

$$-E_{a0} = -I_{a20}Z_2 + U_{a20} + I_{aCY0}Z_{CY} - U_{aCY0} \quad (10)$$

На основании уравнений (5) и (7) (рис. 2, а) построена схема замещения трансформатора со схемой соединения обмоток Y/Y_nСУ для токов прямой и обратной последовательности, а на основании уравнений (6) и (10) – для токов нулевой последовательности, (рис. 2, б).

Выводы

Имея схемы замещения трансформатора Y/Y_nСУ для токов прямой, обратной и нулевой последовательности, можно исследовать влияние симметрирующего устройства на фазные напряжения вторичной стороны трансформатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трехфазный трансформатор: а.с. 1099328 СССР, 1984/ А.П. Сердешнов, Г.И. Янукович, Н.Е. Шевчик и др.

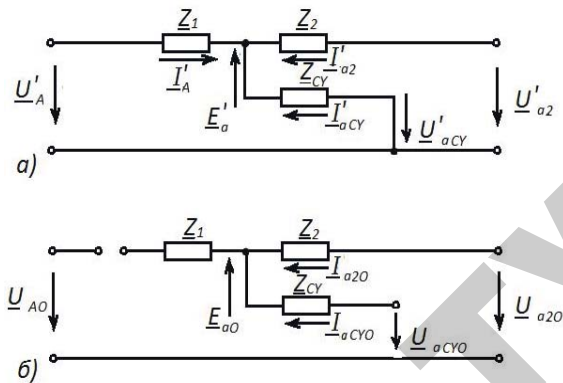


Рисунок 2. Схемы замещения трансформатора Y/Y_nСУ: а - для токов прямой и обратной последовательности; б - для токов нулевой последовательности

2. Янукович, Г.И. Исследование трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-звезда-разомкнутый треугольник» с целью использования его в сельских электрических сетях 380/220 В для повышения качества напряжения: дис. ... канд. техн. наук/ Г.И. Янукович. – Минск, 1975.

УДК 621.577

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 29.02.2012

ПУТИ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ТЕПЛОНАСОСНЫМИ УСТАНОВКАМИ

А.Л. Синяков, канд. техн. наук, доцент, И.А. Цубанов, ст. преподаватель (БГАТУ)

Аннотация

Выполнено обоснование применения теплонасосных установок (ТНУ) в системах теплоснабжения и определена ожидаемая экономия электроэнергии при использовании ТНУ для предварительного нагрева теплоносителя.

The explanation of the use of heat pumping machinery in systems of heat supply has been realized and expected economy of electricity while using heat pumping machines for preliminary heating of heat-transfer has been defined.

Введение

При теплоснабжении объектов, удаленных от котельных или требующих высокого уровня автоматизации процессов теплопотребления, все более широко используется электроэнергия для нагрева сред (теплоносителей) в электротехнологиях, системах отопления и горячего водоснабжения жилых, общественных и производственных зданий [1, 2].

Одним из методов снижения расхода электроэнергии в системах теплоснабжения является создание комбинированных систем, обеспечивающих нагрев теплоносителей, как за счет электроэнергии, так и за счет низкопотенциальной теплоты, используемой с помощью ТНУ.

Согласно СНБ 4.02.01-03, электроэнергия может применяться в системах отопления путем непосред-

ственной трансформации в тепловую энергию или с помощью тепловых насосов.

Рекомендации по использованию ТНУ при отоплении, вентиляции и горячем водоснабжении усадебных жилых домов даны в ТКП 45-4.02-74.

Применение ТНУ в системах теплоснабжения идеально согласуется с государственной энергосберегающей стратегией, т.к. позволяет использовать низкопотенциальную теплоту окружающей среды и тепловых «отходов» вместо органического топлива. На работу ТНУ затрачивается электроэнергия, но количество получаемой от них тепловой энергии в несколько раз больше затрачиваемой электроэнергии.

В мировой практике наблюдается переход от традиционных систем теплоснабжения к широкому использованию в них ТНУ.

