ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 8.1021— 2023

Государственная система обеспечения единства измерений

ВЛАЖНЫЙ ВОДОРОД

Термодинамические свойства в диапазоне температур от 200 до 400 К, давлений от 0,1 до 10 МПа и относительной влажности от 0,2 до 1,0

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

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 «Государственная служба стандартных справочных данных»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 февраля 2023 г. № 39-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», 2023

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 Метод расчета стандартных справочных данных 2
4 Оценка погрешностей расчетных значений 5
Приложение А (обязательное) Таблицы стандартных справочных данных о равновесных мольной и массовой концентрациях водяного пара во влажном водороде и о термодинамических свойствах влажного водорода 7
Приложение Б (обязательное) Относительные погрешности стандартных справочных данных о равновесной концентрации водяного пара и термодинамических свойствах влажного водорода 17
Приложение В (обязательное) Отклонения расчетных значений равновесной мольной концентрации водяного пара во влажном водороде от экспериментальных. Доверительные интервалы расчетных значений и погрешности экспериментальных данных 21
Библиография 23

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

ВЛАЖНЫЙ ВОДОРОД

Термодинамические свойства в диапазоне температур от 200 до 400 К, давлений от 0,1 до 10 МПа и относительной влажности от 0,2 до 1,0

State system for ensuring the uniformity of measurements. Moist hydrogen. Thermodynamic properties at temperatures from 200 to 400 K, pressures from 0,1 to 10 MPa and relative moisture from 0,2 to 1,0

Дата введения — 2023—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает значения стандартных справочных данных равновесной мольной концентрации $X_р$, массовой концентрации $C_{равн.}$ водяного пара в нормальном влажном водороде, удельного объема v, энтальпии h, энтропии s, изобарной теплоемкости $c_р$, а также парциального давления водяного пара $\overline{P}_2$ во влажном водороде, массового влагосодержания d и абсолютной влажности в диапазонах температур от 200 до 400 К, давления от 0,1 до 10 МПа и относительной влажности от 0,2 до 1,0.

Настоящий стандарт распространяется на влажный водород с мольной концентрацией водяного пара не менее 0,1 %.

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

ГОСТ Р 8.736 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. 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 документ, 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 Метод расчета стандартных справочных данных

Стандартные справочные данные (ГОСТ Р 8.614, ГОСТ 8.566) рассчитывают по уравнению растворимости [1] и уравнению состояния влажного водорода

$$Z = \frac{P\upsilon}{RT} = 1 + \frac{B}{\upsilon} + \frac{C}{\upsilon^2}, \tag{1}$$

где Z — коэффициент сжимаемости;

P — давление влажного водорода, МПа;

υ — удельный объем влажного водорода, 10^{-3} м^3/кг;

R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль · К);

T — температура, К;

B — второй вириальный коэффициент, м^3/кг;

C — третий вириальный коэффициент, (м^3/кг)^2.

Вириальные коэффициенты представлены функциями мольной концентрации водяного пара во влажном водороде:

$$B = B_{11} + 2(B_{12} - B_{11})X + (B_{11} - 2B_{12} + B_{22})X^2, \tag{2}$$

$$C = C_{111} + 3(C_{112} - C_{111})X + 3(C_{111} - 2C_{112})X^2 + (3C_{112} - C_{111})X^3. \tag{3}$$

Вириальные коэффициенты B_{111} и C_{111} чистого водорода получены на основе стандартных справочных p, υ, T [2], которые аппроксимированы вириальным уравнением состояния [3]

$$Z_1 = \frac{P\upsilon_1}{RT} = 1 + \frac{B_{11}}{\upsilon_1} + \frac{C_{111}}{\upsilon_1^2}. \tag{4}$$

Область действия уравнения состояния (1) не выходит за границы действия уравнения состояния чистого водорода (4).

Температурная зависимость второго вириального коэффициента водорода представлена полиномом

$$B_{11} = \sum_{i=1}^{2} b_{1_j} \tau^{-n_j}, \tag{5}$$

где $\tau = \frac{T}{100}$ К.

Третий вириальный коэффициент принят постоянным и не зависящим от температуры. Коэффициенты и показатели степеней полинома (5), а также значение коэффициента C_{111} приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Коэффициенты и показатели степеней полиномов (5) для вириальных коэффициентов водорода

j	n_j	b_{1_j}, см^3/моль	C_{1_j}, (см^3/моль)^2
1	0	17,35	301,9
2	2	–21,84	—

Для водяного пара использовано уравнение

$$Z_2 = \frac{P\upsilon_2}{RT} = 1 + \frac{B_{22}}{\upsilon_2}, \tag{6}$$

в котором

$$B_{22} = \sum_{i=1}^{5} b_{2_j} \tau^{-n_j}. \quad (7)$$

Коэффициенты и показатели степеней полинома (7) приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Коэффициенты и показатели степеней полинома (7) для B_{22} водяного пара

j	n_j	b_{2_j}, см^3/моль
1	1	197,258
2	2	–4018,29
3	5	–323492
4	6	$1{,}39840 \cdot 10^6$
5	7	$-2{,}89960 \cdot 10^6$

Смешанные вириальные коэффициенты B_{12} и C_{112} рассчитаны описанным в [1] модельным методом без учета квантовых поправок и представлены полиномами (8) и (9):

$$B_{12} = \sum_{j=1}^{5} b_j \tau^{-n_j}, \quad (8)$$

$$C_{112} = \sum_{j=1}^{4} C_j \tau^{-m_j}. \quad (9)$$

Коэффициенты и показатели степеней в формулах (8) и (9) приведены в таблице 3.

Таблица 3 — Коэффициенты и показатели степеней полиномов (8) и (9) для смешанных вириальных коэффициентов

j	n_j	b_{2_j}, см^3/моль	m_j	C_{1_j}, (см^3/моль)^2
1	0	16,58284	0	187,7750
2	1	–9,14095	1	299,6223
3	2	–81,24099	2	–574,9098
4	3	82,53793	3	562,4506
5	4	–43,23610	—	—

Равновесную мольную концентрацию $X_р$ определяют наряду с мольным объемом υ влажного водорода в состоянии фазового равновесия путем совместного решения уравнений состояния и растворимости.

Равновесную массовую концентрацию вычисляют по формуле

$$C_{\text{равн.}} = \frac{X_р M_2}{\left(M_1 - (M_2 - M_1) X_р\right)}, \quad (10)$$

где M_1 = 2,0158 г/моль, M_2 = 18,0152 г/моль — мольные массы водорода и воды.

