ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р 8.1033— 2024**

# ГЕЛИЙ-4 ЖИДКИЙ И ГАЗООБРАЗНЫЙ

## Плотность, энтальпия, энтропия, изохорная и изобарная теплоемкости при температурах от 2,5 К до 500 К и давлениях до 100 МПа

**Издание официальное**

**Москва**
**Российский институт стандартизации**
**2024**

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ФГБУ «ВНИИМС»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 180 «Стандартные справочные данные о физических константах и свойствах веществ и материалов»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 февраля 2024 г. № 211-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

## Содержание

1 Область применения . . . . . 1
2 Общие положения . . . . . 1
3 Расчет плотности на линии насыщения и давления насыщенного пара . . . . . 2
4 Неопределенности рассчитанных значений термодинамических свойств . . . . . 2
Приложение А (обязательное) Основные физические параметры и коэффициенты уравнений для определения значений стандартных справочных данных по свойствам гелия-4 . . . . . 3
Приложение Б (обязательное) Алгоритм расчета плотности гелия-4 в однофазных областях итерационным методом . . . . . 5
Приложение В (обязательное) Алгоритм расчета энтальпии, энтропии, изохорной и изобарной теплоемкостей гелия-4 . . . . . 7
Приложение Г (обязательное) Стандартные справочные данные о плотности, энтальпии, энтропии, изохорной и изобарной теплоемкостях гелия-4 в однофазных областях . . . . . 9
Приложение Д (обязательное) Алгоритм расчета плотности гелия-4 на линии насыщения и давления насыщенного пара гелия-4 итерационным методом . . . . . 33
Приложение Е (обязательное) Стандартные справочные данные о плотности, энтальпии, энтропии, изохорной и изобарной теплоемкостей гелия-4 на линии насыщения . . . . . 35
Библиография . . . . . 37

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

# ГЕЛИЙ-4 ЖИДКИЙ И ГАЗООБРАЗНЫЙ

## Плотность, энтальпия, энтропия, изохорная и изобарная теплоемкости при температурах от 2,5 К до 500 К и давлениях до 100 МПа

Helium-4 liquid and gaseous. Density, enthalpy, entropy, isochoric and isobaric heat capacities at temperatures from 2.5 K to 500 K and pressures up to 100 MPa

**Дата введения — 2024—12—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на гелий-4, параметры состояния которого соответствуют газообразной, жидкой и сверхкритической областям. Стандарт устанавливает методы расчетного определения значений стандартных справочных данных о плотности ρ, энтальпии $h$, энтропии $s$, изобарной теплоемкости $c_p$ и изохорной теплоемкости $c_v$ как в однофазных областях (газ, жидкость и флюид), так и на линии фазового перехода газ — жидкость (линии насыщения), а также значений давления на линии насыщения $p_s$.

## 2 Общие положения

В настоящем стандарте приведена теоретическая основа метода определения термодинамических свойств гелия-4, параметры фундаментального уравнения состояния, а также рассчитанные по данному уравнению значения ниже перечисленных свойств.

Стандартные справочные данные значений плотности ρ, энтальпии $h$, энтропии $s$, изобарной $c_p$ и изохорной теплоемкости $c_v$ гелия-4 рассчитаны по единому для жидкой и газовой фаз фундаментальному уравнению состояния (ФУС) — зависимости свободной энергии (функции Гельмгольца) $F$ от плотности ρ и температуры $T$ (см. [1])

$$\frac{F(T,\rho)}{RT}=\frac{f_0(T,\rho)+f_r(T,\rho)}{RT}=f_0(\tau,\omega)+f_r(\tau,\omega)=f(\tau,\omega), \tag{1}$$

где $f$, $f_0$, $f_r$ — безразмерные полная свободная энергия, идеально-газовая и неидеальная составляющие свободной энергии, соответственно;

$\omega$ — относительная плотность, $\omega = \rho/\rho_{кр}$;

$\tau$ — относительная температура, $\tau = T/T_{кр}$.

Значения плотности $\rho_{кр}$ и температуры $T_{кр}$ гелия-4 в критической точке приведены в таблице А.1.

Уравнение для идеально-газовой составляющей свободной энергии имеет вид

$$f_0(\tau, \omega) = \ln\omega + (a_0 - 1)\ln\tau^{-1} + a_1 + a_2\tau^{-1}. \tag{2}$$

Здесь коэффициенты $a_i$ равны $a_0 = 2{,}5$; $a_1 = 0{,}173348642$; $a_2 = 0{,}467452364$.

Уравнение для неидеальной составляющей свободной энергии имеет следующий вид

$$f_r(\tau,\omega)=\sum_{i=1}^{6}n_i\omega^{d_i}\tau^{-t_i}+\sum_{i=7}^{12}n_i\omega^{d_i}\tau^{-t_i}\exp\left(-\omega^{l_i}\right)+\sum_{i=13}^{23}n_i\omega^{d_i}\tau^{-t_i}\exp\left[-\eta_i(\omega-\varepsilon_i)^2-\beta_i\left(\tau^{-1}-\gamma_i\right)^2\right]. \tag{3}$$

**Издание официальное**

В формуле (3) $n_i$ — коэффициенты уравнения состояния, значения которых вместе с показателями степеней $d_i$, $t_i$, $l_i$ и параметрами $\eta_i$, $\varepsilon_i$, $\beta_i$, $\gamma_i$ приведены в таблице А.2.

Плотность ω в однофазных областях при заданных значениях давления $p$ и температуры $T$ определяют из решения следующего уравнения в итерационном процессе

$$\pi = \frac{\omega\tau\left(1+A_0\right)}{z_{кр}}, \tag{4}$$

где $z_{кр} = 10^3 \dfrac{p_{кр}}{\rho_{кр} R T_{кр}}$.

Значения давления $p_{кр}$ и фактора сжимаемости $z_{кр}$ в критической точке, а также индивидуальной газовой постоянной $R$ гелия-4 приведены в таблице А.1. Вид комплекса $A_0$ и подробный алгоритм расчета плотности в однофазных областях приведены в приложении Б.

Алгоритм расчета энтальпии, энтропии, изорной и изобарной теплоемкостей в однофазных областях и на линии насыщения одинаков и приведен в приложении В.

Рассчитанные стандартные справочные данные о плотности, энтальпии, энтропии, изохорной и изобарной теплоемкостей гелия-4 в однофазных областях приведены в приложении Г.

## 3 Расчет плотности на линии насыщения и давления насыщенного пара

Относительные плотности жидкости и пара ω' и ω" на линии насыщения определяют в результате итерационного решения системы уравнений, описывающих условие фазового равновесия:

$$\begin{aligned} F_1\left(\omega', \omega''\right) &= \omega' - \omega'' + \omega' A_0' - \omega'' A_0'' = 0, \\ F_2\left(\omega', \omega''\right) &= \ln\left(\frac{\omega'}{\omega''}\right) + f_r' + A_0' - f_r'' - A_0'' = 0. \end{aligned} \tag{5}$$

Алгоритм нахождения плотностей на основе уравнений (5) описан в приложении Д.

Давление насыщенного пара рассчитывают по уравнению (4) для относительной плотности насыщенного пара ω".

Рассчитанные стандартные справочные данные о плотности на линии насыщения, а также о давлении насыщенного пара гелия-4 приведены в приложении Е.

## 4 Неопределенности рассчитанных значений термодинамических свойств

Расширенная неопределенность значений плотности составляет: при температурах ниже 50 К и давлениях до 10 МПа с — 0,25 %; при температурах от 50 до 200 К и давлениях не более 50 МПа — 0,2 %; при температурах выше 200 К и давлениях до 50 МПа — 0,05 %; при температурах от 200 К до 500 К и давлениях до 40 МПа — 0,03 %; при температурах от 200 К до 500 К и давлениях от 40 до 100 МПа — 0,1 %. При остальных параметрах неопределенность расчета плотности составляет 0,5 %.

Расширенная неопределенность значений давления насыщенных паров составляет 0,05 %.

Расширенная неопределенность значений калорических свойств (изохорная и изобарная теплоемкости, энтальпия, энтропия) составляет 2 %.

Расширенная неопределенность значений термодинамических свойств гелия-4 получена путем умножения стандартной неопределенности на коэффициент охвата $k$ = 2, соответствующий уровню доверия, равному 95 %. Оценивание неопределенности проведено в соответствии с [1].

## Приложение А
## (обязательное)

## Основные физические параметры и коэффициенты уравнений для определения значений стандартных справочных данных по свойствам гелия-4

Таблица А.1 — Свойства и критические параметры гелия-4 (см. [1])

| Свойства и критические параметры | Значения |
|---|---|
| Молярная масса $M$, г/моль | 4,002602 |
| Индивидуальная газовая постоянная $R$, Дж/(кг · К) | 2077,264265 |
| Критическая плотность $\rho_{кр}$, кг/м$^3$ | 69,580033 |
| Критическая температура $T_{кр}$, К | 5,1953 |
| Критическое давление $p_{кр}$, МПа | 0,22832 |
| Критический коэффициент сжимаемости $z_{кр}$ | 0,304059 |

Таблица А.2 — Коэффициенты для расчета формулы (3) (см. [1])

| $i$ | $n_i$ | $t_i$ | $d_i$ | $l_i$ | $\eta_i$ | $\beta_i$ | $\gamma_i$ | $\varepsilon_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,015559018 | 1 | 4 | — | — | — | — | — |
| 2 | 3,0638932 | 0,425 | 1 | — | — | — | — | — |
| 3 | –4,2420844 | 0,63 | 1 | — | — | — | — | — |
| 4 | 0,054418088 | 0,69 | 2 | — | — | — | — | — |
| 5 | –0,18971904 | 1,83 | 2 | — | — | — | — | — |
| 6 | 0,087856262 | 0,575 | 3 | — | — | — | — | — |
| 7 | 2,2833566 | 0,925 | 1 | 1 | — | — | — | — |
| 8 | –0,53331595 | 1,585 | 1 | 2 | — | — | — | — |
| 9 | –0,53296502 | 1,69 | 3 | 2 | — | — | — | — |
| 10 | 0,99444915 | 1,51 | 2 | 1 | — | — | — | — |
| 11 | –0,30078896 | 2,9 | 2 | 2 | — | — | — | — |
| 12 | –1,6432563 | 0,8 | 1 | 1 | — | — | — | — |
| 13 | 0,8029102 | 1,26 | 2 | — | 1,5497 | 0,2471 | 3,15 | 0,596 |
| 14 | 0,026838669 | 3,51 | 1 | — | 9,245 | 0,0983 | 2,54505 | 0,3423 |
| 15 | 0,04687678 | 2,785 | 2 | — | 4,76323 | 0,1556 | 1,2513 | 0,761 |
| 16 | –0,14832766 | 1 | 1 | — | 6,3826 | 2,6782 | 1,9416 | 0,9747 |
| 17 | 0,03016211 | 4,22 | 1 | — | 8,7023 | 2,7077 | 0,5984 | 0,5868 |
| 18 | –0,019986041 | 0,83 | 3 | — | 0,255 | 0,6621 | 2,2282 | 0,5627 |
| 19 | 0,14283514 | 1,575 | 2 | — | 0,3523 | 0,1775 | 1,606 | 2,5346 |
| 20 | 0,007418269 | 3,447 | 2 | — | 0,1492 | 0,4821 | 3,815 | 3,6763 |
| 21 | –0,22989793 | 0,73 | 3 | — | 0,05 | 0,3069 | 1,61958 | 4,5245 |
| 22 | 0,79224829 | 1,634 | 2 | — | 0,1668 | 0,1758 | 0,6407 | 5,039 |
| 23 | –0,049386338 | 6,13 | 2 | — | 42,2358 | 1357,6577 | 1,076 | 0,959 |

Таблица А.3 — Коэффициенты для расчета формулы (5) (см. [1])

| $i$ | $n_i$ | $t_i$ |
|---|---|---|
| 1 | 2,697 | 0,44 |
| 2 | –4,0115 | 0,72 |
| 3 | 5,5835 | 1 |
| 4 | –4,7467 | 1,5 |
| 5 | 2,7509 | 2,5 |
| 6 | –2,4711 | 5 |

