



ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Энергосбережение в зоне децентрализованного теплоснабжения

Огуречников Л. А., доктор техн. наук

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН, Новосибирск

Рассмотрена комбинированная система отопления на базе котельной установки и парокompрессионного теплового насоса с низкокипящим веществом R134a. Проанализированы различные режимы функционирования каждого элемента системы, включая их раздельную и совместную (бивалентную) работу. В качестве критерия эффективности комбинированной системы теплоснабжения принят расход органического топлива. Показано, что применение парокompрессионной теплонасосной техники совместно с котельной установкой в зонах децентрализованного теплоснабжения позволяет существенно снизить потребление органического топлива — от 35–41 до 60–74 % (в зависимости от температуры низкопотенциального источника) по сравнению с автономными традиционными котельными отопительными системами.

Ключевые слова: теплоснабжение, котельная установка, расход топлива, теплонасосная установка, комбинированная система отопления, энергосбережение.

Система теплоснабжения как хозяйственная структура обеспечения жизнедеятельности любой страны заслуживает пристального внимания с точки зрения расхода первичных энергоресурсов, ее капиталоемкости и экологической безопасности. Технический прогресс позволил создать новые ресурсосберегающие и экологически чистые технологии, обеспечивающие надежное и экономичное снабжение потребителей теплотой. Развитие таких технологий на альтернативных теплоисточниках (геотермальных, возобновляемых, вторичных сбросных низкопотенциальных энергоресурсах и др.) дает возможность повысить степень использования теплоты при достигнутой экономии органического топлива и получить экологический эффект в виде сокращения теплового загрязнения окружающей среды и количества выброшенного в атмосферу CO₂, что способствует (несмотря на слабые системные связи) снижению энергоемкости ВВП. Подобные технологии успешно реализуются за рубежом (США, Германия, Швеция и др.). Сегодня Россия отстает в реализации этих технологий от развитых зарубежных стран: в мире эксплуатируется более 90 млн парокompрессионных тепловых насосов, а в России — около 100 шт.

Одно из перспективных направлений развития теплонасосных систем — применение комбинированных технологий теплоснабжения. При этом теплонасосные установки

(ТНУ) могут работать в моновалентном режиме, покрывая самостоятельно (например, весной и осенью) потребности в теплоте, или в бивалентном режиме совместно с котельной установкой (за рубежом — так называемая система “PERCHE”). Тот или иной источник теплоты включается в зависимости от температуры наружного воздуха. При этом ТНУ включаются только в часы сниженных тарифов. Во Франции по системе “PERCHE” отапливается около 20 тыс. квартир. В России установлен единый тариф на электроэнергию для населения. Однако зарубежный опыт привлекателен, он позволяет проанализировать комбинированную технологию теплоснабжения в составе парокompрессионной теплонасосной и котельной установок.

В качестве критерия эффективности комбинированной системы теплоснабжения принят расход органического топлива. Задача исследования заключалась в анализе режимов работы комбинированных систем теплоснабжения на базе котельных установок и парокompрессионных тепловых насосов с низкокипящим веществом R134a с целью дальнейшего повышения эффективности отопительных систем. Рассмотрены различные режимы работы котельной установки и теплового насоса, включая раздельную работу каждого элемента системы и их совместную работу.

Комбинированная система отопления состояла из парокompрессионного теплового

Таблица 1

| Показатель | Исходные значения | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 8 | 0 | - 5 | - 10 | - 15 | - 20 | - 25 | - 30 | - 35 | - 40 |
| $t_{н.в.}, ^\circ\text{C}$ | 8 | 0 | - 5 | - 10 | - 15 | - 20 | - 25 | - 30 | - 35 | - 40 |
| $t_{пр.}, ^\circ\text{C}$ | 32,9 | 47,2 | 53,7 | 60,1 | 66,2 | 72,2 | 78,0 | 83,8 | 89,4 | 95,0 |
| $t_{обр.}, ^\circ\text{C}$ | 29,5 | 39,4 | 43,8 | 48,0 | 52,0 | 55,8 | 59,5 | 63,1 | 66,6 | 70,0 |
| $h_{ст.}, \text{ч}$ | 5450 | 4270 | 3290 | 2430 | 1550 | 910 | 488 | 205 | 89 | 15 |

Примечание. $h_{ст.}$ — число часов стояния со среднесуточной температурой воздуха, равной и ниже данной; $t_{обр.}$ — температура сетевой воды в обратном трубопроводе.

