

# КОЭФФИЦИЕНТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ СОЛНЕЧНО-ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В РАЦИОНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ЕЕ РАБОТЫ

М.Т. Бердыбаева

Институт автоматике и информационных технологий, Кыргызстан

Как известно, принцип действия теплового насоса (ТН) в комбинированной солнечно-теплонасосной установке (КСТНУ) основан на осуществлении обратного термодинамического цикла рабочего вещества, в котором теплота отнимается от низкопотенциального источника и переносится на более высокий температурный уровень за счет подвода механической энергии в компрессоре, сжимающем парообразное рабочее вещество.

Мерой энергетической эффективности ТН [1] служит коэффициент преобразования энергии. Коэффициент преобразования – это отношение полезной энергии  $Q_n$ , полученной потребителем к затраченной электрической энергии, подведенной на привод компрессора  $Q_k$  теплового насоса.

$$\varphi = \frac{Q_n}{Q_k}$$

Оценки [2] показывают, что для удачно спроектированных систем отопления коэффициент  $\varphi$  изменяется от 2,5 до 6–8. Даже при  $\varphi = 2,5-3$  использование ТН может оказаться выгоднее, чем теплоснабжение от ТЭЦ или индивидуальных котельных.

Рациональные области работы КСТНУ [3] приведены в диаграмме (рис.1), где в относительных величинах к полезной энергии  $Q_n$  показано изменение энергий подводимых к компрессору  $Q_k$  и низкопотенциального тепла  $Q_h$  в зависимости от  $\varphi$ .

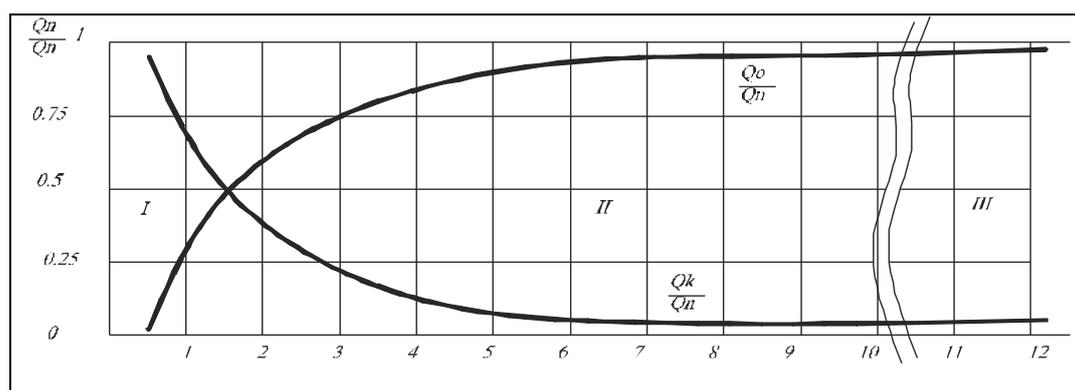


Рис.1. Рациональные области существования КСТНУ

Как видно из представленных диаграмм, существует явно выраженные три зоны работы КСТНУ. Это I зона, где  $1 \leq \varphi \leq 2$ ; II зона, где  $2 \leq \varphi \leq 6$ ; III зона, где  $6 < \varphi < \infty$

Зона I. Это практически область, где КСТНУ работает как обычный емкостной электронагреватель, при этом доля энергии, подводимой к компрессору, достаточно велика и, практически, использование такого сложного устройства не имеет смысла. Значительно

выгодней в этой области использовать традиционный электронагреватель для нужд теплоснабжения.

Зона же III наоборот характеризуется большой величиной  $Q_n$  и, как следствие, коэффициент преобразования велик. В этом случае ТНУ практически трансформируется, в обычный рекуперативный теплообменник и здесь также нет смысла использовать КСТНУ.

Зона II является наиболее привлекательной и выгодной для работы ТН, при которой получается наибольший эффект от использования КСТНУ. Как видно из графика (Рис.1.) в рациональной области II коэффициент преобразования КСТНУ изменяется от 2 до 7.

