

# Методика расчета компаундных холодильных установок

**Ю. Д. РУМЯНЦЕВ, Д. Н. МОЛТУСИНОВ**

Санкт-Петербургский государственный университет  
низкотемпературных и пищевых технологий

Компаундные холодильные установки, широко применяемые за рубежом [5], в России используют довольно редко, причем обычно выбирают схемы с относительно простой структурой [1].

Одной из причин такой ситуации является отсутствие методики расчета компаундных холодильных установок сложной структуры.

В статье предлагается методика расчета компаундных холодильных установок с тремя и четырьмя температурами кипения [2,3]. Термодинамические циклы работы таких холодильных установок представлены на рисунке.

На основе уравнений теплового и массового балансов были получены зависимости для определения массовых расходов хладагента в элементах холодильной установки.

*Цикл с двухступенчатым сжатием и трехкратным дросселированием (рисунок, а).*

Массовые расходы хладагента  $m$  (кг/с) в компрессорах, обеспечивающих поддержание соответствующих температур кипения, равны

для:

$$t_{03} \quad m_3 = Q_{T3}/q_{03}; \quad (1)$$

$$t_{02} \quad m_2 = [m_{2T}r_{02} + m_3(i_{3B} - i_{3'})]/q_{02}; \quad (2)$$

$$t_{01} \quad m_1 = [m_{1T}r_{01} + m_2(i_4 - i_{5'}) + m_3(i_2 - i_{5'}) + m_{ii}i_{5'}]/q_{pp}, \quad (3)$$

где  $Q_T$  – холодопроизводительность, кВт;

$q_0$  – удельная холодопроизводительность, кДж/кг;

$i$  – энтальпия в соответствующих точках цикла, кДж/кг;

$$q_{01} = (i_{5''} - i_{5B}), \quad q_{02} = (i_{3''} - i_{3B}) \text{ (см. рисунок, а);}$$

$q_{pp}$  – удельная теплота промежуточного охлаждения, кДж/кг,  $q_{pp} = (i_{5P} - i_{5B})$ ;

$m_{1T}$  и  $m_{2T}$  – массовые потоки пара (кг/с) из испарительных систем,  $m_{1T} = Q_{T1}/q_{01}$ ,  $m_{2T} = Q_{T2}/q_{02}$ ;

$r_{01}$  и  $r_{02}$  – скрытые теплоты парообразования, кДж/кг, при температурах  $t_{01}$  и  $t_{02}$ ;

$m_u$  – массовый поток хладагента (кг/с), испаря-

*A technique for the calculation of compound refrigerating installations with three and four evaporating temperatures has been proposed. Dependencies are given for the determination of the mass flow rate in the components of installations according to which one can calculate their characteristics.*

ющеся в компаундном ресивере при охлаждении пара, выходящего из барботера,

$$m_u = [m_{1T}(r_{01} - c) + m_2(i_4 - i_{5'} - c) + m_3(i_2 - i_{5'}) - c]/(c - i_{5'}), \quad (4)$$

$$c = r_{01}q_{pp}/q_{01}.$$

*Цикл с трехступенчатым сжатием и трехкратным дросселированием (рисунок, б).*

Массовый расход хладагента через компрессор контура с температурой

$$t_{03} \quad m_3 = Q_{T3}/q_{03}; \quad (5)$$

$$t_{02} \quad m_2 = [m_{2T}r_{02} + m_3(i_2 - i_{3'}) + m_{ii}i_{3'}]/q_{pp2}; \quad (6)$$

$$t_{01} \quad m_1 = [m_{1T}r_{01} + m_2(i_4 - i_{5'}) + m_{ii}i_{5'}]/q_{pp1}, \quad (7)$$

где  $m_{ii}$  и  $m_{ii}$  – массовые потоки хладагента, испаряющегося в компаундных ресиверах при охлаждении пара, выходящего из барботера,

$$m_{ii} = [m_{2T}(r_{02} - c_2) + m_3(i_2 - i_{3'} - c_2)]/(c_2 - i_{3'}); \quad (8)$$

$$m_{ii} = [m_{1T}(r_{01} - c_1) + m_2(i_4 - i_{5'} - c_1)]/(c_1 - i_{5'}); \quad (9)$$

$$c_1 = r_{01}q_{pp1}/q_{01}, \quad c_2 = r_{02}q_{pp2}/q_{02},$$

где  $q_{pp1}$  и  $q_{pp2}$  – удельные теплоты промежуточного охлаждения,  $q_{pp1} = (i_{5P} - i_{5B})$ ,  $q_{pp2} = (i_{3P} - i_{3B})$ .