насоса (ТН) и котельной установки (КУ). Установленная тепловая мощность системы принята равной $Q_T = 1$ Гкал/ч с продолжительностью отопительного периода $h = 5450$ ч/год. Температура прямой сетевой воды в подающем трубопроводе в зависимости от температуры наружного воздуха соответствует графику 95/70 $^\circ\text{C}$, что обеспечивается качественным ее регулированием. Критерием эффективности комбинированной системы отопления является минимум расхода условного топлива. Для котельной установки расход условного топлива определяется тепловой нагрузкой и КПД КУ, принятым равным 0,8. В этих условиях годовой расход условного топлива в отопительной системе при работе только КУ

$$B_{к.у} = Q_T / (Q_{н.к.у}^p \eta_{к.у}) = 973,2 \text{ т/год.} \quad (1)$$

Эффективность использования теплонасосной технологии предполагает наличие источника низкопотенциальной теплоты. Поскольку набор источников и диапазон их температур весьма широк, в исследованиях температуру испарения хладона $t_{исп}$ варьировали от 5 до 30 $^\circ\text{C}$. Температура воды в подающем трубопроводе $t_{пр.}$, являющаяся функцией температуры окружающей среды с учетом температурного напора, позволяет определить температуру конденсации хладона $t_{конд.}$ Коэффициент преобразования энергии ϕ_i (низкопотенциального источника и работы сжатия хладона в компрессоре) в ТН определяли по зависимости

$$\phi_i = (0,65 \div 0,75) T_{исп} / (T_{конд} - T_{исп}). \quad (2)$$

В данных условиях был рассмотрен отдельный режим работы ТН и КУ. В работе компрессора ТН имеются ограничения, связанные со степенью сжатия паров низкокипящего вещества $\pi \leq 7$ и с абсолютным давлением хладона за компрессором $p_k = 21 \div 25$ (30) бар. В исследованиях анализировали варианты применения ТН до температуры наружного воздуха $t_{н.в.} = -25$ $^\circ\text{C}$ (табл. 1). С по-

нижением температуры наружного воздуха и соответственно повышением температуры прямой сетевой воды при фиксированной температуре низкопотенциального источника теплоты растет отношение давления за компрессором p_k к давлению хладона на входе в компрессор $p_{исп}$, что приводит к запредельным граничным условиям.

Для реализации оптимальных показателей с $p_k > 17$ бар потребуются компрессоры нового поколения типов 6FE-50YBitzer, 19XRCarrier со ступенчатым сжатием, секционными конденсаторами и охладителями перегретого пара. Создание новых компрессоров обусловлено тем, что они должны обеспечивать качественное регулирование температуры сетевой воды, подаваемой в систему теплоснабжения в течение всего периода их работы в зависимости от температуры наружного воздуха.

Для расчета среднегодового коэффициента преобразования энергии в ТН за период его работы $h_{Т.Н}$ использовали выражение

$$\phi_{ср} = \Sigma(\phi_i h_i) / h_{Т.Н}. \quad (3)$$

Эффективную мощность компрессора рассчитывали по формуле

$$N_e = Q_T / \phi_{ср}, \quad (4)$$

а количество теплоты, вовлеченной в систему теплоснабжения от низкопотенциального источника, определяли как разность

$$Q_{н.п.и} = Q_T - N_e. \quad (5)$$

Расход органического топлива при работе теплонасосной установки находили по количеству потребленной электроэнергии от ОАО-энерго из условия среднего по стране его расхода на выработку электроэнергии 340,5 г/(кВт · ч).

В табл. 2 приведены расходы условного топлива B при отдельной работе ТН и КУ в зависимости от температуры испарения хладона R134a при различных температурах наружного воздуха, разделяющих работу источников теплоснабжения (до — работа ТН, после — работа КУ).

Таблица 2

| Показатель | Значения показателя | | |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| $t_{н.в}, ^\circ\text{C}$ | - 10 | - 15 | - 20 |
| $t_{исп}, ^\circ\text{C}$ | 5/10/15/20/30 | 5/10/15/20/30 | 5/10/15/20/30 |
| $B_{т.н}$ | 355,8/306,4/259,5/212,1/115,8 | 435/376,1/319,9/263,6/145,8 | 488,8/424,4/363,2/300/168,7 |
| $B_{к.у}$ | 276,8 | 162,5 | 87,1 |
| $B_{т.н} + B_{к.у}$ | 632,6/583,2/536,3/488,9/392,6 | 597,5/538,6/482,4/426,1/308,3 | 575,9/511,5/450,3/387,1/255,8 |

Сравнительный анализ показал (рис. 1), что для всех режимов раздельной работы парокompрессионного ТН и КУ высокая температура низкопотенциального источника позволяет уменьшить работу сжатия в ТН и потребление электроэнергии, повысить коэффициент преобразования энергии и сократить расход условного топлива. Это общая закономерность для всех температур окружающей среды. С понижением температуры наружного воздуха возрастает тепловая нагрузка на парокompрессионный ТН, уменьшается коэффициент преобразования энергии, возрастает работа сжатия компрессора и, как следствие, увеличивается расход условного топлива.

