

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ОЗОНОБЕЗОПАСНОГО РАБОЧЕГО ВЕЩЕСТВА И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕЕ РАБОТЫ

**К.М. Маркова**

(«Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики  
Институт холода и биотехнологий»)

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Ю.В. Татаренко**

(«Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики  
Институт холода и биотехнологий»)

Многие исследователи в настоящее время обращаются к весьма актуальной проблеме перехода холодильной техники с R22 на озонобезопасные рабочие вещества.

В связи с тем, что R22 относится к классу хлорфторуглеродов и отнесен к рабочим веществам уменьшающим озоновый слой Земли, его производство прекращается в соответствии с Монреальским протоколом.[3]

Встает вопрос о его замене, так как ни один чистый хладагент не может его заменить. Ведутся поиски по альтернативной замене R22.[4] В табл.1 представлены смеси предлагаемые для замены R22.

Таблица 1

Заменяемые хладагенты	Заменяющие хладагенты для	
	Существующего оборудования	Нового оборудования
R-22	R-407C, R-411A, R-417A, R-419A, R-421A, R-421B	R-407C, R-407E, R-410A, R-410B

На рис.1 представлена диаграмма  $T-s$  для R-22 и его заменителей. Кривые насыщения показаны как безразмерные величины, имеющие одинаковую ширину двухфазного купола (для насыщенной жидкости  $s^* = 0$ , для насыщенного пара  $s^* = 1$ ).

Одним не маловажным фактором является совместимость материалов. При использовании заменителей R-22 необходимы соответствующие смазочные масла. В системах, работавших на R-22, обычно использовались нефтяные масла с присадками. Фторуглеродные альтернативы (HFC) требуют особых синтетических масел. Новыми маслами являются полиэферы (POE) с соответствующей вязкостью, алкилбензолы (AB) и поливинилэферы (PVE).

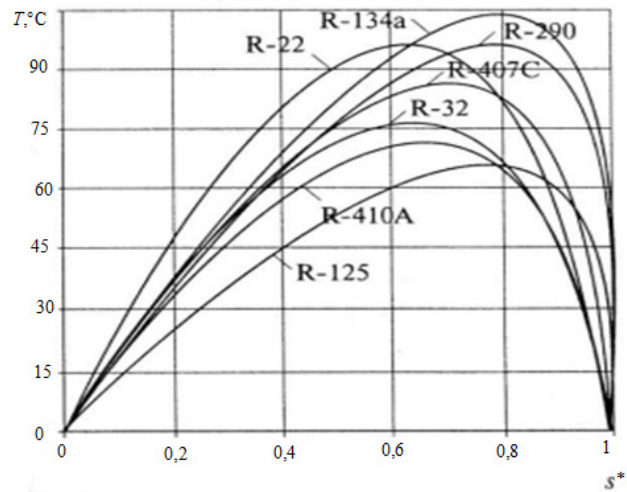


Рис. 1. Диаграмма  $T-s$  для R-22 и его заменителей

Выбор масла – сложное дело. Пользователи должны строго следовать рекомендациям изготовителей оборудования или производителей компрессоров. Выполнение требования, чтобы влага или другие загрязнители не попали в систему охлаждения, особенно важно при использовании синтетических масел.[1]

Для оценки эффективности работы холодильной машины при работе на различных режимах создана математическая модель. В основу математической модели заложены уравнения характеристик элементов, выражающие зависимость расхода рабочего вещества через конкретный элемент от совокупности всех его внешних и внутренних параметров.

