

Академик МАХ, д-р техн. наук  
**П.Г.КРАСНОМОВЕЦ**,  
 канд. техн. наук **Г.К.МНАЦКАНОВ**,  
 канд. техн. наук **Э.А.БАКУМ**  
 Научно-исследовательский и  
 конструкторско-технологический  
 институт холодильной техники и  
 технологии «Агрохолод» Одесса

УДК.621.574.3

## Аммиак – рабочее вещество холодильных машин

*We compare some exploitation characterizations of the row of of cool machines working on ammonia (R 717) and other refrigerants (R 22, R 134a, R 407C, R 410A, R 744, R 290) on the basis of comparison their principal thermophysical and thermodynamical properties.*

Природные хладагенты широко использовали при производстве холода с начала прошлого века [7]. Малые аммиачные холодильные компрессоры холодопроизводительностью от 10 до 32 кВт серийно выпускались в 50-е годы, в частности и Одесским заводом холодильного машиностроения (2АУ-8, 4АУ-8), но в дальнейшем из-за токсичности аммиака заменили более безопасными фреонами.

Аммиак (R717) – хорошо изученный и дешевый природный хладагент. Он имеет нулевые значения потенциалов разрушения озонового слоя (ODP) и глобального потепления (GWP). Токсичность аммиака компенсируется тем, что его присутствие в воздухе легко обнаружить по резкому запаху даже при концентрации в 5 ppm, что в 4 раза ниже предельно допустимой.

В последние годы промышленно развитые страны постоянно совершенствуют и расширяют номенклатуру серийно выпускаемых приборов для дистанционного контроля и сигнализации утечек аммиака из холодильных установок [1]. Разрабатываются надежные схемные решения и методы, обеспечивающие безопасную эксплуатацию аммиачных холодильных установок различного назначения с учетом пожароопасности и токсичности аммиака [3,4,5]. Естественно, что требования безопасной эксплуатации приводят к удорожанию таких установок, однако оно компенсируется преимуществами использования аммиака.

В связи с ситуацией, которая сложилась после принятия Киотского протокола, холодильники разных стран рассматривают возможность расширить использование природных хладагентов, в том числе таких, как диоксид углерода (R744) [10], пропан

(R290) [3], несмотря на присущие им недостатки.

Авторами сопоставлены по энергетической эффективности широко распространенные в настоящее время в странах СНГ малые аммиачные и фреоновые холодильные машины с кожухотрубными конденсаторами на базе поршневых компрессоров АВ-22, 2ФУУБС25 и 5ПБ20-2-024. Холодопроизводительность сравниваемых холодильных машин мало различается и составляет  $Q_0 = (25 \pm 1)$  кВт при температурах кипения  $t_0 = -15^\circ\text{C}$  и конденсации  $t_k = 30^\circ\text{C}$ . Использованы также данные результатов испытаний холодильной машины МКТ20-2-0 на R134a [6]. Результаты сопоставления приведены на рис. 1 и 2.

Как видно из рис. 1, электрический холодильный коэффициент  $\epsilon_e$  действительного цикла, реализуемого аммиачной холодильной машиной, в 1,5 раза выше, чем у машин, работающих на R12 и R134a, и примерно в 1,2 раза выше, чем у машин, работающих на R22.

Термодинамическое совершенство холодильных машин независимо от режимов их работы характеризуется эксергетическим коэффициентом полезного действия (рис. 2), который определяли косвенным методом расчета [2] для тех же температурных условий, что и для  $\epsilon_e$  и при температуре окружающей среды  $t_{oc} = 20^\circ\text{C}$ .

Анализ рис. 1 и 2 позволяет сделать вывод о том, что аммиачные холодильные машины малой производительности энергетически значительно эффективнее фреоновых.

Авторами проводилось сравнение конструктивных характеристик некоторых элементов малых холодильных машин одинаковой холодопроизводительности ( $Q_0 = 27,5$  кВт при  $t_0 = -10^\circ\text{C}$  и  $t_k = 30^\circ\text{C}$ ), работающих на сопоставляемых хладагентах. Как показали результаты расчетов, при работе машин в оптимальных эксплуатационных режимах, площадь теплопередающей поверхности конденсатора аммиачной холодильной машины в 1,5...2 раза, всасывающих трубопроводов – в 1,2...1,5 раза, нагнетательных – в 1,4...1,7 раза, а жидкостных трубопроводов – в 1,8...2 раза меньше, чем у соответствующих элементов фреоновых холодильных машин.

