

## ВЛИЯНИЕ ТИПА РАБОЧЕГО АГЕНТА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

М.Ю. Фролов

ТЭЦ-28 филиал ОАО «Мосэнерго»  
Ул. Ижорская, 13, Москва, Россия, 125412

И.К. Шаталов, Ю.А. Антипов,

Д.В. Терехов

Кафедра теплотехники и тепловых двигателей  
Российский университет дружбы народов  
Ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Дается анализ влияния различных рабочих агентов на характеристики ТНУ. Показаны преимущества использования альтернативных рабочих агентов.

**Ключевые слова:** тепловой насос, конденсатор, испаритель, компрессор, температура.

Теплонасосная установка (ТНУ) осуществляет передачу энергии от теплоносителя с низкой температурой (НПИТ) к теплоносителю с более высокой температурой. Наибольшее распространение получили парокompрессионные теплонасосные установки (рис. 1).

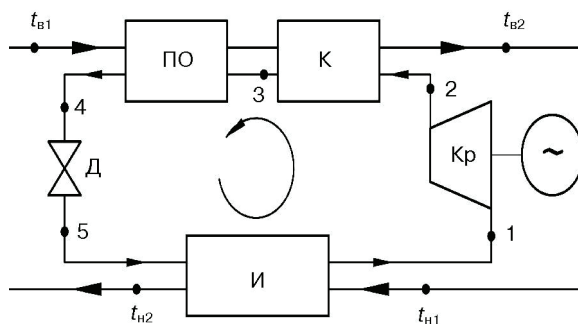


Рис. 1. Схема компрессионной ТНУ:

Д — дроссельный вентиль; И — испаритель; К — конденсатор; Кр — компрессор;

ПО — переохладитель;  $t_{в1}$ ,  $t_{в2}$  — температура теплопотребителя на входе

и выходе ТНУ;  $t_{н1}$ ,  $t_{н2}$  — температура НПИТ на входе и выходе ТНУ

Эффективность теплонасосной установки характеризуется отношением теплоты  $Q$ , полученной теплопотребителем к потребленной компрессором ТНУ мощности  $N_k$ . Данную величину называют коэффициентом преобразования ТНУ  $\mu_{ТНУ} = Q/N_k$ .

Существенное влияние на  $\mu_{ТНУ}$  оказывает тип рабочего агента (РА), используемого в ТНУ. До последнего времени наилучшими рабочими агентами являлись хлорфторуглероды (фреоны), обладающие высокими эксплуатационными свойствами (неагрессивность к конструктивным материалам, негорючесть, взрывобезопасность, невысокие давление насыщения, степень сжатия и низкая температура

после компрессора). Однако открытие их разрушительного влияния на озоновый слой Земли и принадлежность к группе парниковых газов привело к запрету на применение большей части фреонов. По этой причине в настоящее время ведутся работы по поиску эффективной замены запрещенных рабочих агентов. Перспективными рабочими агентами в настоящее время считается целый ряд озонобезопасных фреонов, а также природные вещества, такие как углекислый газ, аммиак, изобутан, водяной пар.

В данной работе дается анализ влияния различных рабочих агентов на характеристики ТНУ. Для сравнения рабочих агентов взяты как озоноразрушающие, так и безопасные для окружающей среды фреоны, а также альтернативные РА с фазовым переходом.

Исследовались следующие рабочие агенты: R12, R22, R502, R142b, R134a, смесевые рабочие агенты R401A, R404A, R410A, R600a (изобутан), R717 (аммиак), R718 (вода).

