

УДК 644.11:697.1:697.3

©Цыганов В.И.<sup>1</sup>, Житаренко В.М.<sup>2</sup>

## РЕЖИМЫ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

*Рассмотрены основы комбинированных схем теплоснабжения. Одна из возможных схем была рассчитана для трех температурных графиков: 95/70, 130/70 и 150/70°C. Определен коэффициент использования топлива, а также рассчитана эффективность комбинированной схемы теплоснабжения.*

**Ключевые слова:** теплоснабжение, тепловой насос, газопоршневой двигатель, утилизатор, режим работы, доля теплоты

*Цыганов В.И., Житаренко В.М. Режимы работы комбинированных систем теплоснабжения. Рассмотрены основы комбинированных схем теплоснабжения. Одна из возможных схем была рассчитана для трех температурных графиков: 95/70, 130/70 и 150/70 °C. Определено коэффициент использования топлива, а также рассчитана эффективность комбинированной схемы теплоснабжения.*

**Ключевые слова:** теплоснабжение, тепловой насос, газопоршневой двигатель, утилизатор, режим работы, тепловая часть

*V.I.Ciganov, V.M.Zhitarenko Modes of combined heat supply systems. The basics of combined heating schemes. One possible scheme has been calculated for the three temperature profiles 95/70, 130/70 and 150/70°C. Defined fuel utilization factor and calculated efficiency of the combined heating schemes.*

**Keywords:** heating, heat pump, gas engines, recovery, mode of operation, the proportion of heat

**Постановка проблемы.** Одним из направлений развития энергосбережения является альтернативное теплоснабжение. Такое теплоснабжение повышает эффективность систем теплоснабжения за счет комплексного использования различных источников энергии.

Основными причинами, ограничивающие использование альтернативных источников теплоснабжения, являются значительные капиталовложения, сезонная неравномерность производства электроэнергии, зависимость от географического положения и т.д.

Одним из способов повышения эффективности систем теплоснабжения является использование тепловых насосов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Тепловые насосы позволяют переносить тепло от более холодного тела к более горячему посредством испарения и конденсации, использовать теплоту практически всех окружающих сред: воды, воздуха, грунта [1]. Теплонасосные установки давно доказали свою эффективность благодаря тому, что передают потребителю в 3 – 5 раз больше энергии, чем затрачивают сами на ее передачу [2-3]. Кроме того, в тепловых насосах используются экологически чистые технологии практически без выбросов вредных веществ в окружающую среду.

При сжигании ископаемого топлива в водогрейных котлах с температурой 1000 - 1500 °C вода нагревается до 100 - 150 °C, а эксергия топлива снижается в 10 раз.

В тепловых насосах реализуется идея перекачки теплоты от низкотемпературного источника, в пределах соответствующем температурным параметрам окружающей среды. В этом случае разность температур источника и потребителя тепловой энергии будет минимальной.

Существует два пути использования ТН совместно с тепловыми двигателями [4-5]:

- применение теплового двигателя в качестве привода ТН (вместо электродвигателя; при этом существует возможность изменения частоты вращения компрессора ТН в зависимости от

<sup>1</sup>ст. преп., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup>ст. преп., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

режима работы).

- утилизация ВЭР теплового двигателя с помощью теплового насоса в одной схеме с ТД.

Принципиальная схема варианта комбинированной системы теплоснабжения представлена на рис.1. Установка состоит из теплового насоса (ТН), газопоршневого агрегата (ГПА), теплообменника системы охлаждения (ТСО), теплообменника утилизации газов (ТУГ) и водогрейного котла (ВК) [6].

Вода из системы теплоснабжения потребителя (8) поступает в конденсатор теплового насоса (1), где происходит теплоотдача от рабочего тела - хладона. После теплового насоса вода поступает в теплообменник системы охлаждения (5).

В этом теплообменнике охлаждающая вода отдает тепловую энергию сетевой воде, охлаждается и возвращается в контур охлаждения ГПА (4). После ТСУ сетевая вода поступает в теплообменник утилизации газов (6). Происходит процесс теплоотдачи уходящими газами от ГПА. Для покрытия необходимой нагрузки в холодный период используется пиковый водогрейный котел (7).