Проведено также сравнение некоторых свойств используемых в пароконденсационных холодильных машинах природных рабочих веществ

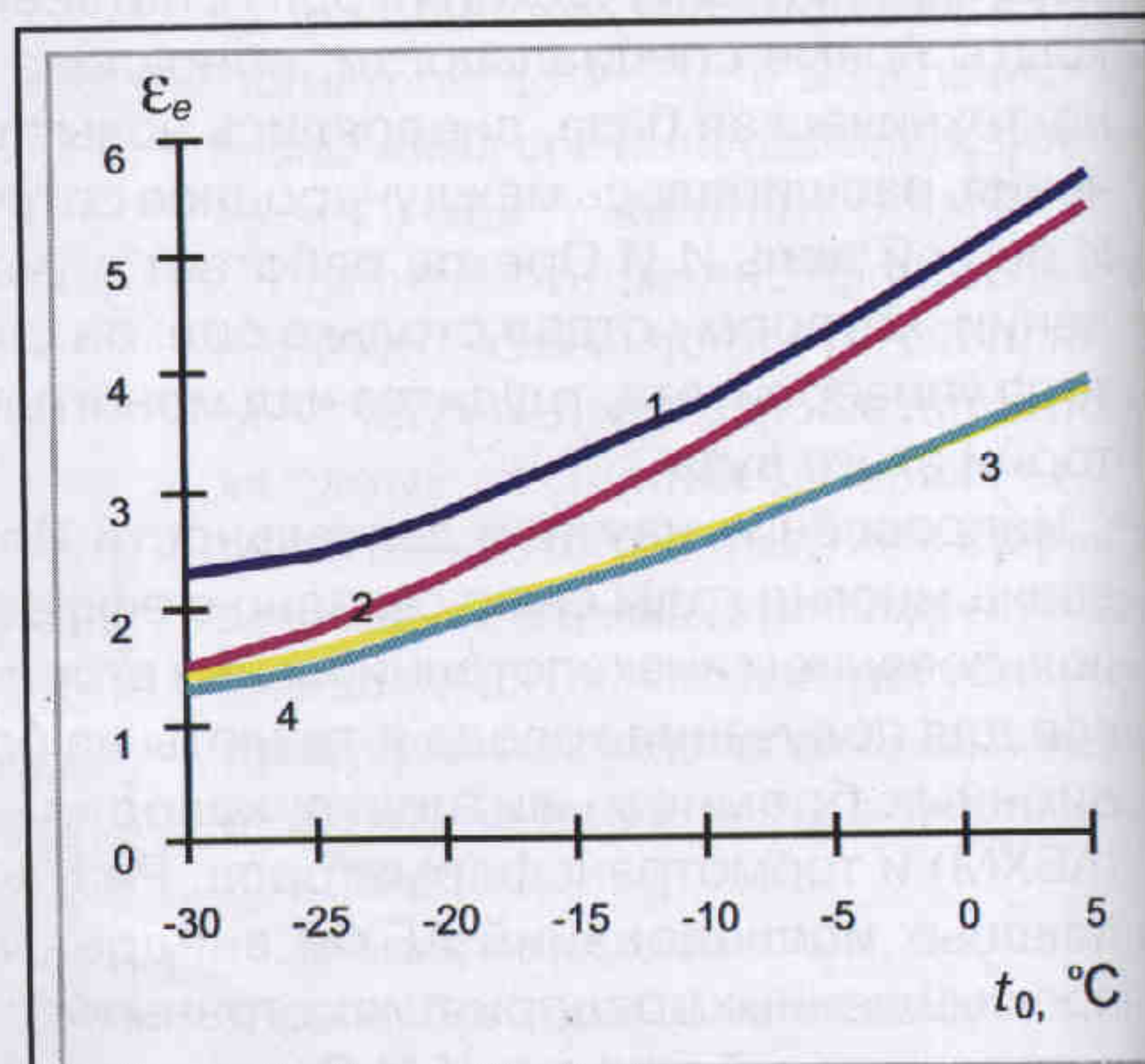


Рис. 1. Зависимость электрического холодильного коэффициента  $\epsilon_e$  действительных циклов холодильных машин, работающих на различных хладагентах, от температуры кипения  $t_0$  при  $t_k = 30^\circ\text{C}$  для: 1 – R717 (АВ-22); 2 – R22 (5ПБ20-2-024); 3 – R12 (2ФУУБС25); 4 – R134a (МКТ20-2-0)

