

Анализ энергетических характеристик комбинированных компрессионно-термоэлектрических систем охлаждения

Д-р техн. наук А.Б.СУЛИН
ФГУП НИИ промышленной и морской медицины,
И.Н. БОГОМОЛОВ
СПбГУНиПТ

On account of low energy efficiency in maximum temperature difference mode, thermoelectric devices find limited applications as cooling and heating source in field of low temperature (-60°C and lower) and air-conditioning equipment. On the other hand, compression devices also have restrictions in obtained temperature difference in consequence of limited evaporation and condensation pressure, what leads to necessity of two stage compression in cooling circuits. So, the hybrid systems, which include thermoelectric block, can help to reach and keep the considered temperature level. This article is regarded to the problem of choose the optimum compression-thermoelectric devices schemes and to the determination of effective temperature modes of cooling equipment based on offered combination.

Термоэлектрические преобразователи, передающие тепловую энергию как в направлении естественного перепада температур (интенсификаторы), так и в обратном направлении (охладители и тепловые насосы), находят широкое применение в технике термостатирования. В то же время невысокая энергетическая эффективность в режимах максимальных разностей температур ограничивает их применение в низкотемпературной технике (-60°C и ниже) и кондиционировании воздуха в качестве основного источника холодо- и теплоснабжения.

Широкое использование в этих областях парокомпрессионных установок также имеет предел по реализуемой в одноступенчатом цикле разности температур, определяемый ограничениями на давления кипения и конден-

сации хладагента. При этом зачастую необходимость увеличить разность температур всего на $10...20\text{ K}$ вынуждает применять гораздо более сложные и дорогостоящие схемные решения парокомпрессионных установок с двухступенчатым сжатием и каскадированием контуров охлаждения. Поэтому при решении задач термостатирования для температур, близких, но превышающих уровни, реализуемые в одноступенчатых парокомпрессионных установках, особый интерес представляют комбинированные системы, включающие термоэлектрический блок [1, 2].

Рассмотрим возможные схемы каскадной парокомпрессионной установки с термоэлектрическим тепловым насосом.

▼ Схемы, расширяющие температурный диапазон:

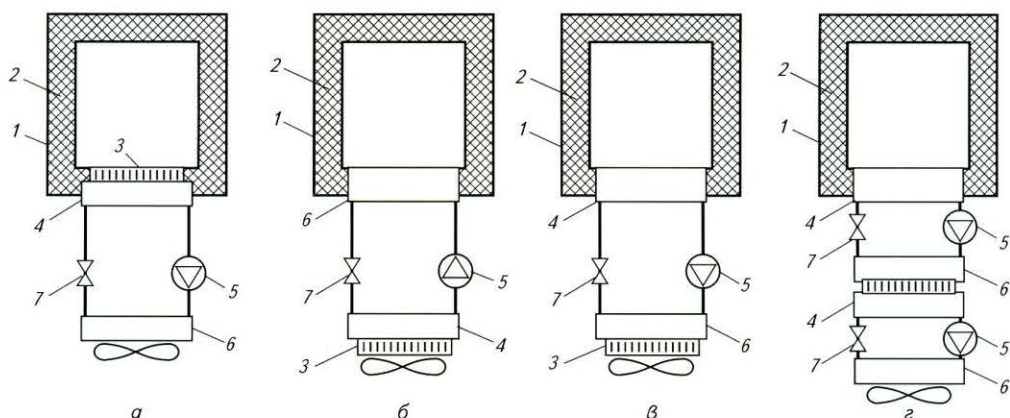


Рис. 1. Схемы комбинированных компрессионно-термоэлектрических систем:
а – морозильная камера; б – тепловой насос; в – схема со стабилизацией давления конденсации; г – схема со стабилизацией давления в промежуточном теплообменнике;
1 – рабочая камера; 2 – теплоизоляция; 3 – термоэлектрический блок; 4 – конденсатор парокомпрессионной ветви; 5 – компрессор; 6 – испаритель парокомпрессионной ветви; 7 – дросселирующий элемент

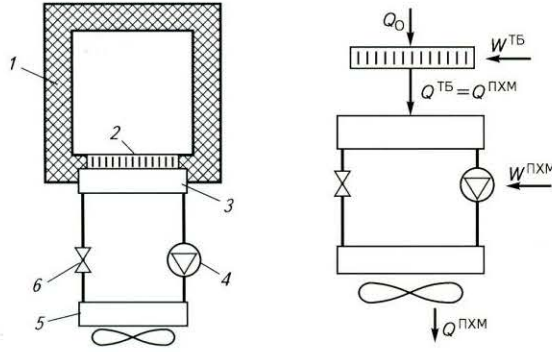


Рис. 2. Схема потоков в комбинированной системе термостатирования:

1 – камера охлаждения; 2 – термобатарея; 3 – испаритель; 4 – компрессор; 5 – конденсатор; 6 – ТРВ

низкотемпературные системы термостатирования на уровень температур $-60 \dots -80 \text{ }^\circ\text{C}$;

теплонасосные установки с термоэлектрическим каскадом, повышающим температуру кипения в испарителе относительно температуры окружающей среды.

