

## Обоснование тепловых режимов компрессионно-термоэлектрического криостата

Богомолов И.Н., Сулин А.Б.

*На основании исследований можно сделать следующее заключение: чем большей производительностью холода обладает компрессионный агрегат второй ступени охлаждения, тем менее оправданным становится использование в качестве первой ступени двухкаскадных термоэлектрических модулей.*

Ключевые слова: тепловые режимы, двухкаскадные термоэлектрические модули.

В настоящее время в сфере испытательного и лабораторного оборудования существует ниша, где установки с компрессионно-термоэлектрическим охлаждением являются наиболее выгодным и удобным решением. Для низкотемпературных испытаний материалов, изделий, а также определения свойств продукции в условиях низких температур находят применение криостаты на базе комбинированных систем охлаждения. [1]

Настоящая статья посвящена методам расчета и определению режимов работы криостатов с компрессионно-термоэлектрической системой охлаждения.

В качестве термоэлектрической ступени охлаждения возможно использовать как однокаскадные, так и двухкаскадные термобатареи. Кроме того, расчеты проводились для пароконпрессионной ступени охлаждения на базе холодильных агрегатов разной производительности. Математическая модель комбинированной системы охлаждения и составленная на ее основе программа расчета позволили построить сводный график зависимости температуры в камере термостатирования ( $t_{\text{кам}}, ^\circ\text{C}$ ) от холодильной нагрузки ( $Q_0, \text{Вт}$ ), приведенный на Рис. 1. [2]

На Рис.1 линии, имеющие меньший наклон к оси абсцисс ( $Q_0, \text{Вт}$ ), соответствуют комбинированной схеме с использованием однокаскадных термоэлектрических модулей; линии, имеющие больший наклон соответствуют схеме охлаждения с использованием двухкаскадных термоэлектрических модулей.

В расчетах использовались характеристики термобатарей фирмы «Остерм» и холодильных агрегатов фирмы «Hermetic». В модельном ряду АЕZ2415 – АЕ1417 – САЕ2420 холодопроизводительность компрессионного агрегата увеличивается, и, соответственно, достигаются более низкие температуры в камере термостатирования.

Как видно из сводного графика, 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 возможно получить при использовании однокаскадных термобатарей в комбинированной системе охлаждения. На Рис. 1 обозначены точки пересечения характеристик комбинированных систем для вариантов с использованием одно- и двухкаскадных термобатарей при одинаковых парокомпрессионных агрегатах второй ступени охлаждения (точки А, В, С).

В диапазоне холодильных нагрузок 25...30 Вт может рассматриваться выбор между одно- и двухкаскадными модулями. Точки пересечения характеристик (точки А, В, С) образуют линию, имеющую наклон к оси абсцисс ( $Q_0$ , Вт). При использовании парокомпрессионных агрегатов большей холодопроизводительности точка пересечения характеристик комбинированной системы будет смещаться в область меньших холодопроизводительностей системы.

На основании вышеизложенного можно сделать следующее заключение: чем большей холодопроизводительностью обладает парокомпрессионный агрегат второй ступени охлаждения, тем менее оправданным (с точки зрения достижения наиболее низких температур в камере термостатирования) становится использование в качестве первой ступени двухкаскадных термоэлектрических модулей.

Рассмотрим режимы работы термостата с комбинированной системой охлаждения в случае использования парокомпрессионной машины АЕZ2415 в схеме с однокаскадными термобатареями, с двухкаскадными термобатареями, а также однокаскадную схему охлаждения на базе парокомпрессионного агрегата. На графике, приведенном на Рис. 2, отмечены три зоны работы компрессионно-термоэлектрической системы охлаждения.