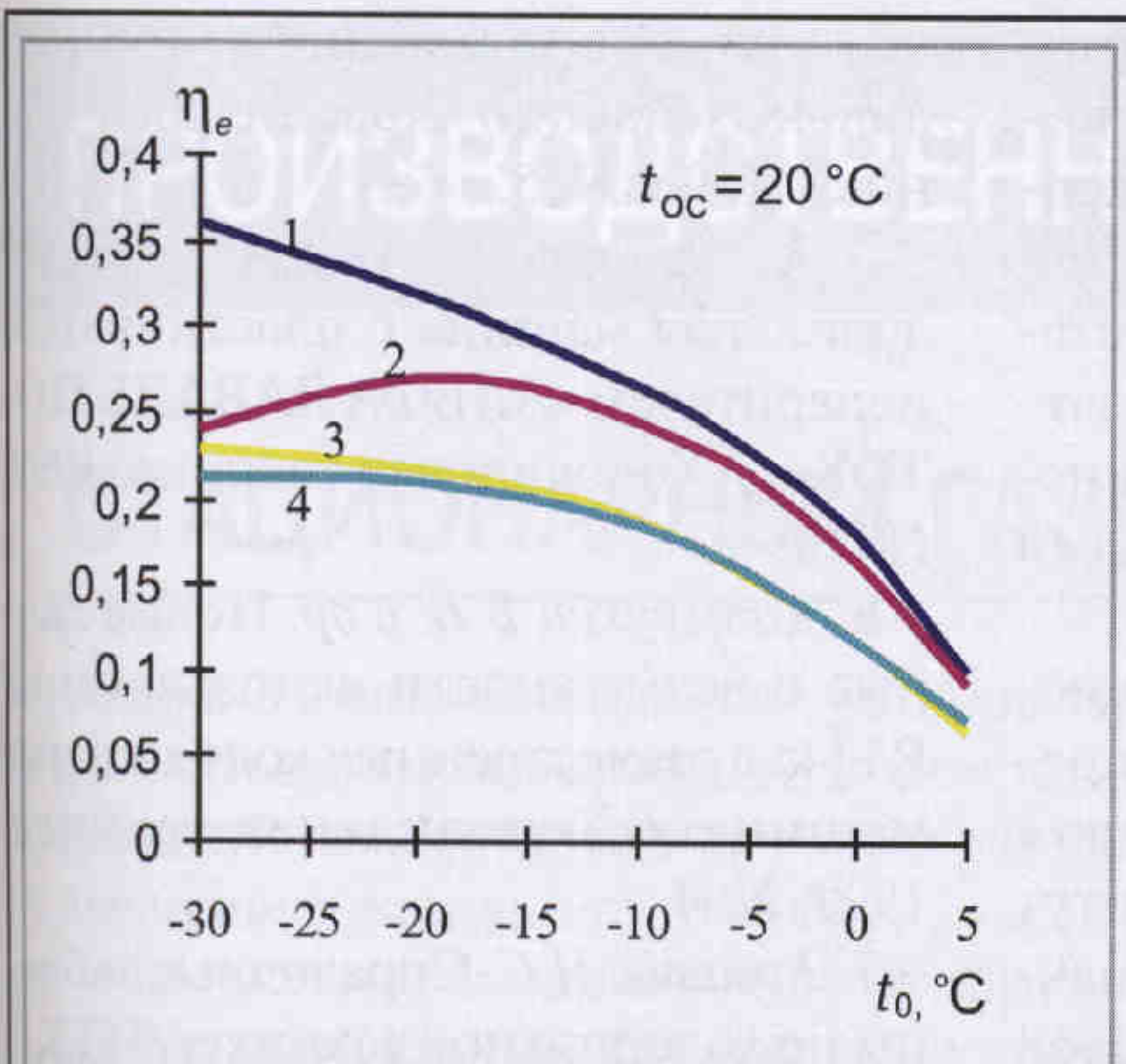


Рис. 2. Зависимость эксергетических КПД  $\eta_e$  действительных циклов холодильных машин от температуры кипения  $t_0$  хладагентов: 1 – R717 (AB-22); 2 – R22 (5ПБ20-2-024); 3 – R12 (2ФУУБС25); 4 – R134a (МКТ20-2-0)

(R717, R744 и R290), а также синтетических хладагентов и их зеотропных смесей, разрешенных к применению в ближайшем будущем (R22, R134a, R404A, R407C и R410A).

