижнем Новгороде.

Но, к сожалению, в большинстве регионах страны работа в этом направлении практически не проводится. Так на территории РСО-Алания не действует ни одна тепловая станция. Учитывая важность применения альтернативных видов топлива на примере тепловых насосов сотрудниками и студентами СКГМИ (ГТУ) был разработан проект использования альтернативных видов энергии при помощи теплового насоса типа «грунт-вода» для применения в домах одноэтажной застройки в сельских местностях республики [5].

Проектом был предложен к применению геотермальный тепловой насос, были произведены расчеты параметров первичного контура теплонасосной установки, суммарной длины труб коллектора, общей площади участка под него и расчеты технико-экономических показателей. Результаты расчетов показали, что годовой объем вырабатываемой теплоэнергии в результате внедрения этого мероприятия 669,6 Гкал/год при капитальных вложениях в строительство установки 1792,81 тыс. руб. Предотвращенный эколого-экономический ущерб в этом случае составляет 1171,67 тыс. руб., а прибыль от реализации продукции – 867,27 тыс. руб. В результате срок окупаемости по этим расчетам составляет всего 2,1 года.

Обсуждение (Discussion). Данный проект был предложен многим частным лицам для внедрения, но несмотря на явные экологические и экономические преимущества положительного ответа не было получено.

Закключение (Conclusions). Учитывая темпы малоэтажного строительства в субъектах федерации, прогнозы Минэкономразвития РФ роста тарифов на электроэнергию и газ и прогнозируемый темп инфляции, необходимо более эффективно пропагандировать установку тепловых насосов на цели теплоснабжения жилых зданий.

1. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Утверждено и введено в действие указанием Москомархитектуры от 31.01.2001 г. № 8.
2. Тепловые насосы. <http://wreferat.baza-referat.ru/>
3. Пеклов А.А. Тепловой насос. Принципиальная схема теплового насоса. http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue
4. <http://www.energsovet.ru/stat919.html>. Тепловые насосы: достоинства, недостатки и перспективы применения в России
5. Гутонова З.Х. ст. гр. группы ООС-08 СКГМИ, Цгоев Т.Ф. – руководитель проекта. Дипломный проект: «Разработка проекта получения альтернативных видов энергии на основе тепловых насосов», – Владикавказ: – 99 с.

Шевченко В.А.

Методы декомпозиции сложных динамических систем для организации децентрализованного управления

*Южный федеральный университет
(Россия, Таганрог)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-18

idsp: sciencerrussia-10-12-2018-18

Аннотация

В статье представлен обзор методов и подходов к декомпозиции сложных динамических систем. Рассмотренные методы анализировались с точки зрения применимости и эффективности использования для класса крупных многосвязных технических объектов, представленных сетевой архитектурой, цель функционирования которых описывается транспортной задачей. Рассмотрены традиционные методы декомпозиции сложных динамических систем, основанные на выделении подсистем с различными связями или процессами и их скоростью, а также пространственные методы, топологические и графоаналитические. Сделан вывод о перспективности применения топологических методов декомпозиции для эффективного управления сложными динамическими системами с сетевой архитектурой.

Ключевые слова: декомпозиция, сложная динамическая система, сетевая архитектура, диакоптика, транспортная задача.

Системы управления сложными динамическими системами (ДС), строятся на принципах централизованного или децентрализованного управления. Полностью централизованное управление сложными ДС можно считать идеальным случаем, позволяющим получить наибольший эффект. Применение в сложных многосвязных системах единого регулятора, способного вырабатывать всю совокупность управляющих воздействий, теоретически может дать более высокий эффект, чем группа локальных регуляторов [0]. Однако, анализ и синтез централизованного управления в сложных распределенных системах является труднореализуемой задачей, сопряженной с большими вычислительными затратами и необходимостью введения дополнительных упрощений. Таким образом, управление сложными ДС рассматривается как задача децентрализованного управления её элементами [2-12].

Концепция децентрализованного управления подразумевает наличие подсистем в структуре единой ДС, которые управляются локальными регуляторами. Традиционно, разделение сложных ДС происходит поэлементно. Рассматривая ДС, представленную