Таблица А.4 — Коэффициенты для расчета формулы (6) (см. [1])

| $i$ | $n_i$ | $t_i$ |
|---|---|---|
| 1 | –1,8975 | 0,41 |
| 2 | –6,9133 | 1,35 |
| 3 | 13,711 | 2 |
| 4 | –14,644 | 2,5 |
| 5 | –23,179 | 10 |

Таблица А.5 — Коэффициенты для расчета формулы (7) (см. [1])

| $i$ | $n_i$ | $t_i$ |
|---|---|---|
| 1 | –4,0558 | 1 |
| 2 | 0,69089 | 1,5 |
| 3 | 1,1982 | 2 |
| 4 | 0,79703 | 5 |
| 5 | –9,0432 | 14 |

## Приложение Б
## (обязательное)

### Алгоритм расчета плотности гелия-4 в однофазных областях итерационным методом

Определение относительной плотности ω в любой области параметров, определяющих состояние веществ (однофазная область, линия насыщения), используя уравнение

$$\pi = \frac{\omega\left(1+A_0\right)}{\tau z_{кр}} \tag{Б.1}$$

по методу Ньютона в следующем итерационном процессе:

1) Определяют ω на $k$-м итерационном шаге (начиная с $k = 1$) с помощью выражений:

$$\Delta\omega^{(k)} = \frac{\pi z_{кр} / \tau - \left(1+A_0^{(k-1)}\right)\omega^{(k-1)}}{1+A_1^{(k-1)}}; \tag{Б.2}$$

$$\omega^{(k)} = \omega^{(k-1)} + \Delta\omega^{(k)}. \tag{Б.3}$$

Комплексы $A_0^{(k-1)}$ и $A_1^{(k-1)}$ рассчитывают по формулам (Б.7) и (Б.8) при плотности на итерационном шаге $(k-1)$, т. е. при $\omega^{(k-1)}$:

$$X_i = \begin{cases} d_i, \ 1 \le i \le 6; \\ d_i - l_i\omega^{l_i}, \ 7 \le i \le 12; \\ d_i - 2\eta_i\omega\left(\omega - \varepsilon_i\right), \ 13 \le i \le 23; \end{cases} \tag{Б.4}$$

$$U_i = \begin{cases} 0, \ 1 \le i \le 6; \\ -l_i^2\omega^{l_i}, \ 7 \le i \le 12; \\ -2\eta_i\omega\left(2\omega - \varepsilon_i\right), \ 13 \le i \le 23; \end{cases} \tag{Б.5}$$

$$\varphi_i = \begin{cases} \left(\omega^{(k-1)}\right)^{d_i}\tau^{-t_i}, \ 1 \le i \le 6; \\ \left(\omega^{(k-1)}\right)^{d_i}\tau^{-t_i}\exp\left(-(\omega^{(k-1)})^{l_i}\right), \ 7 \le i \le 12; \\ \left(\omega^{(k-1)}\right)^{d_i}\tau^{-t_i}\exp\left[-\eta_i\left(\omega^{(k-1)} - \varepsilon_i\right)^2 - \beta_i\left(\tau^{-1} - \gamma_i\right)^2\right], \ 13 \le i \le 23; \end{cases} \tag{Б.6}$$

$$A_0^{(k-1)} = \sum_{i=1}^{23} n_i\varphi_i X_i; \tag{Б.7}$$

$$A_1^{(k-1)} = \sum_{i=1}^{23} n_i\varphi_i\left[X_i\left(X_i+1\right)+U_i\right]. \tag{Б.8}$$

Показатели степеней $d_i$, $t_i$, $l_i$ и параметры $\eta_i$, $\varepsilon_i$, $\beta_i$, $\gamma_i$ приведены в таблице А.2;

2) Критерий завершения итерационного процесса определяют следующим образом

$$\left|\frac{\Delta\omega^{(k)}}{\omega^{(k)}}\right| \le 10^{-6}. \qquad (Б.9)$$

При невыполнении критерия (Б.9) необходимо продолжить итерационный процесс, начиная с пункта 1), в обратном случае перейти к пункту 3);

3) Вычисляют плотность $\rho$, кг/м$^3$, по уравнению

$$\rho = \omega^{(k)} \rho_{кр}. \qquad (Б.10)$$

## Приложение В
## (обязательное)

## Алгоритм расчета энтальпии, энтропии, изохорной и изобарной теплоемкостей гелия-4

Энтальпию, энтропию, изохорную и изобарную теплоемкости в однофазных областях (для $T$ и $\omega$) и на линии насыщения (для $T$ и $\omega'$ или для $T$ и $\omega''$) вычисляют по формулам:

$$h = h_0 + A_3 RT; \tag{В.1}$$

$$s = s_0 + A_4 R; \tag{В.2}$$

$$c_v = c_{v0} + A_5 R; \tag{В.3}$$

$$c_p = c_v + \frac{(1 + A_2)^2}{1 + A_1} R. \tag{В.4}$$

Энтальпию $h_0$, энтропию $s_0$ и изохорную теплоемкость $c_{v0}$ в идеально-газовом состоянии определяют по выражениям:

$$h_0 = RT(a_0 + a_2 \tau^{-1}); \tag{В.5}$$

$$s_0 = R((a_0 - 1)(1 - \ln\tau^{-1}) - a_1 - \ln\omega); \tag{В.6}$$

$$c_{v0} = R(a_0 - 1). \tag{В.7}$$

Комплексы $A_1$—$A_5$ в формулах (В.1)—(В.4) рассчитывают по выражениям:

$$Y_i = \begin{cases} -t_i, \ 1 \le i \le 6; \\ -t_i, \ 7 \le i \le 12; \\ 2\beta_i \tau^{-1}\left(\tau^{-1} - \gamma_i\right) - t_i, \ 13 \le i \le 23; \end{cases} \tag{В.8}$$

$$Q_i = \begin{cases} 0, \ 1 \le i \le 6; \\ 0, \ 7 \le i \le 12; \\ -2\beta_i \tau^{-1}\left(2\tau^{-1} - \gamma_i\right), \ 13 \le i \le 23; \end{cases} \tag{В.9}$$

$$\varphi_i = \begin{cases} \omega^{d_i} \tau^{-t_i}, \ 1 \le i \le 6; \\ \omega^{d_i} \tau^{-t_i} \exp\left(-\omega^{l_i}\right), \ 7 \le i \le 12; \\ \omega^{d_i} \tau^{-t_i} \exp\left[-\eta_i (\omega - \varepsilon_i)^2 - \beta_i \left(\tau^{-1} - \gamma_i\right)^2\right], \ 13 \le i \le 23; \end{cases} \tag{В.10}$$

$$A_1 = \sum_{i=1}^{23} n_i \varphi_i \left[ X_i \left( X_i + 1 \right) + U_i \right]; \quad \text{(В.11)}$$

$$A_2 = \sum_{i=1}^{23} n_i \varphi_i \left[ X_i \left( Y_i + 1 \right) \right]; \quad \text{(В.12)}$$

$$A_3 = \sum_{i=1}^{23} n_i \varphi_i \left[ X_i - Y_i \right]; \quad \text{(В.13)}$$

$$A_4 = -\sum_{i=1}^{23} n_i \varphi_i \left[ Y_i + 1 \right]; \quad \text{(В.14)}$$

$$A_5 = -\sum_{i=1}^{23} n_i \varphi_i \left[ Y_i \left( Y_i + 1 \right) + Q_i \right]. \quad \text{(В.15)}$$

Здесь $X_i$ и $U_i$ рассчитывают по формулам (Б.4) и (Б.5).

## Приложение Г
## (обязательное)

## Стандартные справочные данные о плотности, энтальпии, энтропии, изохорной и изобарной теплоемкостях гелия-4 в однофазных областях

Таблица Г.1 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 0,1 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,5000 | 146,73 | –5,4323 | –1,5905 | 2,0568 | 2,2287 |
| 3,0000 | 143,07 | –4,2722 | –1,1683 | 2,0016 | 2,5103 |
| 4,0000 | 19,880 | 18,241 | 4,3204 | 3,2663 | 13,933 |
| 5,0000 | 11,757 | 26,627 | 6,2135 | 3,1593 | 6,7399 |
| 6,0000 | 9,0147 | 32,929 | 7,3646 | 3,1325 | 6,0031 |
| 7,0000 | 7,4210 | 38,770 | 8,2655 | 3,1234 | 5,7143 |
| 8,0000 | 6,3445 | 44,402 | 9,0178 | 3,1197 | 5,5632 |
| 9,0000 | 5,5576 | 49,916 | 9,6674 | 3,1180 | 5,4721 |
| 10,000 | 4,9528 | 55,357 | 10,240 | 3,1171 | 5,4122 |
| 25,000 | 1,9245 | 134,50 | 15,087 | 3,1170 | 5,2258 |
| 50,000 | 0,9608 | 264,74 | 18,699 | 3,1170 | 5,2012 |
| 75,000 | 0,64076 | 394,70 | 20,806 | 3,1167 | 5,1966 |
| 100,00 | 0,48072 | 524,59 | 22,301 | 3,1166 | 5,1949 |
| 125,00 | 0,38467 | 654,46 | 23,460 | 3,1164 | 5,1942 |
| 150,00 | 0,32062 | 784,31 | 24,407 | 3,1163 | 5,1938 |
| 175,00 | 0,27485 | 914,15 | 25,208 | 3,1163 | 5,1935 |
| 200,00 | 0,24052 | 1043,9 | 25,901 | 3,1162 | 5,1934 |
| 225,00 | 0,21381 | 1173,8 | 26,513 | 3,1162 | 5,1933 |
| 250,00 | 0,19244 | 1303,6 | 27,060 | 3,1161 | 5,1932 |
| 275,00 | 0,17496 | 1433,4 | 27,555 | 3,1161 | 5,1932 |
| 300,00 | 0,16039 | 1563,3 | 28,007 | 3,1161 | 5,1931 |
| 325,00 | 0,14805 | 1693,1 | 28,423 | 3,1161 | 5,1931 |
| 350,00 | 0,13748 | 1822,9 | 28,808 | 3,1161 | 5,1931 |
| 375,00 | 0,12832 | 1952,8 | 29,166 | 3,1160 | 5,1931 |
| 400,00 | 0,12030 | 2082,6 | 29,501 | 3,1160 | 5,1931 |
| 425,00 | 0,11323 | 2212,4 | 29,816 | 3,1160 | 5,1931 |
| 450,00 | 0,10694 | 2342,2 | 30,113 | 3,1160 | 5,1931 |
| 475,00 | 0,10131 | 2472,1 | 30,393 | 3,1160 | 5,1931 |
| 500,00 | 0,096254 | 2601,9 | 30,660 | 3,1160 | 5,1931 |

Таблица Г.2 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 0,2 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,5000 | 148,63 | –4,8148 | –1,6143 | 1,9738 | 2,1282 |
| 3,0000 | 145,31 | –3,7024 | –1,2095 | 1,9630 | 2,4061 |
| 4,0000 | 133,87 | –0,69436 | –0,35337 | 2,2924 | 3,7853 |
| 5,0000 | 101,60 | 5,6819 | 1,0356 | 2,8626 | 18,013 |
| 6,0000 | 21,299 | 28,738 | 5,4676 | 3,1486 | 7,7577 |
| 7,0000 | 16,288 | 35,757 | 6,5520 | 3,1261 | 6,5254 |
| 8,0000 | 13,469 | 42,021 | 7,3890 | 3,1208 | 6,0586 |
| 9,0000 | 11,582 | 47,946 | 8,0872 | 3,1186 | 5,8142 |
| 10,000 | 10,203 | 53,680 | 8,6915 | 3,1175 | 5,6659 |
| 25,000 | 3,8466 | 134,14 | 13,631 | 3,1180 | 5,2581 |
| 50,000 | 1,9176 | 264,78 | 17,255 | 3,1181 | 5,2092 |
| 75,000 | 1,2793 | 394,87 | 19,365 | 3,1176 | 5,2000 |
| 100,00 | 0,96011 | 524,83 | 20,861 | 3,1173 | 5,1967 |
| 125,00 | 0,76846 | 654,73 | 22,020 | 3,1170 | 5,1952 |
| 150,00 | 0,64061 | 784,60 | 22,967 | 3,1168 | 5,1944 |
| 175,00 | 0,54925 | 914,45 | 23,768 | 3,1167 | 5,1940 |
| 200,00 | 0,48069 | 1044,3 | 24,462 | 3,1166 | 5,1937 |
| 225,00 | 0,42735 | 1174,1 | 25,073 | 3,1165 | 5,1935 |
| 250,00 | 0,38467 | 1303,9 | 25,620 | 3,1164 | 5,1933 |
| 275,00 | 0,34974 | 1433,8 | 26,115 | 3,1164 | 5,1933 |
| 300,00 | 0,32063 | 1563,6 | 26,567 | 3,1163 | 5,1932 |
| 325,00 | 0,29599 | 1693,4 | 26,983 | 3,1163 | 5,1931 |
| 350,00 | 0,27486 | 1823,3 | 27,368 | 3,1163 | 5,1931 |
| 375,00 | 0,25655 | 1953,1 | 27,726 | 3,1162 | 5,1931 |
| 400,00 | 0,24053 | 2082,9 | 28,061 | 3,1162 | 5,1931 |
| 425,00 | 0,22639 | 2212,7 | 28,376 | 3,1162 | 5,1930 |
| 450,00 | 0,21382 | 2342,6 | 28,673 | 3,1162 | 5,1930 |
| 475,00 | 0,20258 | 2472,4 | 28,954 | 3,1161 | 5,1930 |
| 500,00 | 0,19245 | 2602,2 | 29,220 | 3,1161 | 5,1930 |

