ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р 8.947— 2018**

# Государственная система обеспечения единства измерений

# СТАНДАРТНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ. Н-УНДЕКАН

## Теплофизические свойства (плотность, теплоемкость, энтальпия, энтропия, скорость звука, коэффициенты теплопроводности и вязкости) в диапазоне температуры от тройной точки не выше 700 К при давлении не более 100 МПа

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2018

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» (ФГУП «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 4 декабря 2018 г. № 1053-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 (www.gost.ru)*

© Стандартинформ, оформление, 2018

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 Нормативные ссылки . . . . . 1
3 Методические основы разработки стандартных справочных данных . . . . . 2
3.1 Основные физико-аналитические модели, принятые для расчетного определения значений термодинамических свойств н-Ундекана . . . . . 2
3.2 Коэффициенты переноса . . . . . 4
4 Анализ и отбор экспериментальных данных . . . . . 4
4.1 Данные о термодинамических свойствах н-Ундекана . . . . . 4
4.2 Данные о коэффициентах переноса н-Ундекана . . . . . 4
5 Оценка достоверности расчетных значений свойств н-Ундекана . . . . . 4
5.1 Результаты оценки достоверности расчетных значений термодинамических свойств н-Ундекана . . . . . 4
5.2 Результаты оценки достоверности расчетных данных о коэффициентах переноса . . . . . 6
Библиография . . . . . 8

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Государственная система обеспечения единства измерений**

# СТАНДАРТНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ. Н-УНДЕКАН

**Теплофизические свойства (плотность, теплоемкость, энтальпия, энтропия, скорость звука, коэффициенты теплопроводности и вязкости) в диапазоне температуры от тройной точки не выше 700 К при давлении не более 100 МПа**

State system for ensuring the uniformity of measurements. Standard reference data. n-Undecane. Thermophysical properties (density, heat capacity, enthalpy, entropy, sound velocity, thermal conductivity and viscosity coefficients) for the temperature range from the triple point to 700 K at pressures up to 100 MPa

**Дата введения — 2019—03—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на жидкий и газообразный н-Ундекан и устанавливает методы расчетного определения значений стандартных справочных данных плотности $\rho$, энтальпии $h$, энтропии $s$, изобарной теплоемкости $c_p$, изохорной теплоемкости $c_v$, скорости распространия звука $w$, коэффициенте динамической вязкости $\mu$ и коэффициенте теплопроводности $\lambda$ для н-Ундекана как в однофазных областях (газе, жидкости и флюиде), так и на линии фазового перехода «газ—жидкость» (линии насыщения).

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.566 Государственная система обеспечения единства измерений. Межгосударственная система данных о физических константах и свойствах веществ и материалов. Основные положения

ГОСТ Р 8.614 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная служба стандартных справочных данных. Основные положения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

**Издание официальное**

## 3 Методические основы разработки стандартных справочных данных

### 3.1 Основные физико-аналитические модели, принятые для расчетного определения значений термодинамических свойств н-Ундекана

В настоящем стандарте приведены основные физико-аналитические модели, принятые для расчетного определения значений термодинамических свойств н-Ундекана, разработанные в соответствии с ГОСТ 8.566, ГОСТ Р 8.614 на основе теоретически и практически обоснованного фундаментального уравнения состояния (ФУС), выражающего свободную энергию Гельмгольца $\alpha(\rho, T)$ в зависимости от температуры $T$ и плотности $\rho$.