▼ Схемы, стабилизирующие давление в аппаратах:

термоэлектрические стабилизаторы температуры конденсации парокompрессионной установки, обеспечивающие спецификационные значения давления конденсации и надежность системы в широком диапазоне температур окружающей среды;

термоэлектрические стабилизаторы температуры кипения в промежуточном теплообменнике двухкаскадной парокompрессионной установки, обеспечивающие спецификационные значения давления кипения и надежность высокотемпературной ступени.

На рис. 1 приведены схемные решения комбинированных систем термостатирования.

Основная задача при расчете комбинированных систем состоит в согласовании режимов работы каждой из ступеней охлаждения. На рис. 2 приведены пример комбинированной компрессионно-термоэлектрической системы охлаждения и схема энергетических потоков в ней.

В рассматриваемой схеме термобатарея используется как первый каскад охлаждения, парокompрессионная машина – в качестве второго каскада. Тепловая нагрузка на камеру термостатирования Q_0 отводится холодным спаем термобатареи. При этом на работу термобатареи затрачивается электроэнергия W^{TB} . Теплота, выделяющаяся на горячем спае термобатареи, Q^{TB} отводится с помощью испарителя парокompрессионного каскада, имеющего холодопроизводительность Q^{PCM}_0 . Теплота конденсации парокompрессионной холодильной машины Q^{PCM} отводится в окружающую среду. На работу парокompрессионной машины затрачивается электроэнергия W^{PCM} .

Разработанный и реализованный в среде Visual Basic алгоритм расчета позволяет определить зависимость температуры в камере термостатирования $t_{\text{кам}}$ от силы тока

питания термобатарей I потребляемой ими мощности W^{TB} (рис. 3).

Из приведенных графиков видно, что кривые температуры в камере имеют выраженные экстремумы в зависимости от силы тока питания и соответственно энергопотребления термобатарей. Минимальные значения температуры в камере – следствие достижения оптимального соотношения между холодопроизводительностью термоэлектробатарей, их тепловыделением и соответствующей холодопроизводительностью парокompрессионной машины. Таким образом, расчетный режим энергопитания термоэлектрического каскада комбинированной системы охлаждения однозначно определяется с помощью разработанной методики.

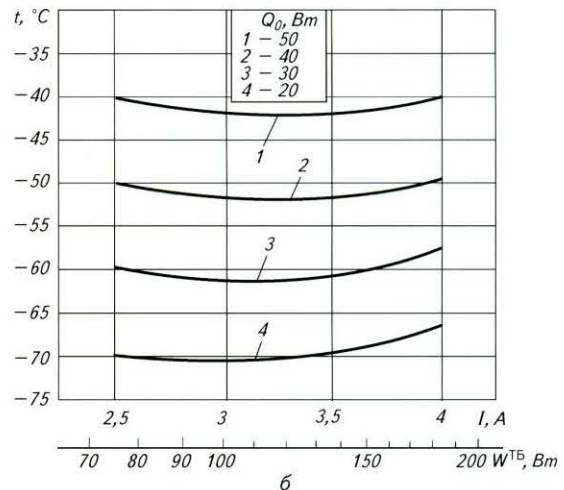
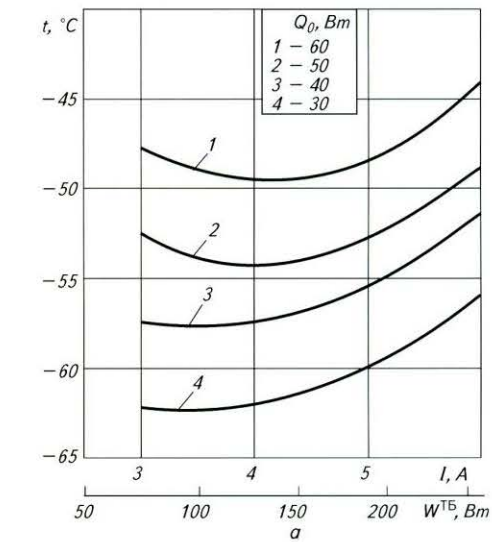


Рис. 3. Зависимость температуры в камере от силы тока питания термобатарей при различных тепловых нагрузках:

