

ТЕПЛОНАСОСНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ БРОСОВОГО ТЕПЛА ШАХТНОЙ ВОДЫ

Приведены сведения о сооруженной на шахте «Благодатная» теплонасосной установке, использующей тепло шахтной воды. Установка теплопроизводительностью 800 кВт позволяет за 7 часов нагреть 120 м³ воды для системы горячего водоснабжения шахты.

Приведено відомості про споруджену на шахті «Благодатна» теплонасосну установку, що використовує тепло шахтної води. Установка теплопродуктивністю 800 кВт дозволяє за 7 годин нагріти 120 м³ води для системи гарячого водопостачання шахти.

The information about heat pump plant for heat recovery from mine water on “Blagodatna” mine is represented. The heat pump plant with heat output 800 kW can produce 120 m³ of water at 45°C in 7 hours for mine’s hot water supply system.

В последнее время при решении проблемы рационального расходования топливных ресурсов все большее применение находят теплонасосные технологии использования бросового тепла и тепла природных источников для систем отопления и горячего водоснабжения (ГВС). Достоинствами теплонасосных технологий являются их энергетическая эффективность и экологическая чистота. Основным недостатком является высокая стоимость, причем не только оборудования самих теплонасосных установок, но также и систем сбора низкопотенциального тепла. В этой связи применение тепловых насосов в системах утилизации тепла воды, откачиваемой из шахт и карьеров, выглядит весьма привлекательно, так как в данном случае дополнительные затраты на систему сбора низкопотенциального тепла минимальны [1].

В связи с этим, целью данной работы являлось создание на шахте «Благодатная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» опытной теплонасосной установки, использующей тепло шахтной воды для нагрева воды, подаваемой в систему ГВС.

По устройству и принципу действия тепловой насос аналогичен холодильной машине. Работая по обратному термодинамическому циклу, эти машины отбирают тепло у источника с низкой температурой (сообщают ему холод), повышают потенциал тепла и передают его источнику с более высокой температурой [2,3]. Для осуществления этого процесса потребляется энергия в виде работы, которая трансформируется в теплоту, также передаваемую высокотемпературному источнику. Отличие тепловых насосов от холодильных машин определяется их назначением. Основным назначением холодильной машины является охлаждение низкотемпературного источника тепла, а осуществляемый при этом нагрев высокотемпературного источника является побочным эффектом. Основным же назначением теплового насоса является нагрев высокотемпературного источника, а охлаждение низкотемпературного источника является побочным эффектом.

На рис. 1 приведены схема парокомпрессионного теплового насоса, примененного в данной установке, и график его рабочего процесса в T, s - (температура – энтропия) диаграмме.

