

УДК 536.71

**Описание равновесных свойств хладагента R32 на основе масштабной гипотезы***Д-р техн. наук, профессор* **Рыков В.А.** togg1@yandex.ru*Канд. техн. наук* **Кудрявцева И.В.** togg1@yandex.ru**Рыков В.С.** togg1@yandex.ru*Университет ИТМО**191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9***Свердлов А.В.** alexander.sverdlov@flaktwoods.com*Air Comfort & Fire Safety Europe**117418, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 23*

*На основе феноменологической теории критической точки и гипотезы Бенедика обоснована структура единого уравнения состояния, удовлетворяющего масштабной теории критических явлений. В рамках предложенного подхода разработаны единое уравнение состояния хладагента R32 в диапазоне температур от 136 К до 420 К. Показано, что в рамках предложенного подхода описывается не только регулярная часть термодинамической поверхности и окрестность критической точки, но и область метастабильных состояний. Представлены результаты расчета термической поверхности и изохорной теплоемкости состояния хладагента R32.*

**Ключевые слова:** критические явления, изохорная теплоемкость, критические индексы, уравнения состояния, хладагент R32.

DOI:10.17586/2310-1148-2016-9-3-13-20

**Description of equilibrium properties of R32 on the basis of scale hypothesis***D.Sc.* **Rykov V.A.** togg1@yandex.ru*Ph.D.* **Kudryavtseva I.V.** togg1@yandex.ru**Rykov V.S.** togg1@yandex.ru*ITMO University**191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9***Sverdlov A.V.** alexander.sverdlov@flaktwoods.com*117418, Russia, Moscow, Profsoyuznaya St., 23*

*On the basis of phenomenological theory of the critical point and Benedek's hypotheses justified the structure of the unified equation of state satisfying the scale theory of critical phenomena. Under the proposed approach, developed a unified equation of state of the refrigerant R32 in the temperature range from 136 K to 420 K. It is shown that in the framework of the proposed approach describes not only the regular part of the thermodynamic surface and the neighborhood of the critical point and region of metastable states. The results of the calculation of surface heat and isochoric heat capacity of the refrigerant R32.*

**Keywords:** critical phenomena, isochoric heat capacity, critical indices, equations of state, refrigerant R32.

В работах [1–7] обсуждается проблема построения фундаментальных уравнений состояния, удовлетворяющих масштабной теории. Показано, что на основе предложенных в работах [3–7] подходов могут быть разработаны таблицы равновесных свойств индивидуальных веществ, имеющие различную молекулярную структуру [8–12].

В данной работе для построения фундаментального уравнения состояния хладагента R32 используется подход, основанный на представлении масштабной гипотезы в форме [13], непосредственно вытекающей из параметрического представления Скофилда-Литстера-Хо [14], которое известно как линейная модель (ЛМ).

Структура предлагаемого фундаментального уравнение состояния имеет следующий вид:

$$\frac{\rho}{p_c} F(\rho, T) = \frac{\rho}{p_c} F_{reg}(\rho, T) + \phi(\omega) |\Delta\rho|^{\delta+1} a(x), \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность;  $p_c$  – критической давление;  $T$  – абсолютная температура;  $F$  – свободная энергия Гельмгольца;  $\Delta\rho = \rho / \rho_c - 1$ ;  $\rho_c$  – критическая плотность;  $\omega = \rho / \rho_c$ ;  $x = \tau / |\Delta\rho|^{1/\beta}$  – масштабная переменная;  $\tau = T / T_c - 1$ ;  $T_c$  – критическая температура;  $\beta$  и  $\delta$  – критические индексы соответственно линии насыщения и критической изотермы, связанные с критическими индексами  $\alpha$  (критический индекс изохорной теплоемкости  $C_v$ ) и  $\gamma$  (критический индекс коэффициента изотермической сжимаемости  $K_T$ ) равенствами Гриффитса:  $2 - \alpha = \beta\delta + \beta$  и  $\gamma = \beta\delta - \beta$ ;  $a(x)$  – масштабная функция свободной энергии Гельмгольца:

$$a(x) = \sum_{i=1}^3 A_i |x + x_i|^{2-\alpha} + B_i |x + x_i|^\gamma + C_i. \quad (2)$$