Безразмерную свободную энергию Гельмгольца $\alpha(\delta, \tau)$ представляют в виде суммы идеально-газовой части $\alpha^0(\delta, \tau)$ и избыточной составляющей $\alpha^r(\delta, \tau)$ и вычисляют по формуле

$$\frac{\alpha(\rho, T)}{RT} = \alpha(\delta, \tau) = \alpha^0(\delta, \tau) + \alpha^r(\delta, \tau). \quad (1)$$

Для придания наиболее строгого подхода к ФУС в части учета особенностей термодинамической поверхности н-Ундекана и расширения его экстраполяционных возможностей избыточную часть свободной энергии Гельмгольца представляют согласно [1] в виде разложения в ряд по степеням приведенной температуры $\tau$ и приведенной плотности $\delta$ с оптимизируемыми полиномиальными экспоненциальными членами и вычисляют по формуле

$$\alpha^r(\tau, \delta) = \sum_{i=1}^{6} n_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} + \sum_{i=7}^{14} n_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} \exp(-\delta^{p_i}), \quad (2)$$

где $\tau = T_c / T$;

$\delta = \rho/\rho_c$;

$\rho_c$, $T_c$ — параметры приведения, в качестве которых принимают значения температуры и плотности н-Ундекана в критической точке (в [1] приняты $\rho_c$ = 1,515 кмоль/м$^3$, $T_c$ = 638,8 К).

Для определения значений параметров ФУС по формуле (2) и расширения его функциональных возможностей при нахождении значений коэффициентов ФУС учитывают разнородные экспериментальные данные о термодинамических свойствах н-Ундекана:

- о $p$-, $v$-, $T$-данных;
- втором вириальном коэффициенте B;
- упругости насыщенных паров $p_v$;
- плотности насыщенной жидкой $\rho_l$ и газовой $\rho_v$ фаз;
- теплоемкости насыщенной конденсированной фазы $c_s$;
- изохорной $c_v$ и изобарной $c_p$ теплоемкости;
- энтальпии $h$;
- скорости распространения звука $w$.

Корректность в описании термодинамической поверхности н-Ундекана при обработке экспериментальных данных достигается путем ввода системы ограничений, накладываемых в виде неравенств на термодинамическую поверхность. В число основных видов вводимых ограничений включают (см. [1]):

- условия критической точки;
- правило Максвелла;
- контроль кривизны идеальных кривых;
- положительность значений теплоемкостей;
- правило прямолинейного диаметра;
- контролирование знаков производных для различных термодинамических характеристик.

Определение коэффициентов ФУС выполняют с применением алгоритма, представленного в [1], реализующего метод случайного поиска с возможностью возврата в начало процедуры поиска при неудачном шаге. При этом алгоритм модифицируют введением элементов детерминированного поиска на шаге корректировки величины шага поиска и выбора направления поиска.

В алгоритме, приведенном в [1], применяют аддитивный критерий оптимальности — минимизируемый функционал, представленный в соотношении (3), который образуют путем сложения выходных параметров, преобразованных к безразмерным слагаемым. Это осуществляют с помощью введения

нормирующих множителей — весовых коэффициентов. Нормирование вводят для объединения нескольких выходных параметров — термодинамических свойств, имеющих в общем случае различную физическую размерность. Минимизируемый функционал содержит слагаемые, ответственные за точность аппроксимации результатов измерений разнородных данных о термодинамических свойствах, а также ограничения, накладываемые в виде неравенств на термодинамическую поверхность. Алгоритм представляют следующим соотношением:

$$S = \sum W_p F_p^2 + \sum W_\rho F_\rho^2 + \sum W_{c_v} F_{c_v}^2 + ... + \sum W_0 F_0^2, \quad (3)$$

где W — весовой коэффициент для каждой опытной точки;

$F$ — функция, используемая для минимизации отклонений.

Например, для изохорной теплоемкости данных, функцию $F_{c_v}$ представляют в виде соотношения

$$F_{c_v} = (c_v^{эксп} - c_v^{расч})/c_v^{эксп}. \quad (4)$$

Квадратичные функции для других термодинамических свойств имеют аналогичный вид.

Весовой коэффициент W для каждой выбранной экспериментальной точки назначают индивидуально с учетом типа данных, области состояний и требуемой точности. Типичное значение W для данных $p$, $\rho$, $T$ и давления насыщенных паров составляет 1, для теплоемкости — 0,5, для скорости звука — 1.