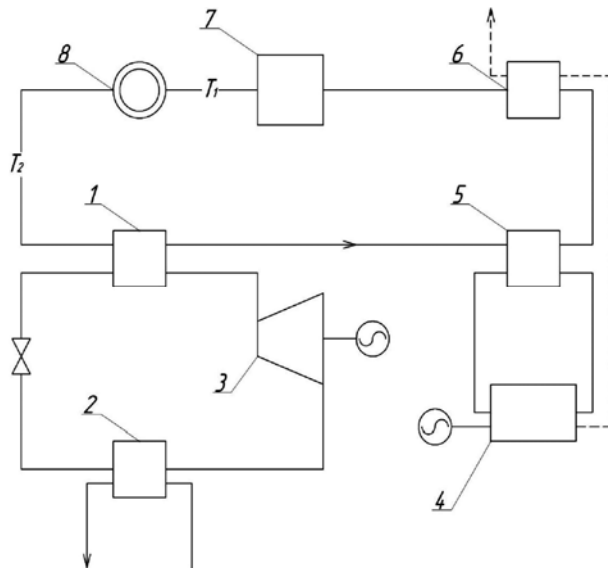


Рис. 1 – Принципиальная схема комбинированной системы теплоснабжения:

1 – конденсатор; 2 – испаритель; 3 – компрессор; 4 – ГПА; 5 – ТСО; 6 – ТУГ; 7 – ВК; 8 – потребитель

**Цель статьи** – анализ эффективности комбинированной системы теплоснабжения на основе отопительного котла, теплонасосной установки и газопоршневого двигателя, определение режимов работы комбинированной системы в зависимости от температуры наружного воздуха.

**Изложение основного материала.** Относительная нагрузка зависит от температуры наружного воздуха и увеличивается с понижением этой температуры. В соответствии с относительными нагрузками определяется температуры в подающей и обратной магистралях тепловой сети по формулам:

$$\tau_1 = t_{вн} + \Delta t_{пр} \cdot \bar{Q}^{0,8} + \left(\delta t - \frac{\theta}{2}\right) \cdot \bar{Q} \quad (1)$$

$$\tau_2 = t_{вн} + \Delta t_{пр} \cdot \bar{Q}^{0,8} - \frac{\theta}{2} \cdot \bar{Q} \quad (2)$$

где  $\Delta t_{пр}$  - расчетный температурный в нагревательных приборах системы отопления;

$\delta t$  - расчетный температурный перепад тепловой сети;

$\theta$  - расчетный температурный перепад в системе отопления.

Т.к. для нужд теплоснабжения используется качественно-количественное регулирование, то минимальная температура воды в подающей линии ограничена в 70°C. В соответствии с (1) и (2) температура воды в обратной линии равна 41.7°C, а температура наружного воздуха составляет 3.5°C.

Первым элементом схемы является тепловой насос.

Примем температуры низкопотенциального источника теплоты и температуру воды после теплового насоса 30 и 80°C соответственно. Тогда температура конденсации хладона составляет 85 °C (358 K), температура кипения хладона составит 25 °C.

Коэффициент преобразования вычисляется по формуле:

$$\mu_0 = \frac{T_k}{T_k - T_0} \quad (3)$$

где  $T_K$  - температура конденсации хладона;

$T_0$  - температура низкопотенциального источника теплоты;

Реальный коэффициент преобразования с учетом всех потерь рассчитывается по формуле:

$$\mu = \eta_{ТН} \cdot \mu_0 \quad (4)$$

Нагрузка, покрываемая тепловым насосом, определяется по формуле:

$$Q_{ТН} = G_{св} \cdot c_p \cdot (t_1 - t_2) \quad (5)$$

Рассчитывается  $Q_{ТН}$  при различных температурах наружного воздуха

Нагрузка на блок утилизации (БУ) принимается равной электрической нагрузке, вырабатываемой на нужды теплового насоса.

$$Q_{БУ} = \frac{Q_{ТН}}{\mu_0} \quad (6)$$

В случае необходимости покрытия нагрузки подключается пиковый водогрейный котел.

Нагрузка на котел рассчитывается как разность полной нагрузки и нагрузки на тепловой насос и блок утилизации, т.е. нагрузка определяется по формуле

$$Q_K = Q_{полн} - (Q_{ТН} + Q_{БУ}) \quad (7)$$

где  $Q_{полн}$  – полная нагрузка.

Доли, покрываемые элементами схемы в зависимости от температуры наружного воздуха и, соответственно, от продолжительности нагрузки рассчитаны на основании предыдущих расчетов. Данные зависимости изображены на рис. 2 и 3.