Подставим (1) в термодинамическое равенство  $p = \rho^2 \partial F / \partial \rho_T$  и получим термическое уравнение состояния:

$$Z(\rho, T) = Z(\rho, T)_{reg} + Z(\rho, T)_{nr}, \quad (3)$$

где  $Z = p / R\rho T$  – сжимаемость;  $Z(\rho, T)_{reg}$  и  $Z(\rho, T)_{nr}$  – регулярная и нерегулярная составляющие сжимаемости, соответственно:

$$Z(\rho, T)_{reg} = 1 + \omega \sum_{i=0}^{n_0} \sum_{j=0}^{j_0(i)} C_{ij} \tau_1^j (\Delta\rho)^i (i\omega + \Delta\rho), \quad (4)$$

$$Z(\rho, T)_{nr} = \omega t^{-1} \cdot u |\Delta\rho|^{\delta/\beta} (\phi(\omega) \text{sign}(\Delta\rho) h(x) + \phi'(\omega) a(x) \Delta\rho). \quad (5)$$

Здесь  $t = T / T_c$ ;  $C_{ij}$  и  $u$  – постоянные коэффициенты;  $\tau_1 = T_c / T - 1$ .

Чтобы уравнение состояния (3) удовлетворяло требованиям, обычно предъявляемым к вириальным уравнениям состояния [15] и степенным законам масштабной теории [16], перепишем  $Z(\rho, T)_{reg}$  (4) в виде:

$$\begin{aligned} Z(\rho, T)_{reg} = & 1 + \omega^2 y_1 + \omega y_2 + \omega(y_3 + \omega y_4) C_{10} + \omega(y_5 + \omega y_6) C_{20} + \\ & + \omega \sum_{i=6}^{n_0} C_{i0} (\Delta\rho)^{i-1} (i\omega + \Delta\rho) + \omega \tau_1 (2\omega - 3) C_{11} + \omega^2 \tau_1 (3\omega - 4) C_{21} + \\ & + \omega \tau_1 \sum_{i=3}^{n_0} C_{i1} (\Delta\rho)^{i-1} (i\omega + \Delta\rho) + \omega \sum_{i=0}^{n_0} \sum_{j=2}^{j_0(i)} C_{ij} \tau_1^j (\Delta\rho)^{i-1} (i\omega + \Delta\rho). \end{aligned} \quad (6)$$

Кроссоверная функция  $\phi(\omega)$  имеет вид:

$$\phi(\omega) = \exp\left[-g_0 \Delta\rho^2 / \omega^{g_1}\right], \quad (7)$$

где  $g_i > 0, i \in 0;1$ .

Масштабная функции  $a(x)$ , входящая в уравнение состояния (3), разработана на основе функции (2):

$$a_1 x = A_1 \left[ |x + x_1|^{2-\alpha} - \varepsilon |x + x_2|^{2-\alpha} \right] + B_1 |x + x_3|^\gamma + C_1, \quad (8)$$

где  $\varepsilon = x_1 / x_2$ ;  $A = -k\gamma_1 / (2\alpha b^2 \alpha_1)$ ;  $B = 0,5 / k$ ; постоянная  $C_0$  рассчитана на основе равенства  $h(x) = -x_0 = 0$ ;  $\gamma_1 = \gamma - 1$ ;  $\alpha_1 = \alpha - 1$ ;  $k = b^2 - 1^\beta / x_0^\beta$ ;  $b^2 = (\gamma - 2\beta) / [\gamma(1 - 2\beta)]$ .

Предложенная структура фундаментального уравнения состояния (1) с масштабной функцией (8) удовлетворяет гипотезе Бенедика [17] о характере поведения термодинамических свойств, имеющих сингулярность в критической точке, на критической и околоскритических изохорах. Заметим также, что в рамках рассматриваемого подхода на термодинамической поверхности в области лабильных состояний возникает линия псевдокритических точек, положение которых задается системой равенств [18]:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial p}\right)_T = 0 \text{ и } \left(\frac{\partial T}{\partial s}\right)_p = 0, \quad (9)$$

где  $s$  – энтропия.