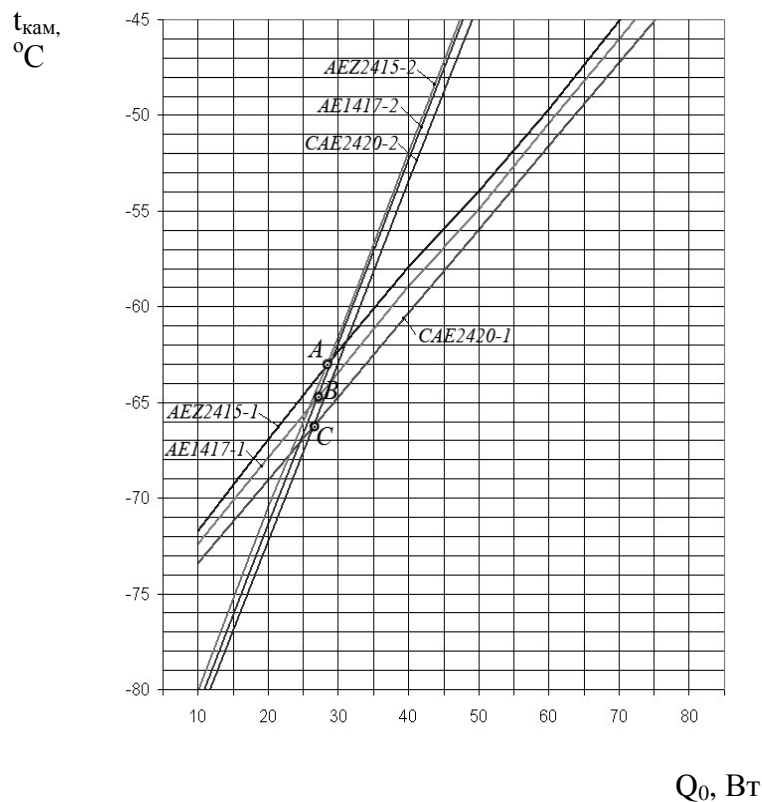


Рис. 1. Сводный график зависимости температуры в камере от холодильной нагрузки: «1» после марки парокompрессионного агрегата означает использование однокаскадной термобатареи в качестве первой ступени охлаждения; «2» – двухкаскадной

В каждой из трех зон, выделенных на Рис. 2, существует наиболее оптимальная схема компоновки системы охлаждения. В области I (с диапазоном температур  $-80$  до  $-63^{\circ}\text{C}$  в данном случае) наиболее эффективно, с точки зрения достижения минимальных температур в камере, термоэлектрический блок комбинированной системы выполнять на основе двухкаскадных модулей. В области II (с диапазоном температур  $-63$  до  $-40^{\circ}\text{C}$  в данном случае) наиболее низкие температуры в камере могут быть получены при использовании однокаскадных модулей в термоэлектрическом блоке. В области III с температурами в камере, выше  $-40^{\circ}\text{C}$ , целесообразно применять однокаскадное охлаждение.

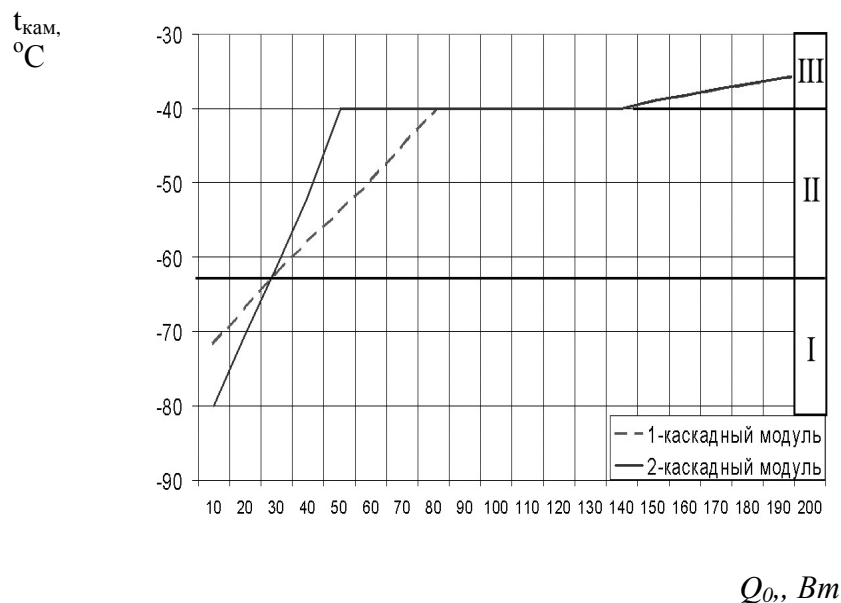


Рис. 2. Режимы работы термостата на базе комбинированной холодильной машины.

Для конечного потребителя важен объем камеры термостатирования и уровень поддерживаемой в ней температуры. Для расчета объема камеры исходными данными являются холодопроизводительность комбинированного агрегата, температура в камере, толщина изоляции и коэффициент теплопроводности изоляции.

