

УДК 697.329

Боднар І.А., Денисова А.Е., Бухкало С.І.

## ПРИМЕНЕНИЕ ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ ФРЕОНОВ В ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛА ГРУНТОВЫХ ВОД

**Введение.** Одним из альтернативных методов энергообеспечения является использования низкотемпературного естественного тепла грунтовых вод земли на основе применения теплонасосных установок (ТНУ), которые позволяют получить экологически чистую энергию. В качестве рабочих тел ТНУ чаще всего используются фреоны, которые во время работы ТНУ совершают обратный цикл и изменяют свое агрегатное состояние. Фреоны легче воздуха и обладают высокой устойчивостью. При утечке из ТНУ они поднимаются в верхние слои атмосферы на высоту до 50 км, где разлагаются под действием ультрафиолетового излучения, в результате чего выделившийся хлор взаимодействует с озоном, что приводит к разрушению озонового слоя Земли [1].

Согласно Монреальского протокола, принятого в 1987 г., каждый фреон характеризуется потенциалом ODP, который представляет собой степень разрушения озонового слоя и берется относительно потенциала ODP фреона R11, принятого за единицу [2]. Фреоны, применение которых возможно в ТНУ, разделяют на три группы: 1) особо озоноопасные (R11, R12, R113, R114, R500), производство которых намечено сокращать; 2) озоноопасные (R21, R22, R123, R124, R141b, R142b, R401a, R401b, R401c, R406a); 3) экологически безопасные фреоны (R134a, R152a, R290, R600, R600a, RC318) [1].

**Цель.** Исследование энергетической эффективности рассмотренной схемы ТНУ с использованием экологически безопасных фреонов R134a, R152a, R290, которые целесообразно применять для систем теплоснабжения с использованием тепла грунтовых вод для полного покрытия тепловой нагрузки на отопление при температуре наружного воздуха  $t_0 = -16...8\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Анализ схемы ТНУ геотермального теплоснабжения.** В работе рассмотрена перспективная схемы ТНУ, приведена методика ее расчета. Схема установки отопления от источника грунтовых вод земли (рис. 1) включает в себя заборную скважину 1 оснащенную откачивающим специальным насосом 3, который подает низкопотенциальный источник тепла (грунтовую воду) в испаритель 4, где отдает свое тепло фреону и поступает в поглощающую скважину 2.

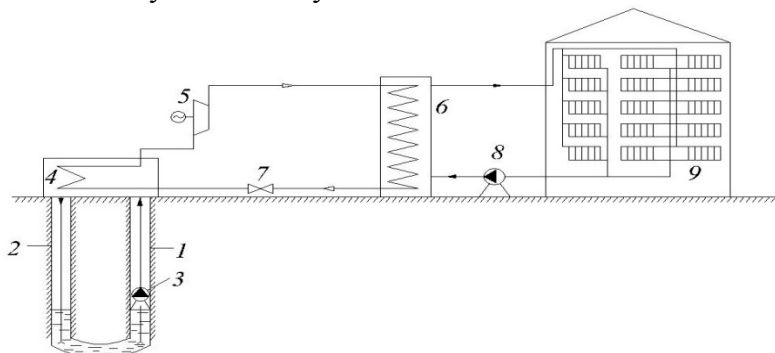


Рисунок 1 – Схема ТНУ от источника грунтовых вод

В испарителе фреон закипает, пар которого всасывается компрессором 5, где происходит его сжатие, при этом температура и давление фреона значительно повыша-

ється. Затем фреон подається в конденсатор 6, охолоджується водою, котра і буде високопотенціальним джерелом тепла, який подається в систему опалення 9, оснащений циркуляційним насосом 8. Віддав своє тепло, пар фреона конденсується і в стані рідкого фреона через дросельний вентиль 7, де його температура і тиск падає, поступає назад в випарник [1].

**Методика розрахунку ТНУ на базі геотермальних джерел.** Для аналізу енергетичної ефективності застосування розглянутої схеми ТНУ використаємо методику [1], реалізовану за допомогою програми CoolPack в  $p, h$ -діаграмі (рис. 2).