При этом равенства (9) выполняются в каждой точке линии псевдокритических точек за исключением критической точки, в которой выполняется система равенств:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial s}\right)_p = 0. \quad (10)$$

Тем самым в рамках рассматриваемого подхода описать термическую спинодаль в соответствии с требованием:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial p}\right)_T = 0. \quad (11)$$

Критическим индексам, критическим параметрам и параметрам масштабной функции (8) присвоены следующие значения:  $\alpha = 0,11$ ;  $\beta = 0,325$ ;  $\gamma = 1,24$ ;  $x_0 = 0,1931$ ;  $x_1 = 0,7420$ ;  $x_2 = 2,992$ ;  $x_3 = 0,8520$ ;  $T_c = 351,255$  К;  $\rho_c = 424,0$  кг/м<sup>3</sup>;  $p_c = 5,78231$  МПа.

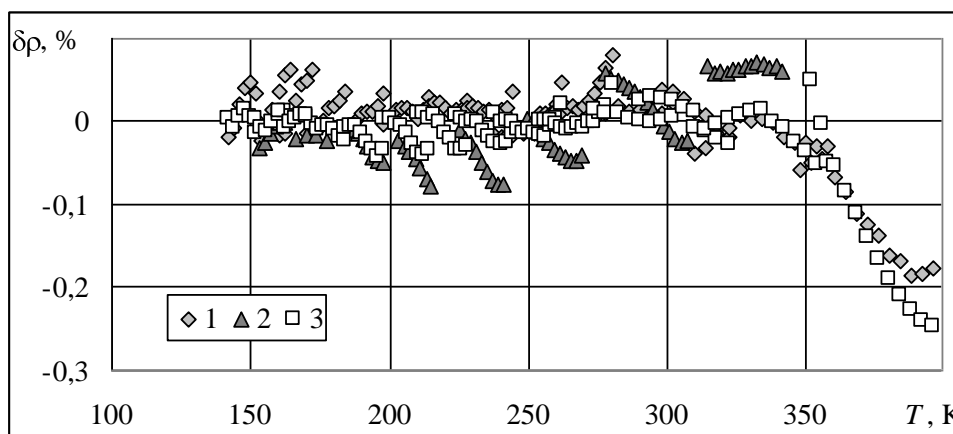
Для расчета параметров масштабной функции (8) использовалась методика, предложенная в работе [19].

Коэффициенты  $C_{ij}$  и  $u_i$  уравнения состояния (14) и постоянные  $l$  и  $g$  функции (18) находились на массиве экспериментальных данных [20–26] в результате минимизации следующего функционала:

$$\Phi = \sum_{j=1}^{N_1} [Q_{pj}(p_j^{ex} - p_j^r)]^2 + \sum_{j=1}^{N_2} [Q_{vj}(C_{v,j}^{ex} - C_{v,j}^r)]^2 + \sum_{j=1}^{N_3} [Q_{ps,j}(p_{s,j}^{ex} - p_{s,j}^r)]^2, \quad (12)$$

