

УДК 621.59

Г. К. Лаврентченко

Одесская государственная академия холода, ул. Дворянская, 1/3, 65026, Одесса, Украина

О ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА ЛИНДЕ

1. ТРАДИЦИОННЫЕ РАБОЧИЕ ТЕЛА

Для единообразного подхода к анализу различных криогенных установок, реализующих термодинамический цикл Линде, кроме эксергетического КПД, предложено использовать характеристики интенсивности. Определены оптимальные давления прямого потока, соответствующие предельным значениям характеристик интенсивности и термодинамической эффективности рефрижератора, охладителя и воздухоразделительной установки Линде. Показано, что оптимальные давления для аналогичных целевых функций оптимизации различных установок Линде оказываются одинаковыми. Это даёт возможность оптимальные давления, найденные для рефрижератора, использовать для расчета предельных значений характеристик других установок Линде.

Ключевые слова: термодинамика; цикл Линде; криогенные системы; производство жидкого кислорода; оптимальные давления прямого потока цикла.

To standardize the approach to the analysis of different cryogenic installations which utilize the Linde thermodynamic cycle, except for the energetic efficiency the intensity characteristics are investigated. The optimum pressures of direct flow, corresponding to the maximum values of the intensity characteristics and thermodynamics efficiency of a Linde refrigerator, liquefier and air separation unit have been defined. It has been proved that the optimum pressures for analogous optimization functions of different Linde installations are the same. This approach offers the possibility of using the optimum pressures, defined for a refrigerator, to calculate the maximum values of the thermodynamics characteristics for other Linde installations.

Keywords: thermodynamics; Linde cycle; cryogenic systems; liquid oxygen produces; optimum pressures of direct flow.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

$e = h - T_E s$ - эксергия потока;

h - энтальпия;

$\Delta h(T_E) = h_1 - h_2$ - интегральный изотермический дроссель-эффект при температуре окружающей среды T_E ;

$\left(\frac{\partial h}{\partial p}\right)_T$ - дифференциальный изотермический дроссель-эффект;

$\Delta h_s = h_1 - h_2$ - разность энтальпий на изобаре окружающей среды при переводе рабочего тела из состояния равновесия с окружающей средой в состояние насыщенной жидкости при T_L и p_E ;

$l(T_E)$ - удельная работа изотермического сжатия при температуре окружающей среды T_E ;

l_{\min}^L - минимальная работа охлаждения;

l_{\min, O_2}^L - минимальная работа охлаждения кислорода;

$l_{\min, A}^D$ - минимальная работа разделения воздуха;

M - расход потока вещества (рабочего тела);

p - давление;

p_E - давление окружающей среды;

p_1, p_2 - давления обратного и прямого потоков в цикле Линде (давления всасывания и нагнетания компрессора);

$[p_2^*(R)]_{\min}, [p_2^*(L)]_{\min}, [p_2^*(D)]_{\min}$ - оптимальные давления прямых потоков рабочего тела, соответствующие максимальным значениям характеристик интенсивности установок Линде (R - рефрижератор, L - охладитель, D - разделитель газовой смеси);

$[p_2^*(R)]_{\text{eff}}, [p_2^*(L)]_{\text{eff}}, [p_2^*(D)]_{\text{eff}}$ - то же, но для условий максимума термодинамической эффективности установок Линде;

$q(T_R)$ - удельная холодопроизводительность рефрижератора;

$q(T_E)$ - удельное количество тепла, отводимое в окружающую среду;

R - универсальная газовая постоянная;

s - энтропия;

T - температура;

T_R, T_E - температуры, соответственно, криостатирования и окружающей среды;

T_b - температура нормального кипения;

v - удельный объем;

$V_{O_2}^L, V_{N_2}^G$ - доли, соответственно, производимых установкой Линде жидкого кислорода и газообразного азота;

x_{O_2} - концентрация кислорода в жидкой фазе;

U_{N_2} - содержание азота в воздухе или в паровой фазе продукта разделения;

ε - холодильный коэффициент;

η_{ex} - эксергетический КПД;

λ - коэффициент охлаждения установки Линде;