Таблица Г.3 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 0,3 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,5000 | 150,39 | –4,1998 | –1,6358 | 1,9009 | 2,0415 |
| 3,0000 | 147,33 | –3,1277 | –1,2457 | 1,9275 | 2,3205 |
| 4,0000 | 137,21 | –0,27104 | –0,43192 | 2,2652 | 3,5058 |
| 5,0000 | 117,26 | 4,4729 | 0,61396 | 2,5816 | 6,8473 |
| 6,0000 | 41,716 | 22,760 | 3,9031 | 3,189 | 13,058 |
| 7,0000 | 27,405 | 32,249 | 5,3750 | 3,1115 | 7,7939 |
| 8,0000 | 21,615 | 39,415 | 6,3335 | 3,1133 | 6,7118 |
| 9,0000 | 18,160 | 45,859 | 7,0931 | 3,1154 | 6,2290 |
| 10,000 | 15,785 | 51,941 | 7,7342 | 3,1161 | 5,9578 |
| 25,000 | 5,7656 | 133,79 | 12,774 | 3,1191 | 5,2901 |
| 50,000 | 2,8703 | 264,83 | 16,410 | 3,1192 | 5,2171 |
| 75,000 | 1,9156 | 395,05 | 18,522 | 3,1185 | 5,2034 |
| 100,00 | 1,4381 | 525,07 | 20,018 | 3,1180 | 5,1985 |
| 125,00 | 1,1513 | 655,00 | 21,178 | 3,1176 | 5,1963 |
| 150,00 | 0,95999 | 784,89 | 22,125 | 3,1173 | 5,1951 |
| 175,00 | 0,82318 | 914,76 | 22,926 | 3,1171 | 5,1944 |
| 200,00 | 0,72052 | 1044,6 | 23,619 | 3,1170 | 5,1939 |
| 225,00 | 0,64062 | 1174,4 | 24,231 | 3,1168 | 5,1937 |
| 250,00 | 0,57668 | 1304,3 | 24,778 | 3,1167 | 5,1935 |
| 275,00 | 0,52434 | 1434,1 | 25,273 | 3,1167 | 5,1933 |
| 300,00 | 0,48071 | 1563,9 | 25,725 | 3,1166 | 5,1932 |
| 325,00 | 0,44379 | 1693,8 | 26,141 | 3,1165 | 5,1931 |
| 350,00 | 0,41213 | 1823,6 | 26,526 | 3,1165 | 5,1931 |
| 375,00 | 0,38469 | 1953,4 | 26,884 | 3,1164 | 5,1931 |
| 400,00 | 0,36068 | 2083,2 | 27,219 | 3,1164 | 5,1930 |
| 425,00 | 0,33948 | 2213,1 | 27,534 | 3,1163 | 5,1930 |
| 450,00 | 0,32064 | 2342,9 | 27,831 | 3,1163 | 5,1930 |
| 475,00 | 0,30378 | 2472,7 | 28,112 | 3,1163 | 5,1930 |
| 500,00 | 0,28861 | 2602,5 | 28,378 | 3,1163 | 5,1930 |

Таблица Г.4 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 0,4 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,5000 | 152,03 | –3,5877 | –1,6555 | 1,8362 | 1,9658 |
| 3,0000 | 149,19 | –2,5505 | –1,2781 | 1,8948 | 2,2480 |
| 4,0000 | 140,04 | 0,18988 | –0,49699 | 2,2414 | 3,3112 |
| 5,0000 | 123,99 | 4,4007 | 0,43402 | 2,5265 | 5,4747 |
| 6,0000 | 80,552 | 14,354 | 2,2122 | 3,0577 | 20,521 |
| 7,0000 | 41,582 | 28,333 | 4,3921 | 3,0782 | 9,5217 |
| 8,0000 | 30,986 | 36,634 | 5,5035 | 3,0918 | 7,4856 |
| 9,0000 | 25,360 | 43,680 | 6,3344 | 3,1055 | 6,7003 |
| 10,000 | 21,723 | 50,152 | 7,0166 | 3,1116 | 6,2806 |
| 25,000 | 7,6807 | 133,45 | 12,161 | 3,1202 | 5,3219 |
| 50,000 | 3,8191 | 264,87 | 15,809 | 3,1203 | 5,2249 |
| 75,000 | 2,5497 | 395,23 | 17,923 | 3,1194 | 5,2067 |
| 100,00 | 1,9148 | 525,30 | 19,420 | 3,1187 | 5,2003 |
| 125,00 | 1,5333 | 655,27 | 20,580 | 3,1182 | 5,1973 |
| 150,00 | 1,2787 | 785,18 | 21,527 | 3,1178 | 5,1957 |
| 175,00 | 1,0966 | 915,06 | 22,328 | 3,1176 | 5,1948 |
| 200,00 | 0,95999 | 1044,9 | 23,022 | 3,1173 | 5,1942 |
| 225,00 | 0,85361 | 1174,7 | 23,634 | 3,1172 | 5,1938 |
| 250,00 | 0,76846 | 1304,6 | 24,181 | 3,1170 | 5,1936 |
| 275,00 | 0,69876 | 1434,4 | 24,676 | 3,1169 | 5,1934 |
| 300,00 | 0,64065 | 1564,3 | 25,128 | 3,1168 | 5,1933 |
| 325,00 | 0,59146 | 1694,1 | 25,543 | 3,1167 | 5,1932 |
| 350,00 | 0,54929 | 1823,9 | 25,928 | 3,1167 | 5,1931 |
| 375,00 | 0,51273 | 1953,7 | 26,286 | 3,1166 | 5,1930 |
| 400,00 | 0,48074 | 2083,6 | 26,622 | 3,1166 | 5,1930 |
| 425,00 | 0,45250 | 2213,4 | 26,936 | 3,1165 | 5,1930 |
| 450,00 | 0,42740 | 2343,2 | 27,233 | 3,1165 | 5,1929 |
| 475,00 | 0,40493 | 2473,0 | 27,514 | 3,1164 | 5,1929 |
| 500,00 | 0,38471 | 2602,9 | 27,780 | 3,1164 | 5,1929 |

Таблица Г.5 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 0,5 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,5000 | 153,58 | –2,9789 | –1,6737 | 1,7784 | 1,8989 |
| 3,0000 | 150,92 | –1,9721 | –1,3075 | 1,8643 | 2,1853 |
| 4,0000 | 142,52 | 0,67404 | –0,55287 | 2,2193 | 3,1639 |
| 5,0000 | 128,73 | 4,5688 | 0,30948 | 2,4958 | 4,8306 |
| 6,0000 | 102,21 | 11,334 | 1,5299 | 2,7878 | 9,8271 |
| 7,0000 | 58,442 | 24,404 | 3,5415 | 3,0406 | 11,402 |
| 8,0000 | 41,477 | 33,851 | 4,8076 | 3,0593 | 8,2281 |
| 9,0000 | 33,157 | 41,483 | 5,7076 | 3,0878 | 7,1683 |
| 10,000 | 28,005 | 48,347 | 6,4314 | 3,1030 | 6,6099 |
| 25,000 | 9,5915 | 133,11 | 11,682 | 3,1213 | 5,3533 |
| 50,000 | 4,7638 | 264,93 | 15,342 | 3,1214 | 5,2326 |
| 75,000 | 3,1817 | 395,40 | 17,458 | 3,1203 | 5,2100 |
| 100,00 | 2,3902 | 525,54 | 18,956 | 3,1194 | 5,2020 |
| 125,00 | 1,9145 | 655,54 | 20,116 | 3,1188 | 5,1983 |
| 150,00 | 1,5968 | 785,47 | 21,064 | 3,1183 | 5,1964 |
| 175,00 | 1,3696 | 915,37 | 21,865 | 3,1180 | 5,1952 |
| 200,00 | 1,1991 | 1045,2 | 22,558 | 3,1177 | 5,1945 |
| 225,00 | 1,0663 | 1175,1 | 23,170 | 3,1175 | 5,1940 |
| 250,00 | 0,96002 | 1304,9 | 23,717 | 3,1173 | 5,1937 |
| 275,00 | 0,87299 | 1434,7 | 24,212 | 3,1172 | 5,1935 |
| 300,00 | 0,80043 | 1564,6 | 24,664 | 3,1171 | 5,1933 |
| 325,00 | 0,73901 | 1694,4 | 25,080 | 3,1170 | 5,1932 |
| 350,00 | 0,68634 | 1824,2 | 25,465 | 3,1169 | 5,1931 |
| 375,00 | 0,64068 | 1954,1 | 25,823 | 3,1168 | 5,1930 |
| 400,00 | 0,60072 | 2083,9 | 26,158 | 3,1167 | 5,1930 |
| 425,00 | 0,56545 | 2213,7 | 26,473 | 3,1167 | 5,1929 |
| 450,00 | 0,53409 | 2343,5 | 26,770 | 3,1166 | 5,1929 |
| 475,00 | 0,50602 | 2473,4 | 27,051 | 3,1166 | 5,1929 |
| 500,00 | 0,48076 | 2603,2 | 27,317 | 3,1165 | 5,1929 |

Таблица Г.6 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 0,6 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,5000 | 155,04 | –2,3732 | –1,6907 | 1,7265 | 1,8394 |
| 3,0000 | 152,53 | –1,3936 | –1,3343 | 1,8358 | 2,1301 |
| 4,0000 | 144,75 | 1,1736 | –0,602 | 2,1983 | 3,0464 |
| 5,0000 | 132,50 | 4,8485 | 0,21237 | 2,4727 | 4,4354 |
| 6,0000 | 111,89 | 10,564 | 1,2464 | 2,7093 | 7,4576 |
| 7,0000 | 76,375 | 20,865 | 2,8229 | 2,9735 | 12,333 |
| 8,0000 | 52,579 | 31,269 | 4,2176 | 3,0273 | 8,8568 |
| 9,0000 | 41,367 | 39,382 | 5,1746 | 3,0652 | 7,5574 |
| 10,000 | 34,561 | 46,586 | 5,9342 | 3,0905 | 6,9069 |
| 25,000 | 11,497 | 132,78 | 11,289 | 3,1224 | 5,3843 |
| 50,000 | 5,7044 | 264,98 | 14,960 | 3,1225 | 5,2401 |
| 75,000 | 3,8114 | 395,58 | 17,078 | 3,1212 | 5,2133 |
| 100,00 | 2,8643 | 525,78 | 18,576 | 3,1201 | 5,2038 |
| 125,00 | 2,2948 | 655,81 | 19,737 | 3,1194 | 5,1994 |
| 150,00 | 1,9144 | 785,77 | 20,685 | 3,1188 | 5,1970 |
| 175,00 | 1,6422 | 915,67 | 21,486 | 3,1184 | 5,1956 |
| 200,00 | 1,4378 | 1045,5 | 22,180 | 3,1181 | 5,1948 |
| 225,00 | 1,2787 | 1175,4 | 22,791 | 3,1178 | 5,1942 |
| 250,00 | 1,1513 | 1305,2 | 23,339 | 3,1176 | 5,1938 |
| 275,00 | 1,0470 | 1435,1 | 23,834 | 3,1175 | 5,1935 |
| 300,00 | 0,96007 | 1564,9 | 24,286 | 3,1173 | 5,1933 |
| 325,00 | 0,88643 | 1694,7 | 24,701 | 3,1172 | 5,1932 |
| 350,00 | 0,82328 | 1824,6 | 25,086 | 3,1171 | 5,1931 |
| 375,00 | 0,76854 | 1954,4 | 25,444 | 3,1170 | 5,1930 |
| 400,00 | 0,72062 | 2084,2 | 25,780 | 3,1169 | 5,1929 |
| 425,00 | 0,67832 | 2214,0 | 26,094 | 3,1168 | 5,1929 |
| 450,00 | 0,64071 | 2343,9 | 26,391 | 3,1168 | 5,1929 |
| 475,00 | 0,60706 | 2473,7 | 26,672 | 3,1167 | 5,1928 |
| 500,00 | 0,57676 | 2603,5 | 26,938 | 3,1167 | 5,1928 |