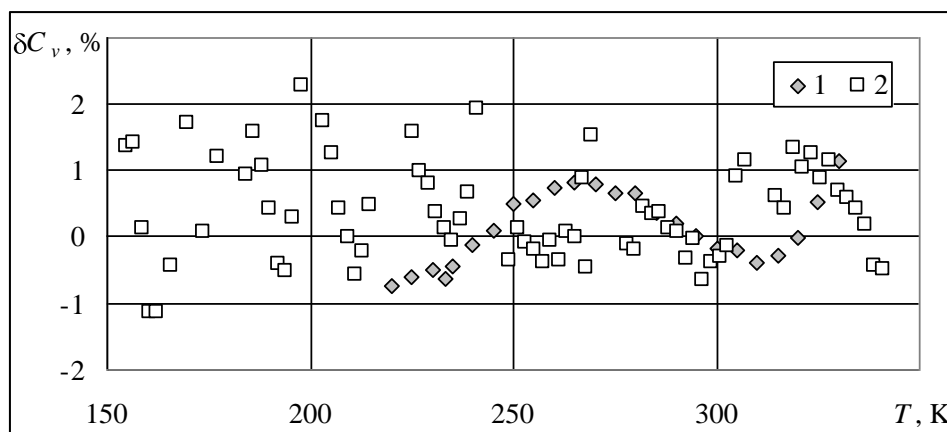
где  $p_j^{ex}$ ,  $C_{v,j}^{ex}$ ,  $p_{s,j}^{ex}$  и  $p_j^r$ ,  $C_{v,j}^r$ ,  $p_{s,j}^r$  – опытные (*ex*) и расчетные (*r*) значения давления, изохорной теплоемкости и давления на линии упругости, соответственно.

Значения плотности и давления и изохорной теплоемкости, засчитанные по уравнению (14) хорошо согласуются с опытными данными как в регулярной части термодинамической поверхности, так и в окрестности критической точки (рис. 1–2).



**Рис. 1. Относительные отклонение плотности в однофазной области, рассчитанные по уравнению (17), от экспериментальных данных: 1 – Magee [20]; 2 – Outcalt [21]; 3 – Lüddecke [25]**

Заметим, что значения  $C_v^r$ , рассчитанные по уравнению состояния (14), в асимптотической окрестности критической точки, занижены относительно значений  $C_v^{rk}$ , рассчитанных по кроссоверному уравнению состояния [27].



**Рис. 2. Относительные отклонение изохорной теплоемкости, рассчитанные по уравнению (17), от экспериментальных данных: 1 – Defibaugh [23]; 2 – Lüddecke [25]**

Таким образом, предложенное в работе уравнение состояния R32 (14) качественно и количественно верно описывает  $p - \rho - T$  и  $C_v - \rho - T$ -данные как в регулярной части термодинамической поверхности, так и в окрестности критической точки. Дальнейшее развитие рассмотренного в данной работе метода построения фундаментального уравнения состояния связано с введением в структуру уравнения (1) вместо классической масштабной переменной  $x$  обобщенной масштабной переменной  $\tilde{x} = \tau / \tau_s$ , где  $\tau_s$  связана с линией насыщения  $T = T_s(\rho)$  уравнением:

$$T_s \rho / T_c - 1 = -x_0 \tau_s \rho . \quad (13)$$

При этом в качестве модели для линии насыщения может быть выбрана как модель Янга-Янга, так и модель Вагнера (см., например, [28–32]). Также следует отметить, что в отличие от подхода к построению непараметрического уравнения состояния скейлингового вида, предложенного в работе [2], уравнение (1) с масштабной функцией (8) не содержит интегралов от дифференциальных биномов [33–36], что позволяет упростить вычисления равновесных свойств индивидуальных веществ.