Наибольший эффект в использовании КСТНУ – обеспечить работу солнечно-воздушного коллектора и бака аккумулятора в схеме установки. Структурная схема комбинированной солнечно-теплонасосной установки приведена на рис.2. Комбинированная солнечно-теплонасосная установка состоит из следующих элементов: воздушного солнечного коллектора (СК), бака аккумулятора с гравийными насадками (АБ), теплового насоса (ТН).

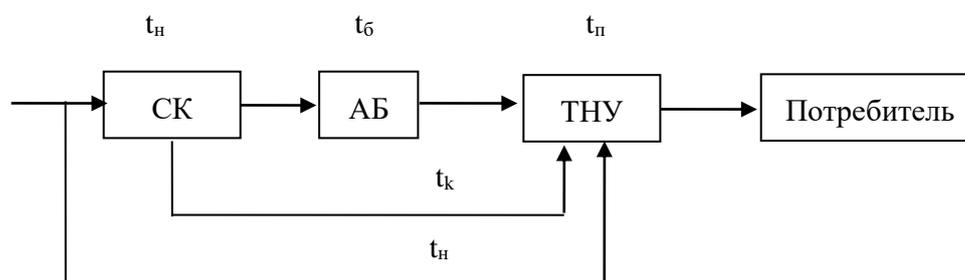


Рис. 2. Структурная схема комбинированной солнечно-теплонасосной установки. СК – солнечно-воздушный коллектор; АБ – бак аккумулятор с галечными насадками; ТН – тепловой насос; П – потребитель;  $t_n$  – температура окружающей среды,  $t_k$  – температура на выходе из солнечного коллектора,  $t_б$  – температура на выходе из аккумулятора.

Величина коэффициента преобразования энергии  $\phi$  зависит от разности требуемой температуры воздуха для потребителя  $t_n$  и температуры холодного теплоносителя  $t_n$ , теплофизических свойств рабочего вещества, особенностей термодинамического цикла ТН, а также технического совершенства конструкции теплового насоса. Ориентировочные численные значения коэффициента преобразования, зависящие от разности температур теплоносителя у потребителя с разными видами отопления и  $\Delta t = t_n - t_n$ . [3], приведены в таблице.

Изменение коэффициента преобразования  $\phi$

Разность температур, $^{\circ}\text{C}$ $\Delta t = t_n - t_n$	Вид системы отопления	Коэффициент преобразования, $\phi$
80	жидкостное	2,2
60	жидкостное	3,0
40	воздушное	4,5
20	панельное, воздушное	5,2

Из данных таблицы можно видеть, что при перепаде температур  $\Delta t = t_{п} - t_{н} = 40 \div 60^{\circ}\text{C}$  и выше работает (но не эффективно) система водяного отопления с ТН, а при  $\Delta t = t_{п} - t_{н} = 20 \div 40^{\circ}\text{C}$  – работает отопление с нагретым воздухом. Минимального перепада температур  $\Delta t$  возможно достичь при предварительном нагревании наружного воздуха или его смеси с рециркуляционным воздухом в солнечно-воздушных коллекторах. Солнечно-воздушный коллектор повышает потенциал холодного теплоносителя  $t_c$  и используется для воздушного отопления, где требования к температурному уровню теплоносителя занижены ( $35^{\circ}\text{C} > t_{п} < 45^{\circ}\text{C}$ ), чем в водяном отоплении ( $95^{\circ}\text{C}$ ).

На рис.3. приведены изменения коэффициента преобразования КСТНУ на примере теплообеспечения помещения площадью  $4\text{м}^2$  в г.Бишкек. Площадь коллекторов –  $2,4\text{м}^2$ , емкость аккумулятора –  $0,6\text{м}^3$ , ТН типа «воздух-воздух», потребляемая мощность –  $0,8\text{ кВт}$  [5,6].