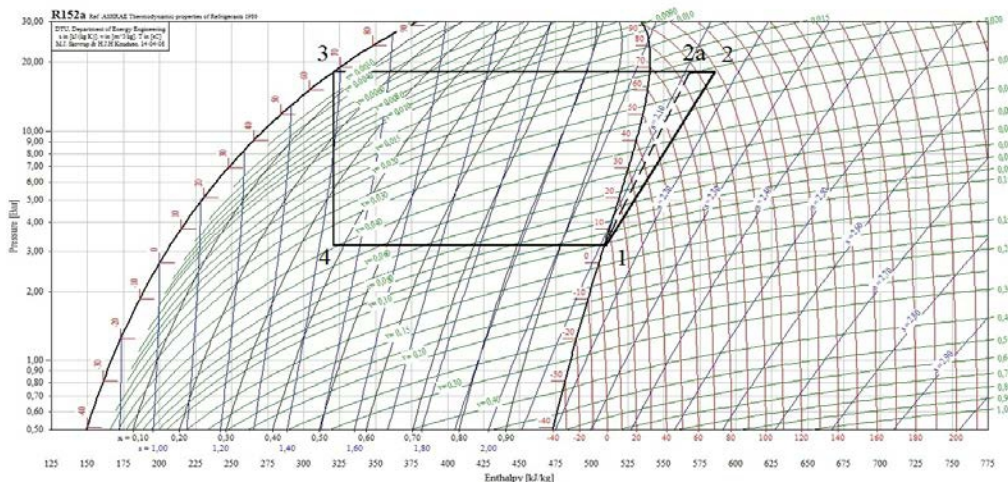


Рисунок 2 – Цикл ТНУ на базі ґрунтової енергії

Температура випаровування хладагента  $t_{и}$ , по якій можна визначити ентальпію  $h_1$  і тиск  $P_{и}$  фреона після випарника

$$t_{и} = t_{н2} - \Delta t_{и}, \quad (1)$$

де  $t_{н2}$  – температура низькопотенціального джерела тепла, °C;  $\Delta t_{и}$  – перепад температур на виході з випарника, К.

Температура конденсації хладагента  $t_{к}$ , по якій можна визначити ентальпію  $h_3$  і тиск  $P_{к}$  фреона після конденсатора

$$t_{к} = t_{в2} + \Delta t_{к}, \quad (2)$$

де  $t_{в2}$  – температура високопотенціального джерела тепла на виході з випарника, °C;  $\Delta t_{к}$  – перепад температур на виході з конденсатора, К.

Адиабатний ККД компресора

$$\eta_a = 0,98(273 + t_0) / (273 + t_k), \quad (3)$$

де  $t_0$  – температура зовнішнього повітря, °C.

Ентальпія хладагента після компресора

$$h_2 = h_1 + (h_{2a} - h_1) / \eta_a, \quad (4)$$

где  $h_{2a}$  – энтальпия фреона после конца адиабатного сжатия, кДж/кг.

Удельная тепловая нагрузка конденсатора  $q_k$

$$q_k = h_2 - h_3, \text{ кДж/кг.} \quad (5)$$

Удельная тепловая нагрузка ТНУ

$$q_{\text{ТН}} = q_k, \text{ кДж/кг.} \quad (6)$$

Работа сжатия в компрессоре

$$l_{\text{сж}} = h_2 - h_1, \text{ кДж/кг.} \quad (7)$$

Коэффициент преобразования теплоты

$$\mu = q_{\text{ТН}} / l_{\text{сж}}. \quad (8)$$

Массовый расход фреона

$$G_{\text{ха}} = Q_{\text{ТН}} / q_{\text{ТН}}, \text{ кг/с,} \quad (9)$$

где  $Q_{\text{ТН}}$  – тепловая нагрузка ТНУ, кВт.

Для расчета энергетической эффективности рассматриваемой схемы ТНУ (рис. 1) будем использовать следующие исходные данные: температура низкопотенциального источника тепла на входе в испаритель ТНУ  $t_{\text{н1}} = 20$  °С; температура низкопотенциального источника тепла на выходе из испарителя ТНУ  $t_{\text{н2}} = 10$  °С;

В зависимости от температуры наружного воздуха  $t_0 = -16...8$  °С температуры высокопотенциального источника тепла на входе в систему отопления и на выходе из системы отопления  $t_{\text{в2}}$  и  $t_{\text{в1}}$  получены графики (рис. 3) изменения нагрузки на отопление 5-ти этажного здания на 60 квартир [3], т.е. тепловой нагрузки ТНУ  $Q_{\text{ТН}}$ , кВт (рис. 4).