Сравнение коэффициентов теплопроводности сопоставляемых хладагентов в широком диапазоне температур показало, что теплопроводность жидкого аммиака в 5,5 раза, а насыщенного пара аммиака в 1,5...2,5 раза выше, чем у других хладагентов. С учетом низкой кинематической вязкости аммиака можно сделать вывод, что и коэффициенты теплоотдачи во всех аппаратах аммиачных холодильных установок при прочих равных условиях самые большие в сравнении с коэффициентами теплоотдачи в аппаратах холодильных установок, работающих на других хладагентах. Высокие значения коэффициентов теплопроводности пара аммиака позволяют создавать малоемкие по хладагенту машины, в том числе и небольшой производительности, с верхней подачей аммиака в охлаждающие приборы.

Малая удельная теплоемкость жидких фреонов и их смесей (примерно в 3 раза меньше, чем у аммиака) с учетом низкой относительно аммиака теплотой парообразования нередко приводит к парообразованию в жидкостных трубопроводах после конденсатора вследствие внешних теплопритоков и работы сил трения. Такое парообразование пе-

ред дроссельным устройством, маловероятное в аммиачных установках, нарушает нормальную эксплуатацию фреоновых холодильных установок, особенно если в схеме отсутствует рекуперативный теплообменник.

Сравнение плотностей жидкой фазы сопоставляемых хладагентов при температурах, характерных для обычных условий эксплуатации холодильных машин, показало, что лишь у пропана и аммиака плотность жидкой фазы меньше плотности смазочного масла. Это облегчает удаление масла из нижней части аппаратов аммиачных и пропановых установок и воз-

врат его в компрессор. Удаление слоя масла, находящегося в верхней части фреоновых кожухотрубных испарителей, вызывает большие затруднения [9]. Для их преодоления недостаточно установить эффективные маслоотделители на стороне нагнетания. Необходимо строгое автоматическое поддержание уровня жидкости в испарителях и наличие специальной системы отбора жидкости из верхней зоны испарителя, богатой маслом, с последующим доиспарением фреона из маслофреоновой смеси, возвращаемой в компрессор. Высокая плотность жидких фреонов (примерно в 2 раза выше, чем у жидкого аммиака) приводит к тому, что гидростатический столб жидкости сильно влияет на теплопередачу во фреоновых испарителях с нижней подачей хладагента, особенно низкотемпературных. Это существенно увеличивает энергозатраты на выработку холода.

Что касается еще одного природного хладагента – диоксида углерода, то его высокое давление конденсации и низкая критическая температура ( $31^\circ\text{C}$ ) яв-

ляются серьезным препятствием к применению этого хладагента в пароконденсационных холодильных машинах. На наш взгляд, рационально использовать  $\text{CO}_2$  в низких ступенях каскадных холодильных машин, в малых установках специального назначения, использующих транскритические циклы, а также при совместном потреблении холода и реализации других технологических процессов.

При оценке влияния холодильных установок на глобальное потепление климата Земли вследствие парникового эффекта в настоящее время рассчитывают полный эквивалент глобального потепления TEWI (Total Equivalent Warming Impact), который учитывает не только потенциал глобального потепления используемого хладагента GWP, но и количество топлива, сжигаемого при производстве электроэнергии или используемого непосредственно для привода компрессоров. Целесообразно применять расширенную трактовку TEWI [8], учитывающую кроме вышеперечисленного вклад в TEWI затрат при создании холодильного оборудования и обеспечении мер пожаробезопасности.