Относительную влажность водорода вычисляют по формуле

$$\varphi = \frac{X}{X_{\text{р}}}. \tag{11}$$

Мольную массу влажного водорода вычисляют по формуле

$$M = M_1 - (M_2 - M_1)\varphi X_{\text{р}}. \tag{12}$$

Мольный объем влажного водорода определяют решением уравнения состояния (1) способом Кардано.

Мольные энтальпию, энтропию и изобарную теплоемкость влажного водорода вычисляют по формулам:

$$h = h_1^0\left(1-\varphi X_{\text{р}}\right) + h_2^0\varphi X_{\text{р}} + \frac{\text{R}T}{\upsilon}\left(B - T\frac{\delta B}{\delta T}\right) + \frac{\text{R}T}{2\upsilon^2}\left(2C - T\frac{\delta C}{\delta T}\right), \tag{13}$$

$$S = \left(S_{T_1}^0 - \text{R}\ln\left(1-\varphi X_{\text{р}}\right)\right)\left(1-\varphi X_{\text{р}}\right) + \left(S_{T_2}^0 - \text{R}\ln\left(\varphi X_{\text{р}}\right)\right)\varphi X_{\text{р}} + \text{R}\ln\frac{P_{\text{ст}}\upsilon}{\text{R}T} - \frac{\text{R}}{\upsilon}\left(B + T\frac{\delta B}{\delta T}\right) - \frac{\text{R}}{2\upsilon^2}\left(C + T\frac{\delta C}{\delta T}\right), \tag{14}$$

$$C_{\text{р}} = C_{\text{р}_1}^0\left(1-\varphi X_{\text{р}}\right) + C_{\text{р}_2}^0\varphi X_{\text{р}} - \text{R} - \frac{\text{R}T}{\upsilon}\left(2\frac{\delta B}{\delta T} + T\frac{\delta^2 B}{\delta T^2}\right) - \frac{\text{R}T}{2\upsilon^2}\left(2\frac{\delta C}{\delta T} + T\frac{\delta^2 C}{\delta T^2}\right) + \frac{\text{R}\left(1 + \frac{B}{\upsilon} + \frac{C}{\upsilon^2} + \frac{T}{\upsilon}\frac{\delta B}{\delta T} + \frac{T}{\upsilon^2}\frac{\delta C}{\delta T}\right)^2}{1 + \frac{2B}{\upsilon} + \frac{3C}{\upsilon^2}}, \tag{15}$$

где h_1^0, h_2^0, $C_{\text{р}_1}^0$, $C_{\text{р}_2}^0$ — идеально-газовые энтальпии и изобарные теплоемкости;

$S_{T_1}^0$, $S_{T_2}^0$ — стандартные энтропии (при давлении $P_{\text{ст}}$ = 101,325 кПа) водорода и водяного пара.

Значения идеально-газовых функций компонентов (i = 1 — водород, i = 2 — водяной пар) вычисляют по формулам:

$$h_i^0 = \int_{T_0}^{T} C_{\text{р}_i}^0 dT + h_{0_i}, \tag{16}$$

$$S_{T_i}^0 = \int_{T_0}^{T} \frac{C_{\text{р}_i}^0}{T} dT + S_{0_i}, \tag{17}$$

в которых идеально-газовые изобарные теплоемкости компонентов представлены полиномами [3]:

$$\frac{C_{\text{р}_1}^0}{\text{R}} = \sum_{j=1}^{10} c_{1_j}\tau^{n_j}, \tag{18}$$

$$\frac{C_{\text{р}_2}^0}{\text{R}} = \sum_{j=1}^{4} c_{2_j}\tau^{m_j}, \tag{19}$$

где коэффициенты и показатели степеней полиномов (16)—(19) представлены в таблицах 4 и 5 соответственно.

Таблица 4 — Константы формул (16) и (17) для идеально-газовых функций водорода и водяного пара (при температуре T_0 = 100)

i	h_0, Дж/моль	S_0, Дж/моль · К
1	3971,9	113,56
2	50676	148,80

Таблица 5 — Коэффициенты и показатели степеней полиномов (18) и (19) для идеально-газовой изобарной теплоемкости водорода и водяного пара

j	n_j	C_{1_j}	m_j	C_{2_j}
1	0	5,949927	0	4,00706806
2	3	$-0{,}9207329 \cdot 10^{-1}$	2	$-0{,}822462863 \cdot 10^{-3}$
3	4	$-0{,}3513302 \cdot 10^{-1}$	5	$0{,}324333221 \cdot 10^{-3}$
4	5	$-0{,}5058342 \cdot 10^{-2}$	6	$-0{,}500436516 \cdot 10^{-4}$
5	6	$0{,}2637903 \cdot 10^{-3}$	—	—
6	–1	–6,433286	—	—
7	–3	$1{,}617990 \cdot 10^{-1}$	—	—
8	–4	$-2{,}655417 \cdot 10^{-1}$	—	—
9	–5	$1{,}855330 \cdot 10^{-1}$	—	—
10	–6	–4920436	—	—

Парциальное давление водяного пара, массовое влагосодержание и абсолютную влажность водорода вычисляют по формулам:

$$\bar{P}_2 = \varphi X_p R T \frac{1 + \varphi X_p \frac{B_{22}}{\upsilon}}{\upsilon}, \tag{20}$$

$$d = \frac{M_2 \varphi X_p}{M_1 \left(1 - \varphi X_p\right)}. \tag{21}$$

$$\alpha = \frac{M_2 \varphi X_p}{\upsilon}. \tag{22}$$

В таблице А.1 (приложение А) представлены стандартные справочные данные о равновесной мольной концентрации, рассчитанные по формуле (10). В таблице А.2 (приложение А) приведены стандартные справочные данные о равновесной массовой концентрации водяного пара во влажном водороде. В таблице А.3 (приложение А) представлены стандартные справочные данные о термодинамических свойствах влажного водорода.

4 Оценка погрешностей расчетных значений

Оценка погрешностей расчетных значений приведена в соответствии с ГОСТ Р 8.736.

Оценку погрешностей расчетных значений вычисляют по формулам, приведенным в [1] для мольных величин. Относительные погрешности удельных и мольных термодинамических свойств практи-

чески одинаковы, поскольку относительные погрешности мольной массы влажного водорода меньше 0,01 %.

В таблицах Б.1—Б.8 (приложение Б) представлены относительные погрешности стандартных справочных данных о равновесной концентрации водяного пара и термодинамических свойствах влажного водорода, рассчитанные при доверительной вероятности 95 %.