Из соотношения (3) следует, что ограничения вводят в виде дополнительных слагаемых в минимизируемый функционал.

Блок-схема принятого алгоритма представлена в [1].

В минимизируемый функционал включают несколько слагаемых, каждое из которых ответственно за определенную категорию обрабатываемых термодинамических характеристик (см. [1]).

Для расчетного определения значений термодинамических свойств используют известные дифференциальные соотношения термодинамики (5)—(10).

Коэффициенты и показатели степени при температуре и плотности по оптимизированной формуле (2) представлены в [1]. Процедура построения ФУС более подробно описана в [1].

Термодинамические свойства н-Ундекана рассчитывают по следующим соотношениям:

- плотность

$$\frac{p}{\rho RT} = 1 + \delta\alpha_\delta^r; \quad (5)$$

- энтальпия

$$\frac{h}{RT} = 1 + \tau(\alpha_\tau^0 + \alpha_\tau^r) + \delta\alpha_\delta^r; \quad (6)$$

- энтропия

$$\frac{s}{R} = \tau(\alpha_\tau^0 + \alpha_\tau^r) - \alpha^0 - \alpha^r; \quad (7)$$

- изохорная теплоемкость

$$\frac{c_v}{R} = -\tau^2(\alpha_{\tau\tau}^0 + \alpha_{\tau\tau}^r); \quad (8)$$

- изобарная теплоемкость

$$\frac{c_p}{R} = -\tau^2(\alpha_{\tau\tau}^0 + \alpha_{\tau\tau}^r) + \frac{(1 + \delta\alpha_\delta^r - \delta\tau\alpha_{\delta\tau}^r)^2}{1 + 2\delta\alpha_\delta^r - \delta^2\alpha_{\delta\delta}^r}; \quad (9)$$

- скорость звука

$$\frac{w^2}{RT} = 1 + 2\delta\alpha_\delta^r + \delta^2\alpha_{\delta\delta}^r - \frac{(1 + \delta\alpha_\delta^r - \delta\tau\alpha_{\delta\tau}^r)^2}{\tau^2(\alpha_{\tau\tau}^0 + \alpha_{\tau\tau}^r)}, \quad (10)$$

где нижний индекс величины α показывает частную производную по соответствующей переменной.

За термодинамическое начало отсчета при составлении таблиц термодинамических свойств н-Ундекана принято состояние равновесного молекулярного кристалла при температуре 0 К. Значения энтальпии $h_0$ и энтропии $s_0$ во вспомогательной точке рассчитаны на линии насыщения жидкой фазы при температуре $T_0$ = 298,15 К и определены в [1] как $h_0$ = 523,72 кДж·кг$^{-1}$, $s_0$ = 2,9310 кДж · кг$^{-1}$ · К$^{-1}$).

### 3.2 Коэффициенты переноса

#### 3.2.1 Коэффициент вязкости

Табличные значения коэффициентов переноса определяют по эмпирическим уравнениям, разработанным на основе наиболее надежных экспериментальных данных и апробированным на практике.

Для расчетов значений коэффициента динамической вязкости применяют корреляцию, основанную на теоретически и практически установленной связи между коэффициентами динамической вязкости $\eta(\rho, T)$ и теплопроводности. Уравнение для расчета коэффициента вязкости представляют в виде суммы вязкости н-Ундекана в состоянии разреженного газа и соответствующей остаточной вязкости:

$$\eta(\rho,T) = \eta^0(T)[1 + B_\eta(T)\rho] + \Delta\eta(\rho, T), \tag{11}$$

где $\eta^0(T)$ — вязкость разреженного газа при нулевой плотности;

$B_\eta(T)$ — второй вязкостный вириальный коэффициент;

$\Delta_\eta(\rho, T)$ — остаточная вязкость плотного флюида.

Коэффициенты уравнения (12) определяют по экспериментальным данным (см. [1]).