Основные уравнения для расчета характеристики компрессора:

$$G_a = \lambda V_T / v_1,$$

$$\lambda = a_0 + a_1 \pi,$$

$$\pi = p_k / p_0,$$

$$v_1 = f_1(p_0, t_{ec}),$$

$$i_2 = i_1 + (i_{2s} - i_1) / \eta_i,$$

$$\eta_i = T_0 / T_k + b t_0,$$

$$i_{2s} = \Phi_2(p_k, s_1),$$

$$s_1 = \Phi_4(p_0, t_{ec}),$$

$$t_{ec} = t_0 + \Delta t_{ec},$$

$$p_0 = \Phi_5(t_0),$$

$$p_k = \Phi_6(t_k).$$

Основные уравнения для расчета характеристики испарителя:

$$G_a = k_u F_u \frac{(t_{кам} - t_0)}{(i_1 - i_3)},$$
$$i_1 = \phi_1(p_0, t_{вс}).$$

Основные уравнения для расчета характеристики конденсатора:

$$G_a = k_k F_k \frac{(t_k - t_{возд})}{(i_2 - i_3)},$$
$$i_3 = \phi_3(p_k, t_3).$$

В основу математического описания ХМ составляют уравнения характеристик элементов, выражающие зависимость расхода рабочего вещества через конкретный элемент от совокупности всех его внешних и внутренних параметров.

Полученная система уравнений позволяет установить состояние ХМ, то есть параметры  $G_a$ ,  $t_0$  и  $t_k$ . В свою очередь параметры  $G_a$ ,  $t_0$  и  $t_k$  могут быть использованы для получения внешних и внутренних характеристик холодильной машины.

Значения термодинамических параметров хладагента, а именно энтальпии, давления, удельного объема и энтропии вычисляются с помощью специальных программ, описывающих термодинамические свойства заданного рабочего вещества.

Для данной системы имеются следующие условия:

- 1) Последовательное соединение всех элементов обуславливает одинаковый массовый расход рабочего вещества через них.
- 2) Допущение о неизменности состояния рабочего вещества в соединительных трубопроводах приводит к тому, что выходной параметр одного элемента является входным для другого. Например, состояние рабочего вещества на выходе из компрессора (точка 2) соответствует его состоянию на входе в конденсатор, точка 3 – выход из конденсатора и вход в РВ и т.д.

Полученная модель может быть использована для исследования не только функционирующих, но и проектируемых холодильных машин. [2]

Проведена оценка адекватности данной математической модели. Исследовались характеристики в диапазоне температур кипения от  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  при температуре конденсации =  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В качестве рабочего вещества был выбран хладон R22.

На рис.2 представлены характеристики холодильного компрессора, работающей на R22 «ручной счет» и «ММ»  $Q_0 = f(t_0, t_k)$   $Q_0 = f(t_0, t_k)$  (а),  $N_e = f(t_0, t_k)$  (б),  $\epsilon_e = f(t_0, t_k)$  (в).

Обобщая полученные результаты, можно сказать, что получена математическая модель холодильной машины в виде совокупности независимых функциональных соотношений между переменными и параметрами системы. Эти соотношения отражают ту информацию о функционировании системы, которая соответствует современному уровню научных знаний и физической сущности происходящих в системе процессов.