В приложении В приведены отклонения расчетных значений равновесной мольной концентрации водяного пара во влажном водороде от экспериментальных [5], [6], а также доверительные интервалы расчетных значений и погрешности экспериментальных данных [5] (экспериментальная погрешность данных [6], которые получены при положительных температурах, не указана).

Приложение А
(обязательное)

Таблицы стандартных справочных данных о равновесных мольной и массовой концентрациях водяного пара во влажном водороде и о термодинамических свойствах влажного водорода

Таблица А.1 — Стандартные справочные данные о равновесной мольной концентрации водяного пара во влажном водороде

T, К	$X_p 10^6$ при P, МПа							
	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
200	1,6322	0,3306	0,1679	0,0866	0,0460	0,0326	—	—
220	26,627	5,381	2,725	1,398	0,735	0,514	4,404	0,339
240	273,42	55,16	27,87	14,24	7,422	5,154	4,023	3,346
260	1952,5	395,37	199,49	101,55	52,61	36,31	28,17	23,30
280	9937,0	1999,3	1007,1	511,03	263,04	180,41	139,13	114,38
300	35450	7127,1	3586,6	1816,3	931,3	636,4	488,0	400,6
320	105817	21265	10693	5406,0	2764	1883	1443	1179
340	273100	54914	27600	13939	7108	4831	3693	3010
360	624119	125947	63300	31945	16260	11031	8416	6848
380	—	261603	131634	66429	33771	22878	17430	14161
400	—	498685	251933	127330	64719	43803	33337	27055

Таблица А.2 — Стандартные справочные данные о равновесной массовой концентрации водяного пара во влажном водороде

T, К	$C_{равн.} 10^6$ при P, МПа							
	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
200	14,585	2,955	1,501	0,774	0,411	0,291	—	—
220	237,92	48,09	24,35	12,49	6,57	4,59	3,61	3,03
240	2438,3	492,7	249,0	127,2	66,3	46,1	36,0	29,9
260	17270	3522,4	1780,0	906,8	470,0	324,4	251,7	208,2
280	82315	17589	8929	45,49	2346,2	1610	1242	1021,3
300	247250	602230	31170	16000	8260	5660	4340	3570
320	514000	162600	88090	46330	24170	16580	12750	10440
340	770500	341790	202340	112160	60130	41580	32060	26270
360	936900	562900	376500	227700	128700	90600	70500	58000
380	—	760000	575300	388700	238000	173000	136800	113800
400	—	898900	750600	566000	382100	290500	235600	199000

Таблица А.3 — Стандартные справочные данные о термодинамических свойствах влажного нормального водорода

φ	M	υ	h	S	c_p	$\overline{P_2}$	d	α
T = 200 К, P = 0,1 МПа								
0,2	2,0158	8255,1	3221,2	64,962	13,54	0,000	0,003	0,000
0,4	2,0158	8255,1	3221,2	64,962	13,54	0,000	0,006	0,000
0,6	2,0158	8255,1	3221,2	64,962	13,54	0,000	0,009	0,000
0,8	2,0158	8255,1	3221,2	64,961	13,54	0,000	0,012	0,000
1,0	2,0158	8255,0	3221,2	64,961	13,54	0,000	0,015	0,000
T = 220 К, P = 0,1 МПа								
0,2	2,0159	9080,2	3494,5	66,262	13,78	0,001	0,048	0,000
0,4	2,0160	9079,8	3494,4	66,259	13,78	0,001	0,095	0,000
0,6	2,0161	9079,4	3494,4	66,257	13,78	0,002	0,143	0,000
0,8	2,0161	9079,0	3494,4	66,254	13,78	0,002	0,190	0,000
1,0	2,0162	9078,6	3494,4	66,252	13,78	0,003	0,238	0,000
T = 240 К, P = 0,1 МПа								
0,2	2,0167	9901,5	3771,8	67,446	13,97	0,005	0,489	0,000
0,4	2,0175	9897,2	3771,5	67,420	13,96	0,011	0,978	0,000
0,6	2,0184	9892,9	3771,1	67,394	13,96	0,016	1,466	0,000
0,8	2,0193	9888,6	3770,8	67,368	13,95	0,022	1,955	0,000
1,0	2,0202	9884,4	3770,5	67,342	13,95	0,027	2,444	0,000
T = 260 К, P = 0,1 МПа								
0,2	2,0221	10698	4049,9	68,406	14,08	0,039	3,509	0,000
0,4	2,0284	10665	4046,6	68,215	14,04	0,078	7,021	0,001
0,6	2,0346	10632	4043,4	68,023	13,99	0,118	10,54	0,001
0,8	2,0409	10599	4040,1	67,883	13,95	0,157	14,05	0,001
1,0	2,0472	10566	4036,9	67,643	13,91	0,196	17,57	0,002
T = 280 К, P = 0,1 МПа								
0,2	2,0476	11377	4316,0	68,666	14,02	0,199	17,80	0,002
0,4	2,0794	11203	4295,8	67,703	13,81	0,397	35,66	0,003
0,6	2,1112	11034	4276,2	66,765	13,60	0,596	53,60	0,005
0,8	2,1430	10870	4257,2	65,853	13,41	0,794	71,61	0,006
1,0	2,1748	10711	4238,7	64,965	13,21	0,992	89,70	0,008
T = 280 К, P = 0,5 МПа								
0,2	2,0222	2309,7	4334,3	62,829	14,20	0,199	3,575	0,002
0,4	2,0286	2302,4	4330,1	62,651	14,16	0,399	7,153	0,003
0,6	2,0350	2295,1	4325,9	62,474	14,11	0,598	10,73	0,005