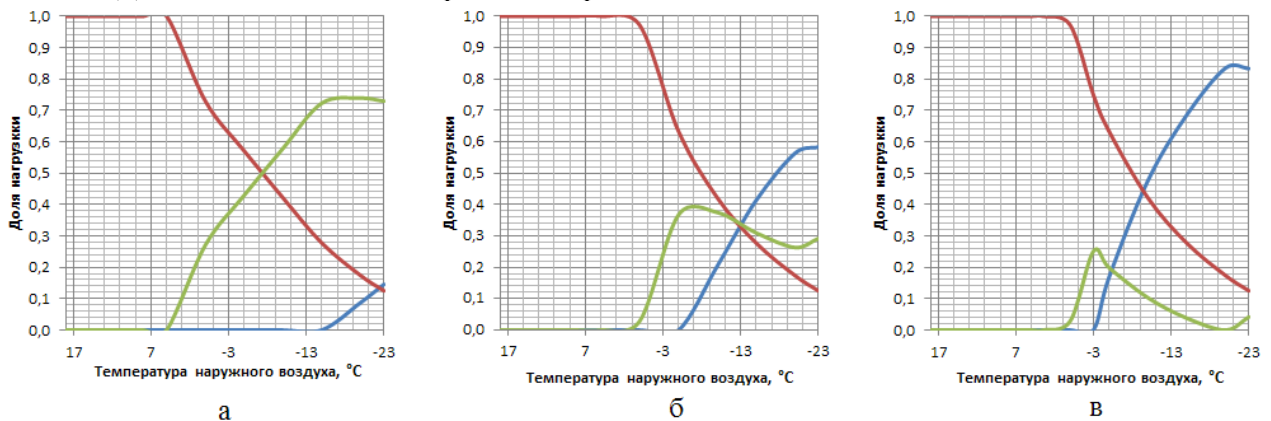


Рис. 2 – Зависимости доли, покрываемых элементами схемы от температуры наружного воздуха при температурном графике: а – 150/70°C, б – 130/70°C; в - 95/70°C

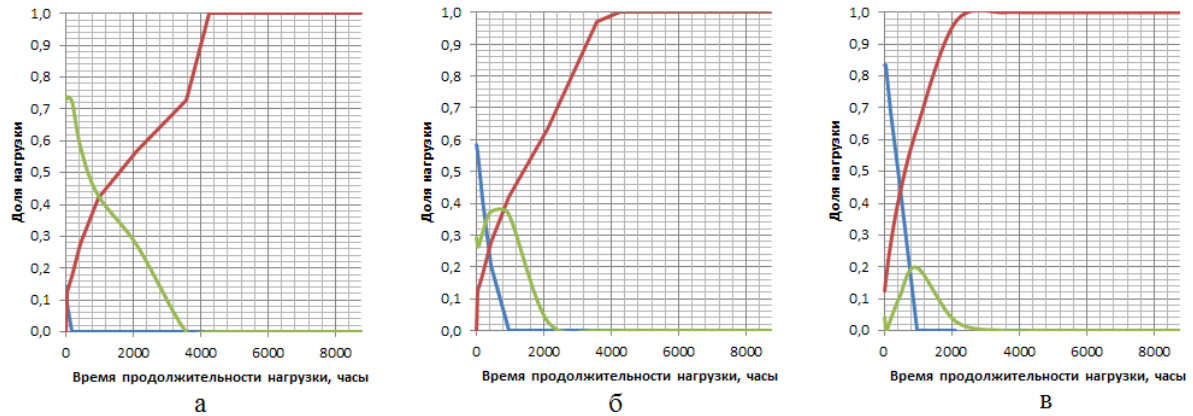


Рис. 3 – Зависимости доли, покрываемых элементами схемы от продолжительности нагрузки при температурном графике: а – 150/70°C, б – 130/70°C; в – 95/70°C

На основании предыдущих расчетов и учетом нагрузки сопоставим нагрузки, покрываемые отдельными элементами схемы, строится график зависимости нагрузки от температуры наружного воздуха (рис.4).