### Литература

1. Козлов А.Д., Лысенков В.Ф., Попов П.В., Рыков В.А. Единое неаналитическое уравнение состояния хладона 218 // ИФЖ.- 1992.-Т.62,№6.-С.840-847.
2. Bezverkhy P.P., Martynets V.G., Matizen E.V. Combined equation of fluid and gas state, including classical and scaling parts // *J. Mol. Liquids*. 2009. Vol. 147, No. 3. P. 162–165.
3. Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Рыков В.А. Метод расчета равновесных свойств сверхкритических флюидов, используемых в скф-технологиях // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 3. С. 20.
4. Rykov V.A., Varfolomeeva G.B. Method of determining a structural form of the free energy satisfying the requirements of the scaling hypothesis // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 1985. Т. 48. № 3. С. 341–345.
5. Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Курова Л.В. Метод построения фундаментального уравнения состояния, учитывающего особенности критической области // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 1. С. 5.
6. Rykov V.A. Structure of the singular terms in the free energy correctly reproducing the nonasymptotic corrections to the thermodynamic functions // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 1985. Т. 49. № 6. С. 1502–1508.
7. Рыков С.В., Кудрявцева И.В. Метод расчета асимметричных составляющих свободной энергии в физических переменных // Вестник Международной академии холода. 2009. № 1. С. 43-45.
8. Рыков В.А., Устюжанин Е.Е., Попов П.В., Кудрявцева И.В., Рыков С.В. Хладон R23. Плотность, энтальпия, энтропия, изобарная и изохорная теплоемкости, скорость звука в диапазоне температур 235...460 К и давлений 0,01...25 МПа. ГСССД 214-06. Деп. в ФГУП «Стандартинформ» 08.06.2006 г., № 816-06 кк.
9. Рыков В.А., Устюжанин Е.Е., Попов П.В., Кудрявцева И.В., Рыков С.В. Хладон R-218. Плотность, энтальпия, энтропия, изобарная и изохорная теплоемкости, скорость звука в диапазоне температур 160...470 К и давлений 0,001...70 МПа. ГСССД 211-05. Деп. в ФГУП «Стандартинформ» 08.12.2005 г., № 813-05 кк.
10. Рыков В.А., Устюжанин Е.Е., Попов П.В., Кудрявцева И.В., Рыков С.В. Аммиак. Плотность, энтальпия, энтропия, изобарная и изохорная теплоемкости, скорость звука в диапазоне температур 196–606 К и давлений 0,001–100 МПа. ГСССД 227-2008. Деп. в ФГУП «Стандартинформ» 15.05.2008 г., № 837-2008 кк.
11. Кудрявцева И.В., Устюжанин Е.Е., Попов П.В., Рыков В.А., Рыков С.В., Шишаков В.В. Методика расчета плотности, энтальпии, энтропии, изобарной и изохорной теплоемкости, скорости звука аммиака в диапазоне температур 196 ... 606 К и давлений 0,001 ... 100 МПа, включая критическую область, ГСССД МР 172 – 2010, Деп. ФГУП Стандартинформ № 23-05 ик, 23.05.10 (2010), 26 с.
12. Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Рыков В.А., Устюжанин Е.Е., Попов П.В., Свердлов А.В. Методика расчета термодинамических свойств 2,3,3,3 – тетрафторпропана в диапазоне температур (230...370) К и давлений (0,1...10) МПа. ГСССД МЭ 247 – 2016.
13. Rykov S.V., Rykov V.A., Kudryavtsev D.A. The fundamental equation of state for R32 that meets the requirements of the scale theory // XXXI International Conference on Equations of State for Matter, IET - 2016, pp. 63.
14. Schofield P, Litster I.D., Ho I.T. Correlation between critical coefficients and critical exponents//*Phys. Rev. Lett.* – 1969. V. 23, № 19. P.1098-1102.
15. Алтунин В.В. Теплофизические свойства двуокиси углерода. М.: Изд-во стандартов, 1975. – 546 с.
16. Ма Ш. Современная теория критических явлений. М.: Мир. 1980. 298 с.