#### 3.2.2 Коэффициент теплопроводности

Расчетное определение значений коэффициента теплопроводности н-Ундекана $\lambda(\rho, T)$ проводят согласно [1] на основе применения эмпирического уравнения

$$\lambda(\rho, T) = \lambda^0(T) + \lambda^r(\delta, \tau), \tag{12}$$

где $\lambda^0(T)$ — теплопроводность разреженного газа при нулевой плотности;

$\lambda^r(\delta, \tau)$ — избыточная теплопроводность;

$\delta = \rho/\rho_r$;

$\tau = T_r/T$;

$\rho_r$, $T_r$ — опорные значения плотности и температуры (принимают критические значения $T_c$ = 638,8 К; $\rho_c$ = 1,515 кмоль/м$^3$).

Теплопроводность разреженного газа определяют с использованием данных о вязкости (см. [1]). Избыточную теплопроводность аппроксимируют эмпирическим уравнением (см. [1]).

При построении эмпирических уравнений для расчетов вязкости разреженного газа используют метод случайного поиска с возвратом при неудачном шаге (см. [1]).

## 4 Анализ и отбор экспериментальных данных

### 4.1 Данные о термодинамических свойствах н-Ундекана

Исходные данные о термодинамических свойствах н-Ундекана применяют для анализа и разработки ФУС и оценки точности табличных значений. Эти данные представлены в таблице Б.1 и на рисунках Б.1—Б.4 [1], на которых показан характер отклонений исходных данных от расчетных значений.

### 4.2 Данные о коэффициентах переноса н-Ундекана

Исходные данные о коэффициентах переноса применяют для анализа и разработки расчетных уравнений и оценки точности расчетных значений. Эти данные представлены в таблицах Б.2, Б.3 и на рисунках Б.9, Б.11 [1].

## 5 Оценка достоверности расчетных значений свойств н-Ундекана

### 5.1 Результаты оценки достоверности расчетных значений термодинамических свойств н-Ундекана

Величина неопределенности расчетных значений термодинамических свойств оценивают по результатам сравнения с наиболее надежными экспериментальными данными. Оценки, представленные

в [1], даны: для жидкой фазы — $T < T_c$, $\rho > 1{,}3\rho_c$; газовой фазы — $T < T_c$, $\rho < 0{,}7\rho_c$; сверхкритического флюида — $T > T_c$, исключая критическую область — $T_s \le T \le 1{,}05T_c$, $0{,}7\rho_c \le \rho \le 1{,}3\rho_c$, которая для н-Ундекана не исследована, а вычисление по формуле (2) не обеспечивает высокую точность расчета термодинамических свойств в критической области.

В таблице 3 (см. [1]) дана оценка полей неопределенностей расчетных значений термодинамических свойств н-Ундекана, а поля неопределенностей приведены в таблицах В.1—В.3. В настоящем стандарте оценка неопределенностей расчетных значений термодинамических свойств и поля неопределенностей н-Ундекана представлены в таблицах 1—4.

На рисунке Б.5 (см. [1]) показан ход идеальных кривых н-Ундекана. На диаграммах Б.6—Б.8 (см. [1]) продемонстрированы поверхности состояния основных термодинамических свойств, построенные по ФУС. Вид этих поверхностей свидетельствует о хороших интерполяционных и экстраполяционных свойствах разработанного ФУС.

Таблица 1 — Оценки неопределенностей расчетных значений термодинамических свойств н-Ундекана

| Свойство | Неопределенность, %, в области | | |
|---|---|---|---|
| | Жидкость | Газ | Сверхкритический флюид |
| $p_v$ | — | 0,15—1,5 | — |
| $\rho_l$ | 0,1—0,2 | — | — |
| $\rho_v$ | — | 0,5—3,0 | — |
| $p$, $\rho$, $T$ | 0,1—0,2 | 0,5—2,0 | 0,5—1,5 |
| $c_p$ | 0,5—1,0 | 1,0—2,5 | 1,0—2,0 |
| $c_v$ | 1,0—2,0 | 1,5—3,0 | 1,5—3,0 |
| $w$ | 0,5—1,0 | 1,0—2,0 | 1,0—2,0 |