Таблица Г.7 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 0,7 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,5000 | 156,44 | –1,7708 | –1,7066 | 1,6796 | 1,7861 |
| 3,0000 | 154,06 | –0,81539 | –1,3590 | 1,8091 | 2,0809 |
| 4,0000 | 146,78 | 1,6838 | –0,64594 | 2,1783 | 2,9493 |
| 5,0000 | 135,67 | 5,1927 | 0,13208 | 2,4527 | 4,1604 |
| 6,0000 | 118,36 | 10,327 | 1,0623 | 2,6720 | 6,3669 |
| 7,0000 | 90,930 | 18,542 | 2,3208 | 2,8877 | 10,249 |
| 8,0000 | 63,829 | 28,947 | 3,7119 | 2,9988 | 9,4200 |
| 9,0000 | 49,717 | 37,466 | 4,7171 | 3,0425 | 7,8581 |
| 10,000 | 41,263 | 44,932 | 5,5043 | 3,0755 | 7,1421 |
| 25,000 | 13,396 | 132,46 | 10,954 | 3,1235 | 5,4148 |
| 50,000 | 6,6410 | 265,03 | 14,636 | 3,1236 | 5,2476 |
| 75,000 | 4,4390 | 395,76 | 16,757 | 3,1221 | 5,2165 |
| 100,00 | 3,3370 | 526,02 | 18,256 | 3,1208 | 5,2055 |
| 125,00 | 2,6741 | 656,09 | 19,417 | 3,1200 | 5,2004 |
| 150,00 | 2,2313 | 786,06 | 20,365 | 3,1193 | 5,1977 |
| 175,00 | 1,9143 | 915,98 | 21,166 | 3,1188 | 5,1961 |
| 200,00 | 1,6763 | 1045,8 | 21,859 | 3,1185 | 5,1950 |
| 225,00 | 1,4909 | 1175,7 | 22,471 | 3,1182 | 5,1944 |
| 250,00 | 1,3424 | 1305,5 | 23,019 | 3,1179 | 5,1939 |
| 275,00 | 1,2209 | 1435,4 | 23,514 | 3,1177 | 5,1936 |
| 300,00 | 1,1195 | 1565,2 | 23,965 | 3,1176 | 5,1934 |
| 325,00 | 1,0337 | 1695,1 | 24,381 | 3,1174 | 5,1932 |
| 350,00 | 0,96012 | 1824,9 | 24,766 | 3,1173 | 5,1931 |
| 375,00 | 0,89630 | 1954,7 | 25,124 | 3,1172 | 5,1930 |
| 400,00 | 0,84043 | 2084,5 | 25,459 | 3,1171 | 5,1929 |
| 425,00 | 0,79112 | 2214,4 | 25,774 | 3,1170 | 5,1928 |
| 450,00 | 0,74728 | 2344,2 | 26,071 | 3,1169 | 5,1928 |
| 475,00 | 0,70804 | 2474,0 | 26,352 | 3,1169 | 5,1928 |
| 500,00 | 0,67271 | 2603,8 | 26,618 | 3,1168 | 5,1928 |

Таблица Г.8 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 0,8 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,5000 | 157,77 | –1,1717 | –1,7215 | 1,6371 | 1,7382 |
| 3,0000 | 155,50 | –0,23815 | –1,3819 | 1,7839 | 2,0365 |
| 4,0000 | 148,65 | 2,2015 | –0,68574 | 2,1588 | 2,8668 |
| 5,0000 | 138,43 | 5,5783 | 0,063303 | 2,4345 | 3,9542 |
| 6,0000 | 123,29 | 10,330 | 0,92484 | 2,6478 | 5,7138 |
| 7,0000 | 100,78 | 17,382 | 2,0063 | 2,8326 | 8,5180 |
| 8,0000 | 74,822 | 26,909 | 3,2766 | 2,9671 | 9,6679 |
| 9,0000 | 58,008 | 35,750 | 4,3197 | 3,0224 | 8,1195 |
| 10,000 | 47,970 | 43,425 | 5,1291 | 3,0601 | 7,3195 |
| 25,000 | 15,290 | 132,15 | 10,662 | 3,1246 | 5,4449 |
| 50,000 | 7,5735 | 265,09 | 14,355 | 3,1248 | 5,2550 |
| 75,000 | 5,0643 | 395,94 | 16,478 | 3,1229 | 5,2197 |
| 100,00 | 3,8084 | 526,26 | 17,978 | 3,1216 | 5,2072 |
| 125,00 | 3,0527 | 656,36 | 19,139 | 3,1206 | 5,2014 |
| 150,00 | 2,5475 | 786,35 | 20,087 | 3,1198 | 5,1983 |
| 175,00 | 2,1860 | 916,29 | 20,888 | 3,1193 | 5,1965 |
| 200,00 | 1,9144 | 1046,1 | 21,582 | 3,1188 | 5,1953 |
| 225,00 | 1,7028 | 1176,0 | 22,194 | 3,1185 | 5,1946 |
| 250,00 | 1,5333 | 1305,9 | 22,741 | 3,1182 | 5,1940 |
| 275,00 | 1,3946 | 1435,7 | 23,236 | 3,1180 | 5,1937 |
| 300,00 | 1,2788 | 1565,6 | 23,688 | 3,1178 | 5,1934 |
| 325,00 | 1,1808 | 1695,4 | 24,104 | 3,1176 | 5,1932 |
| 350,00 | 1,0968 | 1825,2 | 24,489 | 3,1175 | 5,1931 |
| 375,00 | 1,0239 | 1955,0 | 24,847 | 3,1174 | 5,1930 |
| 400,00 | 0,96017 | 2084,9 | 25,182 | 3,1173 | 5,1929 |
| 425,00 | 0,90385 | 2214,7 | 25,497 | 3,1172 | 5,1928 |
| 450,00 | 0,85378 | 2344,5 | 25,794 | 3,1171 | 5,1928 |
| 475,00 | 0,80896 | 2474,3 | 26,075 | 3,1170 | 5,1927 |
| 500,00 | 0,76861 | 2604,2 | 26,341 | 3,1169 | 5,1927 |

Таблица Г.9 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 0,9 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,5000 | 159,04 | –0,57579 | –1,7357 | 1,5984 | 1,6948 |
| 3,0000 | 156,87 | 0,33788 | –1,4033 | 1,7601 | 1,9962 |
| 4,0000 | 150,39 | 2,7247 | –0,72214 | 2,1400 | 2,7954 |
| 5,0000 | 140,89 | 5,9925 | 0,002959 | 2,4172 | 3,7917 |
| 6,0000 | 127,31 | 10,467 | 0,81471 | 2,6288 | 5,2711 |
| 7,0000 | 108,00 | 16,794 | 1,7857 | 2,7991 | 7,4767 |
| 8,0000 | 84,705 | 25,308 | 2,9198 | 2,9337 | 9,2233 |
| 9,0000 | 66,138 | 34,210 | 3,9694 | 3,0040 | 8,3450 |
| 10,000 | 54,583 | 42,069 | 4,7983 | 3,0458 | 7,4662 |
| 25,000 | 17,176 | 131,85 | 10,404 | 3,1257 | 5,4742 |
| 50,000 | 8,5018 | 265,15 | 14,108 | 3,1259 | 5,2623 |
| 75,000 | 5,6876 | 396,12 | 16,232 | 3,1238 | 5,2229 |
| 100,00 | 4,2785 | 526,50 | 17,733 | 3,1223 | 5,2089 |
| 125,00 | 3,4303 | 656,63 | 18,894 | 3,1211 | 5,2024 |
| 150,00 | 2,8632 | 786,64 | 19,842 | 3,1203 | 5,1989 |
| 175,00 | 2,4572 | 916,59 | 20,644 | 3,1197 | 5,1969 |
| 200,00 | 2,1521 | 1046,5 | 21,337 | 3,1192 | 5,1956 |
| 225,00 | 1,9144 | 1176,3 | 21,949 | 3,1188 | 5,1947 |
| 250,00 | 1,7240 | 1306,2 | 22,497 | 3,1185 | 5,1941 |
| 275,00 | 1,5681 | 1436,0 | 22,992 | 3,1183 | 5,1937 |
| 300,00 | 1,4380 | 1565,9 | 23,444 | 3,1180 | 5,1934 |
| 325,00 | 1,3279 | 1695,7 | 23,859 | 3,1179 | 5,1932 |
| 350,00 | 1,2334 | 1825,5 | 24,244 | 3,1177 | 5,1931 |
| 375,00 | 1,1515 | 1955,4 | 24,602 | 3,1176 | 5,1929 |
| 400,00 | 1,0798 | 2085,2 | 24,938 | 3,1174 | 5,1928 |
| 425,00 | 1,0165 | 2215,0 | 25,252 | 3,1173 | 5,1928 |
| 450,00 | 0,96021 | 2344,8 | 25,549 | 3,1172 | 5,1927 |
| 475,00 | 0,90982 | 2474,7 | 25,830 | 3,1172 | 5,1927 |
| 500,00 | 0,86446 | 2604,5 | 26,096 | 3,1171 | 5,1927 |

Таблица Г.10 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 1 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,5000 | 160,26 | 0,016939 | –1,7491 | 1,5631 | 1,6553 |
| 3,0000 | 158,18 | 0,91246 | –1,4234 | 1,7376 | 1,9594 |
| 4,0000 | 152,02 | 3,2517 | –0,75572 | 2,1218 | 2,7324 |
| 5,0000 | 143,11 | 6,4273 | –0,050913 | 2,4007 | 3,6589 |
| 6,0000 | 130,72 | 10,689 | 0,72259 | 2,6124 | 4,9476 |
| 7,0000 | 113,69 | 16,513 | 1,6166 | 2,7764 | 6,7757 |
| 8,0000 | 92,914 | 24,210 | 2,6418 | 2,9053 | 8,4789 |
| 9,0000 | 73,969 | 32,848 | 3,6593 | 2,9860 | 8,4419 |
| 10,000 | 61,055 | 40,848 | 4,5030 | 3,0326 | 7,5991 |
| 25,000 | 19,054 | 131,55 | 10,171 | 3,1268 | 5,5029 |
| 50,000 | 9,4261 | 265,22 | 13,886 | 3,1270 | 5,2694 |
| 75,000 | 6,3086 | 396,31 | 16,012 | 3,1247 | 5,2261 |
| 100,00 | 4,7473 | 526,74 | 17,513 | 3,1230 | 5,2106 |
| 125,00 | 3,8071 | 656,90 | 18,675 | 3,1217 | 5,2034 |
| 150,00 | 3,1783 | 786,94 | 19,623 | 3,1208 | 5,1996 |
| 175,00 | 2,7280 | 916,90 | 20,425 | 3,1201 | 5,1973 |
| 200,00 | 2,3895 | 1046,8 | 21,119 | 3,1196 | 5,1959 |
| 225,00 | 2,1258 | 1176,7 | 21,731 | 3,1192 | 5,1949 |
| 250,00 | 1,9145 | 1306,5 | 22,278 | 3,1188 | 5,1943 |
| 275,00 | 1,7414 | 1436,4 | 22,773 | 3,1185 | 5,1938 |
| 300,00 | 1,5971 | 1566,2 | 23,225 | 3,1183 | 5,1935 |
| 325,00 | 1,4748 | 1696,0 | 23,641 | 3,1181 | 5,1932 |
| 350,00 | 1,3699 | 1825,9 | 24,025 | 3,1179 | 5,1931 |
| 375,00 | 1,2790 | 1955,7 | 24,384 | 3,1178 | 5,1929 |
| 400,00 | 1,1993 | 2085,5 | 24,719 | 3,1176 | 5,1928 |
| 425,00 | 1,1291 | 2215,3 | 25,034 | 3,1175 | 5,1927 |
| 450,00 | 1,0665 | 2345,2 | 25,330 | 3,1174 | 5,1927 |
| 475,00 | 1,0106 | 2475,0 | 25,611 | 3,1173 | 5,1926 |
| 500,00 | 0,96026 | 2604,8 | 25,878 | 3,1172 | 5,1926 |