В [8] приведены расчеты TEWI для поршневых компрессорных агрегатов, работающих на аммиаке, R22 и

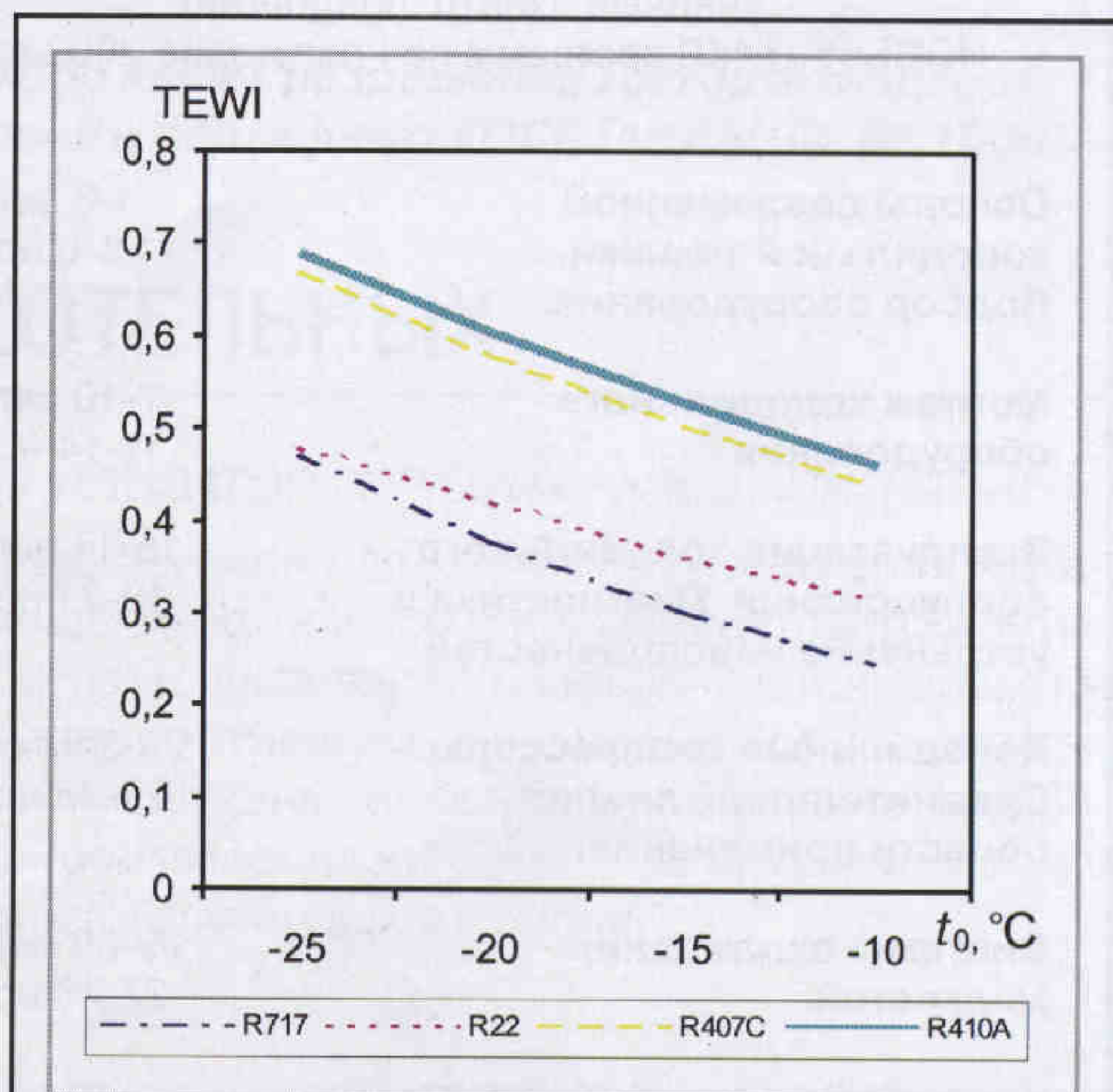


Рис. 3. Зависимость TEWI от температуры кипения  $t_0$  (при  $t_k = 30^\circ\text{C}$ ) для холодильных установок с поршневыми компрессорами, работающими на R717, R22, R407C и R410A

новых альтернативных смесевых хладагентах. При этом в проведенных расчетах учитывалось удорожание аммиачной холодильной установки на 30%, связанное с обеспечением условий пожаробезопасной эксплуатации оборудования. На основании результатов этих расчетов мы определили зависимость критерия TEWI от температуры кипения для хладагентов R717, R22, R407C и R410A (рис.3).