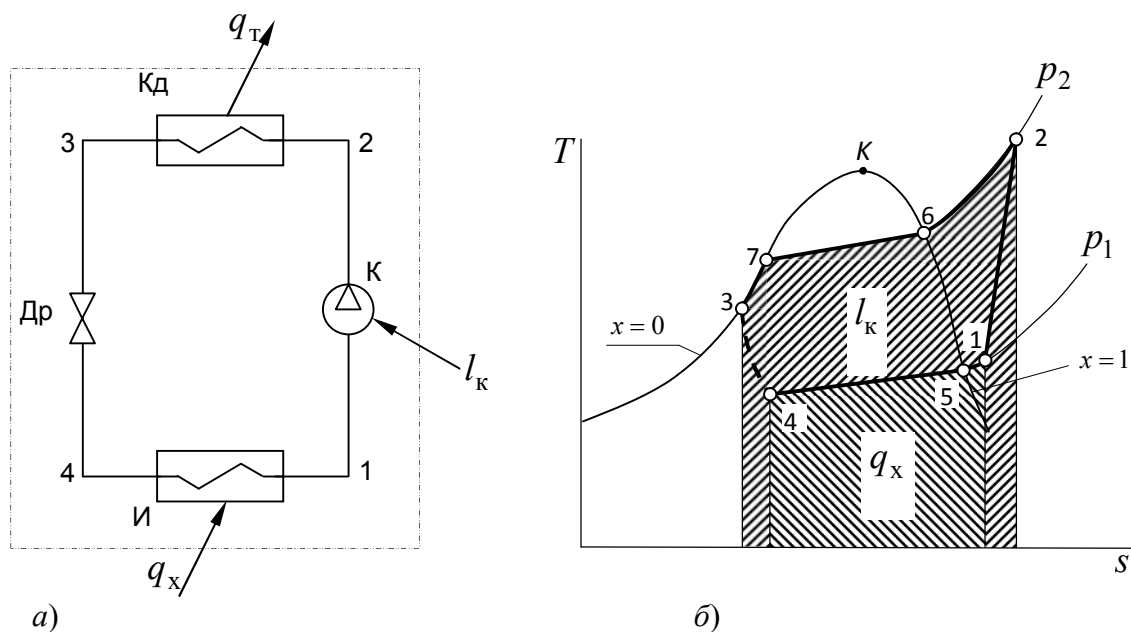


Рис. 1. Схема (а) и график рабочего процесса (б) теплового насоса

Основными элементами теплового насоса являются: компрессор К, конденсатор Кд, испаритель И и дроссель Др. Его термодинамический цикл изображен на диаграмме на фоне линий насыщенной жидкости, для которой степень сухости пара $x = 0$, и сухого насыщенного пара, $x = 1$, сходящихся в критической точке К, а также изобар $p_1 = const$ и $p_2 = const$, соответствующих давлениям всасывания и нагнетания компрессора. Линия 1-2 соответствует процессу сжатия рабочего тела в компрессоре, 2-6-7-3 – охлаждению и конденсации его в конденсаторе, 3-4 – дросселированию и 4-5-1 – кипению и перегреву пара фреона в испарителе. Заштрихованные площади соответствуют количеству тепла, отбираемого у низкотемпературного источника, (удельной холодопроизводительности цикла q_x) и удельной работе компрессора l_K . Сумма этих площадей соответствует удельной теплопроизводительности цикла q_T , т.е. количеству тепла, отдаваемого высокотемпературному источнику.

Аналитически уравнение энергетического баланса теплового насоса может быть записано в виде

$$q_T = q_x + l_K, \quad (1)$$

или в виде

$$Q_T = Q_x + N_K, \quad (2)$$

где Q_T , Q_x и N_K – соответственно теплопроизводительность (тепловая мощность), холодопроизводительность (холодильная мощность) теплового насоса и мощность компрессора, кВт.

Мощности и удельные энергетические величины связаны между собой соотношениями:

$$Q_T = m_{рТ} q_T; \quad (3)$$

$$Q_X = m_{рТ} q_X; \quad (4)$$

$$N_K = m_{рТ} l_K, \quad (5)$$

где $m_{рТ}$ – массовый расход рабочего тела теплового насоса, кг/с.

Эффективность тепловых насосов характеризуется коэффициентом трансформации тепла, т.е. отношением тепла, переданного высокотемпературному источнику, к затраченной для этого работе

$$k = \frac{q_T}{l_K} = \frac{Q_T}{N_K}. \quad (6)$$

Так как шахтная вода, являющаяся источником низкопотенциального тепла, загрязнена взвешенными частицами, а вода, нагреваемая для системы ГВС шахты, содержит соли жесткости, то с целью защиты поверхностей теплообмена испарителя и конденсатора теплового насоса от загрязнения, применена схема теплонасосной установки с промежуточными контурами передачи тепла, в которых циркулирует чистая вода (рис. 2).

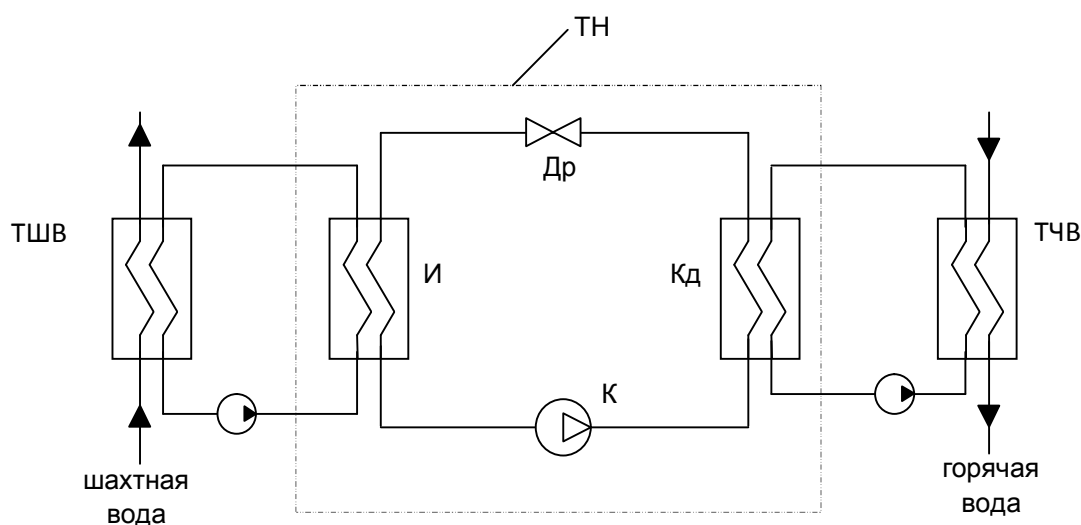


Рис. 2. Схема теплонасосной установки с промежуточными контурами передачи тепла

В этом случае загрязнению подвергаются поверхности теплообмена теплообменников шахтной воды (ТШВ) и чистой питьевой воды (ТЧВ), нагреваемой для системы ГВС. Стоимость этих теплообменников гораздо меньше, чем тепловых насосов, а тип может быть выбран с учетом необходимости периодической чистки.