В системах теплоснабжения ТНУ могут устанавливаться взамен электроводоподогревателей или вместе с ними по комбинированной (двухступенчатой) схеме «ТНУ – электроводоподогреватель».

Анализ эффективности использования ТНУ совместно с электротеплоносителями был выполнен в работе [3]. Однако при этом была принята высокая степень совершенства термодинамического цикла теплового насоса (ТН), что привело к завышенным значениям как коэффициента преобразования ТН, так и достигаемой экономии электроэнергии.

Цель данного исследования – определить оптимальные параметры работы ТНУ в системах теплоснабжения и выполнить расчет ожидаемой экономии электроэнергии.

Основная часть

Рассчитаем ожидаемое снижение расхода электроэнергии при использовании теплоты ТНУ от источника теплоты низкого потенциала.

В случае использования ТНУ взамен электроводоподогревателя коэффициент уменьшения расхода электроэнергии

$$K = \frac{\eta}{\mu}, \quad (1)$$

где η – КПД электроводоподогревателя; μ – коэффициент преобразования теплового насоса (ТН).

Коэффициент преобразования ТН [4]:

$$\mu = 240(\Delta t_{ТН})^{-1,1}, \quad (2)$$

где $\Delta t_{ТН}$ – разность температур конденсации в конденсаторе ТН и испарения в испарителе ТН, °С.

Методика нахождения коэффициента преобразования основана на определении температур конденсации и испарения в зависимости от температур источников теплоты высокого и низкого потенциалов [4].

Источник теплоты высокого потенциала (ИТВП) – теплоноситель в системе теплоснабжения, в качестве которого обычно используется горячая вода, а источник теплоты низкого потенциала (ИТНП) – окружающая среда или теплые «отходы» технологического оборудования.

Температуры конденсации и испарения хладона,

как и коэффициент преобразования ТН, не могут быть приняты произвольно. Они определяются температурными условиями работы ТН.

Относительное уменьшение расхода электроэнергии при переходе к использованию ТНУ:

$$b = (1 - K) \times 100\%. \quad (3)$$

Анализ энергоэффективности был проведен для двух вариантов:

- вариант А, при котором использованы ТНУ типа «грунт – вода», ИТНП – грунт;
- вариант Б, при котором использованы ТНУ типа «вода – вода», ИТНП – грунтовые воды.

К расчету были приняты следующие исходные данные:

- температура ИТНП равна 8°С;
- при использовании грунтовых вод сумма перепада температуры низкопотенциального теплоносителя в испарителе и минимальных температурных напоров в испарителе и конденсаторе $\Sigma(\Delta t) = 10^\circ\text{C}$;
- при использовании грунта $\Sigma(\Delta t) = 18^\circ\text{C}$ с учетом дополнительно минимального температурного напора в системе отвода теплоты от грунта;
- КПД электроводоподогревателя равен 0,95.

Результаты расчета ожидаемой экономии электроэнергии приведены в зависимости от температуры горячей воды t_1 , °С, подаваемой потребителям (табл. 1).

Экономия электроэнергии при ее использовании с помощью ТНУ вместо прямой трансформации электроэнергии в тепловую энергию зависит от температуры воды, подаваемой тепловым потребителям, и от вида ИТНП.

Исходя из приведенных в табл. 1 данных, следует заключить, что для увеличения экономии электроэнергии необходимо стремиться к уменьшению температуры подаваемой воды до минимально допустимой по условиям работы систем отопления и горячего водоснабжения. В варианте Б ожидаемая экономия электроэнергии при температуре $t_1=75^\circ\text{C}$ составляет 53%, а при $t_1=45^\circ\text{C}$ повышается до 72,6%.

Низкотемпературные системы теплоснабжения создают благоприятные условия для применения ТНУ в системах теплоснабжения. К таким системам относятся системы отопления "водяной теплый пол" и низкотемпературные системы горячего водоснабжения.

