

УДК 669.26; 66.071.6.7; 66.074.2; 658

О.В. Дьяченко, канд. тех. наук

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082

e-mail: diachenko-ov@yandex.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5999-3965>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА КАК ЭФФЕКТИВНОГО РАБОЧЕГО ТЕЛА В ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИНАХ: ИСТОРИЯ, НЫНЕШНЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В качестве рабочих веществ парокomppressorных холодильных машин (ПХМ) и тепловых насосов (ТН) можно использовать различные газы. К ним относятся не только специально синтезированные химические соединения, но также и натуральные хладагенты — аммиак, диоксид углерода, углеводороды. Описаны холодильные циклы, пригодные для работы на диоксиде углерода (R744). Рассмотрены докритические, транскритические, дроссельные, дроссельно-детандерные и каскадные циклы, в которых диоксид углерода применяется в качестве хладагента низкотемпературного контура. Уделено внимание анализу достоинств углекислотного цикла, в состав которого включён компрессор Ворхиса. Приведено сравнение характеристик дроссельных циклов с различной температурой охлаждения, одно- и двухступенчатым сжатием. Изложена краткая история создания холодильных установок и тепловых насосов, работающих на CO₂, указаны основные их производители, выпускающие оборудование с учётом особенностей используемого рабочего вещества. Отмечены преимущества систем тепло- и хладоснабжения, работающих на диоксиде углерода, по сравнению с системами, использующими альтернативные холодильные агенты.

Ключевые слова: Холодильная машина. Тепловой насос. Натуральные холодильные агенты. Диоксид углерода. Холодильный коэффициент. Коэффициент преобразования. Степень термодинамического совершенства. Компрессор Ворхиса.

1. ВВЕДЕНИЕ

Качество жизни современного человека зависит не только от объёмов потребления энергии, но также использования холода.

На обеспечение энергией различных систем охлаждения расходуется около 13 % вырабатываемой в мире электроэнергии [1]. На предприятиях розничной торговли доля энергопотребления холодильной системы составляет около 30 % [2]. Стоимость «холода» в супермаркетах — 3...5 % от стоимости реализуемых продуктов питания.

С каждым годом обостряются экологические проблемы [2–6]. Накопление диоксида углерода в атмосфере — одна из основных причин парникового эффекта, который характеризуется значением потенциала глобального потепления GWP (Global Warming Potential). Этот газ не пропускает солнечную энергию обратно в космическое пространство. Содержание парниковых газов (CO₂, метана, водяного пара и др.) неуклонно увеличивается.

Холодильная техника сейчас находится на таком этапе развития, когда в системах охлаждения практически уже не применяют озоноразрушающие хладагенты. Однако озабоченность стали вызывать хладагенты, в том числе и альтернативные, с высокими

GWP. Кроме этого, пришли к пониманию того, что нужно также принимать во внимание и удельные затраты энергии на производство холода определённого потенциала в конкретной системе охлаждения. Это объясняется тем, что потребляемая холодильной машиной энергия в большинстве своем вырабатывается за счёт сжигания углеродного или углеводородного видов топлива, сопровождающегося эмиссией CO₂.

Такое двойное влияние системы охлаждения на рост парникового эффекта нашло отражение в одобренной Международным институтом холода (Франция, Париж) методике [3]. В ней учитывается прямое влияние на парниковый эффект утечек хладагента, а также побочное — вызванное потреблением энергии системой охлаждения. Для этого введён специальный критерий оценки энергоэкологической эффективности системы охлаждения — Полный эквивалент глобального потепления TEWI, который рассчитывается в килограммах CO₂.

Вместе с тем известно, что диоксид углерода — эффективное рабочее тело с многолетней историей, которое применяется в системах, реализующих обратные термодинамические циклы. К тому же у CO₂ значение GWP=1. Это является существенным преимуществом диоксида углерода в сравнении с некото-