Таблица 2 — Поля неопределенности расчета плотности $\rho$

| $p$, МПа | Температура К | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 620 | 640 | 650 | 660 | 680 | 700 |
| 0,5 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 1,00 | 0,8 | 0,60 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| 1,5 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,40 | 1,00 | 0,80 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,55 |
| 3,0 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,30 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |
| 5,0 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,60 |
| 10,0 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,60 | 0,60 | 0,70 |
| 50,0 | — | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,60 | 0,70 | 0,80 |
| 100,0 | — | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,60 | 0,70 | 0,80 |

Таблица 3 — Поля неопределенности расчета изобарной теплоемкости $c_v$

| $p$, МПа | Температура К | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 620 | 640 | 650 | 660 | 680 | 700 |
| 0,5 | 0,50 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,50 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,90 | 0,90 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 1,5 | 0,50 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,40 | 1,50 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| 3,0 | 0,50 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,50 | 0,70 | 0,80 | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 1,50 | 1,40 | 1,30 |
| 5,0 | 0,50 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 1,30 | 1,80 | 1,50 | 1,50 | 1,50 |

*Окончание таблицы 3*

| $p$, МПа | Температура, К | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 620 | 640 | 650 | 660 | 680 | 700 |
| 10,0 | 0,55 | 0,45 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,90 | 1,20 | 1,20 | 1,30 | 1,40 | 1,50 |
| 50,0 | — | 0,50 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 1,30 | 1,30 | 1,40 | 1,50 |
| 100,0 | — | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,20 | 1,30 | 1,20 | 1,30 | 1,30 | 1,40 | 1,50 |

Таблица 4 — Поля неопределенности расчета скорости распространения звука $w$

| $p$, МПа | Температура, К | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 620 | 640 | 650 | 660 | 680 | 700 |
| 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| 1,5 | 1,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 1,0 | 1,8 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| 3,0 | 1,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 1,8 | 2,0 | 1,7 | 1,6 | 1,6 |
| 5,0 | 1,2 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 1,2 | 1,4 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,7 |
| 10,0 | 1,3 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 1,2 | 1,3 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,8 |
| 50,0 | — | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,9 |
| 100,0 | — | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 2,0 |

### 5.2 Результаты оценки достоверности расчетных данных о коэффициентах переноса

Оценки достоверности расчетных значений коэффициентов переноса представлены в таблицах В.4, В.5 [1]). В настоящем стандарте — в таблицах 5, 6. На диаграммах Б.10, Б.12 [1] продемонстрированы поверхности состояний интерполяционных и экстраполяционных возможностей уравнений по вязкости и теплопроводности.

Таблица 5 — Поля неопределенности расчета коэффициента теплопроводности $\lambda$

| $p$, МПа | Температура, К | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 620 | 640 | 650 | 660 | 680 | 700 |
| 0,5 | 2,0 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 3,0 |
| 1,5 | 2,0 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,5 | 3,0 |
| 3,0 | 2,0 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,6 | 2,5 | 3,0 |
| 5,0 | 2,0 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 2,5 | 3,5 |
| 10,0 | 2,0 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,7 | 2,6 | 3,5 |
| 50,0 | — | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 4,0 |
| 100,0 | — | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 3,0 | 4,0 |

Таблица 6 — Поля неопределенности расчета коэффициента динамической вязкости $\mu$

| $p$, МПа | Температура, К | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 620 | 640 | 650 | 660 | 680 | 700 |
| 0,5 | 3,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,7 |
| 1,5 | 3,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |

*Окончание таблицы 6*

| $p$, МПа | Температура, К | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 620 | 640 | 650 | 660 | 680 | 700 |
| 3,0 | 3,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,4 | 2,4 |
| 5,0 | 3,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,4 | 2,4 |
| 10,0 | 4,0 | 2,0 | 2,0 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| 50,0 | — | 2,5 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,8 |
| 100,0 | — | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,0 |

Оценки достоверности расчетных значений теплофизических свойств н-Ундекана на линии равновесия «жидкость—газ» представлены в таблице В.6 [1]. В настоящем стандарте поля неопределенности расчета теплофизических свойств на линии равновесия «жидкость—газ» приведены в таблице 7.