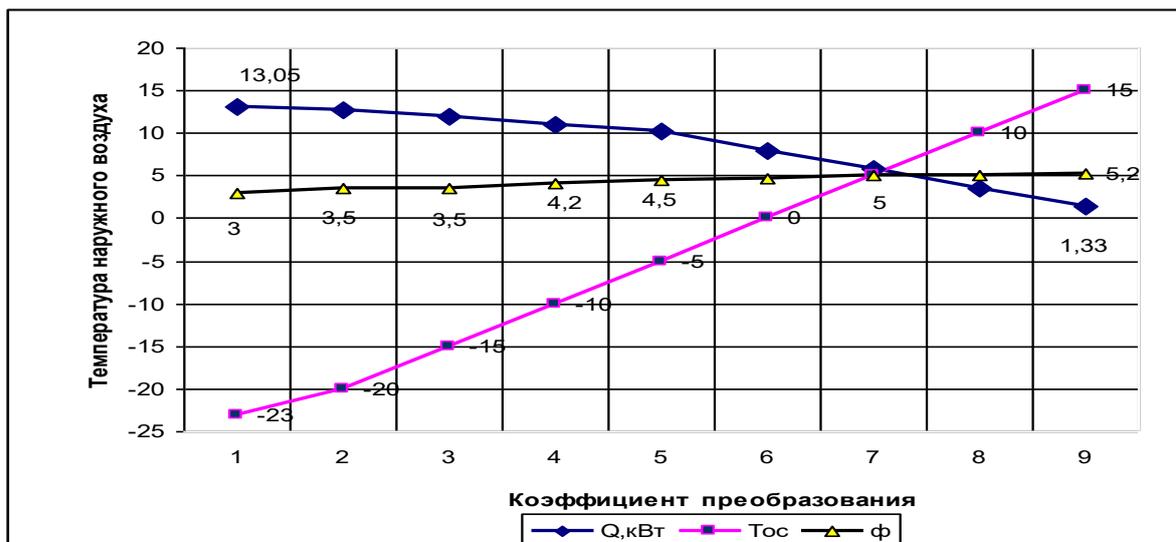


Рис.3. График изменения коэффициента преобразования  $\phi$  в зависимости от разности температур  $\Delta t$ .

Как видно из рис.3., значения кривых теплотер  $Q$  помещения пересекаются с температурой наружного воздуха равной  $5^{\circ}\text{C}$ ; при значении коэффициента преобразования 5 т.е. эта точка является рабочей точкой для случая, когда в испаритель подается наружный атмосферный воздух с температурой  $T_{oc} = 5^{\circ}\text{C}$ . Область действия КСТНУ при значении коэффициента преобразования  $\phi \geq 4,5$  является наиболее приемлемой для воздушного отопления; когда  $\phi \leq 4,5$ , то область является приемлемой для водяного отопления. В диапазоне наружных температур ниже  $T_{oc} = 5^{\circ}\text{C}$  у КСТНУ не будет достаточной теплопроизводительности для теплообеспечения помещения. Компенсировать недостаток тепловой энергии можно включением дополнительного источника энергии, или выбором установки большей теплопроизводительности, что влечет за собой дополнительный расход электрической энергии.

Для повышения теплопроизводительности КСТНУ [6] наружный воздух нагревается в солнечно-воздушном коллекторе с использованием солнечной радиации. Значения интенсивности прямой и диффузной солнечной радиации в течение дня показано на рис.4 [4].