Таблица Г.11 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 2 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 3,0000 | 168,91 | 6,5581 | –1,5766 | 1,5622 | 1,7050 |
| 4,0000 | 164,59 | 8,5815 | –0,99882 | 1,9642 | 2,3387 |
| 5,0000 | 158,73 | 11,238 | –0,40856 | 2,2605 | 2,9810 |
| 6,0000 | 151,37 | 14,559 | 0,19503 | 2,4881 | 3,6710 |
| 7,0000 | 142,51 | 18,602 | 0,81680 | 2,6608 | 4,4268 |
| 8,0000 | 132,18 | 23,431 | 1,4603 | 2,7888 | 5,2341 |
| 9,0000 | 120,70 | 29,056 | 2,1220 | 2,8821 | 5,9945 |
| 10,000 | 108,88 | 35,350 | 2,7846 | 2,9497 | 6,5478 |
| 25,000 | 37,214 | 129,23 | 8,6098 | 3,1385 | 5,7277 |
| 50,000 | 18,441 | 265,98 | 12,416 | 3,1383 | 5,3354 |
| 75,000 | 12,401 | 398,18 | 14,561 | 3,1336 | 5,2557 |
| 100,00 | 9,3643 | 529,16 | 16,068 | 3,1301 | 5,2267 |
| 125,00 | 7,5281 | 659,64 | 17,233 | 3,1276 | 5,2131 |
| 150,00 | 6,2959 | 789,87 | 18,183 | 3,1258 | 5,2057 |
| 175,00 | 5,4111 | 919,95 | 18,985 | 3,1244 | 5,2013 |
| 200,00 | 4,7446 | 1049,9 | 19,679 | 3,1233 | 5,1985 |
| 225,00 | 4,2245 | 1179,8 | 20,292 | 3,1225 | 5,1966 |
| 250,00 | 3,8072 | 1309,7 | 20,839 | 3,1218 | 5,1954 |
| 275,00 | 3,4650 | 1439,6 | 21,334 | 3,1212 | 5,1945 |
| 300,00 | 3,1792 | 1569,5 | 21,786 | 3,1207 | 5,1938 |
| 325,00 | 2,9370 | 1699,3 | 22,202 | 3,1203 | 5,1933 |
| 350,00 | 2,7291 | 1829,1 | 22,587 | 3,1200 | 5,1930 |
| 375,00 | 2,5486 | 1959,0 | 22,945 | 3,1196 | 5,1927 |
| 400,00 | 2,3906 | 2088,8 | 23,280 | 3,1194 | 5,1925 |
| 425,00 | 2,2510 | 2218,6 | 23,595 | 3,1191 | 5,1924 |
| 450,00 | 2,1268 | 2348,4 | 23,892 | 3,1189 | 5,1923 |
| 475,00 | 2,0156 | 2478,2 | 24,172 | 3,1187 | 5,1922 |
| 500,00 | 1,9154 | 2608,0 | 24,439 | 3,1186 | 5,1921 |

Таблица Г.12 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 3 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,5000 | 178,38 | 11,306 | –1,9406 | 1,2177 | 1,2806 |
| 3,0000 | 177,06 | 12,014 | –1,6833 | 1,4444 | 1,5566 |
| 4,0000 | 173,55 | 13,855 | –1,1577 | 1,8420 | 2,1224 |
| 5,0000 | 168,93 | 16,255 | –0,62429 | 2,1508 | 2,6781 |
| 6,0000 | 163,30 | 19,212 | –0,086837 | 2,3933 | 3,2350 |
| 7,0000 | 156,74 | 22,727 | 0,45397 | 2,5814 | 3,7968 |
| 8,0000 | 149,32 | 26,806 | 0,9978 | 2,7243 | 4,3606 |
| 9,0000 | 141,17 | 31,444 | 1,5434 | 2,8310 | 4,9116 |
| 10,000 | 132,49 | 36,614 | 2,0877 | 2,9099 | 5,4166 |
| 25,000 | 53,797 | 128,17 | 7,6810 | 3,1496 | 5,8376 |
| 50,000 | 27,037 | 267,00 | 11,547 | 3,1498 | 5,3898 |
| 75,000 | 18,283 | 400,15 | 13,708 | 3,1424 | 5,2822 |
| 100,00 | 13,855 | 531,63 | 15,222 | 3,1371 | 5,2415 |
| 125,00 | 11,165 | 662,40 | 16,389 | 3,1334 | 5,2221 |
| 150,00 | 9,3545 | 792,81 | 17,340 | 3,1307 | 5,2114 |
| 175,00 | 8,0505 | 923,01 | 18,143 | 3,1286 | 5,2051 |
| 200,00 | 7,0662 | 1053,0 | 18,838 | 3,1270 | 5,2010 |
| 225,00 | 6,2967 | 1183,0 | 19,450 | 3,1257 | 5,1983 |
| 250,00 | 5,6785 | 1313,0 | 19,998 | 3,1247 | 5,1964 |
| 275,00 | 5,1709 | 1442,9 | 20,493 | 3,1239 | 5,1951 |
| 300,00 | 4,7466 | 1572,7 | 20,945 | 3,1231 | 5,1942 |
| 325,00 | 4,3867 | 1702,6 | 21,361 | 3,1225 | 5,1935 |
| 350,00 | 4,0775 | 1832,4 | 21,745 | 3,1220 | 5,1929 |
| 375,00 | 3,8091 | 1962,2 | 22,104 | 3,1215 | 5,1925 |
| 400,00 | 3,5738 | 2092,0 | 22,439 | 3,1211 | 5,1922 |
| 425,00 | 3,3658 | 2221,8 | 22,754 | 3,1208 | 5,1920 |
| 450,00 | 3,1808 | 2351,6 | 23,050 | 3,1205 | 5,1918 |
| 475,00 | 3,0150 | 2481,4 | 23,331 | 3,1202 | 5,1917 |
| 500,00 | 2,8656 | 2611,2 | 23,597 | 3,1199 | 5,1916 |

Таблица Г.13 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 4 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,5000 | 184,96 | 16,634 | –2,0105 | 1,1571 | 1,2175 |
| 3,0000 | 183,75 | 17,302 | –1,7678 | 1,3602 | 1,4577 |
| 5,0000 | 176,78 | 21,249 | –0,78174 | 2,0619 | 2,4871 |
| 6,0000 | 172,07 | 23,987 | –0,28403 | 2,3157 | 2,9855 |
| 7,0000 | 166,66 | 27,216 | 0,21280 | 2,5160 | 3,4706 |
| 8,0000 | 160,64 | 30,923 | 0,70711 | 2,6712 | 3,9408 |
| 9,0000 | 154,08 | 35,092 | 1,1975 | 2,7896 | 4,3923 |
| 10,000 | 147,11 | 39,699 | 1,6825 | 2,8790 | 4,8159 |
| 25,000 | 68,620 | 128,11 | 7,0237 | 3,1606 | 5,8901 |
| 50,000 | 35,212 | 268,27 | 10,927 | 3,1613 | 5,4325 |
| 75,000 | 23,962 | 402,22 | 13,101 | 3,1512 | 5,3054 |
| 100,00 | 18,225 | 534,14 | 14,620 | 3,1441 | 5,2551 |
| 125,00 | 14,722 | 665,18 | 15,789 | 3,1392 | 5,2305 |
| 150,00 | 12,356 | 795,76 | 16,742 | 3,1356 | 5,2169 |
| 175,00 | 10,647 | 926,08 | 17,545 | 3,1328 | 5,2087 |
| 200,00 | 9,3551 | 1056,2 | 18,241 | 3,1307 | 5,2034 |
| 225,00 | 8,3431 | 1186,2 | 18,853 | 3,1290 | 5,1999 |
| 250,00 | 7,5289 | 1316,2 | 19,401 | 3,1276 | 5,1975 |
| 275,00 | 6,8596 | 1446,1 | 19,896 | 3,1265 | 5,1957 |
| 300,00 | 6,2996 | 1576,0 | 20,348 | 3,1255 | 5,1945 |
| 325,00 | 5,8242 | 1705,8 | 20,764 | 3,1247 | 5,1936 |
| 350,00 | 5,4155 | 1835,7 | 21,149 | 3,1240 | 5,1929 |
| 375,00 | 5,0604 | 1965,5 | 21,507 | 3,1234 | 5,1923 |
| 400,00 | 4,7490 | 2095,3 | 21,842 | 3,1229 | 5,1919 |
| 425,00 | 4,4737 | 2225,1 | 22,157 | 3,1224 | 5,1916 |
| 450,00 | 4,2286 | 2354,9 | 22,454 | 3,1220 | 5,1914 |
| 475,00 | 4,0089 | 2484,7 | 22,734 | 3,1216 | 5,1912 |
| 500,00 | 3,8109 | 2614,4 | 23,001 | 3,1213 | 5,1911 |

Таблица Г.14 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 5 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,5000 | 190,63 | 21,802 | –2,0728 | 1,1235 | 1,1837 |
| 3,0000 | 189,50 | 22,443 | –1,8394 | 1,2977 | 1,3877 |
| 4,0000 | 186,74 | 24,067 | –1,3757 | 1,6668 | 1,8669 |
| 5,0000 | 183,26 | 26,176 | –0,90688 | 1,9880 | 2,3496 |
| 6,0000 | 179,14 | 28,760 | –0,43716 | 2,2500 | 2,8140 |
| 7,0000 | 174,45 | 31,798 | 0,030257 | 2,4599 | 3,2581 |
| 8,0000 | 169,27 | 35,269 | 0,49314 | 2,6251 | 3,6804 |
| 9,0000 | 163,67 | 39,151 | 0,94991 | 2,7531 | 4,0796 |
| 10,000 | 157,72 | 43,420 | 1,3993 | 2,8516 | 4,4533 |
| 25,000 | 81,808 | 128,78 | 6,5180 | 3,1726 | 5,9028 |
| 50,000 | 42,971 | 269,77 | 10,444 | 3,1728 | 5,4650 |
| 75,000 | 29,444 | 404,37 | 12,629 | 3,1600 | 5,3255 |
| 100,00 | 22,477 | 536,70 | 14,152 | 3,1511 | 5,2674 |
| 125,00 | 18,201 | 667,98 | 15,324 | 3,1449 | 5,2384 |
| 150,00 | 15,302 | 798,72 | 16,278 | 3,1404 | 5,2221 |
| 175,00 | 13,203 | 929,14 | 17,082 | 3,1370 | 5,2122 |
| 200,00 | 11,612 | 1059,3 | 17,778 | 3,1344 | 5,2058 |
| 225,00 | 10,364 | 1189,4 | 18,390 | 3,1323 | 5,2015 |
| 250,00 | 9,3587 | 1319,4 | 18,938 | 3,1305 | 5,1985 |
| 275,00 | 8,5313 | 1449,3 | 19,434 | 3,1291 | 5,1964 |
| 300,00 | 7,8384 | 1579,2 | 19,886 | 3,1279 | 5,1948 |
| 325,00 | 7,2496 | 1709,1 | 20,301 | 3,1269 | 5,1937 |
| 350,00 | 6,7432 | 1838,9 | 20,686 | 3,1261 | 5,1928 |
| 375,00 | 6,3028 | 1968,7 | 21,045 | 3,1253 | 5,1922 |
| 400,00 | 5,9164 | 2098,5 | 21,380 | 3,1246 | 5,1917 |
| 425,00 | 5,5747 | 2228,3 | 21,694 | 3,1240 | 5,1913 |
| 450,00 | 5,2703 | 2358,1 | 21,991 | 3,1235 | 5,1910 |
| 475,00 | 4,9973 | 2487,9 | 22,272 | 3,1231 | 5,1908 |
| 500,00 | 4,7513 | 2617,6 | 22,538 | 3,1227 | 5,1906 |