Продолжение таблицы А.3

φ	*M*	υ	*h*	*S*	c_p	$\overline{P_2}$	*d*	α
0,8	2,0414	2288,0	4321,7	62,297	14,07	0,797	14,32	0,006
1,0	2,0478	2280,8	4317,6	62,121	14,03	0,996	17,90	0,008
T = 280 K, *P* = 1,0 МПа								
0,2	2,0190	1160,3	4338,7	60,058	14,24	0,200	1,800	0,002
0,4	2,0222	1158,4	4336,6	59,973	14,21	0,400	3,602	0,003
0,6	2,0255	1156,6	4334,4	59,888	14,19	0,600	5,404	0,005
0,8	2,0287	1154,7	4332,3	59,803	14,17	0,800	7,206	0,006
1,0	2,0319	1152,9	4330,2	59,718	14,15	1,000	9,010	0,008
T = 300 K, *P* = 0,1 МПа								
0,2	2,1292	11722	4536,0	67,178	13,57	0,708	63,82	0,005
0,4	2,2427	11128	4458,3	64,036	12,90	1,416	128,5	0,010
0,6	2,3561	10592	4388,2	61,183	12,29	2,124	194,2	0,015
0,8	2,4695	10106	4324,4	58,584	11,74	2,831	260,9	0,020
1,0	2,5830	9661,6	4266,2	56,207	11,24	3,538	328,5	0,026
T = 300 K, *P* = 0,5 МПа								
0,2	2,0386	2454,4	4606,1	63,349	14,17	0,710	12,76	0,005
0,4	2,0614	2427,2	4588,4	62,713	14,01	1,420	25,55	0,010
0,6	2,0842	2400,6	4571,0	62,089	13,86	2,130	38,38	0,015
0,8	2,1070	2374,6	4553,9	61,476	13,72	2,839	51,25	0,021
1,0	2,1298	2349,2	4537,3	60,874	13,57	3,547	64,15	0,026
T = 300 K, *P* = 1,0 МПа								
0,2	2,0273	1237,7	4617,6	60,821	14,25	0,713	6,415	0,005
0,4	2,0388	1230,8	4608,5	60,514	14,18	1,425	12,84	0,010
0,6	2,0502	1223,9	4599,5	60,209	14,10	2,137	19,27	0,015
0,8	2,0617	1217,0	4590,5	59,906	14,02	2,849	25,72	0,021
1,0	2,0732	1210,3	4581,7	59,606	13,95	3,560	32,17	0,026
T = 300 K, *P* = 2,0 МПа								
0,2	2,0216	624,32	4627,2	58,115	14,32	0,718	3,248	0,005
0,4	2,0274	622,53	4622,5	57,968	14,28	1,435	6,498	0,010
0,6	2,0332	620,74	4617,9	57,820	14,24	2,152	9,750	0,016
0,8	2,0390	618,97	4613,2	57,673	14,20	2,868	13,00	0,021
1,0	2,0449	617,20	4608,6	57,526	14,16	3,584	16,26	0,026
T = 320 K, *P* = 0,1 МПа								
0,2	2,3544	11307	4635,7	62,019	12,35	2,114	193,2	0,014

Продолжение таблицы А.3

φ	*M*	υ	*h*	*S*	c_p	$\overline{P_2}$	*d*	α
0,4	2,6930	9884,4	4430,8	54,787	10,84	4,225	395,0	0,029
0,6	3,0316	8779,6	4271,6	49,139	9,66	6,334	605,9	0,043
0,8	3,3702	7896,6	4144,2	44,606	8,73	8,441	826,5	0,057
1,0	3,7088	7174,6	4040,0	40,887	7,97	10,55	1058	0,072
T = 320 K, *P* = 0,5 МПа								
0,2	2,0838	2560,8	4849,1	62,995	13,92	2,119	38,17	0,014
0,4	2,1519	2479,8	4790,8	61,172	13,49	4,236	76,67	0,029
0,6	2,2199	2403,7	4736,0	59,453	13,09	6,349	115,5	0,043
0,8	2,2880	2332,1	4684,5	57,830	12,71	8,460	154,7	0,057
1,0	2,3560	2264,6	4635,9	56,297	12,35	10,57	194,2	0,072
T = 320 K, *P* = 1,0 МПа								
0,2	2,0500	1305,3	4882,2	61,126	14,15	2,125	19,15	0,014
0,4	2,0842	1283,8	4851,3	60,216	13,93	4,247	38,39	0,029
0,6	2,1158	1263,0	4821,5	59,331	13,71	6,367	57,71	0,043
0,8	2,1527	1242,9	4792,5	58,472	13,50	8,484	77,11	0,058
1,0	2,1869	1223,4	4764,5	57,637	13,29	10,60	96,60	0,072
T = 320 K, *P* = 2,0 МПа								
0,2	2,0331	661,82	4903,2	58,744	14,29	2,137	9,675	0,014
0,4	2,0504	656,22	4887,2	58,299	14,17	4,271	19,37	0,029
0,6	2,0677	650,71	4871,4	57,860	14,05	6,402	29,09	0,043
0,8	2,0850	645,97	4855,8	57,426	13,94	8,531	38,83	0,058
1,0	2,1023	639,97	4840,5	56,998	13,83	10,66	48,58	0,072
T = 320 K, *P* = 4,0 МПа								
0,2	2,0246	336,08	4922,3	56,106	14,38	2,160	4,943	0,015
0,4	2,0335	334,61	4913,9	55,889	14,32	4,317	9,892	0,029
0,6	2,0423	333,16	4905,5	55,674	14,26	6,471	14,85	0,044
0,8	2,0512	331,71	4897,3	55,459	14,20	8,623	19,80	0,059
1,0	2,0600	330,28	4889,1	55,246	14,14	10,77	24,77	0,073
T = 320 K, *P* = 6,0 МПа								
0,2	2,0218	226,91	4936,2	54,498	14,44	2,183	3,367	0,015
0,4	2,0279	226,23	4930,4	54,356	14,40	4,362	6,737	0,030
0,6	2,0339	225,55	4924,6	54,213	14,36	6,539	10,11	0,044
0,8	2,0399	224,88	4918,9	54,071	14,31	8,713	13,48	0,059
1,0	2,0459	224,22	4913,2	53,930	14,27	10,88	16,86	0,074