Таблица 1. Ожидаемая экономия электроэнергии

Параметры, единицы величин	Источник, номер формулы	$t_1, ^\circ\text{C}$							
		35	40	45	50	55	60	65	75
Вариант А									
$\Delta t_{ТН}, ^\circ\text{C}$	[4]	45	50	55	60	65	70	75	85
μ	(2)	3,65	3,25	2,92	2,66	2,43	2,24	2,08	1,8
$b, \%$	(3)	74	70,7	67,5	64,2	60,9	57,6	54,5	47,5
Вариант Б									
$\Delta t_{ТН}, ^\circ\text{C}$	[4]	37	42	47	52	57	62	67	77
μ	(2)	4,52	3,93	3,48	3,11	2,81	2,56	2,35	2,02
$b, \%$	(3)	79	75,8	72,6	69,5	66,2	62,9	59,6	53

Согласно СНБ 4.02.01–03, температура по оси нагревательного элемента теплого пола не должна превышать значений 35–37°C. На свиноводческих фермах используется электроотопление с водообогреваемым полом [2]. В этих случаях температура подачи нагретой воды составит 35-45°C, а коэффициент преобразования – 3,5-4,5. Ожидаемая экономия электроэнергии будет находиться в пределах 67-80%. Теплый пол и тепловой насос – это наиболее эффективное сочетание оборудования, способствующего сбережению электроэнергии. Тепловая энергия в этом случае «производится» экономно за счет низкопотенциальной теплоты.

Низкотемпературная система горячего водоснабжения характерна для детских дошкольных учреждений, в которых ТКП 45-4.01-52 ограничивает температуру подаваемой воды значением 37°C.

Для повышения экономии электроэнергии могут найти применение схемы «ТНУ – ТНУ» с последовательным соединением по нагреваемой воде двух ТНУ (рис. 1).

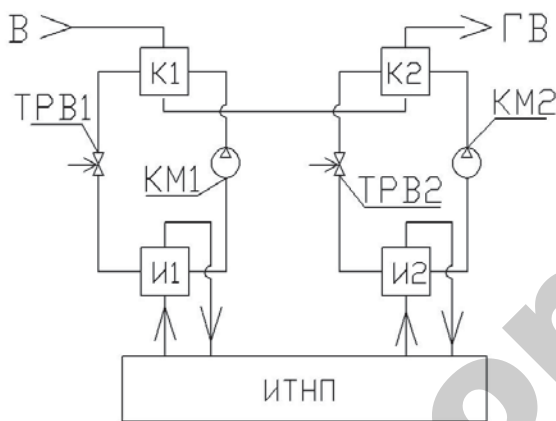


Рисунок 1. Функциональная схема соединения двух ТНУ

Вода (В) с начальной температурой τ_0 поступает в конденсатор (К1) первой ТНУ, где нагревается до температуры t_1 . В конденсаторе (К2) второй ТНУ происходит нагрев этой воды до конечной (заданной) температуры τ_1 . Горячая вода (ГВ) направляется тепловым потребителям.

ИТНП с температурой t_2 подается в испарители (И1) и (И2) первой и второй ТНУ, в которых охлаждается до температуры t_3 .

На схеме показаны терморегулирующие вентили (ТРВ1) и (ТРВ2) и компрессоры (КМ1) и (КМ2).

Коэффициент уменьшения расхода электрической энергии при использовании схемы «ТНУ – ТНУ» определяется как

$$K_1 = \frac{\eta}{\tau_1 - \tau_0} \times \left(\frac{t_1 - \tau_0}{\mu_1} + \frac{\tau_1 - t_1}{\mu_2} \right), \quad (4)$$

где μ_1 и μ_2 – коэффициенты преобразования первого и второго ТН.