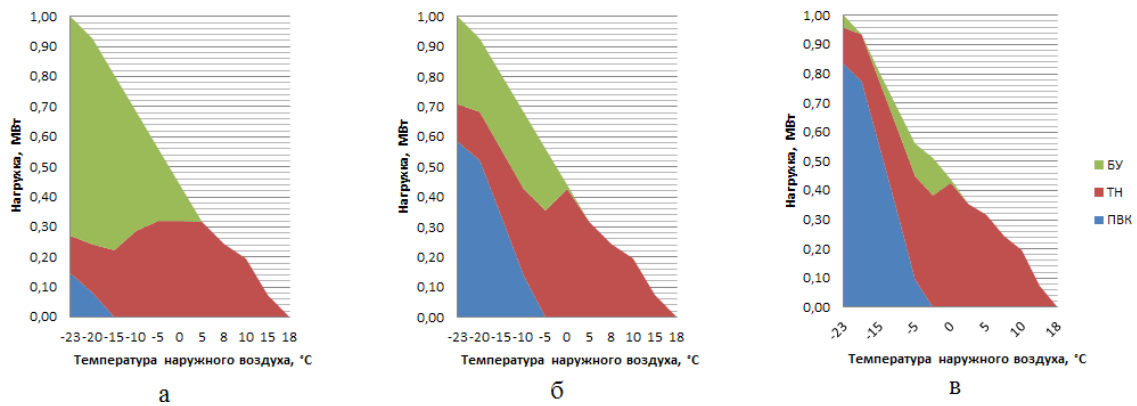


Рис. 4 – График зависимости нагрузки элементов от температуры наружного воздуха: а – 150/70°C, б – 130/70°C; в – 95/70°C

Коэффициент использования топлива - часть тепла, имеющегося в топливе, которая будет реально затрачена на получение конечных продуктов переработки (электрической энергии и тепла).

Определяется по формуле (8):

$$\text{КИТ} = \frac{Q}{Q_{\text{БК}} + \mu_0 \cdot N_{\text{эл}} + Q_{\text{БУ}}} \quad (8)$$

Графически эти данные для графика 150/70 °C отображены на рис.5.

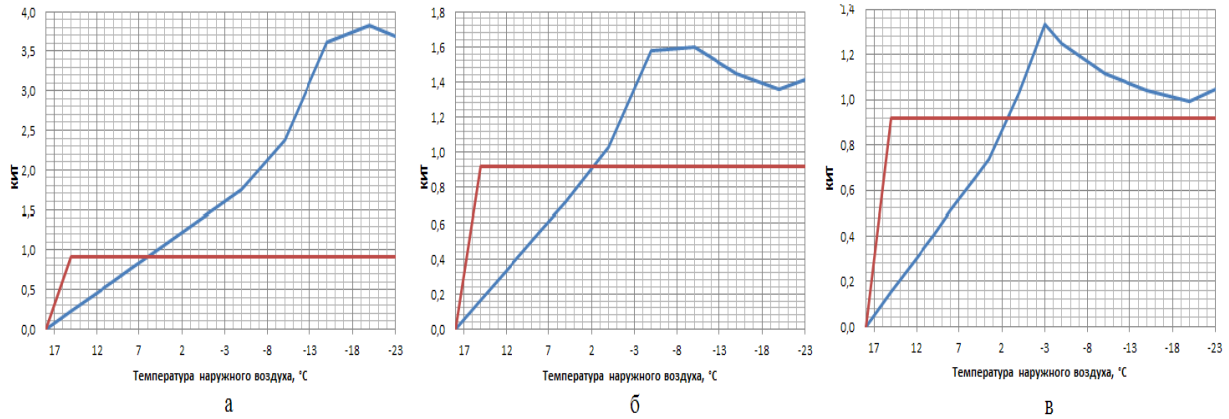


Рис. 5 – Зависимость КИТ от температуры наружного воздуха: а – 150/70°С, б – 130/70°С; в – 95/70°С

Для определения эффективности использования данной схемы подключения теплового насоса, блока утилизации и водогрейного котла необходимо посчитать экономию топлива. Сокращение расхода топлива определяется по формуле, приведенной ниже.

$$\Delta B = B_{ВК} - B_{КС}, \tag{9}$$

где  $B_{ВК}$  - расход топлива при использовании только водогрейного котла;

$B_{КС}$  - расход топлива на систему теплоснабжения в случае применения одного источника – водогрейного котла.

Формулу (7) с учетом долей нагрузки на элементы схемы можно привести к виду:

$$\Delta B = \frac{1}{\eta_K} - \left( \frac{\bar{Q}_K}{\eta_K} \right). \tag{10}$$

Графически зависимость экономии топлива от температуры наружного воздуха изображена на рис. 6