17. Benedek G.B., *Polarisation, matiere et rayonnement*. Presses Universitaires de France, Paris. 1969, p. 49.
18. Рыков В.А. О гипотезе «псевдоспинодальной» кривой // Журнал физической химии. 1986. Т. 60. № 3.
19. Рыков А.В., Кудрявцев Д.А., Рыков В.А. Метод расчета параметров масштабной функции свободной энергии // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 5. С. 50-53.
20. J.W. Magee. Isochoric p-T Measurements on Difluoromethane (R32) from 142 to 396 K and Pentafluoromethane (R125) from 178 to 398 K at Pressures to 35 MPa // *Int. J. Thermophys.* Vol. 17, No. 4, 1996. 803-822
21. S.L. Outcalt, M.O. McLinden. *Int. J. Thermophys.* 16:79 (1995)
22. Takahiro Sato, Haruki Sato, Koichi Watanabe. PVT Property Measurements for Difluoromethane // *J. Chem. Eng. Data* 1994, 39, 851-854
23. Dana R. Defibaugh, Graham Morrison, Lloyd A. Weber. Thermodynamic Properties of Difluoromethane // *J. Chem. Eng. Data* 1994, 39, 333-340
24. A. Matsuguchi, K. Yamaya, N. Kagawa. Isochoric Specific Heat Capacity of Difluoromethane (R32) and a Mixture of 51.11mass% Difluoromethane (R32)+48.89mass% Pentafluoroethane (R125) // *Int J Thermophys* (2008) 29:1929–1938
25. T.O. Lüddecke, J.W. Magee, *Int. J. Thermophys* 17, 823 (1999)
26. Tillner-Roth R., Yokozeki A. *J. Phys. Chem. Ref. Data.* 1997, Vol. 26, No. 6, P. 1273–1328.
27. S.B. Kiselev. Cubic crossover equation of state // *Fluid Phase Equilibria.* 1998. V. 147, Issues 1–2, P. 7–23.
28. Кудрявцева И.В., Рыков В.А., Рыков С.В., Селина Е.Г., Курова Л.В. Метод расчета плотности и теплоты парообразования двуокиси углерода // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 1. С. 13.
29. Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Рыков В.А. Новое уравнение для «кажущейся» теплоты парообразования // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 4. С. 10.
30. Устюжанин Е.Е., Шишаков В.В., Попов П.В., Рыков В.А., Френкель М.Л. Скейлинговые модели для описания термодинамических свойств вещества на линии насыщения: перспективы и ограничения // Вестник МЭИ. 2011. № 6. С. 167-179.
31. Устюжанин Е.Е., Шишаков В.В., Абдулагатов И.М., Рыков В.А., Попов П.В. Давление насыщения технически важных веществ: модели и расчеты для критической области // Вестник МЭИ. 2012. № 2. С. 34-43.
32. Ustyuzhanin E.E., Ochkov V.F., Shishakov V.V., Rykov A.V. Extrapolation of IAPWS-IF97 data: The saturation pressure of H<sub>2</sub>O in the critical region // *Journal of Physics: Conference Series.* V. 653. 2015.
33. Рыков С.В., Кудрявцева И.В. Непараметрическое масштабное уравнение и феноменологическая теория критических явлений // *Фундаментальные исследования.* 2014. № 9-8. С. 1687-1692.
34. Кудрявцева И.В., Рыков С.В., Рыков В.А. Непараметрическое уравнение состояния скейлингового вида и расчет равновесных свойств сверхкритических флюидов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 2. С. 28.
35. Рыков А.В., Кудрявцева И.В., Рыков С.В. Непараметрическое масштабное уравнение состояния, не содержащее дифференциальных биномов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 7.
36. Kudryavtseva I.V., Rykov S.V. A Nonparametric Scaling Equation of State, Developed on the Basis of the Migdal's Phenomenological Theory and Benedek's Hypothesis // *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2016, Vol. 90, No. 7, pp. 1493–1495.

## References

1. Kozlov A. D., Lysenkov V. F., Popov P. V., Rykov V. A. Uniform not analytical equation of a condition of freon 218//*IFZh.* - 1992. - Т.62, No. 6. – P. 840-847.
2. Bezverkhy P.P., Martynets V.G., Matizen E.V. Combined equation of fluid and gas state, including classical and scaling parts//*J. Mol. Liquids.* 2009. Vol. 147, No. 3. P. 162–165.
3. Kudryavtseva I. V., Rykov A. V., Rykov V. A. Metod of calculation of equilibrium properties of the supercritical fluids used in skf-technologies // *the NIU ITMO Scientific magazine. Series: Processes and devices of food productions.* 2013. No. 3. P. 20.
4. Rykov V.A., Varfolomeeva G.B. Method of determining a structural form of the free energy satisfying the requirements of the scaling hypothesis//*Journal of Engineering Physics and Thermophysics.* 1985. Т. 48. No. 3. P. 341-345.
4. S.V., Kudryavtsev I. V. roars., Rykov A. V., Kurova L. V. Metod of creation of the fundamental equation of the state considering features of critical area // *the NIU ITMO Scientific magazine. Series: Refrigerating equipment and conditioning.* 2013. No. 1. P. 5.