Таблица 7 — Поля неопределенности расчета теплофизических свойств на линии равновесия «жидкость—газ»

| $T$, К | $\delta\rho_{\nu'}$, % | $\Delta\rho_{\beta}$ % | $\delta\rho_{\nu''}$, % | $\delta c_{\rho}'$, % | $\delta c_{\rho}''$, % | $\delta h'$, % | $\delta s'$, % | $\delta\Delta h_{\nu'}$, % | $\delta\lambda'$, % | $\delta\lambda''$, % | $\delta\eta'$, % | $\delta\eta''$, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 250 | 1,50 | 0,10 | 1,50 | 0,5 | 0,5 | 0,430 | 0,40 | 0,5 | 2,0 | 2,5 | 4,0 | 2,0 |
| 300 | 0,80 | 0,10 | 0,80 | 0,5 | 0,5 | 0,40 | 0,40 | 0,5 | 1,8 | 2,0 | 2,0 | 1,7 |
| 350 | 0,20 | 0,10 | 0,20 | 0,5 | 0,6 | 0,40 | 0,40 | 0,5 | 1,8 | 2,0 | 2,0 | 1,7 |
| 400 | 0,15 | 0,10 | 0,25 | 0,6 | 0,8 | 0,40 | 0,40 | 0,7 | 1,8 | 2,0 | 2,0 | 1,7 |
| 450 | 0,20 | 0,10 | 0,30 | 0,7 | 0,8 | 0,40 | 0,40 | 0,7 | 2,0 | 2,0 | 2,2 | 2,0 |
| 500 | 0,25 | 0,10 | 0,50 | 0,8 | 1,0 | 0,42 | 0,42 | 0,8 | 2,0 | 2,0 | 2,2 | 2,5 |
| 550 | 0,30 | 0,15 | 0,80 | 1,0 | 1,5 | 0,42 | 0,42 | 1,0 | 2,2 | 2,2 | 2,5 | 2,5 |
| 600 | 0,50 | 0,20 | 1,50 | 1,5 | 2,0 | 0,44 | 0,44 | 1,5 | 2,5 | 2,5 | 2,7 | 2,8 |
| 620 | 1,00 | 0,40 | 2,00 | 2,0 | 2,5 | 0,44 | 0,44 | 2,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| 630 | 1,40 | 0,80 | 3,00 | 2,5 | 4,0 | 0,50 | 0,50 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| 635 | 1,50 | 1,30 | 5,00 | 3,0 | 6,0 | 0,55 | 0,55 | 5,0 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 |

Итоговые значения термодинамических свойств и коэффициентов переноса н-Ундекана в однофазной области и на линии насыщения представлены в таблицах стандартных справочных данных Б.4, Б.5 [1].

## Библиография

[1] Таблицы стандартных справочных данных ГСССД 336—2018. н-Ундекан. Теплофизические свойства (плотность, теплоемкость, энтальпия, энтропия, скорость звука, коэффициенты теплопроводности и вязкости) в диапазоне температуры от тройной точки до 700 К при давлениях до 100 МПа. — М.: ФГУП «ВНИИМС», 2018. — 70 с.

УДК 547.216:536.7:006.354 ОКС 07.030

Ключевые слова: государственная система обеспечения единства измерений, стандартные справочные данные, жидкий и газообразный н-Ундекан, термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности

БЗ 12—2018/9

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 05.12.2018. Подписано в печать 25.12.2018. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,26.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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

gost.e-ecolog.ru