Продолжение таблицы А.3

φ	*M*	υ	*h*	*S*	c_p	$\overline{P_2}$	*d*	α
T = 320 K, *P* = 8,0 МПа								
0,2	2,0204	172,21	4948,9	53,340	14,48	2,205	2,580	0,015
0,4	2,0250	171,82	4944,4	53,234	14,45	4,407	5,161	0,030
0,6	2,0296	171,42	4940,0	53,127	14,42	6,606	7,743	0,045
0,8	2,0343	171,03	4935,5	53,021	14,39	8,802	10,33	0,060
1,0	2,0389	170,64	4931,1	52,914	14,36	11,00	12,91	0,075
T = 320 K, *P* = 10,0 МПа								
0,2	2,0196	139,36	4961,3	52,434	14,52	2,227	2,107	0,015
0,4	2,0233	139,10	4957,6	52,349	14,50	4,451	4,215	0,030
0,6	2,0271	138,84	4953,9	52,264	14,47	6,671	6,325	0,045
0,8	2,0309	138,58	4950,2	52,179	14,44	8,889	8,435	0,060
1,0	2,0347	138,32	4946,5	52,094	14,42	11,10	10,55	0,075
T = 340 K, *P* = 0,1 МПа								
0,2	2,8897	9786,9	4536,5	51,963	10,15	5,453	516,3	0,035
0,4	3,7636	7512,6	4182,2	40,824	7,87	10,89	1096	0,070
0,6	4,6375	6094,5	3961,0	33,826	6,46	16,33	1751	0,104
0,8	5,5114	5125,5	3809,6	29,012	5,50	21,75	2498	0,139
1,0	6,3852	4421,1	3699,4	25,493	4,81	27,18	3358	0,174
T = 340 K, *P* = 0,5 МПа								
0,2	2,1915	2586,8	5023,9	60,963	13,29	5,470	99,24	0,035
0,4	2,3672	2394,5	4874,4	56,799	12,33	10,93	200,7	0,070
0,6	2,5430	2228,8	4745,3	53,190	11,50	16,37	304,5	0,105
0,8	2,7187	2084,4	4632,9	50,036	10,79	21,80	410,7	0,140
1,0	2,8944	1957,6	4533,9	47,256	10,16	27,23	519,3	0,175
T = 340 K, *P* = 1,0 МПа								
0,2	2,1041	1350,8	5110,2	60,537	13,83	5,483	49,61	0,035
0,4	2,1924	1296,3	5025,5	58,309	13,29	10,95	99,76	0,070
0,6	2,2807	1246,0	4947,3	56,242	12,79	16,41	150,5	0,105
0,8	2,3691	1199,4	4874,8	54,323	12,33	21,86	201,8	0,140
1,0	2,4574	1156,2	4807,5	52,536	11,90	27,29	253,7	0,175
T = 340 K, *P* = 2,0 МПа								
0,2	2,0604	693,49	5160,4	58,901	14,14	5,508	24,98	0,035
0,4	2,1050	678,76	5114,8	57,771	13,85	11,00	50,11	0,070
0,6	2,1496	664,63	5070,9	56,682	13,57	16,49	75,37	0,105

Продолжение таблицы А.3

φ	*M*	υ	*h*	*S*	c_p	$\overline{P_2}$	*d*	α
0,8	2,1942	651,07	5028,8	55,633	13,30	21,95	100,8	0,141
1,0	2,2388	638,05	4988,4	54,624	13,04	27,41	126,3	0,176
T = 340 K, *P* = 4,0 МПа								
0,2	2,0385	354,28	5195,2	56,633	14,32	5,557	12,72	0,035
0,4	2,0613	350,36	5170,9	56,073	14,16	11,10	25,48	0,071
0,6	2,0840	346,51	5147,2	55,523	14,01	16,63	38,28	0,106
0,8	2,1068	342,75	5123,9	54,982	13,87	22,15	51,11	0,142
1,0	2,1295	339,07	5101,1	54,452	13,72	27,65	63,98	0,177
T = 340 K, *P* = 6,0 МПа								
0,2	2,0313	239,60	5214,8	55,147	14,40	5,605	8,644	0,036
0,4	2,0467	237,78	5198,0	54,776	14,29	11,20	17,30	0,072
0,6	2,0622	235,98	5181,5	54,409	14,19	16,77	25,98	0,107
0,8	2,0776	234,22	5165,2	54,046	14,08	22,34	34,68	0,143
1,0	2,0931	232,47	5149,1	53,688	13,98	27,89	43,39	0,179
T = 340 K, *P* = 8,0 МПа								
0,2	2,0276	181,96	5230,8	54,048	14,45	5,652	6,606	0,036
0,4	2,0394	180,89	5217,8	53,771	14,37	11,29	13,22	0,072
0,6	2,0513	179,84	5204,9	53,496	14,29	16,91	19,85	0,108
0,8	2,0631	178,80	5192,2	53,223	14,21	22,52	26,48	0,144
1,0	2,0749	177,77	5179,6	52,951	14,13	28,12	33,13	0,180
T = 340 K, *P* = 10,0 МПа								
0,2	2,0254	147,27	5245,3	53,179	14,49	5,698	5,384	0,036
0,4	2,0351	146,57	5234,6	52,957	14,43	11,38	10,77	0,073
0,6	2,0447	145,87	5223,9	52,736	14,36	17,05	16,17	0,109
0,8	2,0543	145,18	5213,4	52,516	14,30	22,71	21,57	0,145
1,0	2,0640	144,49	5202,9	52,298	14,23	28,35	26,98	0,182
T = 360 K, *P* = 0,1 МПа								
0,2	4,0129	7460,1	4257,6	38,946	7,42	12,45	1275	0,075
0,4	6,0100	4976,7	3844,4	27,172	5,08	24,88	2973	0,150
0,6	8,0071	3730,1	3636,4	21,179	3,92	37,28	5350	0,226
0,8	10,0042	2979,5	3510,7	17,521	3,23	49,70	8912	0,302
1,0	12,0013	2477,5	3426,1	15,036	2,78	62,15	14839	0,378
T = 360 K, *P* = 0,5 МПа								
0,2	2,4188	2481,0	5076,3	56,378	12,10	12,54	230,9	0,076