Как видно из рис. 3, экологические преимущества аммиачных холодильных установок существенно возрастают при повышении температуры кипения  $t_0$  (при постоянной температуре конденсации  $t_k$ ). Так, при  $t_0 = -10^\circ\text{C}$  критерий TEWI для аммиачных холодильных установок в 1,3 раза меньше, чем для установок, работающих на R22, и в 1,8 раза меньше, чем у холодильных установок, использующих альтернативные смесевые хладагенты.

В процессе эксплуатации холодильных установок неизбежны утечки хладагента. Утечки в установках, работающих на смесевых

хладагентах, приводят к нарушению начального соотношения компонентов смеси, что осложняет эксплуатацию таких установок. Вместе с тем дозаправка холодильных установок смесевым хладагентом затруднительна, а в ряде случаев и невозможна, т.е. требуется замена всей массы хладагента.

Основываясь на теоретических исследованиях, показывающих преимущества аммиака по сравнению с другими хладагентами, институт «Агрохолод» разрабатывает аммиачные поршневые компрессоры малой производительности и на их базе — агрегатированные холодильные машины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабакин Б.С., Плешанов С.А. Определители утечек аммиака из холодильных установок // Холодильная техника. 2001. № 2.
2. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа. — М.: Энергия, 1973.
3. Бюллетень МИХ. 1997. № 1.
4. Калнинь И.М. Расширение обла-

сти применения аммиачных холодильных машин // Холодильная техника. 1996. № 5.

5. Калнишкан А.А. Аммиачная холодильная машина с пластинчатым испарителем «АЛЬФАЛАВАЛЬ ПОТОК» // Холодильная техника. 1999. № 10.

6. Катерухин В.В. и др. Новые данные о возможности использования R134a в отечественных холодильных машинах // Холодильная техника. 1999. № 4.

7. Комаров Н.С. Справочные таблицы по холодильной технике // НТКП СССР, ГОСЭНЕРГОИЗДАТ — М.: Л., 1932.

8. Лавренченко Г.К. и др. TEWI — анализ компрессорных агрегатов при работе на традиционных и альтернативных хладагентах // Холодильная техника. 2000. № 2.

9. Мельцер Л.З. Смазка фреоновых холодильных машин. — М.: Пищевая промышленность, 1969.

10. Цветков О.Б. Диоксид углерода: природный экологически безопасный хладагент // Холодильная техника. 2001. № 3.



Построим вместе Ваше будущее  
в холодильном бизнесе!

Учебный Центр предлагает  
НОВЫЙ ЦИКЛ программ на I полугодие 2002 года

Основы современной  
холодильной техники.  
Подбор оборудования.

1-3 октября  
4-6 ноября

Монтаж холодильного  
оборудования

7-10 октября  
11-14 ноября

Эксплуатация холодильного  
оборудования. Диагностика и  
устранение неисправностей.

15-17 октября  
19-21 ноября

Холодильные компрессоры.  
Сравнительный анализ и  
области применения.