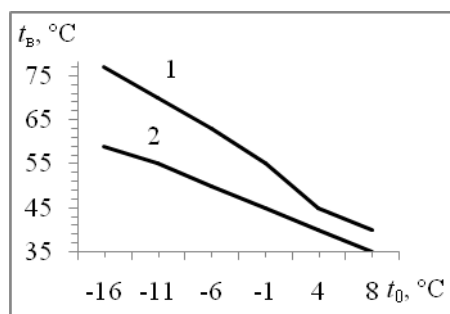


Рисунок 3 –

1 – зависимость подающего теплоносителя  $t_{\text{в2}}$ ; 2 – обратного теплоносителя  $t_{\text{в1}}$  от температуры наружного воздуха  $t_0$

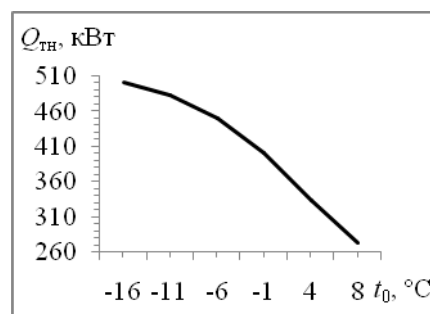


Рисунок 4 – Зависимость тепловой нагрузки ТНУ  $Q_{\text{ТН}}$  от температуры наружного воздуха  $t_0$

Перепады температур на выходе из теплообменников  $\Delta t_k = \Delta t_{\text{и}} = 5, \text{ К}$ .

Для анализа энергетической эффективности были получены следующие зависимости (рис. 5–6).

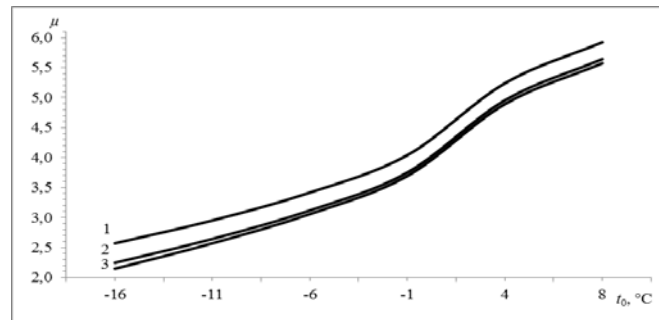


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента преобразования теплоты  $\mu$  от температуры наружного воздуха  $t_0$ : 1 – R152a; 2 – R134a; 3 – R290

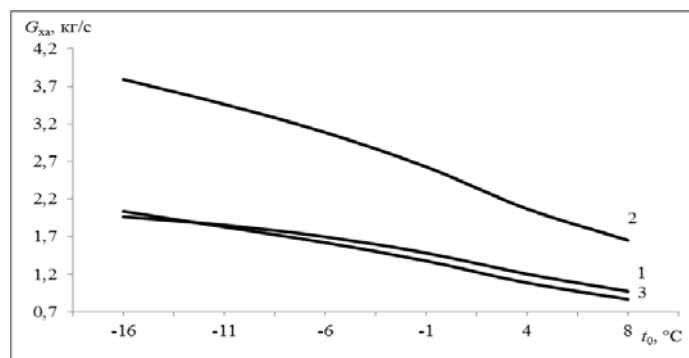


Рисунок 6 – Зависимость массового расхода фреона  $G_{\text{ха}}$  от температуры наружного воздуха  $t_0$ : 1 – R152a; 2 – R134a; 3 – R290

**Анализ результатов расчета.** Для рассмотренной данной системы теплоснабжения с использованием тепла грунтовых вод (рис. 1) при температурах наружного воздуха  $t_0 = -16 \dots 8 \text{ } ^\circ\text{C}$  целесообразно применять озонобезопасные фреоны R134a, R152a, R290, так как только их использование из наиболее часто применяемых, благодаря своим теплофизическим свойствам, позволяет полностью отопительную нагрузку здания в данном интервале температур.

Расчетный цикл для схемы ТНУ с использованием озонобезопасного фреона R152a, выполненный при помощи программы CoolPack, представлены в  $p, h$ -диаграмме при температуре окружающей среды  $t_0 = -6 \text{ } ^\circ\text{C}$  (рис. 2).

Анализ зависимостей (рис. 5) показывает, что чем выше температура окружающей среды, тем требования по температуре к теплоносителю, подаваемому в систему отопления, снижаются. Это приводит к уменьшению разности температур между низкопотенциальным источником тепла грунтовых вод и высокопотенциальным источником тепла системы теплоснабжения. Так, при повышении температуры наружного воздуха коэффициент преобразования теплоты  $\mu$  растет, что позволяет сделать вывод о более эффективной работе ТНУ. Наиболее целесообразным является применение в рассмотренной схеме ТНУ фреона R152a, так как при прочих равных условиях за счет его теплофизических свойств, удастся повысить коэффициент преобразования теплоты  $\mu$  по сравнению с фреонами R134a, R290. Каждый фреон характеризуется таким свой-

ством как хладопроизводительность, т.е. теплотой фазового перехода. В табл. приведены свойства озонобезопасных фреонов R134a, R152a, R290.