Продолжение таблицы А.3

φ	*M*	υ	*h*	*S*	c_p	$\overline{P_2}$	*d*	α
0,4	2,8218	2126,1	4781,6	48,959	10,42	25,02	474,1	0,151
0,6	3,2249	1859,7	4560,1	43,357	9,17	37,47	730,6	0,227
0,8	3,6279	1652,3	4387,4	38,978	8,21	49,87	1001	0,303
1,0	4,0309	1486,3	4248,8	35,459	7,44	62,24	1288	0,379
T = 360 K, *P* = 1,0 МПа								
0,2	2,2184	1356,2	5265,0	58,438	13,16	12,57	114,6	0,076
0,4	2,4209	1242,5	5076,5	53,950	12,10	25,09	232,2	0,152
0,6	2,6235	1146,3	4916,7	50,132	11,20	37,56	352,8	0,228
0,8	2,8260	1063,8	4779,6	46,849	10,43	49,98	476,7	0,303
1,0	3,0286	992,33	4660,6	43,994	9,77	62,36	603,9	0,379
T = 360 K, *P* = 2,0 МПа								
0,2	2,1180	713,93	5377,3	58,236	13,79	12,62	57,47	0,076
0,4	2,2202	680,97	5268,2	55,792	13,17	25,19	115,7	0,152
0,6	2,3225	650,89	5168,6	53,551	12,61	37,70	174,6	0,228
0,8	2,4247	623,33	5077,2	51,490	12,10	50,17	234,4	0,305
1,0	2,5269	597,98	4993,0	49,591	11,63	62,59	294,9	0,381
T = 360 K, *P* = 4,0 МПа								
0,2	2,0678	369,44	5446,6	56,721	14,14	12,71	29,16	0,077
0,4	2,1199	360,33	5386,6	55,464	13,80	25,37	58,51	0,153
0,6	2,1719	351,65	5329,4	54,260	13,48	37,98	88,05	0,230
0,8	2,2239	343,38	5274,8	53,108	13,18	50,54	117,8	0,307
1,0	2,2760	335,47	5222,6	52,006	12,89	63,04	147,7	0,384
T = 360 K, *P* = 6,0 МПа								
0,2	2,0511	250,87	5478,7	55,487	14,28	12,80	19,76	0,077
0,4	2,0864	246,60	5436,7	54,644	14,04	25,56	39,61	0,154
0,6	2,1217	242,47	5396,1	53,825	13,82	38,25	59,54	0,232
0,8	2,1570	238,47	5356,7	53,030	13,60	5090	79,57	0,309
1,0	2,1923	234,60	5318,5	52,258	13,39	63,49	99,68	0,386
T = 360 K, *P* = 8,0 МПа								
0,2	2,0427	190,86	5501,2	54,514	14,36	12,89	15,07	0,078
0,4	2,0697	188,36	5468,6	53,880	14,18	25,73	30,19	0,156
0,6	2,0966	185,92	5436,7	53,259	14,00	38,52	45,36	0,233
0,8	2,1235	183,54	5405,6	52,652	13,83	51,25	60,58	0,311
1,0	2,1505	181,22	5375,2	52,058	13,66	63,92	75,86	0,389

Продолжение таблицы А.3

φ	*M*	υ	*h*	*S*	c_p	$\overline{P_2}$	*d*	α
T = 360 K, *P* = 10,0 МПа								
0,2	2,0377	154,62	5519,9	53,719	14,41	12,98	12,26	0,078
0,4	2,0596	152,96	5492,9	53,210	14,27	25,91	24,55	0,157
0,6	2,0815	151,34	5466,5	52,709	14,12	38,78	36,87	0,235
0,8	2,1034	149,74	5440,5	52,217	13,98	51,59	49,23	0,313
1,0	2,1254	148,18	5415,1	51,733	13,84	64,35	61,62	0,392
T = 380 K, *P* = 0,5 МПа								
0,2	2,8529	2219,7	4968,7	49,030	10,32	26,01	493,4	0,149
0,4	3,6900	1717,9	4525,6	38,823	8,08	51,88	1044	0,298
0,6	4,5271	1396,3	4245,2	32,333	6,68	77,63	1664	0,447
0,8	5,3642	1176,7	4051,4	27,834	5,72	103,3	2365	0,597
1,0	6,2013	1016,0	3909,0	24,525	5,04	128,9	3166	0,748
T = 380 K, *P* = 1,0 МПа								
0,2	2,4370	1302,6	5303,3	54,274	12,03	26,11	241,6	0,149
0,4	2,8582	1110,1	4965,9	46,926	10,32	52,06	496,7	0,299
0,6	3,2794	966,93	4714,4	41,427	9,06	77,86	766,4	0,449
0,8	3,7006	856,17	4519,5	37,157	8,09	103,5	1052	0,599
1,0	4,1219	767,91	4363,7	33,744	7,33	129,1	1355	0,749
T = 380 K, *P* = 2,0 МПа								
0,2	2,2284	715,88	5522,6	56,317	13,14	26,22	120,3	0,150
0,4	2,4409	653,33	5303,9	54,828	12,03	52,27	244,0	0,300
0,6	2,6535	600,74	5119,7	48,036	11,11	78,16	371,0	0,450
0,8	2,8661	555,91	4962,4	44,791	10,33	103,9	501,6	0,601
1,0	3,0786	517,22	4826,3	41,984	9,66	129,5	635,9	0,752
T = 380 K, *P* = 4,0 МПа								
0,2	2,1239	379,31	5657,8	56,144	13,79	26,40	60,77	0,151
0,4	2,2319	360,85	5529,3	53,646	13,14	52,62	122,4	0,302
0,6	2,3400	344,08	5412,5	51,391	12,56	78,67	184,8	0,453
0,8	2,4481	328,78	5305,7	49,328	12,03	104,5	248,2	0,605
1,0	2,5561	314,76	5207,6	47,433	11,55	130,3	312,4	0,756
T = 380 K, *P* = 6,0 МПа								
0,2	2,0890	259,64	5714,2	55,341	14,03	26,56	41,08	0,152
0,4	2,1622	250,79	5622,3	53,647	13,57	52,94	82,54	0,304
0,6	2,2354	242,51	5536,3	52,055	13,15	79,14	124,4	0,456