Максимальная экономия электроэнергии достигается при оптимальной температуре воды на выходе конденсатора К1:

$$t_{1,опт} = \frac{\tau_1 + \tau_0}{2}. \quad (5)$$

При этом из уравнения (4) находим оптимальный (минимально возможный) коэффициент уменьшения расхода электроэнергии:

$$K_{1,опт} = \frac{\eta_1}{2} \times \left(\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} \right). \quad (6)$$

Расчет был выполнен для рассмотренного выше варианта Б при начальной температуре воды $\tau_0 = 5^\circ\text{C}$ (табл. 2). При расчете экономии электроэнергии в уравнение (3) подставлялось значение $K_{1,опт}$, найденное по формуле (6).

Сопоставляя данные табл. 1 и табл. 2, следует заключить, что переход к последовательному соединению двух ТНУ сопровождается увеличением экономии электроэнергии по сравнению с использованием одной ТНУ. При этом наиболее заметно увеличение экономии электроэнергии при повышенных температурах нагреваемой воды: при $\tau_1 = 75^\circ\text{C}$ от 53 до 64,4%, а при $\tau_1 = 35^\circ\text{C}$ от 79 до 83,5%.

Температура нагрева воды в ТНУ обычно не превышает 75°C , а при необходимости большего нагрева воды предусматривают комбинированную схему «ТНУ – электроводоподогреватель» (рис. 2).

Холодная вода (В) из водопровода с температурой τ_0 поступает в конденсатор (К) ТНУ, где нагревается до температуры t_1 , после чего направляется в электроводоподогреватель (Н), в котором нагревается до требуемой температуры τ_1 . Горячая вода (ГВ) поступает в систему теплотребления.

ИТНП охлаждается в испарителе (И) ТНУ от температуры t_2 до температуры t_3 .

Таблица 2. Ожидаемая экономия электроэнергии при использовании схемы «ТНУ – ТНУ» по варианту Б

Параметры, единицы величин	Источник, номер формулы	$\tau_1, ^\circ\text{C}$							
		35	40	45	50	55	60	65	75
$t_{1,опт}, ^\circ\text{C}$	(5)	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	40
μ_1	(2)	8,0	7,11	6,39	6,26	5,3	4,88	4,52	3,93
μ_2	(2)	4,52	3,93	3,48	3,11	2,81	2,56	2,35	2,02
$K_{1,опт}$	(6)	0,165	0,188	0,21	0,23	0,26	0,285	0,31	0,36
$b, \%$	(3)	83,5	81,2	79	77	74	71,5	69	64

При нагреве воды по комбинированной схеме, при которой электроводоподогреватель используется как доводчик в дополнение к ТНУ, коэффициент уменьшения расхода электроэнергии:

$$K_2 = K \frac{t_1 - \tau_0}{\tau_1 - \tau_0} + \frac{\tau_1 - t_1}{\tau_1 - \tau_0}. \quad (7)$$

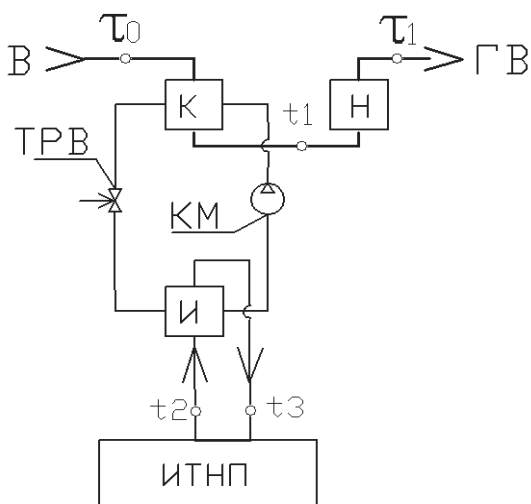


Рисунок 2. Функциональная схема «ТНУ – электроводоподогреватель»

где значение параметра K находят по уравнению (1) с учетом температурного режима работы ТНУ как первой ступени нагрева воды.

Результаты расчета ожидаемой экономии электроэнергии (рис. 3) при комбинированной системе теплоснабжения были получены путем подстановки в уравнение (3) значения K_2 , определяемого по формуле (7).