Таблица Г.15 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 10 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 4,0000 | 208,54 | 47,928 | –1,7143 | 1,4416 | 1,5852 |
| 5,0000 | 206,04 | 49,712 | –1,3180 | 1,7513 | 1,9803 |
| 6,0000 | 203,23 | 51,885 | –0,92276 | 2,0232 | 2,3638 |
| 7,0000 | 200,12 | 54,433 | –0,53065 | 2,2563 | 2,7291 |
| 8,0000 | 196,73 | 57,335 | –0,14371 | 2,4506 | 3,0694 |
| 9,0000 | 193,10 | 60,563 | 0,23618 | 2,6094 | 3,3827 |
| 10,000 | 189,29 | 64,092 | 0,60767 | 2,7377 | 3,6698 |
| 25,000 | 128,96 | 138,70 | 5,0245 | 3,2337 | 5,6437 |
| 50,000 | 76,231 | 279,86 | 8,9438 | 3,2280 | 5,5469 |
| 75,000 | 54,144 | 416,33 | 11,159 | 3,2027 | 5,3902 |
| 100,00 | 42,115 | 550,01 | 12,698 | 3,1852 | 5,3124 |
| 125,00 | 34,511 | 682,24 | 13,878 | 3,1730 | 5,2693 |
| 150,00 | 29,255 | 813,62 | 14,836 | 3,1642 | 5,2434 |
| 175,00 | 25,398 | 944,49 | 15,643 | 3,1575 | 5,2269 |
| 200,00 | 22,444 | 1075,0 | 16,341 | 3,1524 | 5,2160 |
| 225,00 | 20,108 | 1205,3 | 16,954 | 3,1482 | 5,2084 |
| 250,00 | 18,214 | 1335,4 | 17,503 | 3,1449 | 5,2030 |
| 275,00 | 16,646 | 1465,4 | 17,999 | 3,1421 | 5,1991 |
| 300,00 | 15,327 | 1595,4 | 18,451 | 3,1398 | 5,1963 |
| 325,00 | 14,202 | 1725,3 | 18,867 | 3,1378 | 5,1941 |
| 350,00 | 13,231 | 1855,1 | 19,252 | 3,1361 | 5,1925 |
| 375,00 | 12,384 | 1984,9 | 19,610 | 3,1346 | 5,1913 |
| 400,00 | 11,639 | 2114,7 | 19,945 | 3,1333 | 5,1903 |
| 425,00 | 10,978 | 2244,4 | 20,259 | 3,1321 | 5,1896 |
| 450,00 | 10,389 | 2374,1 | 20,556 | 3,1311 | 5,1891 |
| 475,00 | 9,8597 | 2503,9 | 20,837 | 3,1302 | 5,1886 |
| 500,00 | 9,3814 | 2633,6 | 21,103 | 3,1294 | 5,1883 |

Таблица Г.16 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 20 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 6,0000 | 231,74 | 94,543 | –1,4450 | 1,7966 | 2,0274 |
| 7,0000 | 229,52 | 96,718 | –1,1102 | 2,0197 | 2,3245 |
| 8,0000 | 227,15 | 99,190 | –0,78052 | 2,2268 | 2,6171 |
| 9,0000 | 224,65 | 101,94 | –0,45616 | 2,4093 | 2,8924 |
| 10,000 | 222,04 | 104,96 | –0,13811 | 2,5656 | 3,1454 |
| 25,000 | 178,36 | 170,11 | 3,7045 | 3,3149 | 5,1124 |
| 50,000 | 123,28 | 306,24 | 7,4631 | 3,3256 | 5,5341 |
| 75,000 | 93,025 | 443,51 | 9,6908 | 3,2805 | 5,4416 |
| 100,00 | 74,750 | 578,45 | 11,244 | 3,2484 | 5,3591 |
| 125,00 | 62,551 | 711,71 | 12,433 | 3,2257 | 5,3051 |
| 150,00 | 53,815 | 843,87 | 13,397 | 3,2091 | 5,2701 |
| 175,00 | 47,239 | 975,31 | 14,208 | 3,1965 | 5,2465 |
| 200,00 | 42,105 | 1106,2 | 14,907 | 3,1867 | 5,2301 |
| 225,00 | 37,983 | 1236,8 | 15,523 | 3,1789 | 5,2183 |
| 250,00 | 34,598 | 1367,2 | 16,072 | 3,1725 | 5,2097 |
| 275,00 | 31,769 | 1497,3 | 16,568 | 3,1671 | 5,2033 |
| 300,00 | 29,368 | 1627,3 | 17,021 | 3,1626 | 5,1984 |
| 325,00 | 27,305 | 1757,2 | 17,437 | 3,1588 | 5,1947 |
| 350,00 | 25,512 | 1887,1 | 17,821 | 3,1555 | 5,1919 |
| 375,00 | 23,941 | 2016,9 | 18,180 | 3,1526 | 5,1897 |
| 400,00 | 22,551 | 2146,6 | 18,514 | 3,1501 | 5,1879 |
| 425,00 | 21,314 | 2276,3 | 18,829 | 3,1479 | 5,1866 |
| 450,00 | 20,206 | 2405,9 | 19,125 | 3,1459 | 5,1855 |
| 475,00 | 19,206 | 2535,5 | 19,406 | 3,1441 | 5,1847 |
| 500,00 | 18,301 | 2665,1 | 19,672 | 3,1425 | 5,1841 |

Таблица Г.17 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 30 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7,0000 | 249,25 | 135,82 | –1,4823 | 1,8860 | 2,1557 |
| 8,0000 | 247,19 | 138,11 | –1,1776 | 2,0831 | 2,4147 |
| 9,0000 | 245,06 | 140,65 | –0,87822 | 2,2701 | 2,6703 |
| 10,000 | 242,86 | 143,44 | –0,58428 | 2,4379 | 2,9105 |
| 25,000 | 206,78 | 204,30 | 3,0018 | 3,3517 | 4,8075 |
| 50,000 | 155,41 | 335,79 | 6,6216 | 3,4055 | 5,4657 |
| 75,000 | 122,46 | 472,51 | 8,8394 | 3,3489 | 5,4463 |
| 100,00 | 100,96 | 607,82 | 10,396 | 3,3053 | 5,3797 |
| 125,00 | 85,932 | 741,62 | 11,591 | 3,2739 | 5,3263 |
| 150,00 | 74,840 | 874,26 | 12,558 | 3,2507 | 5,2873 |
| 175,00 | 66,311 | 1006,0 | 13,371 | 3,2330 | 5,2596 |
| 200,00 | 59,541 | 1137,3 | 14,072 | 3,2191 | 5,2396 |
| 225,00 | 54,034 | 1268,1 | 14,688 | 3,2078 | 5,2251 |
| 250,00 | 49,463 | 1398,5 | 15,238 | 3,1987 | 5,2142 |
| 275,00 | 45,607 | 1528,8 | 15,735 | 3,1910 | 5,2060 |
| 300,00 | 42,310 | 1658,9 | 16,188 | 3,1845 | 5,1997 |
| 325,00 | 39,458 | 1788,8 | 16,604 | 3,1790 | 5,1948 |
| 350,00 | 36,966 | 1918,6 | 16,988 | 3,1742 | 5,1910 |
| 375,00 | 34,770 | 2048,4 | 17,346 | 3,1700 | 5,1880 |
| 400,00 | 32,820 | 2178,0 | 17,681 | 3,1664 | 5,1857 |
| 425,00 | 31,077 | 2307,6 | 17,996 | 3,1631 | 5,1838 |
| 450,00 | 29,509 | 2437,2 | 18,292 | 3,1602 | 5,1823 |
| 475,00 | 28,091 | 2566,8 | 18,572 | 3,1576 | 5,1812 |
| 500,00 | 26,804 | 2696,3 | 18,838 | 3,1553 | 5,1802 |

Таблица Г.18 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 40 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 8,0000 | 262,80 | 174,78 | –1,4914 | 1,9901 | 2,3234 |
| 9,0000 | 260,78 | 177,23 | –1,2042 | 2,1724 | 2,5591 |
| 10,000 | 258,73 | 179,90 | –0,92256 | 2,3436 | 2,7877 |
| 25,000 | 226,77 | 238,39 | 2,5230 | 3,3691 | 4,6252 |
| 50,000 | 179,43 | 366,25 | 6,0379 | 3,4693 | 5,3852 |
| 75,000 | 145,85 | 502,11 | 8,2407 | 3,4090 | 5,4405 |
| 100,00 | 122,65 | 637,50 | 9,7990 | 3,3568 | 5,3881 |
| 125,00 | 105,86 | 771,56 | 10,995 | 3,3183 | 5,3381 |
| 150,00 | 93,151 | 904,50 | 11,965 | 3,2894 | 5,2992 |
| 175,00 | 83,193 | 1036,6 | 12,780 | 3,2671 | 5,2696 |
| 200,00 | 75,176 | 1168,0 | 13,482 | 3,2495 | 5,2474 |
| 225,00 | 68,578 | 1299,0 | 14,099 | 3,2353 | 5,2306 |
| 250,00 | 63,051 | 1429,6 | 14,649 | 3,2236 | 5,2179 |
| 275,00 | 58,351 | 1559,9 | 15,146 | 3,2138 | 5,2082 |
| 300,00 | 54,305 | 1690,0 | 15,599 | 3,2055 | 5,2007 |
| 325,00 | 50,784 | 1819,9 | 16,015 | 3,1984 | 5,1948 |
| 350,00 | 47,692 | 1949,8 | 16,400 | 3,1922 | 5,1902 |
| 375,00 | 44,955 | 2079,5 | 16,758 | 3,1868 | 5,1865 |
| 400,00 | 42,514 | 2209,1 | 17,092 | 3,1821 | 5,1836 |
| 425,00 | 40,324 | 2338,6 | 17,406 | 3,1779 | 5,1813 |
| 450,00 | 38,349 | 2468,2 | 17,703 | 3,1741 | 5,1794 |
| 475,00 | 36,557 | 2597,6 | 17,983 | 3,1708 | 5,1779 |
| 500,00 | 34,925 | 2727,1 | 18,248 | 3,1677 | 5,1768 |

Таблица Г.19 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 50 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 9,0000 | 273,89 | 212,05 | –1,4888 | 2,1099 | 2,5250 |
| 10,000 | 271,85 | 214,69 | –1,2117 | 2,2789 | 2,7380 |
| 25,000 | 242,23 | 271,85 | 2,1573 | 3,3787 | 4,5118 |
| 50,000 | 198,42 | 396,95 | 5,5944 | 3,5204 | 5,3044 |
| 75,000 | 165,18 | 531,76 | 7,7791 | 3,4618 | 5,4277 |
| 100,00 | 141,08 | 667,13 | 9,3371 | 3,4037 | 5,3943 |
| 125,00 | 123,15 | 801,38 | 10,535 | 3,3593 | 5,3464 |
| 150,00 | 109,31 | 934,53 | 11,506 | 3,3255 | 5,3073 |
| 175,00 | 98,303 | 1066,8 | 12,322 | 3,2992 | 5,2770 |
| 200,00 | 89,324 | 1198,4 | 13,025 | 3,2783 | 5,2536 |
| 225,00 | 81,860 | 1329,5 | 13,643 | 3,2614 | 5,2355 |
| 250,00 | 75,554 | 1460,2 | 14,194 | 3,2474 | 5,2214 |
| 275,00 | 70,154 | 1590,6 | 14,691 | 3,2356 | 5,2104 |
| 300,00 | 65,477 | 1720,7 | 15,144 | 3,2256 | 5,2017 |
| 325,00 | 61,385 | 1850,7 | 15,560 | 3,2170 | 5,1949 |
| 350,00 | 57,774 | 1980,5 | 15,945 | 3,2096 | 5,1895 |
| 375,00 | 54,565 | 2110,2 | 16,303 | 3,2031 | 5,1852 |
| 400,00 | 51,693 | 2239,8 | 16,637 | 3,1973 | 5,1817 |
| 425,00 | 49,107 | 2369,3 | 16,951 | 3,1922 | 5,1790 |
| 450,00 | 46,767 | 2498,7 | 17,247 | 3,1876 | 5,1768 |
| 475,00 | 44,639 | 2628,1 | 17,527 | 3,1835 | 5,1750 |
| 500,00 | 42,696 | 2757,5 | 17,792 | 3,1798 | 5,1736 |