При этом происходит перераспределение тепловой нагрузки и сокращение расхода топлива на КУ. Это влияние усиливается с повышением температуры испарения хладагента (температуры низкопотенциального источни-

ка теплоты). В целом с понижением температуры окружающей среды суммарный расход топлива в комбинированной системе теплоснабжения уменьшается (рис. 2). С экономией топлива снижается экологический ущерб, связанный с загрязнением окружающей среды.

При бивалентном режиме работы ТН и КУ обратная сетевая вода (см. табл. 1) подается на вход конденсатора, на выходе из которого температура фреонового пара фиксируется (например, при $t_{н.в} = -15^\circ\text{C}$ $t_{пр} = 66,2^\circ\text{C} = \text{const}$). Дальнейший подогрев сетевой воды, связанный с понижением температуры окружающей среды, осуществляется в КУ. При этом обратная сетевая вода из системы отопления при условии $t_{обр} < t_{пр}$ направляется на подогрев в конденсатор ТН. В таких условиях при $t_{н.в} < -25^\circ\text{C}$ имеет место чисто котельный режим работы. Распределение тепловой нагрузки между ТН и КУ в бивалентном режиме совместной работы теплонасосной и котельной установок осуществляется по температурам подогрева сетевой воды в каждом элементе комбинированной системы отопления. Аналогичная процедура выполняется и для более низких температур окружающего воздуха.

На рис. 3 для указанного диапазона $t_{н.в}$ показан расход топлива на котельную установку без учета работы ТН (кривая 1) и в

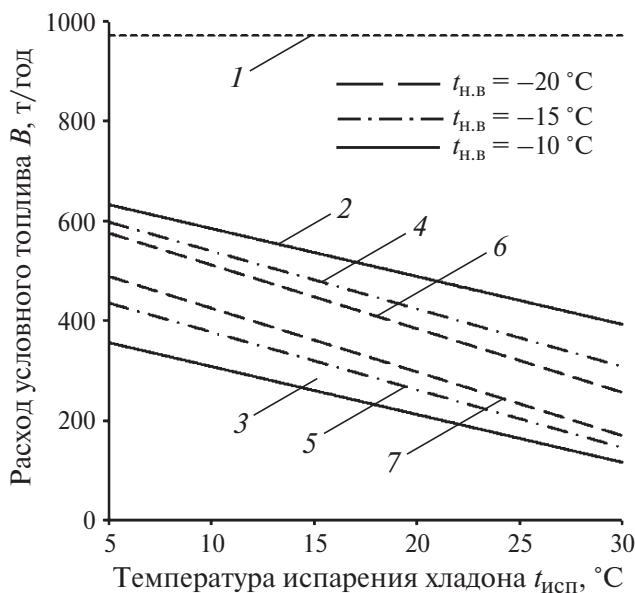


Рис. 1. Зависимости расхода условного топлива на комбинированную систему отопления от температуры испарения хладагента при различных температурах наружного воздуха:

1 — при работе КУ; 2, 4, 6 — суммарный расход топлива при раздельной работе ТН и КУ; 3, 5, 7 — при работе ТН на R134a

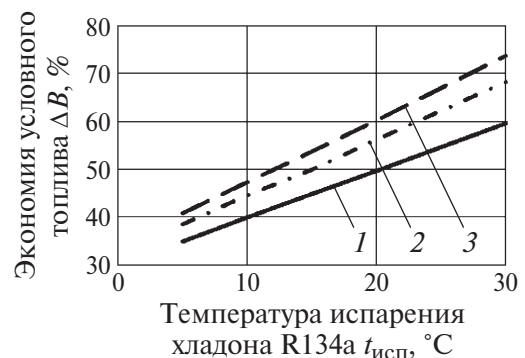


Рис. 2. Зависимости экономии топлива в комбинированной системе отопления от температуры наружного воздуха при различных температурах испарения хладагента R134a:

1 — 3 — при $t_{н.в} = -10, -15, -20^\circ\text{C}$

Таблица 3

| Показатель | Значения показателя | | | | |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| | -15 | -20 | -15 ÷ -20 | -25 | -20 ÷ -25 |
| $t_{н.в}, ^\circ\text{C}$ | -15 | -20 | -15 ÷ -20 | -25 | -20 ÷ -25 |
| $t_{исп}, ^\circ\text{C}$ | 5/10/15/20/30 | 5/10/15/20/30 | 5/10/15/20/30 | 5/10/15/20/30 | 5/10/15/20/30 |
| $B_{т.н}^{бив}$ | 49,2/44,7/40,3/ 36,1/28,1 | 39,2/35,9/32,7/ 29,6/23,5 | 38,8/34,5/34,0/ 30,7/24,5 | 30,8/28,4/25,9/ 23,6/19,2 | 38,6/35,4/32,3/ 29,2/23,5 |
| $B_{к.у}^{бив}$ | 49,1 | 27,6 | 139,9 | 15,8 | 80,3 |
| $B_{т.н}^{бив} + B_{к.у}^{бив}$ | 98,3/93,8/89,4/ 85,2/77,2 | 66,8/63,5/60,3/ 57,2/51,1 | 178,7/174,4/173,9/ 170,6/164,4 | 46,6/44,2/41,7/ 39,4/35,0 | 118,9/115,7/112,6/ 109,5/103,8 |
| $B_{к.у}$ | 114,3 | 75,3 | 189,6 | 50,5 | 125,9 |

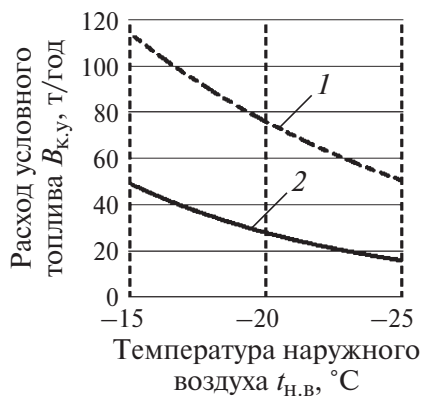


Рис. 3. Зависимости расхода условного топлива на котельную установку от температуры наружного воздуха:

1 — автономная работа КУ; 2 — работа КУ в бивалентном режиме

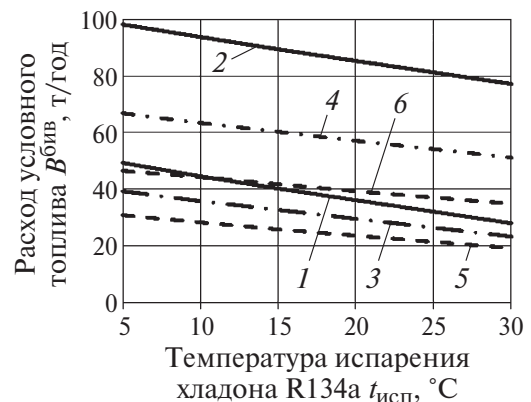
бивалентном режиме (кривая 2). В табл. 3 приведены расходы условного топлива $B^{бив}$ в бивалентном режиме работы комбинированной системы теплоснабжения для температур наружного воздуха -15 , -20 и -25 $^\circ\text{C}$.

Несмотря на уменьшение коэффициента преобразования энергии, с повышением температуры обратной сетевой воды, связанным с понижением $t_{н.в}$, суммарный расход топлива в бивалентном режиме комбинированной системы теплоснабжения уменьшается.

С понижением $t_{н.в}$ уменьшается количество часов стояния среднесуточной температуры воздуха, равной и ниже данной. По этой причине сокращается расход топлива на КУ. Полученные результаты свидетельствуют об экономичности данного режима по сравнению с традиционным котельным режимом теплоснабжения (см. табл. 3, рис. 4).

Выводы

1. Использование парокомпрессионной теплонасосной техники совместно с котельной установкой в зонах децентрализованного теп-

Рис. 4. Зависимости расхода условного топлива в бивалентном режиме работы системы ТН и КУ от температуры охлаждения хладагента при температурах наружного воздуха $t_{н.в} = -15$, -20 , -25 $^\circ\text{C}$:

1, 3, 5 — при работе ТН; 2, 4, 6 — при работе ТН и КУ

лоснабжения позволяет существенно снизить потребление органического топлива при различных режимах работы элементов системы (раздельном, бивалентном) по сравнению с автономными традиционными отопительными котельными системами и повысить экологическую эффективность системы теплоснабжения.

2. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности ресурсосберегающего бивалентного режима работы комбинированной системы теплоснабжения и возможности его практического применения.

3. Наличие двух независимых теплоисточников повышает надежность теплоснабжения потребителей. При этом тепловая мощность котельной установки как пикового теплоисточника может быть существенно уменьшена исходя из общего теплового баланса комбинированной системы теплоснабжения и технических возможностей выбранного компрессора.