Продолжение таблицы А.3

φ	*M*	υ	*h*	*S*	c_p	$\overline{P_2}$	*d*	α
0,8	2,3086	234,76	5455,4	50,558	12,75	105,2	166,6	0,608
1,0	2,3818	227,47	5379,4	49,149	12,38	131,0	209,2	0,761
T = 380 K, *P* = 8,0 МПа								
0,2	2,0716	198,30	5749,6	54,601	14,17	26,72	31,26	0,153
0,4	2,1273	193,06	5677,4	53,313	13,81	53,25	62,75	0,306
0,6	2,1831	188,08	5608,6	52,082	13,47	79,60	94,45	0,459
0,8	2,2389	183,35	5543,2	50,909	13,15	105,8	126,4	0,612
1,0	2,2947	178,84	5480,8	49,789	12,85	131,8	158,5	0,765
T = 380 K, *P* = 10,0 МПа								
0,2	2,0611	160,99	5776,3	53,945	14,26	26,87	25,38	0,154
0,4	2,1064	157,50	5716,3	52,904	13,96	53,55	50,91	0,308
0,6	2,1517	154,15	5658,7	51,901	13,68	80,06	76,59	0,461
0,8	2,1971	150,93	5603,4	50,936	13,41	106,4	102,4	0,615
1,0	2,2424	147,84	5550,2	50,006	13,16	132,5	128,4	0,770
T = 400 K, *P* = 0,5 МПа								
0,2	3,6115	1844,6	4723,4	40,005	8,25	49,53	990,1	0,270
0,4	5,2073	1277,0	4200,4	28,870	5,86	98,71	2227	0,540
0,6	6,8030	974,56	3920,5	22,876	4,62	147,7	3816	0,813
0,8	8,3987	786,23	3745,1	19,107	3,87	196,6	5932	1,088
1,0	9,9945	657,30	3624,1	16,505	3,38	245,7	8890	1,368
T = 400 K, *P* = 1,0 МПа								
0,2	2,8220	1183,5	5200,1	48,011	10,46	49,91	474,2	0,272
0,4	3,6281	919,52	4714,7	38,246	8,24	99,39	1002	0,544
0,6	4,4343	751,12	4404,0	31,974	6,85	148,5	1591	0,818
0,8	5,2404	634,18	4187,4	27,596	5,90	197,4	2256	1,093
1,0	6,0466	548,13	4027,2	24,362	5,22	246,0	3010	1,369
T = 400 K, *P* = 2,0 МПа								
0,2	2,4232	692,52	5563,0	52,795	12,12	50,20	233,5	0,273
0,4	2,8307	592,41	5195,9	45,834	10,45	99,93	479,6	0,547
0,6	3,2381	517,36	4920,0	40,587	9,21	149,2	739,2	0,822
0,8	3,6456	458,97	4704,6	36,489	8,25	198,1	1014	1,097
1,0	4,0530	412,20	4531,5	33,199	7,50	246,7	1304	1,373
T = 400 K, *P* = 4,0 МПа								
0,2	2,2229	381,10	5803,6	54,520	13,20	50,54	117,2	0,175

Окончание таблицы А.3

φ	*M*	υ	*h*	*S*	c_p	$\overline{P_2}$	*d*	α
0,4	2,4300	348,44	5565,2	50,282	12,12	100,6	237,5	0,551
0,6	2,6371	320,87	5363,6	46,686	11,21	150,2	361,1	0,827
0,8	2,8442	297,27	5190,6	43,599	10,45	199,3	488,0	1,103
1,0	3,0513	276,84	5040,4	40,921	9,79	247,9	618,4	1,380
T = 400 K, *P* = 6,0 МПа								
0,2	2,1560	264,45	5902,2	54,486	13,62	50,83	78,99	0,277
0,4	2,2961	248,19	5725,2	51,464	12,82	101,1	159,4	0,544
0,6	2,4363	233,79	5567,9	48,774	12,11	151,0	241,2	0,831
0,8	2,5765	220,93	5427,3	46,365	11,49	200,3	324,6	1,109
1,0	2,7166	209,38	5300,6	44,196	10,94	249,1	409,4	1,387
T = 400 K, *P* = 8,0 МПа								
0,2	2,1225	203,36	5960,3	54,132	13,84	51,09	59,99	0,278
0,4	2,2292	193,55	5818,5	51,787	13,21	101,7	120,8	0,557
0,6	2,3358	184,62	5689,2	49,642	12,63	151,7	182,4	0,836
0,8	2,4425	176,46	5570,7	47,677	12,11	201,3	244,9	1,115
1,0	2,5492	168,98	5461,8	45,869	11,64	250,4	308,2	1,394
T = 400 K, *P* = 10,0 МПа								
0,2	2,1024	165,78	6001,3	53,713	13,99	51,35	48,62	0,280
0,4	2,1889	159,16	5882,3	51,795	13,46	102,2	97,78	0,560
0,6	2,2755	153,04	5771,9	50,012	12,97	152,5	147,5	0,840
0,8	2,3621	147,36	5669,3	48,353	12,52	202,3	197,7	1,120
1,0	2,4487	142,07	5573,6	46,805	12,11	251,5	248,5	1,401

Приложение Б
(обязательное)

Относительные погрешности стандартных справочных данных о равновесной концентрации водяного пара и термодинамических свойствах влажного водорода

Таблица Б.1 — Относительные погрешности стандартных справочных данных равновесной мольной концентрации паров, льда и воды в нормальном водороде

T, К	δ_x, % при *P*, МПа							
	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
200	0,01	0,07	0,14	0,28	0,54	0,78	—	—
220	0,01	0,05	0,10	0,19	0,37	0,54	0,69	0,84
240	0,01	0,03	0,07	0,13	0,26	0,38	0,49	0,59
260	0,01	0,02	0,05	0,10	0,19	0,27	0,35	0,43
280	0,01	0,02	0,04	0,07	0,14	0,21	0,28	0,34
300	0,01	0,02	0,03	0,06	0,12	0,18	0,25	0,31
320	0,01	0,01	0,03	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30
340	0,01	0,01	0,03	0,06	0,12	0,19	0,25	0,32
360	0,01	0,01	0,03	0,06	0,13	0,20	0,27	0,35
380	–	0,01	0,03	0,06	0,13	0,20	0,27	0,35
400	–	0,01	0,02	0,06	0,13	0,20	0,28	0,36

Таблица Б.2 — Относительные погрешности стандартных справочных данных об объеме влажного нормального водорода

T, К	δ_v, % при *P*, МПа							
	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
200	0,05	—	—	—	—	—	—	—
220	0,05	—	—	—	—	—	—	—
240	0,05	—	—	—	—	—	—	—
260	0,05	—	—	—	—	—	—	—
280	0,05	0,05	0,05	—	—	—	—	—
300	0,05	0,05	0,05	0,05	—	—	—	—
320	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
340	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
360	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
380	—	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
400	—	0,09	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Таблица Б.3 — Относительные погрешности стандартных справочных данных об энтальпии влажного нормального водорода

T, К	δ_h, % при *P*, МПа							
	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
200	0,02	—	—	—	—	—	—	—
220	0,02	—	—	—	—	—	—	—
240	0,02	—	—	—	—	—	—	—
260	0,02	—	—	—	—	—	—	—
280	0,02	0,02	0,02	—	—	—	—	—
300	0,02	0,01	0,01	0,02	—	—	—	—
320	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
340	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
360	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
380	—	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
400	—	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04

Таблица Б.4 — Относительные погрешности стандартных справочных данных об энтропии влажного нормального водорода

T, К	δ_s, % при *P*, МПа							
	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
200	0,04	—	—	—	—	—	—	—
220	0,04	—	—	—	—	—	—	—
240	0,04	—	—	—	—	—	—	—
260	0,04	—	—	—	—	—	—	—
280	0,04	0,04	0,04	—	—	—	—	—
300	0,04	0,04	0,04	0,04	—	—	—	—
320	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
340	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
360	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
380	—	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
400	—	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04