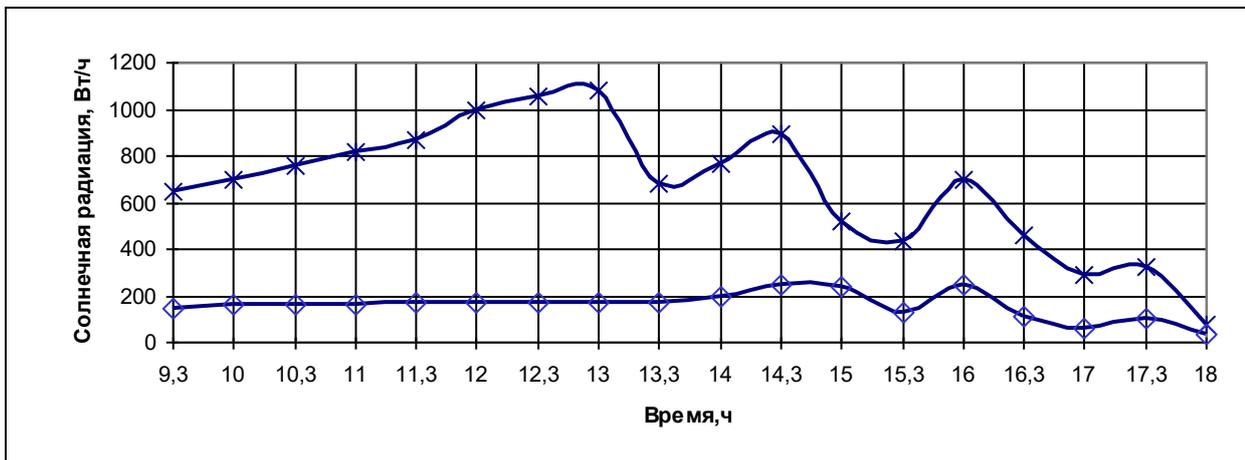


Рис.4. Изменение интенсивности прямой и диффузной солнечной радиации

Как видно из рис.4, максимальное значение прямой солнечной радиации составляет  $1000 \text{ Вт/м}^2$ . При значениях КПД солнечно-воздушного коллектора  $\eta = 0,5-0,6$ , количество полезной энергии, получаемое на выходе из этого коллектора, будет равно  $500-600 \text{ Вт/м}^2$ . Этого количества энергии достаточно, чтобы повысить потенциал наружного атмосферного воздуха на более высокий температурный уровень с целью получить более высокое значение коэффициента преобразования КСТНУ.

Как теплоноситель, воздух есть везде и всегда, поэтому является доступным источником энергии. Использование солнечной радиации для нагрева воздуха в коллекторах, и аккумуляции ее в галечных насадках увеличивает температурный уровень и эффективность источника тепла. Использование же источника теплоты с более высоким температурным уровнем обеспечивает более высокий коэффициент преобразования установки благодаря небольшой разнице температур между источником теплоты и тепловым насосом.

Ниже на рис.5 показано измерения температуры теплоносителя на конденсаторе и на испарителе ТН в КСТНУ [4].

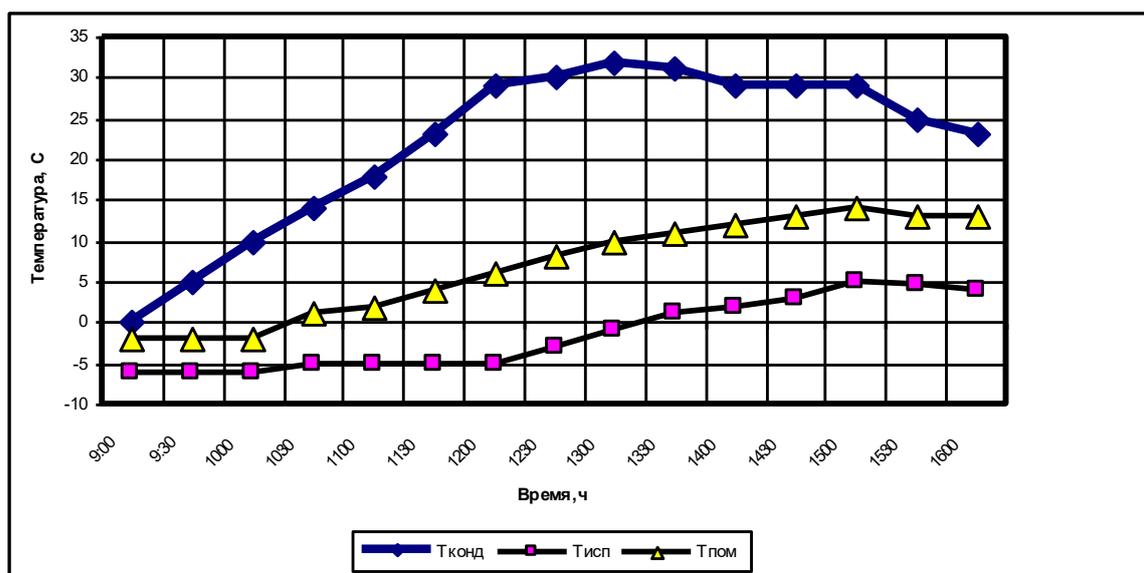


Рис.5. Изменение температуры теплоносителя на конденсаторе  $T_{\text{конд}}$ , на испарителе  $T_{\text{исп}}$  КСТНУ, температуры воздуха в помещении  $T_{\text{пом}}$ .