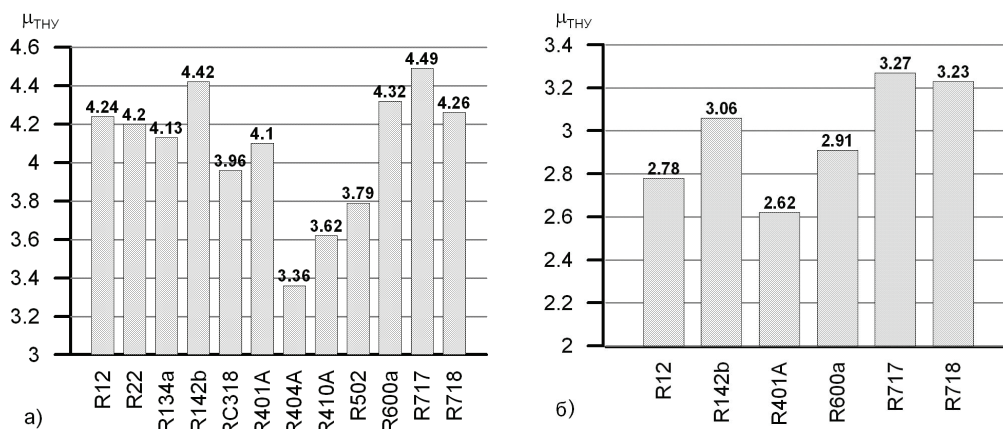
Для расчетного анализа взята ТНУ тепловой мощностью 500 кВт, работающая на искусственных и естественных НПИТ (табл.).

Таблица

**Варианты работы ТНУ для сравнения рабочих агентов**

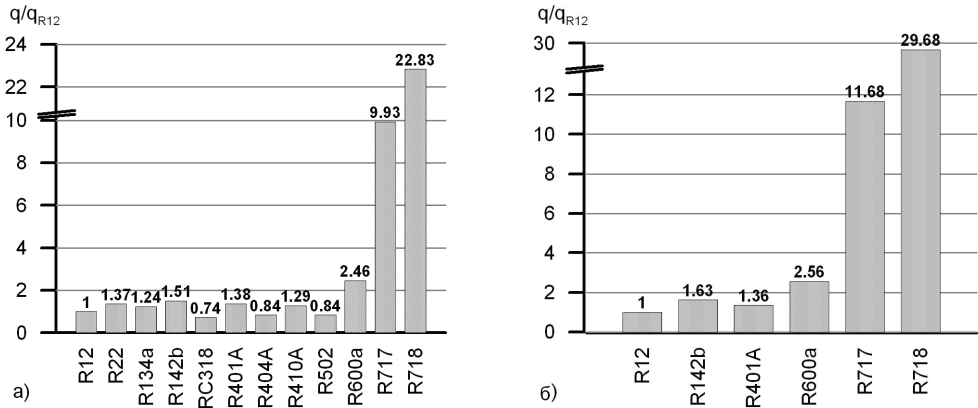
№ варианта	Тип НПИТ	Температура воды на выходе из ТНУ $t_{в2}, ^\circ\text{C}$	Температура НПИТ на входе в ТНУ $t_{н1}, ^\circ\text{C}$	Температура НПИТ на выходе из ТНУ $t_{н2}, ^\circ\text{C}$
1	Естественные	50	15	10
2	Искусственные	80	30	20

В качестве параметров для сравнения были выбраны коэффициент преобразования  $\mu_{\text{ТНУ}}$ , относительная удельная теплопроизводительность по отношению к R12  $q/q_{\text{R12}}$ , давление  $P_{\text{к}}$  и температура в конце сжатия  $t_{\text{сж}}$ , степень повышения давления в компрессоре  $\pi_{\text{к}}$ , его ядовитость и взрывоопасность.

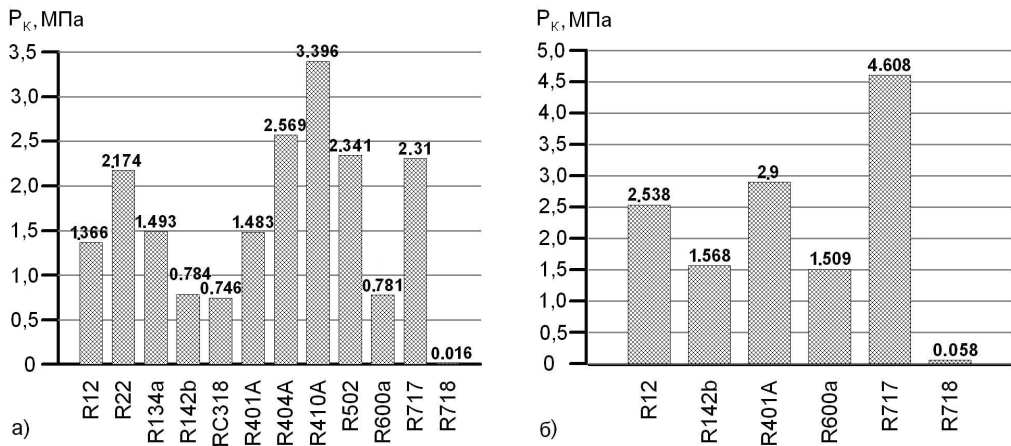


**Рис. 2.** Зависимость  $\mu_{\text{ТНУ}}$  от типа РА:

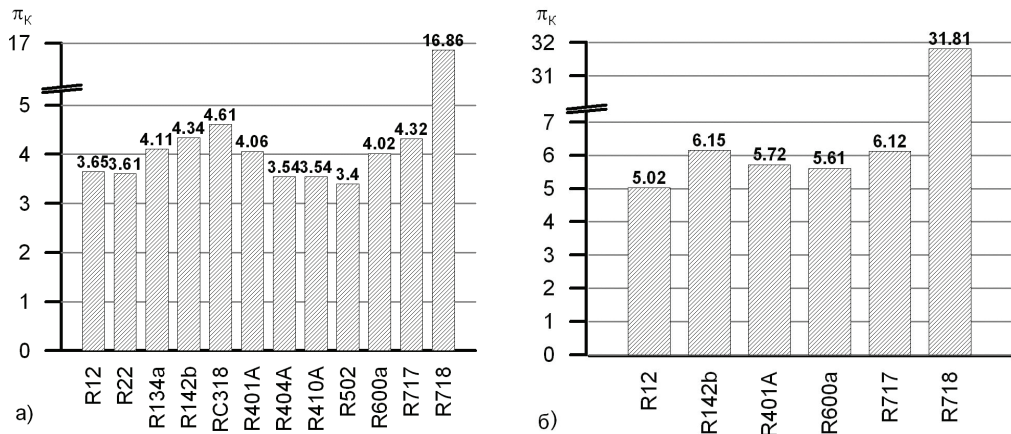
а) вариант № 1; б) вариант № 2



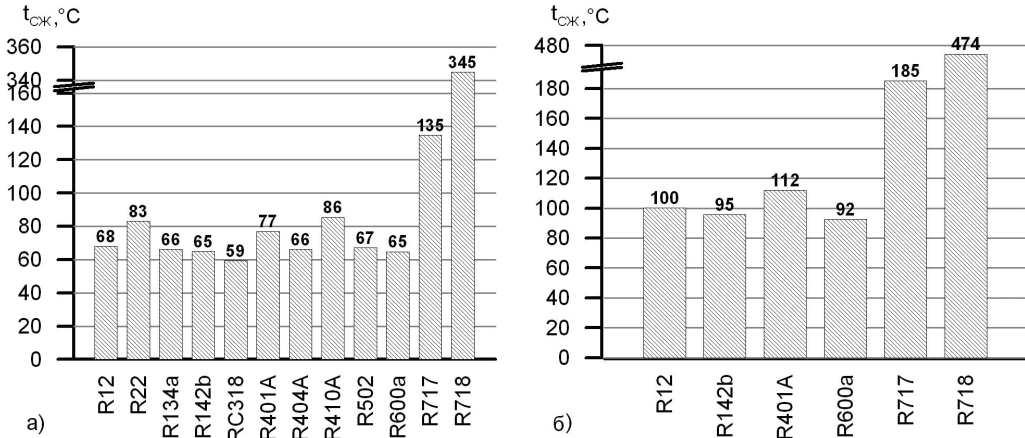
**Рис. 3.** Зависимость относительной удельной теплопроизводительности от типа РА:  
а) вариант № 1; б) вариант № 2



**Рис. 4.** Зависимость давления после сжатия  $P_k$  от типа РА:  
а) вариант № 1; б) вариант № 2



**Рис. 5.** Зависимость степени сжатия РА в компрессоре  $\pi_k$  от типа РА:  
а) вариант № 1; б) вариант № 2



**Рис. 6.** Зависимость температуры после сжатия  $t_{сж}$  от типа РА:  
а) вариант № 1; б) вариант № 2

Результаты расчетов, представленных на рис. 2—6, позволяют сделать следующие выводы:

— коэффициенты преобразования  $\mu_{ТНУ}$  запрещенных Монреальским протоколом рабочих агентов R12, R22, R142b, превосходят коэффициенты преобразования остальных РА, за исключением R600a, R717, R718 (рис. 2);

— при увеличении разности температур между теплопотребителем на выходе из ТНУ и НПИТ на входе в ТНУ  $\Delta t = t_{в2} - t_{н1}$  коэффициент преобразования для всех РА уменьшается (для R142b при  $\Delta t = 35 \text{ }^\circ\text{C} - \mu_{ТНУ} = 4,42$ ; при  $\Delta t = 50 \text{ }^\circ\text{C} - \mu_{ТНУ} = 3,06$ );

— независимо от варианта максимальный коэффициент преобразования имеет рабочий агент R717, а в случае высоких  $\Delta t$  высокий коэффициент преобразования имеет R718.

— из рассмотренных рабочих агентов на порядок большую, по сравнению с R12, удельную теплопроизводительность имеют рабочие агенты R718, R717, что позволяет уменьшить массовую заправку ТНУ; рабочий агент R600a также в 2,5 раза более эффективен по этому параметру; прочие рабочие агенты сравнимы между собой (рис. 3);

— пять из рассмотренных рабочих агентов (R22, R404A, R410A, R502, R717) имеют при нормальных условиях работы ТНУ давление в конце сжатия превышающее 2 МПа (рис. 4). Для варианта 2 давление конденсации R717 достигает 4,6 МПа, давление для R12 и R410A превышает 2,5 МПа. Невысокое давление при работе имеют рабочие агенты R142b, R600a. Использование R718 характеризуется работой компрессора в области вакуума (0,016 МПа и 0,058 МПа абсолютного давления для 1-го и 2-го варианта соответственно);

— степени повышения давления для всех рабочих агентов, за исключением R718, сопоставимы между собой и для разных вариантов составляют 3,4—6,2; для R718 характерны гораздо более высокие значения степени повышения давления: 17—32 (рис. 5);

— температуры рабочих агентов в конце сжатия в компрессоре невелики и сопоставимы между собой, за исключением рабочих агентов R717 и R718 (рис. 6).

Рабочие агенты R142b, R600a, R717, R410A горючи и взрывоопасны, а R717 помимо этого является высокотоксичным веществом. Безопасным в применении является R718, однако для его успешного применения необходимо решить ряд серьезных проблем.

Таким образом, ни один из известных или недавно синтезированных хладагентов не обладает к настоящему времени всем комплексом свойств, которые присущи запрещенным рабочим агентам. Наиболее перспективными из альтернативных рабочих агентов представляются вещества R134a, R600a, R717 и R718.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] *Варгафтик Н.Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М: Наука, 1972.
- [2] *Шаталов И.К., Лобан М.В.* Расчет теплонасосной установки. Методические рекомендации по курсовому проектированию. — М.: Изд-во РУДН, 2005.

## **REFRIGERANT INFLUENCE ON PERFORMANCE OF HEAT PUMP**

**M.Ju. Frolov**

CHP-28 OAO MOSENERGO  
*Izhorskaya str., 13, Moscow, Russia, 125412*

**I.K. Shatalov, Ju.A. Antipov,  
D.V. Terekhov**

Department of Heat Engineering and Thermal Engines  
Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

Analysis of refrigerant influence on heat pump performance is given in this paper. Advantages of alternative refrigerants are shown.

**Key words:** the thermal pump, the condenser, the evaporator, the compressor, temperature.