

**А.В. Троценко\***, **М.В. Поддубная**

Одесская государственная академия холода, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082

\*e-mail: trotalex@rambler.ru

## ОСОБЕННОСТИ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В КРИОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

*Потери эксергии в криогенных системах могут использоваться в качестве универсального критерия термодинамической эффективности. Рассматривается конкретный смысл эксергетических потерь в случае различной постановки задач термодинамического анализа. Показано, что более обоснованные направления энергосбережения в криогенной системе могут быть установлены при сравнении реального цикла с соответствующим циклом без технических потерь.*

**Ключевые слова:** Эксергетические потери. Криогенная система. Термодинамическая оптимизация. Цикл Линде. Рефрижератор.

**A.V. Trotsenko, M.V. Poddubnaya**

## FEATURES OF EXERGETIC LOSSES IN CRYOGENIC SYSTEMS

*The losses in cryogenic systems can be applied as universal criterion of thermodynamic effectiveness. The concrete sense of exergetic losses is considered in cause of different problem formulation of thermodynamic analysis. It is shown that more substantiated directions of energypriventation in cryogenic system may be obtained by comparison of real cycle with the corespouding cycle without technical losses.*

**Keywords:** Exergetic losses. Cryogenic system. Thermodynamic optimization. Linde cycle. Refrigerator.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Эксергетические потери  $D_e$  являются универсальным критерием, который можно использовать для оценки эффективности любой термодинамической системы и составляющих её подсистем. Этот показатель, например, применяется для определения работоспособности многопоточных теплообменных аппаратов [1].

В отличие от другого критерия термодинамической эффективности — эксергетического КПД, величина  $D_e$  однозначно рассчитывается из эксергетического баланса для выделенной совокупности элементов установки [2]. Кроме того, вследствие справедливости принципа аддитивности потерь [3] существует аналитическая зависимость между эксергетическими потерями системы и эксергетическими потерями её элементов. Такую зависимость в общем случае невозможно установить для эксергетических КПД.

Использование эксергетических потерь в качестве целевой функции лежит в основе энтропийного метода, развитого для теплотехнических установок [4,5]. Однако в этих и других работах основное внимание уделяется расчёту  $D_e$  в элементах установки и практически не рассматриваются вопросы, связанные с улучшениями её энергетических характеристик исхо-

дя из значений потерь в отдельных элементах. Последнее требует изучения особенностей эксергетических потерь как критерия, начиная с самой их дефиниции.

### 2. ОСОБЕННОСТИ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ КАК КРИТЕРИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

В общем случае эксергетические потери являются частью эксергии, превратившейся в анергию вследствие необратимости процессов [6]. Такое определение можно конкретизировать в ряде случаев для всей низкотемпературной установки, воспользовавшись составленным для неё эксергетическим балансом:

$$\sum_{i=1}^m E_i = \sum_{j=1}^r P_j + D_e, \quad (1)$$

где  $E_i$  — эксергия  $i$ -го из  $m$  потоков, подведённых к установке;  $P_j$  — эксергия  $j$ -го из  $r$  полученных в установке продуктов;  $D_e$  — потери эксергии в установке.

В балансе (1) необходимо иметь в виду, что не всякий подведённый к установке энергетический поток обладает отличной от нуля эксергией. Кроме того, слагаемые  $P_j, j=1, 2, \dots, r$ , отражают не только количе-