

УДК 621.565.9

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
БОРТОВЫХ КРИОГЕННЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ**

Заика С. В., Достовалова С. С., Угланов Д. А.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Обеспечение охлаждения до криогенных уровней температуры приёмников инфракрасного излучения, элементов оптических систем и других устройств, устанавливаемых на летательных аппаратах, – важнейшее требование, предъявляемое ко многим авиационным и космическим проектам. При выборе бортовой криогенной системы охлаждения необходимо учитывать не только энергетические потери, но и те, которые возникают при организации работы системы охлаждения: потери на получение и транспортировку рабочего тела, потери тепловых потоков, потери из-за несовершенства установки.

Оценка любых энергетических ресурсов термодинамической системы, также как и превращений энергии, должна проводиться с учётом влияния параметров окружающей среды. Возникает необходимость введения общей меры для энергетических ресурсов, способных при взаимодействии с окружающей средой постоянных параметров к преобразованию в другие виды организованной энергии.

Такая мера ресурсов превратимой энергии системы была названа эксергией системы. Эксергия системы в данном состоянии измеряется количеством механической или другой полностью превратимой энергии, которое может быть получено от данной системы в результате её обратимого перехода из данного состояния в состояние равновесия с окружающей средой.

Из первого и второго начала термодинамики непосредственно следует, что в каждом состоянии эксергия системы, как и энергия, имеет определённое фиксированное значение.

На рисунке 1 приведены зависимости эксергетического КПД от температуры криостатирования для некоторых циклов и схем криогенных установок. Для каждого метода охлаждения существует сравнительно узкий диапазон температур, в пределах которого сохраняется высокая эффективность системы. Максимальный КПД в диапазоне температур 70 – 150 К имеют газовые криогенные машины, работающие по циклу Стирлинга, а минимальный – дроссельные системы, в которых хладагентом является азот. Применение термоэлектрических охладителей в микрокриогенных системах ограничено температурными условиями.

Дроссельные криогенные системы наиболее просто поддаются миниатюризации, но имеют самый низкий КПД по сравнению с другими типами замкнутых систем, что связано с несовершенством процесса дросселирования и малым изотермическим КПД. Однако эффективность дроссельных микрокриогенных систем можно значительно повысить улучшением теплофизических свойств хладагентов.

При миниатюризации системы по циклу Стирлинга сохраняют наиболее высокий КПД по сравнению с другими циклами и методами охлаждения.

В ходе исследований было установлено, что эксергетический КПД криогенной системы охлаждения находится по следующей формуле:

$$\eta_e = \frac{Q_0 \cdot \tau_e}{L},$$

где Q_0 – холодопроизводительность системы; τ_e – эксергетическая температурная функция; L – работа цикла.

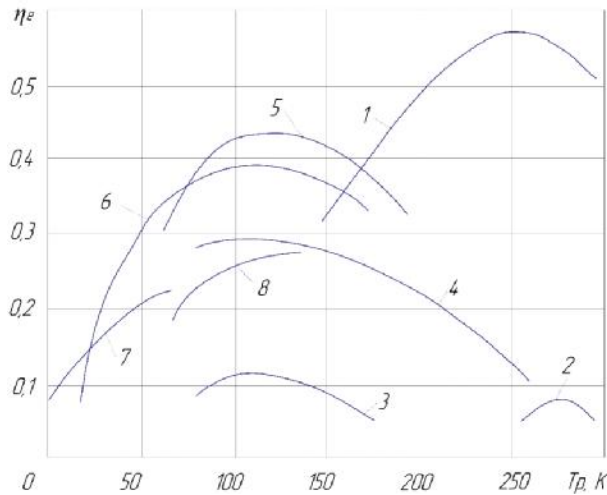


Рис. 1. Зависимость эксергетического КПД низкотемпературных установок от температуры криостатирования: 1 – паровые компрессионные установки; 2 – термоэлектрические охладители; 3 – дроссельные системы, в которых хладагентом является азот; 4 – регенеративные системы с использованием турбомашин; 5, 6 – ГКМ, работающие по циклу Стирлинга; 7 – детандеры; 8 – дроссельные системы на газовых смесях

В этом случае эксергетический КПД с учётом затрат для подготовки рабочего тела будет равен:

$$\eta_{en} = \frac{Q_0 \cdot \tau_e}{\sum E + L},$$

где $\sum E$ – суммарные затраты энергии.

Общий эксергетический КПД, учитывающий затраты для подготовки рабочего тела, а также затраты для транспортировки системы охлаждения на борту летательного аппарата:

$$\eta_{e0} = \frac{Q_0 \cdot \tau_e}{\sum E + L + e_m},$$

где e_m – массовый эксергетический коэффициент $e_m = k_m \cdot m_{co}$,

где k_m – массовый коэффициент.

$$k_m = \frac{m_T \cdot H}{m_{ЛА} \cdot V},$$

где m_T – масса топлива; $m_{ЛА}$ – масса летательного аппарата, H – теплота сгорания топлива; V – время полёта летательного аппарата.

Массовый коэффициент k_m и массовый эксергетический коэффициент e_m – это новые величины, которые необходимо учитывать при расчётах.

Использование полученной методики позволяет проводить комплексный анализ эффективности бортовых криогенных систем охлаждения. Это позволяет выбрать наиболее оптимальную систему охлаждения для конкретного летательного аппарата.