Как видно из рис.5, в течение дня температура воздуха на выходе из испарителя изменяется от  $-9$  до  $4^\circ\text{С}$ , а на конденсаторе изменяется от  $0$  до  $30^\circ\text{С}$ , температура в

помещении повышается до 10°C. Невысокое значение температуры воздуха в помещении связано с наличием больших теплопотерь через пол, тонкие стены и потолок передвижного вагон-дома.

Изменение коэффициента преобразования КСТНУ в зависимости от изменения температуры теплоносителя на входе испарителя показано на рис.6.

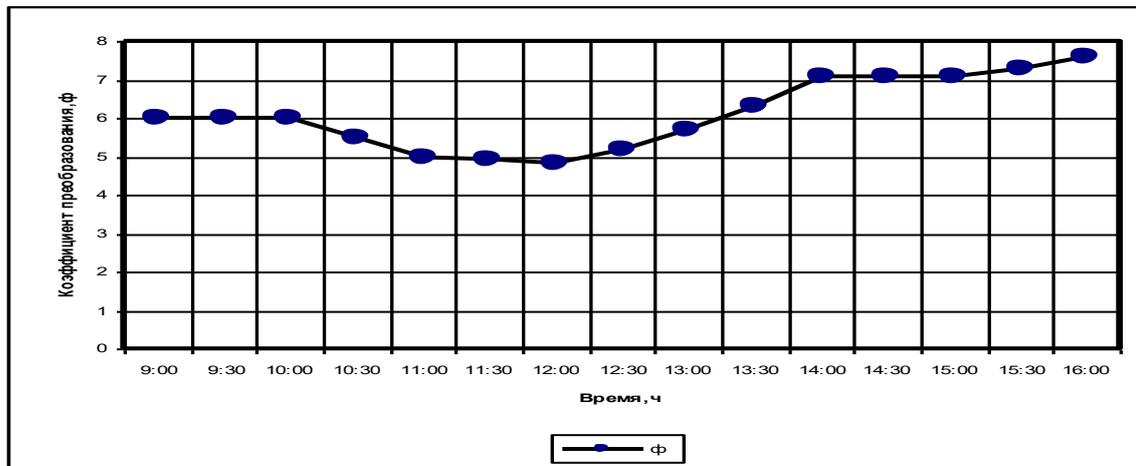


Рис.6. Изменение коэффициент преобразования в КСТНУ

Как видно из рис.6, коэффициент преобразования в ТН достигает значения 5–7, что подтверждает теоретические расчеты о рациональной области работы КСТНУ, приведенные на рис.1.

Таким образом, коэффициент преобразования КСТНУ зависит от выбранных параметров солнечно-воздушного коллектора и установленного режима ее работы, от разности требуемой температуры воздуха для потребителя  $t_n$  и температуры наружного воздуха  $t_n$ , теплофизических свойств рабочего вещества и особенностей термодинамического цикла ТН, а также технического совершенства конструкции теплового насоса.

### Литература

1. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа. – М: Энергия, 1973. – 296 с.
2. Калнинь И.М. Техника низких температур на службе энергетики // Холодильное дело .№1.1996.С.26-30.
3. Обозов А.Дж., Климов И.С. Комбинированная солнечно-теплоснабжающая установка для системы теплоснабжения индивидуальных жилых домов. Энергетическое строительство, 1994. №2.
4. Отчет по научно-исследовательскому проекту «Исследование, разработка методов и создание преобразователей энергии возобновляемых источников» / Руководитель проекта А.Дж. Обозов, исполнители Бердыбаева М.Т. и др., Бишкек, 2002.
5. Бердыбаева М.Т. Методика расчета комбинированных систем солнечно-воздушного отопления зданий / Проблемы автоматики и управления – Бишкек, Илим, 2004, с183-188.
6. Бердыбаева М.Т. Особенности применения комбинированных комбинированной солнечно-теплоснабжающей установки для отопления здания // Научное издание. «Физико-химические основные преобразования солнечной энергии». Алматы, 2007. 102–107с.