а – однокаскадные термобатареи; б – двухкаскадные термобатареи

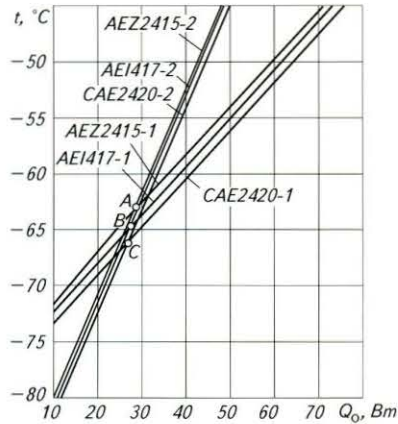


Рис. 4. Сводный график зависимости температуры в камере термостатирования от тепловой нагрузки

Математическая модель комбинированной системы охлаждения и составленная на ее основе программа расчета позволили построить сводный график зависимости температуры в камере термостатирования от тепловой нагрузки Q_0 (рис. 4).

Три линии, имеющие меньший наклон к оси абсцисс, соответствуют варианту комбинированной системы охлаждения с однокаскадным и термоэлектрическим модулями (цифра «1» после марки агрегата на графике рис. 4); линии с большим наклоном – варианту с двухкаскадными термоэлектрическими модулями (цифра «2» после марки агрегата).

В расчетах использовались термобатареи производства фирмы «Остерм» и холодильные агрегаты производства фирмы Hermetic. В модельном ряду агрегатов «AEZ2415 → AEI417 → CAE2420» холодопроизводительность увеличивается, и соответственно достигаются более низкие температуры в камере термостатирования.

Как видно из сводного графика (см. рис. 4), в рассматриваемом случае при холодопроизводительностях менее 25 Вт наиболее низкие температуры в камере термостатирования достигаются при использовании схемы с двухкаскадными термоэлектрическими модулями. Если же требуемая холодопроизводительность превышает 30 Вт, то минимальные температуры в камере термостатирования можно получить в комбинированной системе охлаждения при использовании однокаскадных термобатарей. В диапазоне холодильных нагрузок 25...30 Вт может рассматриваться выбор между одно- и двухкаскадными модулями.

На рис. 4 отмечены буквами *A*, *B*, *C* точки пересечения характеристик комбинированных систем с одно- и двухкаскадными термобатареями (при одинаковых парокомпрессионных агрегатах второго каскада охлаждения).

Эти точки образуют линию, имеющую наклон к оси абсцисс. При использовании парокомпрессионных агрегатов большей холодопроизводительности точка пере-

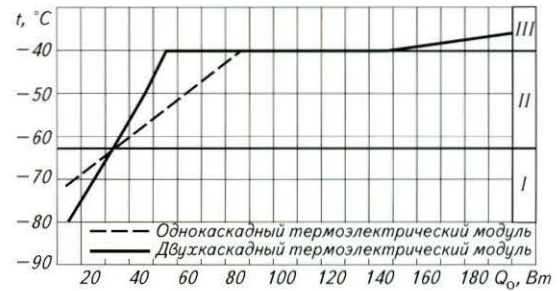


Рис. 5. Режимы работы термостата с комбинированной системой охлаждения

сечения характеристик комбинированной системы будет смещаться в область меньших холодопроизводительностей системы.

Следовательно, чем большей холодопроизводительностью обладает используемый в комбинированной системе парокомпрессионный агрегат, тем менее оправданным (с точки зрения достижения наиболее низких температур в камере термостатирования) становится применение в этой системе двухкаскадных термоэлектрических модулей.

Рассмотрим режимы работы термостата при применении комбинированной системы охлаждения (парокомпрессионный агрегат AEZ2415 совместно с однокаскадными и двухкаскадными термобатареями), а также при использовании только парокомпрессионного агрегата (рис. 5). На графике отмечены три зоны работы компрессионно-термоэлектрической системы охлаждения.

Для каждой из них существует оптимальная (с точки зрения достижения минимальных температур в камере) схема компоновки комбинированной системы охлаждения. В области *I* (диапазон температур $-80...-63$ °C) наиболее эффективно термоэлектрический блок комбинированной системы выполнять на основе двухкаскадных модулей. В области *II* ($-63...-40$ °C) наиболее низкие температуры в камере могут быть получены при использовании в термоэлектрическом блоке однокаскадных модулей. В области *III* (температура в камере выше -40 °C) целесообразно применять однокаскадное (парокомпрессионное) охлаждение.

Список литературы

1. Сулин А. Б., Богомолов И. Н. Основные расчетные характеристики низкотемпературной комбинированной системы термостатирования // Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. 2006. № 1.
2. Сулин А. Б., Богомолов И. Н. Схемные решения и характеристики компрессионно-термоэлектрических систем термостатирования // Материалы докладов III Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития термоэлектрического приборостроения», 2007.