

## ВОЗДУШНЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

**Artiom PAPCOV<sup>1</sup>**  
**Igor GÎDEI<sup>2</sup>**  
**Dumitru ANDON<sup>1</sup>**  
**Vadim LAVRIC<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Технический Университет Молдовы, Факультет Инженерной Механики, Промышленности и Транспорта, Департамент Инженерной Механики, гр. MIFSC-171, Кишинёв, Республика Молдова

<sup>2</sup> Технический Университет Молдовы, Факультет Инженерной Механики, Промышленности и Транспорта, Департамент Инженерной Механики, Докторская школа Механическая и Гражданская Инженерия, Кишинёв, Республика Молдова

\*Autorul corespondent: Papcov Artiom, [artiom\\_papkov@mail.ru](mailto:artiom_papkov@mail.ru)

**Аннотация.** Воздушные холодильные установки обладают рядом неудобств и в последнее время вышли из употребления. Вместо них широкое распространение получают холодильные установки, в которых в качестве рабочих тел применяют легкокипящие жидкости: аммиак, углекислоту, сернистый ангидрид, фреоны. Воздушные холодильные установки требуют больших расходов воздуха. Цикл воздушной холодильной установки является термодинамическим несовершенным, а установка малоэкономична и громоздка. В настоящее время широко применяются установки с турбокомпрессорами и с регенерацией, благодаря чему возрастает экономичность воздушных холодильных установок и расширяется область их применения.

**Ключевые слова:** холодопроизводительность, турбодетандер, климат, натуральный холодильный агент, турбомашинa.

### Введение

О первоначальных попытках создать воздушные (т.е. работающие посредством сжатого воздуха) холодильные машины сохранились лишь отрывочные сведения. Так, в 1755 г. немецкий изобретатель Хоэль в Хемнице (Австро-Венгрия) получил сильное охлаждение воздуха в результате его расширения с отдачей внешней работы. Начало третьему этапу создания воздушной холодильной машины положил в 1844 г. американский врач Джон Горри (1803-1855 гг.). Р. Тревитик (1771-1833 гг.) в конце 20-х годов сделал несколько образцов мамин, предназначенных для охлаждения воды и превращения её в лед. Принцип их действия заключался в том, что сжатый и затем охлаждённый до температуры окружающей среды воздух выпускался в воду и, расширяясь там, охлаждал ее до выделения льда. Однако дальше опытов дело не пошло. Его достижения в этой области трудно переоценить. Дж. Горри изучал медицину в Нью-Йорке и после завершения образования работал врачом в городе Апалачикола (шт. Флорида). Именно жаркий климат этого района побудил Горри заняться холодильными делами. В 1845 г. Горри эту машину сделал (рисунок 1).

### Схема и принцип работы воздушной холодильной установки

Воздушные холодильные машины (ВХМ) (рисунок 2) относятся к компрессорным потому, что в них применен компрессор для сжатия хладагента – воздуха.

Воздух из помещения П, где поддерживается температура  $T_1$ , засасывается компрессором К и сжимается от давления  $P_0$  до давления  $P$  (процесс 1-2). При этом его температура возрастает до  $T_2$ , благодаря чему воздух затем может быть охлажден в промежуточном охладителе ПО забортной водой ЗВ (процесс 2-3). Сжатый охлажденный воздух с температурой  $T_3$  поступает в расширитель (детандер) – турбину Т, где он, расширяясь до давления  $P_0$  (процесс 3-4), охлаждается и выходит в помещение с

температурой  $T_4 < T_1$ . Подогреваясь в помещении при постоянном давлении  $P_0$  от  $T_4$  до  $T_1$  (процесс 4-1), воздух производит его охлаждение. Процессы, происходящие в ВХМ, представлены на рисунке 3.



Рисунок 1. Первая воздушная холодильная машина, изобретённая Дж. Горри

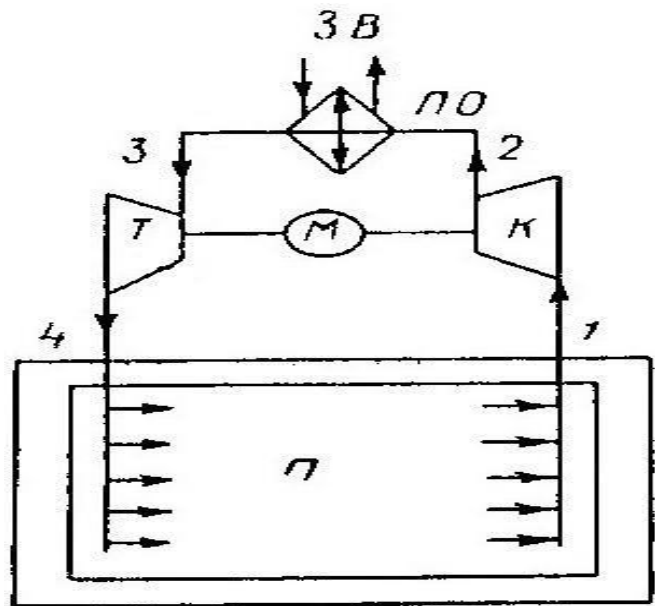


Рисунок 2. Принципиальная схема простейшей воздушной холодильной машины:  
 П – помещение; К – компрессор; Т – турбина (детандер); ПО – промежуточный охладитель;  
 М – двигатель; ЗВ – забортная вода.