23-24 октября  
25-26 ноября

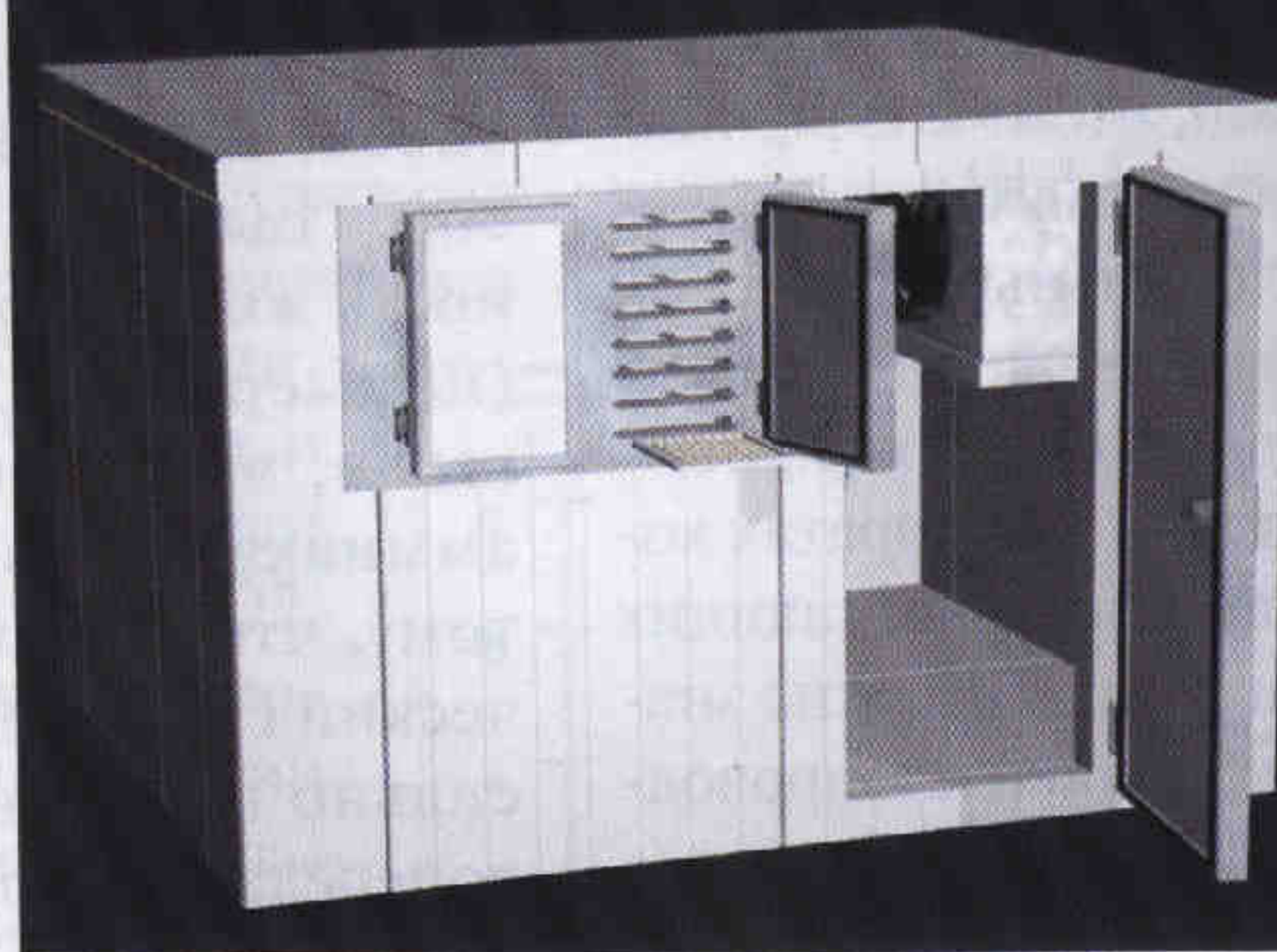
Системы охлаждения  
жидкостей.

29-30 октября  
27-28 ноября

Всю дополнительную информацию Вам сообщит:  
Сапожников Владимир Борисович,  
Буланова Ольга Владимировна

Тел.: (095) 726-53-53, 582-60-11, 582-63-22  
Факс: (095) 726-53-66, e-mail: ostrov@ostrov.ru

## КАМЕРЫ ШОКОВОЙ ЗАМОРОЗКИ



мороженого  
пельменей  
полуфабрикатов

РЕМХОЛОД

т. (3822) 658385, ф. 658404  
http://www.remholod.tomsk.ru  
e-mail: rus@rus.tsk.ru

## «КАК ВЫБРАТЬ ХОЛОДИЛЬНИК»

автор В.В. Пискунов

Издательство «Колос», объем 6 л

Руководство рассчитано на широкий круг читателей, включая коммерсантов и специалистов. Оно содержит более 1000 моделей и модификаций бытовых холодильников и морозильников отечественного и зарубежного производства, представленных на московском рынке в последние годы.

Вся номенклатура бытовой холодильной техники рассматривается в шести разделах. В приведенных в них таблицах даны: обозначение модели, габаритные размеры, емкость камер, потребляемая мощность, расход электроэнергии, потребительские и конструктивные особенности. Примеры пользования таблицами помогают найти нужные модели и провести сравнительную оценку.

Книгу можно заказать по телефону: (095) 207-2486