5. Rykov V.A. Structure of the singular terms in the free energy correctly reproducing the nonasymptotic corrections to the thermodynamic functions//*Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 1985. T. 49. No. 6. P. 1502-1508.
6. S.V.'s roars, Kudryavtsev I. V. Metod of calculation of asymmetric components of free energy in physical variables//the Bulletin of the International academy of cold. 2009. No. 1. P. 43-45.
7. Roars of VA., Ustyuzhanin E. E., Popov P. V., Kudryavtseva I. V., Rykov S. V. R23 freon. Density, an enthalpy, entropy, isobaric and izokhorney thermal capacities, sound speed in the range of temperatures of 235 ... 460 K and pressure 0,01 ... 25 MPas. GSSSD 214-06. Depp. in Federal State Unitary Enterprise Standartinform 6/8/2006, No. 816-06 кк.
8. Roars of VA., Ustyuzhanin E. E., Popov P. V., Kudryavtseva I. V., Rykov S. V. R-218 freon. Density, an enthalpy, entropy, isobaric and izokhorney thermal capacities, sound speed in the range of temperatures of 160 ... 470 K and pressure 0,001 ... 70 MPas. GSSSD 211-05. Depp. in Federal State Unitary Enterprise Standartinform 12/8/2005, No. 813-05 кк.
9. Roars of VA., Ustyuzhanin E. E., Popov P. V., Kudryavtseva I. V., Rykov S. V. Ammiak. Density, an enthalpy, entropy, isobaric and izokhorney thermal capacities, sound speed in the range of temperatures of 196-606 K and pressure of 0,001-100 MPas. GSSSD 227-2008. Depp. in Federal State Unitary Enterprise Standartinform 5/15/2008, No. 837-2008 кк.
10. Kudryavtseva I. V., Ustyuzhanin E. E., Popov P. V., Rykov V. A., Rykov S. V., Shishakov V. V. A method of calculation of density, an enthalpy, entropy, an isobaric and izokhorney thermal capacity, ammonia sound speed in the range of temperatures of 196 ... 606 K and pressure 0,001 ... 100 MPas, including critical area, GSSSD MR 172 – 2010, Depp. Federal State Unitary Enterprise Standartinform No. 23-05 ик, 23.05.10 (2010), 26 p.
11. S.V., Kudryavtsev I. V. roars., Rykov V. A., Ustyuzhanin E. E., Popov P. V., Sverdlov A. V. A method of calculation of thermodynamic properties 2,3,3,3 – a tetrafloropropan in the range of temperatures (230 ... 370) To and pressure (0,1 ... 10) MPa. GSSSD ME 247 – 2016.
12. Rykov S.V., Rykov V.A., Kudryavtsev D.A. The fundamental equation of state for R32 that meets the requirements of the scale theory//XXXI International Conference on Equations of State for Matter, IET - 2016, pp. 63.
13. Schofield P, Litster I.D., Ho I.T. Correlation between critical coefficients and critical exponents//*Phys. Rev. Lett.* – 1969. V. 23, No. 19. P.1098-1102.
14. Altunin V. V. Teplofizicheskiye of property of carbon dioxide. M.: Publishing house of standards, 1975. – 546 p.
15. Ma Sh. Modern theory of the critical phenomena. M.: World. 1980. 298 p.
16. Benedek G.B., Polarisation, matiere et rayonnement. Presses Universitaires de France, Paris. 1969, p. 49.
17. Roars of VA. About a hypothesis of a "pseudospinodalny" curve//the Magazine of physical chemistry. 1986. T. 60. No. 3.
18. Rykov A. V., Kudryavtsev D. A., Rykov V. A. Metod of calculation of parameters of large-scale function of free energy//*Scientific and technical bulletin of the Volga region*. 2013. No. 5. P. 50-53.
19. J.W. Magee. Isochoric p-r-T Measurements on Difluoromethane (R32) from 142 to 396 K and Pentafluoromethane (R125) from 178 to 398 K at Pressures to 35 MPa//*Int. J. Thermophys.* Vol. 17, No. 4, 1996. 803-822
20. S.L. Outcalt, M.O. McLinden. *Int. J. Thermophys.* 16:79 (1995)
21. Takahiro Sato, Haruki Sato, Koichi Watanabe. PVT Property Measurements for Difluoromethane//*J. Chem. Eng. Data* 1994, 39, 851-854
22. Dana R. Defibaugh, Graham Morrison, Lloyd A. Weber. Thermodynamic Properties of Difluoromethane//*J. Chem. Eng. Data* 1994, 39, 333-340
23. A. Matsuguchi, K. Yamaya, N. Kagawa. Isochoric Specific Heat Capacity of Difluoromethane (R32) of and a Mixture of 51.11mass of % of Difluoromethane (R32) +48.89mass % of Pentafluoroethane (R125)//*Int J Thermophys* (2008) 29:1929–1938
24. T.O. Lüddecke, J.W. Magee, *Int. J. Thermophys* 17, 823 (1999)
25. Tillner-Roth R., Yokozeki A. *J. Phys. Chem. Ref. Data*. 1997, Vol. 26, No. 6, P. 1273–1328.
26. S.B. Kiselev. Cubic crossover equation of state//*Fluid Phase Equilibria*. 1998. V. 147, Issues 1–2, P. 7–23.
27. Kudryavtseva I. V., Rykov V. A., Rykov S. V., Selin E. G., Kurova L. V. Metod of calculation of density and warmth of steam formation of carbon dioxide // *NIU ITMO Scientific magazine. Series: Processes and devices of food productions*. 2013. No. 1. P. 13.
28. Kudryavtseva I. V., Rykov A. V., Rykov V. A. The new equation for the "seeming" warmth of steam formation // *the NIU ITMO Scientific magazine. Series: Processes and devices of food productions*. 2013. No. 4. P. 10.
29. Resident of Veliky Ustyug E.E., Shishakov V. V., Popov P. V., Rykov V. A., Frenkel of M. L. Skeylingovye of model for the description of thermodynamic properties of substance on the line of saturation: prospects and restrictions//*MEI Bulletin*. 2011. No. 6. P. 167-179.