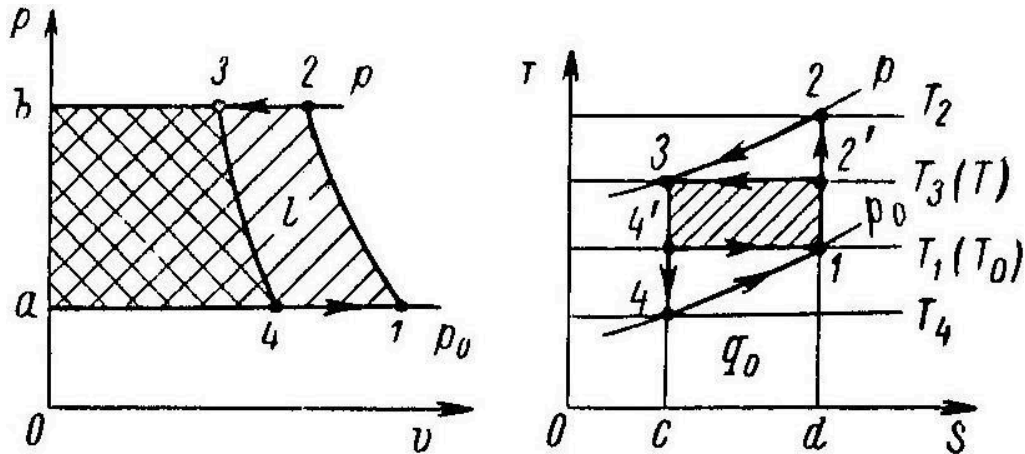
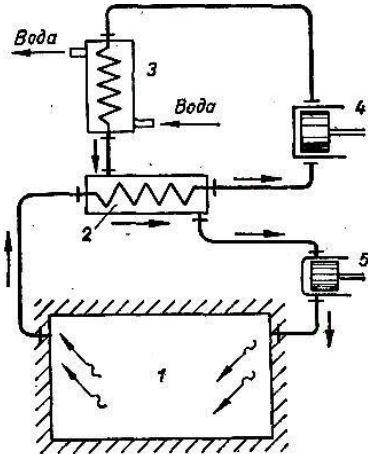


Рисунок 3. Теоретический цикл простейшей воздушной холодильной машины в диаграммах  $\lg P-v$  и  $T-S$

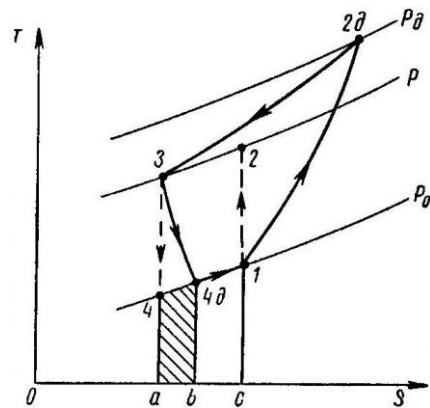
### Воздушная холодильная машина с регенерацией тепла

Действительный цикл воздушной холодильной машины сопровождается большими потерями воздуха и дополнительными затратами электроэнергии. Поэтому значение действительного холодильного коэффициента в несколько раз меньше его теоретического значения. Это, главным образом, и является причиной незначительного распространения воздушных холодильных машин. Экономичность работы воздушной холодильной машины может быть достигнута в результате уменьшения степени повышения давления воздуха в компрессоре, вследствие чего уменьшаются объемные потери в компрессоре и детандере растут энергетические показатели. Минимальную степень повышения давления можно получить, применяя регенерацию тепла (рисунок 4). Забираемый из помещения воздух проходит через теплообменник и сжимается в компрессоре. Затем он поступает в

охладитель, снова направляется в теплообменник, после чего расширяется и охлаждается в детандере. Из детандера он поступает в охлаждаемое помещение. Цикл с регенерацией тепла по сравнению с обычным циклом (рисунок 5) дает возможность увеличить почти вдвое холодильный коэффициент. Небольшая степень повышения давления дает возможность применять вместо поршневых компрессоров и детандеров турбокомпрессоры и турбодетандеры. Они малогабаритны, имеют меньшие объемные потери, лучшие энергетические показатели и высокий к.п.д. Воздушные холодильные машины с турбокомпрессорами дают большую холодопроизводительность и в настоящее время наиболее перспективны для применения в системах кондиционирования воздуха.