*Цикл с двухступенчатым сжатием и двухкратным дросселированием (рисунок, в).*

Массовый расход хладагента через компрессор в контуре с температурой

$$t_{04} \quad m_4 = Q_{T4}/q_{04}, \quad (10)$$

$$t_{03} \quad m_3 = Q_{T3}/q_{03}; \quad (11)$$

$$t_{02} \quad m_2 = Q_{T2}/q_{02}; \quad (12)$$

$$t_{01} \quad m_1 = [m_{1T}r_{01} + m_2(i_6 - i_7) + m_3(i_4 - i_7) + m_4(i_2 - i_7) + m_{ii}i_7]/q_{01}, \quad (13)$$

где  $m_u$  – массовый расход хладагента, испаряющегося в компаундном ресивере при охлаждении пара, выходящего из барботера,

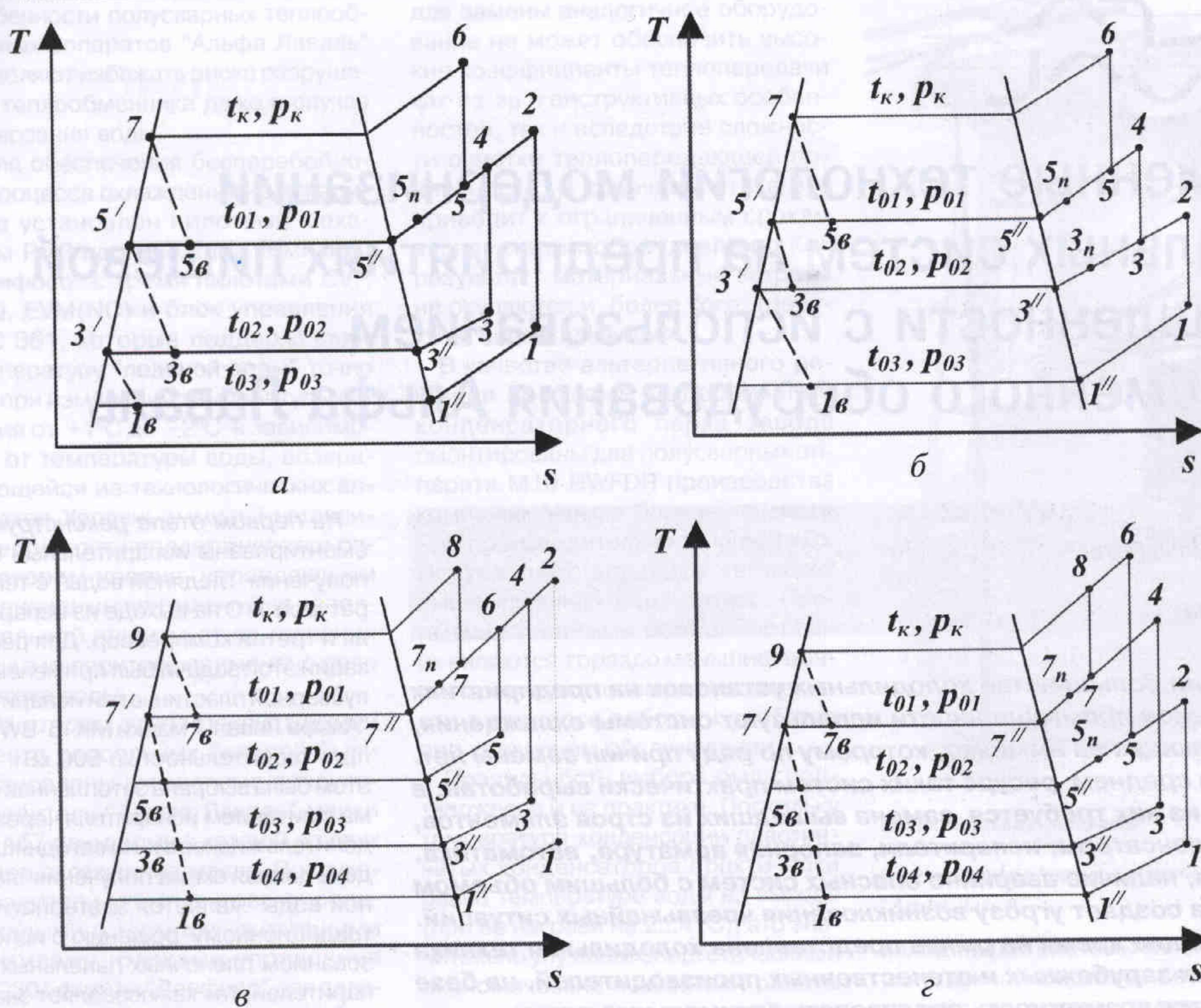
$$m_u = [m_{1T}(r_{01} - c) + m_2(i_6 - i_7 - c) + m_3(i_4 - i_7 - c) + m_4(i_2 - i_7 - c_1)]/(c - i_7), \quad (14)$$