Для условий шахты «Благodatная» температура шахтной воды не опускается ниже 16...17 °С, производительность шахтного водоотлива – не менее 200 м³/ч. С целью снижения оплаты за потребленную электроэнергию откачка

шахтной воды производится в ночное время, когда действует льготный тариф оплаты за потребленную электроэнергию. Соответственно, в это же время должна работать и теплонасосная установка подготовки горячей воды. Температура воды, подаваемой в систему ГВС шахты, составляет 42 °С. Суточный расход воды на горячее водоснабжение – 120 м³. Источником воды для системы ГВС является магистральный трубопровод хозяйственно-питьевого водоснабжения шахты.

Чтобы обеспечить независимость работы систем подготовки и расходования горячей воды, предусмотрено ее накопление в пяти баках-аккумуляторах общей емкостью 100 м³.

С целью повышения регулировочных свойств установки, ее надежности, обеспечения возможности осуществления объективной диагностики состояния теплообменных аппаратов и обслуживания теплонасосной установки было принято:

реализацию всей потребной теплопроизводительности установки осуществить тремя параллельно включенными независимыми теплонасосными модулями, работающими по схеме с промежуточными контурами передачи тепла (рис. 2);

предусмотреть возможность работы тепловых насосов в режиме догрева накопленной в баках воды до необходимой температуры в случаях ее остывания;

предусмотреть альтернативную возможность нагрева воды резервным электрическим водоподогревателем.

Схема установки, отвечающая этим требованиям, приведена на рис. 3.

Необходимая теплопроизводительность установки, рассчитанная, исходя из условия нагрева суточного объема воды 120 м³ за 7 ч от начальной температуры 5 °С до конечной 45 °С, составила 798 кВт, а теплопроизводительность каждого из трех тепловых насосов соответственно 266 кВт.

При создании установки разработчики ориентировались на оборудование отечественных производителей, что позволило существенно снизить капитальные затраты на создание установки.

Общее техническое решение с определением параметров гидравлических и тепловых режимов установки разработано учеными НГУ. Основные элементы установки – тепловые насосы и теплообменники шахтной воды – спроектированы и изготовлены ПАО «Рефма». Рабочий проект теплонасосной установки выполнен ГП «Днепрогипрошахт». Теплонасосная установка, начиная от проработки технических решений и до ввода в эксплуатацию, была создана в весьма сжатые сроки – всего за 8 месяцев.

В тепловых насосах НКТ-270 производства ПАО «Рефма» применены винтовые полугерметичные компрессоры фирмы «Bitzer», пластинчатые испарители и конденсаторы фирмы «Альфа-Лаваль». Хладагент – озонобезопасный фреон R407C. Малые габариты компрессоров и теплообменного оборудования обеспечили компактность конструкции тепловых насосов, что позволило все оборудование теплонасосной установки разместить в одном помещении с размерами в плане 10,5×12 м.