30. Resident of Veliky Ustyug E.E., Shishakov V. V., Abdulagatov I. M., Rykov V. A., Popov of P. V. Davleniye of saturation of technically important substances: models and calculations for critical area // the MEI Bulletin. 2012. No. 2. P. 34-43.
31. Ustyuzhanin E.E., Ochkov V.F., Shishakov V.V., Rykov A.V. Extrapolation of IAPWS-IF97 data: The saturation pressure of H<sub>2</sub>O in the critical region // *Journal of Physics: Conference Series*. V. 653. 2015.
32. S.V., Kudryavtsev I. V. roars. Nonparametric large-scale equation and phenomenological theory of the critical phenomena // *Basic researches*. 2014. No. 9-8. P. 1687-1692.
33. Kudryavtseva I. V., Rykov S. V., Rykov V. A. Nonparametric equation of a condition of a skeylingovy look and calculation of equilibrium properties of supercritical fluids // *NIU ITMO Scientific magazine. Series: Processes and devices of food productions*. 2013. No. 2. P. 28.
34. Rykov A. V., Kudryavtseva I. V., Rykov S. V. The nonparametric large-scale equation of a state which isn't containing differential binomials // *the NIU ITMO Scientific magazine. Series: Refrigerating equipment and conditioning*. 2013. No. 2. P. 7.
35. Kudryavtseva I.V., Rykov S.V. A Nonparametric Scaling Equation of State, Developed on the Basis of the Migdal's Phenomenological Theory and Benedek's Hypothesis//*Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2016, Vol. 90, No. 7, pp. 1493–1495.

Статья поступила в редакцию 07.09.2016 г.