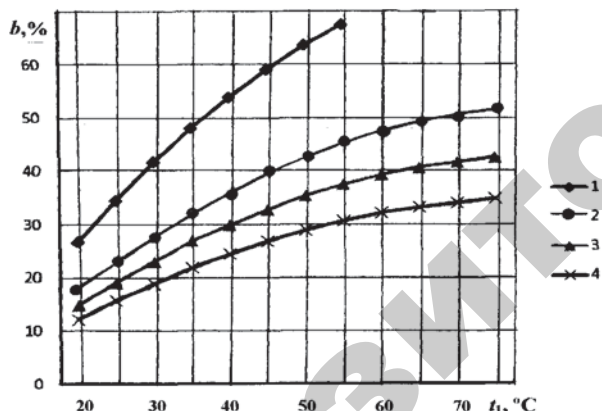


Рисунок 3. Ожидаемая экономия электроэнергии при использовании схемы «ТНУ – электроводоподогреватель»:
1 – при $t_1 = 55^\circ\text{C}$; 2 – при $t_1 = 75^\circ\text{C}$;
3 – при $t_1 = 95^\circ\text{C}$; 4 – при $t_1 = 115^\circ\text{C}$

При расчетах были использованы следующие параметры: $\eta_1 = 0,95$; $\tau_0 = 5^\circ\text{C}$; температура ИТНП (подземные грунтовые воды) $t_2 = 10^\circ\text{C}$ и $\Sigma(\Delta t) = 10^\circ\text{C}$.

С увеличением конечной температуры нагрева воды уменьшается экономия электрической энергии, что объясняется уменьшением коэффициента преобразования ТНУ и увеличением потребления электри-

ческой энергии в электроводоподогревателе при нагреве воды до температур более 75°C .

Наибольшая экономия электроэнергии достигается при нагреве воды до 55°C без использования дополнительного электроводоподогревателя и составляет при этом 67%. В случае необходимости нагрева воды до 95°C экономия электроэнергии уменьшается до значения 42%, а при нагреве до 115°C – до значения 34%.

Заключение

Применение ТНУ в системах теплоснабжения с целью нагрева воды характеризуется значительной ожидаемой экономией электроэнергии в размере 34-77% в зависимости от условий их применения: в основном от вида и температур источников теплоты, как низкого, так и высокого потенциала.

Однако какими бы эффективными не были бы ТНУ, возможности их использования зависят не столько от степени их энергоэффективности и технического совершенства, сколько от тарифной политики государства.

В нашей стране ТНУ применяются очень ограниченно и их массовое освоение вряд ли возможно в ближайшей перспективе из-за сложившейся ситуации в ценах на топливо и электроэнергию и больших капитальных затрат на ТНУ. Низкие тарифы на электроэнергию и низкая стоимость топлива при дефиците топлива и электроэнергии выглядят экономическим парадоксом и не способствуют решению задач энергосбережения.

По примеру передовых в области применения ТНУ стран, фирмы и предприятия, занимающиеся разработкой, производством и внедрением ТНУ, должны иметь гарантированные государством стимулы и финансовую поддержку от государства в виде субсидий, дотаций, льготных кредитов и снижения налога на прибыль, получаемую при производстве и внедрении ТНУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлева, Т. Электронагрев: экономия энергоресурсов, современные технологии, экологическая безопасность, повышенный уровень комфорта / Т. Яковлева // Энергетика и ТЭК, 2010. – №7-8. – С. 12-16.
2. Методические рекомендации по проектированию систем отопления и вентиляции для свиноводческих ферм и комплексов / В.Н.Виноградов [и др.]. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 69 с.
3. Мацко, И.И. Эффективность теплонасосных установок на электродотельных / И.И. Мацко // Энергоэффективность, 2009. – №8. – С.13-15.
4. Цубанов, А.Г. К расчету энергоэффективности применения теплонасосных установок в системах теплоснабжения / А.Г. Цубанов, А.Л. Синяков, И.А. Цубанов // Агропанорама, 2011. – №1. – С. 22-26.