$$\text{где } c = r_{01}q_{pp}/q_{01};$$

$$q_{pp} = (i_{7P} - i_{7B}).$$

*Цикл с двухступенчатым сжатием и двухкратным дросселированием (рисунок, г).*

Массовый расход хладагента в компрессоре,



**Термодинамические циклы работы компаундных холодильных установок в диаграммах  $T-s$ :**  
*а – цикл с двухступенчатым сжатием и трехкратным дросселированием (три температуры кипения); б – цикл с трехступенчатым сжатием и трехкратным дросселированием (три температуры кипения); в – цикл с двухступенчатым сжатием и двукратным дросселированием (четыре температуры кипения с одним промежуточным давлением); г – цикл с двухступенчатым сжатием и двукратным дросселированием (четыре температуры кипения с двумя промежуточными давлениями)*

обеспечивающем температуру

$$t_{04} \quad m_4 = Q_{T4}/q_{04}; \quad (15)$$

$$t_{03} \quad m_3 = Q_{T3}/q_{03}; \quad (16)$$

$$t_{02} \quad m_2 = [m_{2T} r_{01} + m_4(i_2 - i_{5\pi}) + m_{u2} i_{5'}]/q_{\text{pr2}}; \quad (17)$$

$$t_{01} \quad m_1 = [m_{1T} r_{01} + m_2(i_{7B} - i_{7'}) + m_4(i_{7B} - i_{7'}) + \\ + m_3(i_4 - i_{7'}) + m_{w1} i_{5'}]/q_{\pi B1}, \quad (18)$$

где  $m_{\text{ш1}} = [m_{\text{1T}}(r_{01} - c_1) + m_3(i_4 - i_7 - c_1) +$

$$+ m_2(r_{01} - q_{01})(q_{\text{np1}}/q_{01} - 1) + m_4(r_{01} -$$

$$- q_{01})(q_{\text{pp1}}/q_{01} - 1)]/(c - i_7); \quad (19)$$

$$m_{u2} = [m_{2T}(r_{01} - c_2) + m_4(i_2 - i_{5\pi} - c_2)]/(c_2 - i_{5'}) ; \quad (20)$$

$$c_1 = r_{01}q_{\text{np1}}/q_{01}, \quad c_2 = r_{02}q_{\text{np2}}/q_{02};$$

$q_{\text{пр1}} = (i_{7\text{п}} - i_{7\text{в}})$  и  $q_{\text{пр2}} = (i_{5\text{п}} - i_{5\text{в}})$ .

Таким образом, используя зависимости (1) –

(20), можно определить массовые расходы хладагента в компрессорах и других элементах компаундной холодильной установки и рассчитать их характеристики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гущин А. В., Макаревич О. А., Латышев В. П. Автоматизированная компаундная аммиачная холодильная установка ЗАО «Кубаньоптпроторг»// Холодильная техника. 2000. № 12.
  2. Румянцев Ю. Д. Современные схемы холодильных установок: Обзорная информация. – М.: ЦНИИТЭИмясомолпром, 1982. – 23 с.
  3. Румянцев Ю. Д. Эффективность компаундных схем холодильных установок // Холодильная техника. 1988. № 4.
  4. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справ./ Под ред. С. Н. Богданова. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб: СПбГАХПТ, 1999. – 320 с.
  5. Cleland A. C. Simulation of industrial refrigeration plants under variable load conditions./ Int. journal of refrigeration, vol. 6 № 1 January 1983, pp. 11 – 19.