Таблица – Свойства озонобезопасных фреонов

Фреон	0 °С		70 °С	
	Давление насыщения, кгс/см <sup>2</sup>	Хладопроизводительность, кДж/кг	Давление насыщения, кгс/см <sup>2</sup>	Хладопроизводительность, кДж/кг
R134a	2,94	198	21,16	123
R152a	2,67	304	18,94	214
R290	4,72	374	25,92	228

Анализ зависимостей (рис. 6) показывает, что чем меньше разность температур между низкопотенциальным источником тепла грунтовых вод и высокопотенциальным источником тепла системы теплоснабжения, тем массовый расход фреона  $G_{ха}$  контура ТНУ меньше, так как при повышении температуры наружного воздуха необходимая нагрузка на отопления снижается (рис. 4). Чем выше теплота фазового перехода, тем ниже будет массовый расход фреона. Так из трех рассмотренных озонобезопасных фреонов при прочих равных условиях наименьший массовый расход  $G_{ха}$  имеет фреон R290.

**Выводы.** Таким образом, с энергетической точки зрения использование фреона R152a в рассмотренной схеме ТНУ является наиболее эффективным, о чем свидетельствует коэффициент преобразования теплоты  $\mu$ . Однако для выбора оптимально озонобезопасного фреона для системы теплоснабжения на базе ТНУ этого показателя недостаточно. Необходимо учитывать и экономический аспект, так как чем меньше массовый расход фреона через контур ТНУ, тем меньше будет стоимость испарителя, конденсатора и компрессора.

#### Литература

1. Трубаев П.А. Тепловые насосы: учеб. пособ. / П.А. Трубаев, Б.М. Гришко. – Белгород : Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 142 с.
2. Цветков О.Б. Холодильные агенты / Цветков О.Б. – СПб. : СПбГУНиПТ, 2004. – 216 с.
3. Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей / [Манюк В.И., Каплинский Я.И., Хиж Э. и др.] – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1982. – 215 с.

#### Bibliography (transliterated)

1. Trubaev P.A. Teplovyie nasosyi: ucheb. posob. P.A. Trubaev, B.M. Grishko. – Belgorod : Izd-vo BGTU im. V.G. Shuhova, 2009. – 142 p.
2. Tsvetkov O.B. Holodilnyie agentyi. Tsvetkov O.B. – SPB. : SPBGUNiPT, 2004. – 216 p.
3. Spravochnik po naladke i ekspluatatsii vodyanyih teplovyih setey. [Manyuk V.I., Kaplinskiy Ya.I., Hizh E. i dr.] – 2-e izd. – M.: Stroyizdat, 1982. – 215 p.

УДК 697.329

Боднар І.А., Денисова А.Є., Бухкало С.І.

### **ЗАСТОСУВАННЯ ОЗОНОБЕЗПЕЧНИХ ФРЕОНІВ У ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВКАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛА ГРУНТОВИХ ВОД**

Запропонована система теплопостачання, яка забезпечує ефективне використання теплонасосної установки з джерелом тепла ґрунтових вод. Запропонована методика розрахунку теплонасосної установки на базі геотермального теплопостачання. Розглянуті екологічно безпечні фреони R134a, R152a, R290, які доцільно застосовувати для повного покриття теплового навантаження на опалювання при температурі зовнішнього повітря  $t_0 = -16 \dots 8$  °С. Отримані залежності показників коефіцієнта перетворення тепла  $\mu$  і масової витрати фреону через контур теплонасосної установки  $G_{\text{ха}}$  системи теплопостачання від температури зовнішнього повітря. Приведені рекомендації по вибору оптимального екологічно безпечного фреону для теплонасосної установки.

Bodnar I.A., Denisova A.E., Bukhkalov S.I.

### **THE USE OF OZONE-SAFE IN HEAT PUMP PLANTS WITH USE OF HEAT OF GROUND WATERS**

The systems of heat supply, which provides the effective use of heatpump plants with a source of heat of ground waters, are offered. The method of an assessment of power efficiency of systems is offered, comparison of parameters of their calculation cycles is executed. Are considered ecologically safe Freon's (R134a, R152a, R290) which are expedient for applying to a full covering of thermal load of heating at a temperature of external air  $t_0 = -16 \dots 8$  °С. Dependences of indicators of coefficient of transformation of heat  $\mu$  and a mass consumption of Freon through a contour of the heatpump plant  $G_{\text{ca}}$  of system of a heat supply from temperature of external air are received. Recommendations about a choice of optimum ecologically safe Freon for heatpump plant are provided.