Таблица Г.20 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 60 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 15,000 | 273,78 | 266,89 | –0,36577 | 2,6237 | 3,3142 |
| 20,000 | 264,33 | 285,74 | 0,74637 | 3,0048 | 3,8782 |
| 25,000 | 254,87 | 304,59 | 1,8585 | 3,3859 | 4,4422 |
| 50,000 | 213,99 | 427,65 | 5,2390 | 3,5622 | 5,2309 |
| 75,000 | 181,56 | 561,30 | 7,4043 | 3,5082 | 5,4068 |
| 100,00 | 157,08 | 696,52 | 8,9604 | 3,4465 | 5,3979 |
| 125,00 | 138,40 | 830,94 | 10,160 | 3,3973 | 5,3546 |
| 150,00 | 123,75 | 964,29 | 11,132 | 3,3593 | 5,3146 |
| 175,00 | 111,95 | 1096,7 | 11,949 | 3,3295 | 5,2831 |
| 200,00 | 102,22 | 1228,5 | 12,653 | 3,3057 | 5,2587 |
| 225,00 | 94,067 | 1359,7 | 13,271 | 3,2863 | 5,2395 |
| 250,00 | 87,123 | 1490,5 | 13,823 | 3,2701 | 5,2244 |
| 275,00 | 81,138 | 1620,9 | 14,320 | 3,2566 | 5,2124 |
| 300,00 | 75,925 | 1751,1 | 14,773 | 3,2450 | 5,2028 |
| 325,00 | 71,343 | 1881,1 | 15,189 | 3,2350 | 5,1952 |
| 350,00 | 67,282 | 2010,9 | 15,574 | 3,2264 | 5,1891 |
| 375,00 | 63,659 | 2140,6 | 15,932 | 3,2188 | 5,1842 |
| 400,00 | 60,406 | 2270,1 | 16,266 | 3,2121 | 5,1802 |
| 425,00 | 57,468 | 2399,6 | 16,580 | 3,2061 | 5,1770 |
| 450,00 | 54,802 | 2529,0 | 16,876 | 3,2008 | 5,1744 |
| 475,00 | 52,372 | 2658,3 | 17,156 | 3,1960 | 5,1724 |
| 500,00 | 50,147 | 2787,6 | 17,421 | 3,1916 | 5,1707 |

Таблица Г.21 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 70 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 15,000 | 284,13 | 298,97 | –0,62287 | 2,6210 | 3,3494 |
| 20,000 | 274,86 | 317,80 | 0,49007 | 3,0072 | 3,8761 |
| 25,000 | 265,59 | 336,62 | 1,6030 | 3,3933 | 4,4028 |
| 50,000 | 227,10 | 458,20 | 4,9437 | 3,5974 | 5,1683 |
| 75,000 | 195,71 | 590,70 | 7,0898 | 3,5493 | 5,3801 |
| 100,00 | 171,18 | 725,63 | 8,6423 | 3,4857 | 5,3973 |
| 125,00 | 152,03 | 860,16 | 9,8433 | 3,4328 | 5,3621 |
| 150,00 | 136,79 | 993,71 | 10,817 | 3,3912 | 5,3224 |
| 175,00 | 124,38 | 1126,3 | 11,635 | 3,3582 | 5,2893 |
| 200,00 | 114,06 | 1258,2 | 12,339 | 3,3317 | 5,2634 |
| 225,00 | 105,34 | 1389,5 | 12,958 | 3,3100 | 5,2431 |
| 250,00 | 97,878 | 1520,4 | 13,510 | 3,2919 | 5,2271 |
| 275,00 | 91,403 | 1650,9 | 14,007 | 3,2767 | 5,2143 |
| 300,00 | 85,734 | 1781,1 | 14,460 | 3,2637 | 5,2040 |
| 325,00 | 80,728 | 1911,1 | 14,877 | 3,2524 | 5,1956 |
| 350,00 | 76,276 | 2040,9 | 15,261 | 3,2426 | 5,1889 |
| 375,00 | 72,288 | 2170,6 | 15,619 | 3,2340 | 5,1834 |
| 400,00 | 68,697 | 2300,1 | 15,954 | 3,2264 | 5,1790 |
| 425,00 | 65,444 | 2429,5 | 16,267 | 3,2196 | 5,1754 |
| 450,00 | 62,485 | 2558,9 | 16,563 | 3,2136 | 5,1724 |
| 475,00 | 59,781 | 2688,2 | 16,843 | 3,2081 | 5,1700 |
| 500,00 | 57,301 | 2817,4 | 17,108 | 3,2032 | 5,1681 |

Таблица Г.22 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 80 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 15,000 | 293,41 | 330,07 | –0,8703 | 2,6383 | 3,4336 |
| 20,000 | 284,17 | 349,02 | 0,2536 | 3,0203 | 3,9096 |
| 25,000 | 274,93 | 367,97 | 1,3775 | 3,4022 | 4,3856 |
| 50,000 | 238,37 | 488,54 | 4,6915 | 3,6280 | 5,1172 |
| 75,000 | 208,10 | 619,98 | 6,8200 | 3,5859 | 5,3502 |
| 100,00 | 183,75 | 754,49 | 8,3676 | 3,5216 | 5,3919 |
| 125,00 | 164,34 | 889,04 | 9,5687 | 3,4659 | 5,3677 |
| 150,00 | 148,67 | 1022,7 | 10,544 | 3,4212 | 5,3304 |
| 175,00 | 135,79 | 1155,5 | 11,363 | 3,3855 | 5,2963 |
| 200,00 | 125,00 | 1287,6 | 12,068 | 3,3566 | 5,2686 |
| 225,00 | 115,82 | 1419,0 | 12,687 | 3,3328 | 5,2469 |
| 250,00 | 107,92 | 1550,0 | 13,239 | 3,3129 | 5,2297 |
| 275,00 | 101,03 | 1680,6 | 13,737 | 3,2961 | 5,2161 |
| 300,00 | 94,971 | 1810,8 | 14,190 | 3,2817 | 5,2051 |
| 325,00 | 89,600 | 1940,8 | 14,607 | 3,2692 | 5,1961 |
| 350,00 | 84,804 | 2070,6 | 14,991 | 3,2584 | 5,1888 |
| 375,00 | 80,495 | 2200,3 | 15,349 | 3,2488 | 5,1829 |
| 400,00 | 76,603 | 2329,8 | 15,684 | 3,2404 | 5,1780 |
| 425,00 | 73,069 | 2459,2 | 15,997 | 3,2328 | 5,1740 |
| 450,00 | 69,845 | 2588,5 | 16,293 | 3,2260 | 5,1707 |
| 475,00 | 66,894 | 2717,7 | 16,572 | 3,2199 | 5,1680 |
| 500,00 | 64,180 | 2846,9 | 16,837 | 3,2144 | 5,1658 |

Таблица Г.23 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 90 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 15,000 | 301,88 | 360,26 | –1,1148 | 2,6764 | 3,5674 |
| 20,000 | 292,55 | 379,48 | 0,029434 | 3,0449 | 3,9764 |
| 25,000 | 283,22 | 398,70 | 1,1736 | 3,4134 | 4,3854 |
| 50,000 | 248,22 | 518,63 | 4,4714 | 3,6552 | 5,0771 |
| 75,000 | 219,06 | 649,11 | 6,5844 | 3,6188 | 5,3196 |
| 100,00 | 195,06 | 783,13 | 8,1261 | 3,5546 | 5,3821 |
| 125,00 | 175,54 | 917,62 | 9,3266 | 3,4969 | 5,3704 |
| 150,00 | 159,58 | 1051,4 | 10,303 | 3,4496 | 5,3374 |
| 175,00 | 146,33 | 1184,4 | 11,123 | 3,4114 | 5,3035 |
| 200,00 | 135,16 | 1316,7 | 11,829 | 3,3803 | 5,2746 |
| 225,00 | 125,61 | 1448,2 | 12,449 | 3,3546 | 5,2513 |
| 250,00 | 117,33 | 1579,3 | 13,001 | 3,3331 | 5,2328 |
| 275,00 | 110,09 | 1709,9 | 13,499 | 3,3148 | 5,2181 |
| 300,00 | 103,69 | 1840,2 | 13,953 | 3,2991 | 5,2063 |
| 325,00 | 98,007 | 1970,2 | 14,369 | 3,2855 | 5,1967 |
| 350,00 | 92,910 | 2100,0 | 14,754 | 3,2737 | 5,1889 |
| 375,00 | 88,317 | 2229,7 | 15,112 | 3,2632 | 5,1824 |
| 400,00 | 84,156 | 2359,2 | 15,446 | 3,2539 | 5,1771 |
| 425,00 | 80,369 | 2488,6 | 15,760 | 3,2456 | 5,1728 |
| 450,00 | 76,907 | 2617,8 | 16,055 | 3,2382 | 5,1692 |
| 475,00 | 73,730 | 2747,0 | 16,335 | 3,2315 | 5,1662 |
| 500,00 | 70,804 | 2876,1 | 16,599 | 3,2254 | 5,1637 |

Таблица Г.24 — Термодинамические свойства гелия-4 при давлении 100 МПа

| $T$, К | ρ, кг/м$^3$ | $h$, кДж/кг | $s$, кДж/(кг · К) | $c_v$, кДж/(кг · К) | $c_p$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|
| 15,000 | 309,68 | 389,63 | –1,3604 | 2,7360 | 3,7516 |
| 20,000 | 300,18 | 409,24 | –0,18718 | 3,0816 | 4,0753 |
| 25,000 | 290,68 | 428,85 | 0,98599 | 3,4273 | 4,3990 |
| 50,000 | 256,96 | 548,44 | 4,2760 | 3,6801 | 5,0469 |
| 75,000 | 228,85 | 678,12 | 6,3759 | 3,6487 | 5,2901 |
| 100,00 | 205,30 | 811,59 | 7,9113 | 3,5851 | 5,3690 |
| 125,00 | 185,80 | 945,93 | 9,1104 | 3,5259 | 5,3700 |
| 150,00 | 169,65 | 1079,8 | 10,087 | 3,4765 | 5,3429 |
| 175,00 | 156,13 | 1213,0 | 10,908 | 3,4362 | 5,3105 |
| 200,00 | 144,64 | 1345,4 | 11,615 | 3,4031 | 5,2809 |
| 225,00 | 134,77 | 1477,1 | 12,236 | 3,3756 | 5,2563 |
| 250,00 | 126,19 | 1608,2 | 12,788 | 3,3525 | 5,2364 |
| 275,00 | 118,64 | 1738,9 | 13,287 | 3,3329 | 5,2205 |
| 300,00 | 111,96 | 1869,3 | 13,740 | 3,3160 | 5,2078 |
| 325,00 | 105,99 | 1999,4 | 14,157 | 3,3013 | 5,1975 |
| 350,00 | 100,63 | 2129,2 | 14,542 | 3,2885 | 5,1891 |
| 375,00 | 95,785 | 2258,8 | 14,899 | 3,2772 | 5,1822 |
| 400,00 | 91,385 | 2388,3 | 15,234 | 3,2671 | 5,1765 |
| 425,00 | 87,370 | 2517,7 | 15,547 | 3,2581 | 5,1717 |
| 450,00 | 83,693 | 2646,9 | 15,843 | 3,2501 | 5,1678 |
| 475,00 | 80,311 | 2776,1 | 16,122 | 3,2428 | 5,1646 |
| 500,00 | 77,191 | 2905,1 | 16,387 | 3,2362 | 5,1619 |

**Приложение Д**
**(обязательное)**

## Алгоритм расчета плотности гелия-4 на линии насыщения и давления насыщенного пара гелия-4 итерационным методом

Относительные плотности жидкости и пара ω' и ω'' на линии насыщения определяют решением уравнений (5) по методу Ньютона в следующем итерационном процессе.