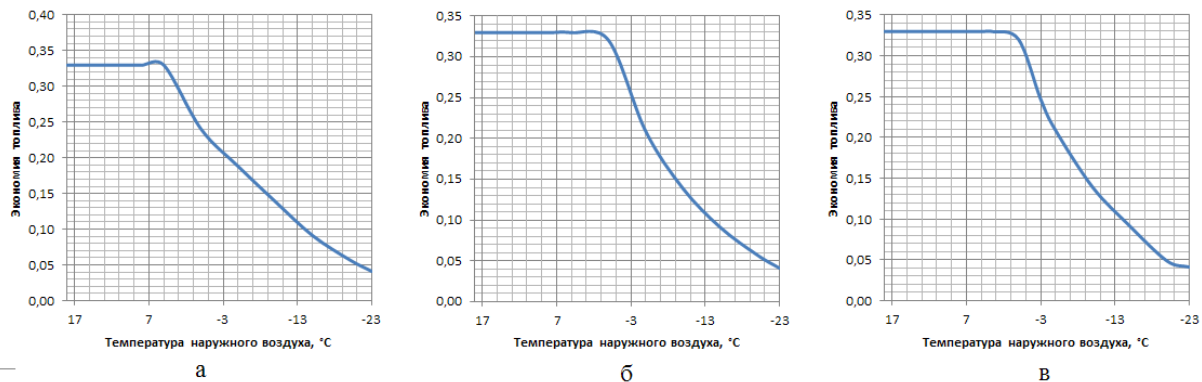


Рис. 6 – Зависимость экономии топлива от температуры наружного воздуха: а – 150/70°С, б– 130/70°С; в – 95/70°С

### Выводы

1. Применение комбинированных систем теплоснабжения позволяет снизить расход топлива по сравнению с одним источником – водогрейным котлом. При повышении температуры наружного воздуха от -23°С до +18°С экономия топлива находится в пределах от 4 до 33%.

2. Наиболее эффективным является температурный режим 95/70°C. При этом режим доля нагрузки на водогрейный котел минимальна и, соответственно, максимальная экономия топлива.
3. В большую часть отопительного периода (около 2600 часов) коэффициент использования топлива больше чем при использовании только традиционного источника – водогрейного котла.

**Список использованных источников:**

1. Клименко В.Н. Некоторые особенности применения парокompрессионных тепловых насосов для утилизации теплоты отопительных котлов/ В.Н. Клименко//Промышленная теплотехника. – 2011. - №5. – с.42-48.
2. Долинский А.А. Тепловые насосы в теплоснабжении/А.А. Долинский, Е.Т. Базеев, А.И. Чайка// Журнал Промышленная теплотехника. – 2006. - №2. – с.99-105.
3. Попов А.В. Новейшие возможности использования тепловых насосов/А.В. Попов// Журнал Промышленная энергетика. – 2011. - №4. – с.46-50.
4. Колесниченко Н.В. Оценка целесообразности использования тепловых насосов в Украине/Н.В. Колесниченко, Г.Е. Константинов, М.А. Дмитренко// Журнал Промышленная теплотехника. – 2011. - №5. – с.67-73.
5. Драганов Б.Х. К вопросу о тепловых насосах/Б.Х. Драганов, А.В. Мищенко// Журнал Промышленная теплотехника. – 2006. - №2. – с.94-98.
6. Гаряев А.Б. Система теплоснабжения на основе тепловых насосов, утилизирующих теплоту влажных газов/ А.Б. Гаряев, Е.В.Цепляева, Г.П.Шаповалова// Журнал Промышленная энергетика. – 2010. - №8. – с.25-29.

**Bibliography:**

1. Klimenko V.N. Some features of the application vapor compression heat pumps for heat recovery heating cats / V.N. Klimenko // Industrial Heat . - 2011 . - № 5 . - P.42- 48.(Rus.)
2. Dolinsky A.A. Heat pumps in heating / A.A . Dolinsky , E.T. Database , A.I. Seagull // Journal of Industrial Heat . - 2006 . - № 2 . - p.99 -105. (Rus.)
3. Popov A.V. The latest possibility of using heat pumps / A.V. Popov // Journal of Industrial Energy. - 2011 . - № 4 . - p.46- 50. (Rus.)
4. Kolsnichenko N.V. Assessment of the feasibility of using heat pumps in Ukraine / N.V . Kolesnichenko , G.E. Konstantinov, M.A. Dimitrenko // Journal of Industrial Heat . - 2011 . - № 5 . - p.67- 73. (Rus.)
5. Draganov B.C. On the heat pump / B.C.Draganov , A.V. Mihchenko // Journal of Industrial Heat . - 2006 . - № 2 . - p.94- 98. (Rus.)
6. Garyaev A.B. Heating system based on heat pumps, heat utilizing wet gas / A.B. Garyaev , E.V.Tseplyaeva , G.P.Shapovalova // Journal of Industrial Energy . - 2010 . - № 8.-p.25 -29. (Rus.)

Рецензент В.А.Маслов,  
д-р техн. наук, проф ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 28.04.2014