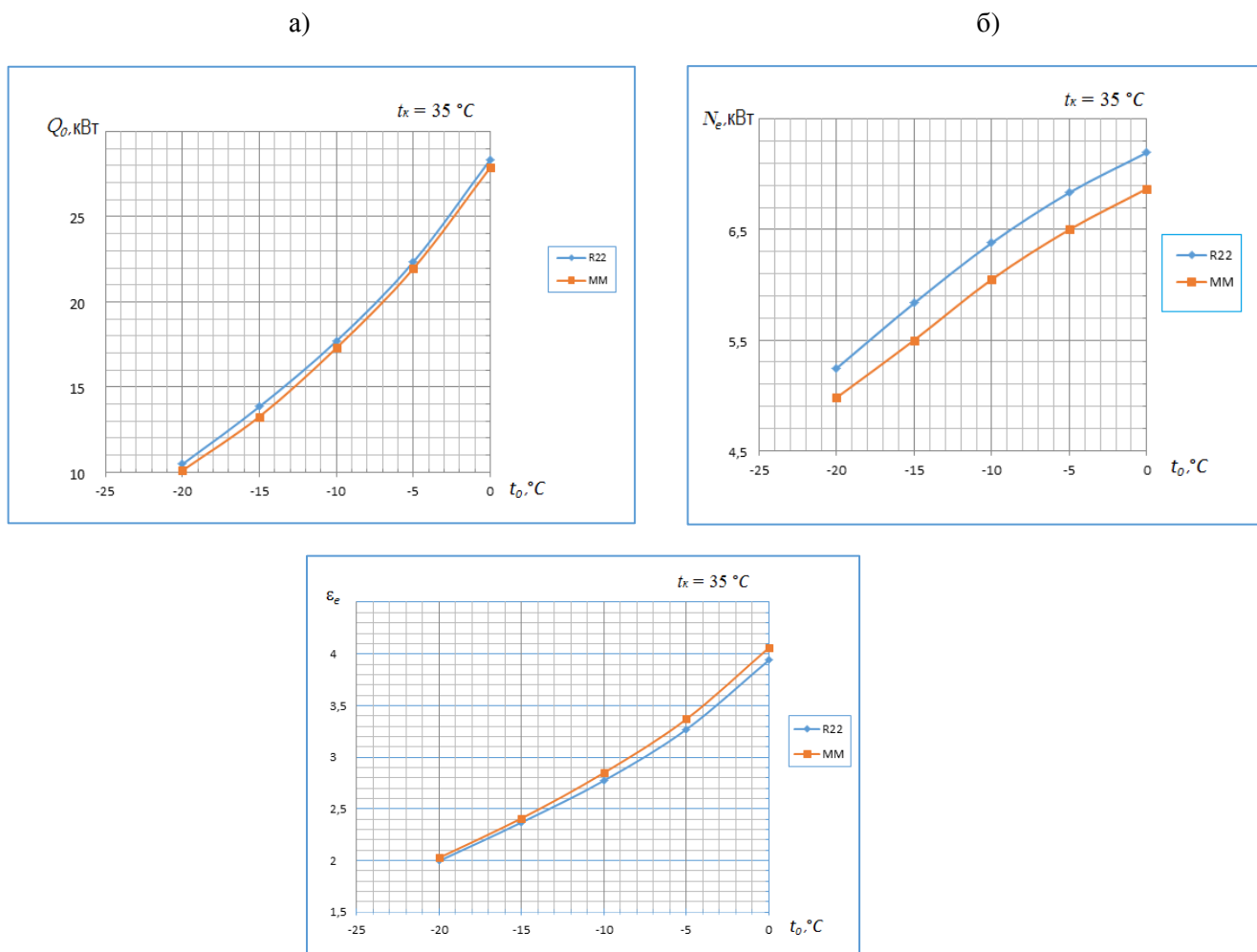


Рис.2. Характеристики сравнения расчета по математической модели и «ручным способом»

#### Литература

1. J. M. Calm and P. A. Domanski, "R-22 Replacement Status," ASHRAE Journal, 46(8):29-39, August 2004.
2. Герасимов Е.Д. Введение в математическое моделирование характеристик компрессорных холодильных машин: Учебн. Пособие. – СПб.: ГАХПТ, 1995. – 148 с.
3. Цветков О.Б. Хладагенты на посткиотском экологическом пространстве. // Холодильная техника, 2012, №1 с.70-72 .
4. Цой А.П., Филатов А.С., Цой Д.А. Замена хладагента R22 на альтернативный в регионах с высокой температурой окружающей среды.// Вестник МАХ, №2, 2012, с. 13-18.

Студент гр. и5111

Маркова К.М.

Научный руководитель, доцент кафедры  
ХМ и НПЭ

Татаренко Ю.В.

Заведующий кафедрой ХМ и НПЭ, проф.

Мальшев А.А.