**Рисунок 4. Схема воздушной холодильной машины с регенерацией тепла:**  
 1 - охлаждаемое помещение; 2 - теплообменник;  
 3 - охладитель; 4 - компрессор; 5 - детандер.

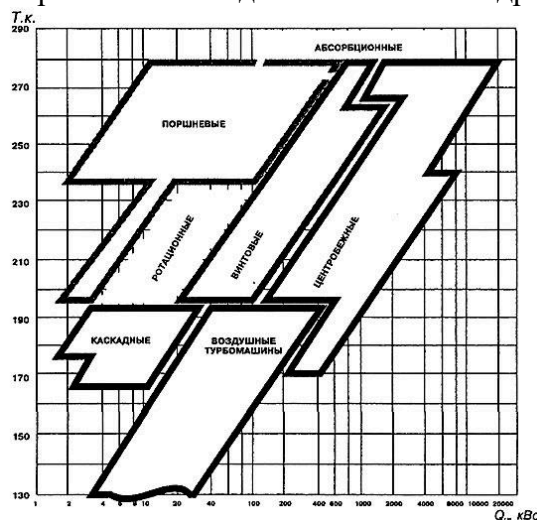


**Рисунок 5. Реальный цикл воздушной холодильной установки в диаграмме T – S: потери в турбине (зона a-4-4δ-b).**

### Сравнение воздушных и парокомпрессионных холодильных машин

Основные факторы для сравнения являются:

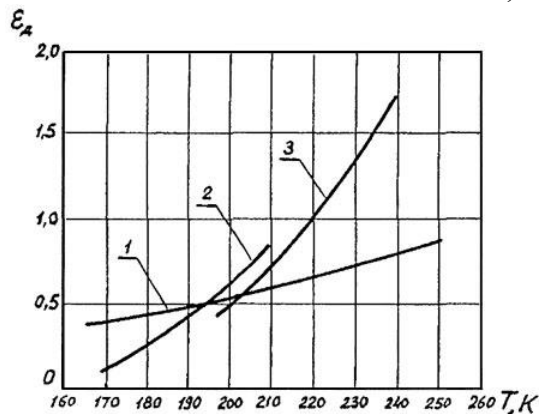
- холодопроизводительность;
- уровень температур подвода и отвода тепла;
- стоимость производства и эксплуатации;
- требования к массе и габаритным размерам;
- требования к уровню шума и надежности;
- требования к характеристике охлаждаемого объекта и др.



**Рисунок 6. Области применения холодильных машин различного типа.**

Термодинамический анализ циклов воздушных и парокомпрессионных машин показывает, что значения действительного холодильного коэффициента  $\epsilon_d$  воздушных холодильных машин снижаются по мере уменьшения температуры охлаждения более

полого, чем для парокомпрессионных машин (рисунок 7), и кривые  $\varepsilon_d = f(T_{\text{охл.}})$  пересекаются при  $T_{\text{охл.}} = 203 \div 193 \text{ К}$ , т.е. при температурах ниже этой температурной границы воздушные машины становятся более экономичными, чем парокомпрессионные.



**Рисунок 7. Зависимость холодильного коэффициента от нижней температуры охлаждения:**

- 1 - воздушные турбохолодильные машины;*
- 2 - каскадные парокомпрессионные машины;*
- 3 - двухступенчатые парокомпрессионные машины.*

#### **Вывод**

Такие машины применялись еще до появления парокомпрессионных холодильных машин, в которых хладагентами служат легкокипящие вещества – аммиак и углекислота и тем более фреоны. Воздух как хладагент безвреден, общедоступен, безопасен и почти нейтрален к металлам и смазочным маслам. Поэтому применение его в холодильной технике весьма желательно. Однако недостатком его является малая объемная холодопроизводительность. Кроме того, следует отметить, что воздушные холодильные машины, работающие по циклу с разрежением, могут составить конкуренцию парокомпрессионным машинам и при более высоких температурах охлаждения в частности, в тех случаях, когда:

- 1) потребителю необходим горячий воздух (температурой 373-393 К) для различных теплофикационных нужд, т.е. в установках для совместного получения холода и тепла;
- 2) имеют место большие (более 3000 мм в.с.) гидравлические потери в объекте охлаждения, существенно больше, чем потери в самом гидравлическом тракте машины;
- 3) на первый план выходят весовые и габаритные характеристики (например, в мобильных транспортных средствах для специальных целей).

#### **Литература:**

1. Холодильные машины. Справочник. Серия "Холодильная техника", изд. "Лёгкая и пищевая промышленность". М., 1982 г.
2. Кириллин В.А Сычев В.В Шейндлин А.Е. "Техническая термодинамика", изд. 3, Москва «Энергоатомиздат» 1983 - 416 с.

#### **Веб страницы:**

3. <http://holod-proekt.com/2011/10/vozdushnye-holodilnye-mashiny/>