

Б.Т. Маринюк, К.С. Крысанов, А.Е. Ермолаев  
**ВАКУУМНЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И  
ХОЛОДОАККУМУЛЯТОРЫ ВОДНОГО ЛЬДА**

Холодильная техника относится к энергоемким отраслям промышленности. Значительная доля потребляемой холодильной техникой энергии расходуется на охлаждение пищевых жидкостей: воды, молока, алкогольных и безалкогольных напитков. Потребителями охлажденной, замороженной машинным способом воды, являются, к примеру, сельское хозяйство, пищевая промышленность, области использования кондиционирования воздуха. В существующих в настоящее время подходах для искусственного охлаждения воды машинными методами преимущественно задействован парокомпрессионный способ с использованием рабочих веществ, совершающих замкнутый термодинамический цикл с участием холодильного компрессора. При использовании хладагентов фреонового ряда, аммиака или углеводородов среднее рабочее давление в холодильной машине существенно выше атмосферного, и превышает его в 7—15 раз. Это обстоятельство предъявляет особые требования к герметизации контура холодильного агента и совершенству теплофизических свойств, применяемых в нем рабочих веществ, которые в итоге должны обеспечивать высокую энергоэффективность холодильной машины и при этом быть экологически чистыми (не отеплять окружающую среду и не разрушать озоновый слой земли). Такие требования практически исключают применение группы фреонов типа CFC, HCFC и даже HFC. Трудная ситуация в этой связи возникла в сельском хозяйстве, где по целому ряду причин применение аммиака не всегда представляется возможным. Поиск альтернативных рабочих веществ привел исследователей к природным соединениям, в частности, к воде, которая давно известна как хладоноситель и в меньшей степени (пароэжекторные и абсорбционные машины) как хладагент.

Особые теплофизические свойства воды, высокая теплоемкость, большая плотность по сравнению со многими органическими жидкостями, высокая теплота испарения и замерзания заставляют задуматься о широком использовании этого совершенного природного вещества в холодильных машинах с механическими насос-компрессорными агрегатами.

В отечественной и зарубежной литературе замечен рост публикаций по холодильным машинам, работающим на воде. В статье [1] убедительно показаны преимущества воды как холодильного агента. В частности, коэффициент эффективности вакуумно-испарительной холодильной машины

на воде выше, чем в традиционных парокомпрессионных фреоновых машинах (рисунок 1).

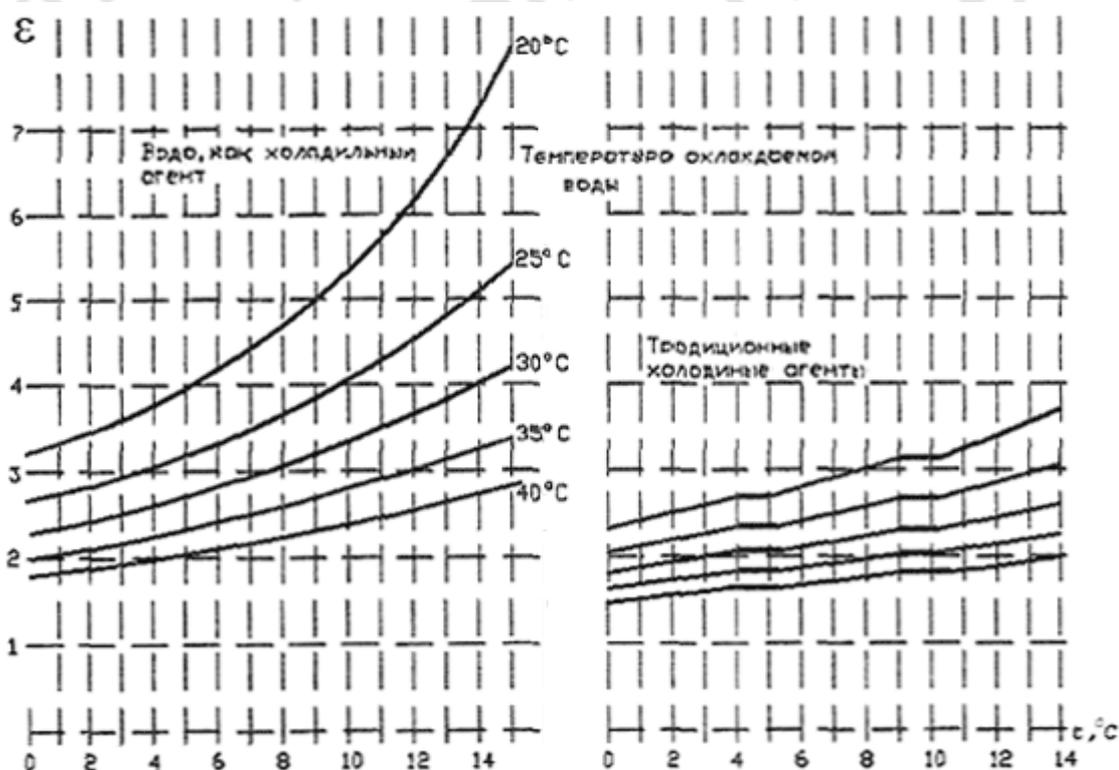


Рисунок 1 — Сравнение коэффициентов эффективности вакуумно-испарительной холодильной машины на воде с аналогичными показателями фреоновых водоохладителей в зависимости от конечной температуры охлажденной воды [1]