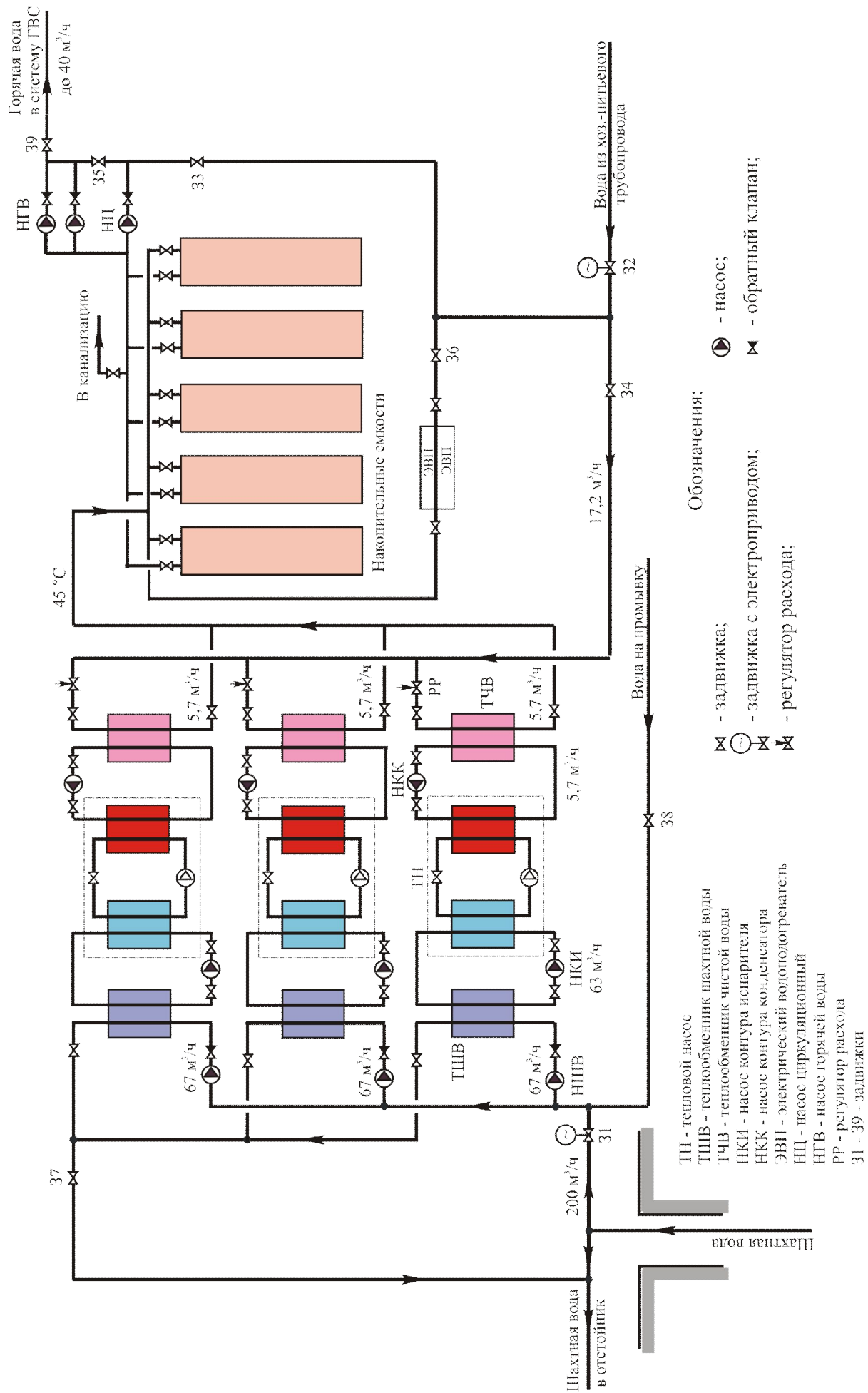


Рис. 3. Схема теплонасосной установки

Расчетные расходы теплоносителей в контурах каждого модуля составляют: в контуре шахтной воды – 66,7 м³/ч, в контуре чистой нагреваемой воды для системы ГВС – 5,7 м³/ч, в промежуточном контуре испарителя – 63 м³/ч, в промежуточном контуре конденсатора – 5,7 м³/ч. Теплопроизводительность тепловых насосов НКТ-270 при температурах кипения хладагента +6,5°С и конденсации +55°С составляет 256 кВт. Установка предназначена для работы в автоматическом режиме и не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала.

Результаты проведенных экспериментальных исследований теплонасосной установки показали, что измеренные значения расходов сред в контурах, температур и теплопроизводительности установки хорошо согласуются с расчетными.

Фактические значения коэффициентов трансформации тепла тепловых насосов, рассчитанные по экспериментальным данным, изменялись в пределах от 3,97 до 4,20, а для теплонасосных модулей (с учетом электрической мощности, потребляемой водяными насосами) – от 3,32 до 3,53. Эти данные свидетельствуют, что каждый 1 кВт·ч затраченной электроэнергии обеспечивает производство в установке до 3,5 кВт·ч тепла, из которых 2,5 кВт·ч приходится на тепло, отбираемое у шахтной воды, и подтверждают высокую энергетическую эффективность установки.

В целом, результаты испытаний подтвердили правильность выбранных при проектировании установки параметров и показали, что примененные методы расчета могут быть использованы в дальнейшем.

Теплонасосная установка позволяет исключить необходимость работы шахтной котельной и обеспечить годовую экономию эксплуатационных затрат в размере около 470 тыс. грн. Ожидаемый срок окупаемости капитальных затрат – 3,2 года.

Сооруженная на шахте «Благодатная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» установка является первой в Украине и наиболее мощной в странах СНГ теплонасосной установкой, использующей тепло шахтной воды. Опыт ее эксплуатации будет использован для совершенствования и внедрения теплонасосных технологий в угольной и горнорудной промышленности.

Список литературы

1. Закиров, Д. Г. Пути решения проблемы теплоснабжения в коммунальном хозяйстве с использованием тепловых насосов / Д.Г. Закиров, В.С. Суханов, Д.Д. Закиров // Новости теплоснабжения. – 2002. – №4. – С. 53-55.
2. Янтовский, Е. И. Промышленные тепловые насосы / Е.И. Янтовский, Л.А. Левин. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 125 с.
3. Холодильные машины : Справочник / Под. ред. А.В. Быкова. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 224 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Кириченком Є.О.
Надійшла до редакції 26.04.2012*