Начальное приближение для плотности жидкой фазы ω' при заданной температуре $T$ рассчитывают по формуле

$$\omega' = 1 + \sum_{i=1}^{6} n_i (1-\tau)^{-t_i}. \qquad (Д.1)$$

Параметры $n_i$ и $t_i$ в уравнении (Д.1) представлены в таблице А.3.

Начальное приближение для плотности газообразной фазы ω'' при заданной температуре $T$ рассчитывают по формуле

$$\omega'' = \exp\left[\sum_{i=1}^{5} n_i (1-\tau)^{-t_i}\right]. \qquad (Д.2)$$

Параметры $n_i$ и $t_i$ в уравнении (Д.2) представлены в таблице А.4.

Начальное приближение для давления на линии насыщения $p_s$ определяют по формуле

$$p_s(\tau) = \exp\left[\tau^{-1}\sum_{i=1}^{5} n_i (1-\tau)^{-t_i}\right]. \qquad (Д.3)$$

Коэффициенты $n_i$, $t_i$ в уравнении (Д.3) приведены в таблице А.5.

Итерационный процесс выполняют по следующему алгоритму:

1) ω' и ω'' на $k$-м итерационном шаге (начиная с $k = 1$) определяют из выражений

$$\Delta\omega'^{(k)} = \frac{\det\left[b_{ij}\right]^{(k-1)}}{\det\left[a_{ij}\right]^{(k-1)}},\ i,j = 1,2; \qquad (Д.4)$$

$$\Delta\omega''^{(k)} = \frac{\det\left[c_{ij}\right]^{(k-1)}}{\det\left[a_{ij}\right]^{(k-1)}},\ i,j = 1,2; \qquad (Д.5)$$

$$\omega'^{(k)} = \omega'^{(k-1)} + \Delta\omega'^{(k)};$$
$$\omega''^{(k)} = \omega''^{(k-1)} + \Delta\omega''^{(k)}. \qquad (Д.6)$$

Элементы определителей $a_{ij}^{(k-1)}$, $b_{ij}^{(k-1)}$ и $c_{ij}^{(k-1)}$ рассчитывают при плотностях на итерационном шаге $(k-1)$, т. е. при $\omega'^{(k-1)}$ и $\omega''^{(k-1)}$, из нижеследующих выражений:

$$a_{11} = B';\ a_{12} = -B'';\ a_{21} = \frac{B'}{\omega'};\ a_{22} = -\frac{B''}{\omega''}; \qquad (Д.7)$$

$$b_{11} = -F_1;\ b_{12} = -B'';\ b_{21} = -F_2;\ b_{22} = -\frac{B''}{\omega''}; \qquad (Д.8)$$

$$c_{11} = B'; \; c_{12} = -F_1; \; c_{21} = \frac{B'}{\omega'}; \; c_{22} = -F_2. \qquad (Д.9)$$

Здесь $B' = 1 + A'_1$; $B'' = 1 + A''_1$ комплексы $A_1$ рассчитывают по (Б.8); функции $F_1$, $F_2$ определяют по (5);

2) Критерий завершения итерационного процесса определяют следующим образом

$$\left|\frac{\Delta\omega'^{(k)}}{\omega'^{(k)}}\right| \le 10^{-6} \text{ и } \left|\frac{\Delta\omega''^{(k)}}{\omega''^{(k)}}\right| \le 10^{-6}. \qquad (Д.10)$$

Если критерий (Д.10) не выполняется, то необходимо продолжить итерационный процесс, начиная с пункта 1), в обратном случае перейти к пункту 3);

3) Вычисляют плотности ρ' и ρ'', кг/м$^3$, давление насыщенного пара $p_s$, МПа:

$$\rho' = \omega'^{(k)} \rho_{кр};$$
$$\rho'' = \omega''^{(k)} \rho_{кр}; \qquad (Д.11)$$

$$p_s = \frac{\omega''^{(k)} \tau \left(1 + A_0^{(k)}\right)}{z_{кр}} p_{кр}. \qquad (Д.12)$$

## Приложение Е
## (обязательное)

## Стандартные справочные данные о плотности, энтальпии, энтропии, изохорной и изобарной теплоемкостях гелия-4 на линии насыщения

Таблица Е.1 — Термодинамические свойства гелия-4 в газообразном состоянии на линии насыщения

| $T$, К | $p_v$, МПа | ρ", кг/м3 | $h$", кДж/кг | $s$", кДж/(кг · К) | $c_v$", кДж/(кг · К) | $c_p$", кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,5000 | 0,010228 | 2,139 | 17,143 | 7,6859 | 3,1070 | 5,6356 |
| 2,6000 | 0,012376 | 2,516 | 17,508 | 7,4667 | 3,1084 | 5,7089 |
| 2,7000 | 0,014814 | 2,933 | 17,858 | 7,2603 | 3,1104 | 5,7904 |
| 2,8000 | 0,017562 | 3,393 | 18,191 | 7,0652 | 3,1129 | 5,8808 |
| 2,9000 | 0,020638 | 3,899 | 18,508 | 6,8798 | 3,1160 | 5,9812 |
| 3,0000 | 0,024062 | 4,453 | 18,806 | 6,7028 | 3,1196 | 6,0927 |
| 3,1000 | 0,027851 | 5,058 | 19,087 | 6,5331 | 3,1238 | 6,2167 |
| 3,2000 | 0,032025 | 5,718 | 19,347 | 6,3697 | 3,1287 | 6,3548 |
| 3,3000 | 0,036601 | 6,437 | 19,588 | 6,2117 | 3,1342 | 6,5091 |
| 3,4000 | 0,041600 | 7,217 | 19,807 | 6,0583 | 3,1403 | 6,6822 |
| 3,5000 | 0,047038 | 8,065 | 20,003 | 5,9086 | 3,1471 | 6,8771 |
| 3,6000 | 0,052936 | 8,986 | 20,175 | 5,7620 | 3,1546 | 7,0978 |
| 3,7000 | 0,059312 | 9,986 | 20,321 | 5,6176 | 3,1629 | 7,3495 |
| 3,8000 | 0,066186 | 11,073 | 20,439 | 5,4749 | 3,1721 | 7,6387 |
| 3,9000 | 0,073578 | 12,256 | 20,527 | 5,3329 | 3,1823 | 7,9743 |
| 4,0000 | 0,081510 | 13,547 | 20,581 | 5,1910 | 3,1936 | 8,3682 |
| 4,1000 | 0,090001 | 14,959 | 20,599 | 5,0482 | 3,2063 | 8,8368 |
| 4,2000 | 0,099076 | 16,510 | 20,576 | 4,9035 | 3,2208 | 9,4036 |
| 4,3000 | 0,10876 | 18,222 | 20,506 | 4,7557 | 3,2376 | 10,103 |
| 4,4000 | 0,11908 | 20,124 | 20,383 | 4,6035 | 3,2574 | 10,987 |
| 4,5000 | 0,13006 | 22,255 | 20,196 | 4,4449 | 3,2811 | 12,138 |
| 4,6000 | 0,14174 | 24,670 | 19,932 | 4,2774 | 3,3100 | 13,693 |
| 4,7000 | 0,15414 | 27,449 | 19,574 | 4,0978 | 3,3458 | 15,895 |
| 4,8000 | 0,16733 | 30,712 | 19,093 | 3,9009 | 3,3894 | 19,219 |
| 4,9000 | 0,18134 | 34,665 | 18,444 | 3,6785 | 3,4449 | 24,893 |
| 5,0000 | 0,19624 | 39,707 | 17,537 | 3,4142 | 3,6196 | 37,195 |
| 5,1000 | 0,21211 | 46,850 | 16,160 | 3,0686 | 4,0598 | 76,045 |

Таблица Е.2 — Термодинамические свойства гелия-4 в жидком состоянии на линии насыщения

| $T$, К | $p_v$, МПа | ρ', кг/м3 | $h'$, кДж/кг | $s'$, кДж/(кг · К) | $c_v'$, кДж/(кг · К) | $c_p'$, кДж/(кг · К) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,5000 | 0,010228 | 144,883 | –5,9884 | –1,56664 | 2,1418 | 2,3342 |
| 2,6000 | 0,012376 | 144,293 | –5,7427 | –1,47609 | 2,0620 | 2,3253 |
| 2,7000 | 0,014814 | 143,622 | –5,494 | –1,38864 | 2,0241 | 2,3604 |
| 2,8000 | 0,017562 | 142,880 | –5,2388 | –1,30279 | 2,0126 | 2,4244 |
| 2,9000 | 0,020638 | 142,071 | –4,9745 | –1,21764 | 2,0178 | 2,5084 |
| 3,0000 | 0,024062 | 141,200 | –4,6995 | –1,13260 | 2,0336 | 2,6077 |
| 3,1000 | 0,027851 | 140,267 | –4,4123 | –1,04728 | 2,0562 | 2,7195 |
| 3,2000 | 0,032025 | 139,273 | –4,1119 | –0,96140 | 2,0829 | 2,8426 |
| 3,3000 | 0,036601 | 138,215 | –3,7973 | –0,87474 | 2,1121 | 2,9769 |
| 3,4000 | 0,041600 | 137,093 | –3,4674 | –0,78710 | 2,1428 | 3,1231 |
| 3,5000 | 0,047038 | 135,903 | –3,1212 | –0,69831 | 2,1744 | 3,2825 |
| 3,6000 | 0,052936 | 134,640 | –2,7576 | –0,60818 | 2,2063 | 3,4572 |
| 3,7000 | 0,059312 | 133,300 | –2,3754 | –0,51651 | 2,2384 | 3,6501 |
| 3,8000 | 0,066186 | 131,875 | –1,9731 | –0,42307 | 2,2707 | 3,8649 |
| 3,9000 | 0,073578 | 130,358 | –1,5491 | –0,32758 | 2,3032 | 4,1069 |
| 4,0000 | 0,081510 | 128,738 | –1,1013 | –0,22973 | 2,3360 | 4,3829 |
| 4,1000 | 0,090001 | 127,003 | –0,6275 | –0,12912 | 2,3694 | 4,7026 |
| 4,2000 | 0,099076 | 125,135 | –0,1245 | –0,02527 | 2,4038 | 5,0796 |
| 4,3000 | 0,10876 | 123,114 | 0,4113 | 0,082443 | 2,4397 | 5,5336 |
| 4,4000 | 0,11908 | 120,912 | 0,9848 | 0,19481 | 2,4779 | 6,0947 |
| 4,5000 | 0,13006 | 118,492 | 1,6021 | 0,31293 | 2,5196 | 6,8108 |
| 4,6000 | 0,14174 | 115,800 | 2,2722 | 0,43827 | 2,5667 | 7,7629 |
| 4,7000 | 0,15414 | 112,760 | 3,0074 | 0,57302 | 2,6218 | 9,1000 |
| 4,8000 | 0,16733 | 109,255 | 3,8270 | 0,72053 | 2,6893 | 11,128 |
| 4,9000 | 0,18134 | 105,083 | 4,7632 | 0,88658 | 2,7773 | 14,605 |
| 5,0000 | 0,19624 | 99,841 | 5,8798 | 1,08274 | 2,9284 | 21,969 |
| 5,1000 | 0,21211 | 92,497 | 7,3470 | 1,34049 | 3,2683 | 46,845 |

## Библиография

[1] Leachman J. W. et al. Thermodynamic properties of cryogenic fluids. — Cham: Springer International Publishing, 2017

УДК 536.71:532.14:006.354 ОКС 17.060

Ключевые слова: Государственная система обеспечения единства измерений, стандартные справочные данные, жидкий и газообразный гелий-4, плотность, энтальпия, энтропия, изохорная теплоемкость, изобарная теплоемкость

Редактор *Н.А. Аргунова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *И.Ю. Литовкиной*

Сдано в набор 15.02.2024. Подписано в печать 11.03.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,65. Уч-изд. л. 3,72.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru