

УДК 621.565

**А.В. Троценко**

Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского Одесской национальной академии пищевых технологий, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082  
e-mail: trotalex@rambler.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМАХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Значения минимальных затрат в криогенных установках определяют, используя представления об обратимых циклах или процессах. Показано, что минимальные затраты энергии в рефрижераторных и ожижительных криогенных установках могут быть найдены без их использования. Предложен численный способ расчёта минимальных затрат в испарителе для случая получения холода при переменной температуре охлаждения. Получены выражения для вычисления минимальных затрат в испарителе и сборнике жидкости при учете потерь от необратимости процессов в этих элементах.*

**Ключевые слова:** Криогенная техника. Минимальные затраты энергии. Энергетический баланс. Эксергетический баланс. Необратимые процессы.

**A.V. Trotsenko**

## DETERMINATION OF THE MINIMUM ENERGY CONSUMPTION IN DIFFERENT LOW TEMPERATURE SYSTEMS

*The value of the minimum energy consumption in the cryogenic plants is determined using the concept of reversible cycles and processes. It is shown that the minimum energy consumption in refrigeration and liquefaction cryogenic plants can be determined without the use of the concept. A numerical method for calculation of the minimum energy consumption of the evaporator when the refrigeration temperature is variable has been proposed. The expressions for the minimum energy consumption calculation in the evaporator and the fluid collector taking into account the losses from irreversibility of the processes in these elements have been obtained.*

**Keywords:** Cryogenics. Minimum energy consumption. Energy balance. Exergy balance. Irreversible processes.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Определение минимальных затрат энергии (работы)  $L_{\min}$  для получения продуктов в холодильных и криогенных системах является одной из распространенных задач термодинамического анализа, решение которой позволяет установить возможный нижний предел этих затрат, а также рассчитать с их помощью эксергетические потери от необратимости процессов и эксергетический КПД [1,2]. Обычно при нахождении выражений для вычисления минимальных затрат используются представления об идеальном цикле охлаждения (для рефрижераторных установок типа  $R$ ), идеальном цикле ожижения (для ожижительных установок типа  $L$ ), минимальной работе разделения (для газоразделительных установок типа  $D$ ). Известными прототипами для идеальных систем получения холода на постоянном температурном уровне является обратный цикл Карно, а разделения газовой смеси — ящик Вант-Гоффа.

В данной работе рассматривается более общий подход по сравнению с существующими способами нахождения величины  $L_{\min}$ , основанный на эксергетическом методе термодинамического анализа. В основе этого подхода лежит анализ эксергетического баланса, составленного для низкотемпературной системы или для ее элементов, в которых продукты выдаются потребителю. Примером использования такого баланса является вывод общей зависимости для минимальной работы разделения многокомпонентной смеси [3].

### 2. ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНЫХ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ

Общее выражение для эксергетического баланса термодинамической системы имеет вид:

$$\sum_{i=1}^n E_i' = \sum_{j=1}^m E_j'' + D_e, \quad (1)$$