Таблица Б.5 — Относительные погрешности стандартных справочных данных об изобарной теплоемкости влажного нормального водорода

T, К	δ_{c_p}, % при *P*, МПа							
	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
200	0,5	—	—	—	—	—	—	—
220	0,5	—	—	—	—	—	—	—
240	0,5	—	—	—	—	—	—	—

Окончание таблицы Б.5

T, К	δ_{c_p}, % при P, МПа							
	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
260	0,5	—	—	—	—	—	—	—
280	0,5	0,5	0,5	—	—	—	—	—
300	0,5	0,5	0,5	0,5	—	—	—	—
320	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
340	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
360	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
380	—	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
400	—	0,9	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Таблица Б.6 — Относительные погрешности стандартных справочных данных о парциальном давлении водяного пара во влажном нормальном водороде

T, К	$\delta_{\overline{P}_2}$, % при P, МПа							
	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
200	0,05	—	—	—	—	—	—	—
220	0,05	—	—	—	—	—	—	—
240	0,05	—	—	—	—	—	—	—
260	0,05	—	—	—	—	—	—	—
280	0,05	0,05	0,06	—	—	—	—	—
300	0,05	0,05	0,06	0,08	—	—	—	—
320	0,05	0,05	0,06	0,08	0,13	0,19	0,25	0,31
340	0,04	0,05	0,06	0,08	0,13	0,19	0,25	0,32
360	0,06	0,05	0,05	0,08	0,13	0,20	0,26	0,33
380	—	0,05	0,05	0,08	0,14	0,20	0,27	0,34
400	—	0,08	0,06	0,07	0,13	0,20	0,28	0,35

Таблица Б.7 — Относительные погрешности стандартных справочных данных о массовом влагосодержании во влажном водороде

T, К	δ_d, % при P, МПа							
	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
200	0,01	—	—	—	—	—	—	—
220	0,01	—	—	—	—	—	—	—
240	0,01	—	—	—	—	—	—	—
260	0,01	—	—	—	—	—	—	—
280	0,01	0,02	0,04	—	—	—	—	—
300	0,01	0,02	0,03	0,06	—	—	—	—

Окончание таблицы Б.7

T, К	δ_d, % при *P*, МПа							
	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
320	0,01	0,01	0,03	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30
340	0,01	0,01	0,03	0,06	0,12	0,19	0,25	0,32
360	0,01	0,01	0,03	0,06	0,13	0,20	0,26	0,34
380	—	0,01	0,03	0,06	0,13	0,21	0,28	0,35
400	—	0,01	0,03	0,06	0,14	0,21	0,29	0,37

Таблица Б.8 — Относительные погрешности стандартных справочных данных об абсолютной влажности влажного нормального водорода

T, К	δ_α, % при *P*, МПа							
	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
200	0,05	—	—	—	—	—	—	—
220	0,05	—	—	—	—	—	—	—
240	0,05	—	—	—	—	—	—	—
260	0,05	—	—	—	—	—	—	—
280	0,05	0,05	0,06	—	—	—	—	—
300	0,05	0,05	0,06	0,08	—	—	—	—
320	0,05	0,05	0,06	0,08	0,13	0,19	0,25	0,31
340	0,04	0,05	0,06	0,08	0,13	0,19	0,26	0,32
360	0,06	0,05	0,05	0,08	0,14	0,20	0,27	0,34
380	—	0,05	0,05	0,08	0,14	0,21	0,28	0,35
400	—	0,09	0,06	0,07	0,14	0,21	0,28	0,36

Приложение В
(обязательное)

Отклонения расчетных значений равновесной мольной концентрации водяного пара во влажном водороде от экспериментальных. Доверительные интервалы расчетных значений и погрешности экспериментальных данных

Таблица В.1 — Отклонения $\delta_{\chi_p} = 100, \left(\chi_p^{рас} - \chi_p^{экс}\right)/\chi_p^{экс}$ 00, %, расчетных значений равновесной мольной концентрации водяного пара во влажном водороде от экспериментальных [5], [6], относительные погрешности $\chi_p^{экс}$ экспериментальных данных и доверительные интервалы $\chi_p^{рас}$ расчетных значений

P, МПа	δ_{χ_p}	$\chi_p^{экс}$	$\chi_p^{рас}$
t = –30 °С			
0,203	1,14	11,5	0,01
5,07	2,07	11,9	0,31
10,1	10,35	11,9	0,56
t = −20 °С			
0,203	–3,62	4,5	0,01
2,53	0,81	3,8	0,14
5,07	0,49	5,3	0,26
10,1	–0,571	5,6	0,48
t = −10 °С			
0,203	–1,13	4,4	0,01
2,53	–4,92	3,9	0,12
5,07	0,72	2,7	0,22
10,1	–0,20	5,8	0,41
t = −2 °С			
0,203	–1,99	3,1	0,01
2,53	–1,17	2,6	0,10
5,07	–0,03	4,0	0,20
10,1	1,92	3,5	0,38
t = −37,8 °С			
1,38	–0,77	—	0,04
3,10	–0,91	—	0,09
6,55	–6,61	—	0,20
10,34	–5,82	—	0,31
t = 50,0 °С			
10,13	–2,07	—	0,31

Окончание таблицы В.1

P, МПа	δ_{X_p}	$\chi_p^{экс}$	$\chi_p^{рас}$
t = 93,3 °С			
0,34	–4,30	—	0,01
1,38	0,47	—	0,04
3,10	0,79	—	0,10
6,55	–1,76	—	0,22
t = 148,9 °С			
3,10	0,24	—	0,09
6,55	1,31	—	0,22
10,34	–3,31	—	0,38

Библиография

[1] ГСССД МР 99—93 Расчет термодинамических свойств влажных газов в диапазоне температур от 200…400 К и давлений 0,1 до 10 МПа

[2] ГСССД 169—94 Таблицы стандартных справочных данных. Влажный водород. Термодинамические свойства в диапазоне температур 200…400 К, давлений 0,1…10 МПа и относительной влажности 0,2…1,0

УДК 536.71:533.275:006.354 ОКС 17.060

Ключевые слова: государственная система обеспечения единства измерений, влажный водород, термодинамические свойства в диапазоне температур от 200 до 400 К, давлений от 0,1 до 10 МПа и относительной влажности от 0,2 до 1,0

Редактор *М.В. Митрофанова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 06.02.2023. Подписано в печать 13.02.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,95.

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