Вычисления производились для теплоизоляционного материала с коэффициентом теплопроводности 0,03 Вт/м К. Расчеты были выполнены для схемы с использованием парокомпрессионной машины AEZ2415 в комбинации с однокаскадными и двухкаскадными термобатареями.

На основании расчетов для схемы с однокаскадными модулями был построен график, показанный на Рис. 3, для схемы с двухкаскадными модулями – Рис. 4.

Таким образом, для оптимальной компоновки комбинированной системы охлаждения, соответствующей требуемому режиму работы (в диапазоне  $-80 \dots -40^\circ\text{C}$ ), возможно определить наиболее целесообразную толщину изоляции и объем камеры термостатирования.

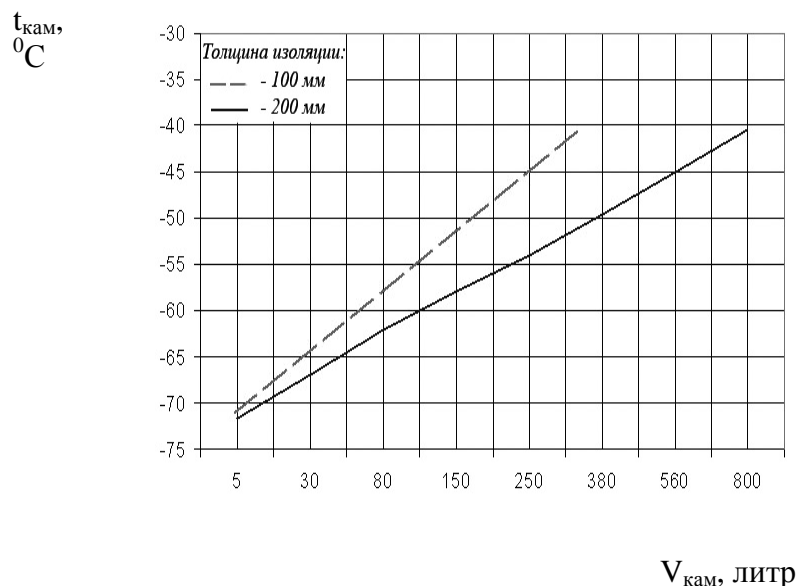


Рис. 3. Полезный объем камеры и температура в камере для термостата на основе комбинированной схемы с однокаскадными термобатарейми.

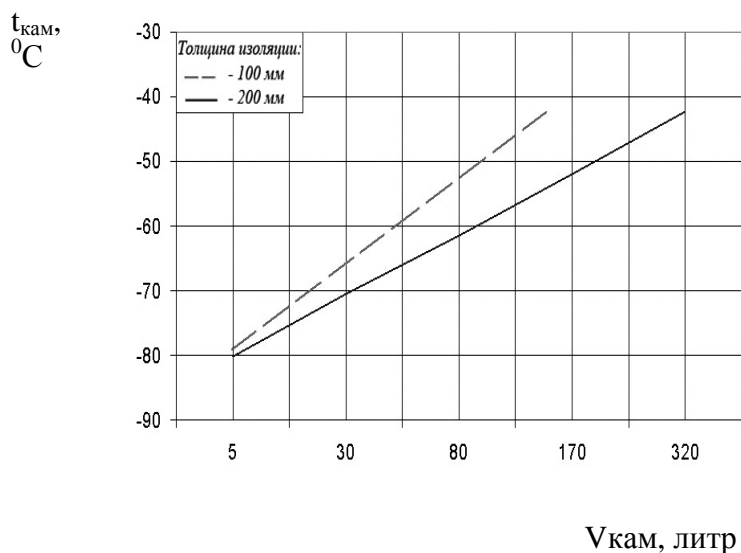


Рис. 4. Полезный объем камеры и температура в камере для термостата на основе комбинированной схемы с двухкаскадными термобатарейми.

Для рассмотренной схемы рациональным является создание камер термостатирования объемом от 3 до 150 литров.

## Список литературы

1. Алескеров Ф.К. Малогабаритные каскадные и компрессионно-термоэлектрические термостаты для температур минус 50 – плюс 80 С: Автореф. дисс. канд. техн. наук. Ашхабад, 1988. 19 с.
2. Наер В.А. Определение промежуточных температур в каскадных и комбинированных охлаждающих устройствах. – Материалы Всесоюзной научно-технической конференции «Совершенствование процессов, машин

и аппаратов холодильной и криогенной техники и кондиционирования воздуха». Ташкент, 1977, с. 37–38.