Зарубежные исследователи вакуумных холодильных установок на воде, в основном рассматривают в качестве насос-компрессорных агрегатов центробежные и осевые машины. В отечественной вакуумной технике имеется разработка центробежного вакуумного насоса-компрессора ЦВН-500 с четырьмя ступенями сжатия и числом оборотов 12 000 об/мин. Давление всасывания может меняться от 0,7 мбар до 75 мбар [2]. Ожидаемая холодильная мощность при работе на воде при температуре 6—8 °С составит более 300 кВт.

Для малых установок особый интерес представляют двухроторные вакуумные насосы, которые выпускаются российской промышленностью со скоростями откачки 50, 150, 500 и 1500 л/с. Используя централь из насосов с параллельной их работой, можно получить холодильную мощность 18—25 кВт при конечной температуре воды 2—5 °С. Такой диапазон холодильной мощности отвечает потребностям сельского хозяйства (охлаждение молока на молочных фермах, транспортировка живой рыбы в ледяной воде, охлаждение камер по выращиванию грибных мицелий и т.д.).

Резервы повышения холодильной мощности в установках с двухроторными машинами связаны в первую очередь с возможностью

увеличения числа оборотов роторов как минимум в 1,5—2 раза, что возможно либо с применением частотного преобразования, либо с установкой повышающей передачи на стороне ведущего вала насоса компрессора. Первый вариант более предпочтителен, т.к. габариты и масса установки остаются практически неизменными. В итоге холодильная мощность установки в форсированном варианте может достичь 40—50 кВт, что представляет интерес и для промышленного использования.

На основе имеющегося опыта исследований вакуумно-испарительных холодильных машин на воде можно с большой степенью уверенности утверждать, что расход энергии на охлаждение 1 т воды с 33 °С до 3 °С при использовании вакуумных установок малой производительности на 20—30 % ниже по сравнению с существующими образцами водоохладителей на фреонах [3].

Вакуумные холодильные установки можно применить и для производства водного льда и водо-ледяной пульпы, которые в последствии могут быть использованы как хладоемкая масса. Процесс вакуумного получения водного льда аналогичен процессу вакуумного охлаждения воды и может быть осуществлен на той же установке с минимальными конструктивными изменениями.

В вакуумных холодоаккумуляторах водного льда решается сразу несколько проблем: помимо экологического совершенства, установка получает преимущество по части схемы организации процесса. Во-первых, в отличие от традиционно признанных схем, образование льда идет практически на поверхности раздела вода-пар и термосопротивление слоя водяного льда не оказывает отрицательного влияния на интенсивность его образования. Во-вторых, имеется уникальная возможность получить водный лед с оптимальной, с точки зрения расхода энергии, температурой 0...–2 °С, что трудно реализуемо в известных схемах на основе холодильных компрессоров и хладагентов фреоно-амиачной группы. Кроме того, весь рабочий цикл установки проходит при давлении ниже атмосферного, что повышает безопасность использования установки, особенно в условиях ограниченного доступа к сервисному обслуживанию.

Процесс получения водного льда возможен в двух вариантах:

1. Послойное намораживание. Дискретный процесс, при котором вода порциями подается в испаритель, где замерзает на предыдущий слой.
2. Распыление. Непрерывный процесс подачи воды в испаритель через распылительные форсунки. В полете капля охлаждается до околонулевого (или нулевого) состояния и при контакте со стенками испарителя замерзает.

Область применения воды как холодильного агента ограничена ее высокой температурой замерзания что, не дает достигнуть температуры ниже 0 °С. Этот недостаток устраняется возможностью использования водосолевых растворов, таких как: CaCl, NaCl, а также органических

жидкостей: спиртов, эфиров и их смесевых композиций, друг с другом и водой. Оценки показывают, что вакуумно-испарительные установки при правильном подборе рабочих веществ могут успешно использоваться на температурном уровне  $-10...-30$  °С.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kuhn-Kinell, J. New Age Water Chillers with Water as Refrigerant. — ST Division Cooling and Ventilation Group (ST/CV) CERN, Geneva, Switzerland, 1998.

2. Фролов Е.С. Вакуумные системы и их элементы. — М.: "Машиностроение", 1968.— 190 с.

3. Маринюк Б.Т. Вакуумно-испарительные холодильные установки, теплообменники и газификаторы техники низких температур. — М.: "Энергоатомиздат", 2003.— 208 с.