ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО

СТАНДАРТИЗАЦИИ И МЕТРОЛОГИИ

(ГОССТАНДАРТ РОССИИ)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ

ДАННЫХ (ГСССД)

Разрешаю на депонирование
Директор ВНИЦСМВ
Госстандарта России
А.Д.Козлов
декабря 2000 г.

УДК 546.212:534.22 (08)

ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

А. А. Александров, В.А. Белогольский, В.И. Левцов,
Л.М. Саморукова, С.С. Секоян, С.Р. Стефанов

Вода. Скорость звука при температурах 0...100 °С и давлениях 0,101325...100 МПа

ГСССД 190 – 2000

Авторы: А.А. Александров
В.А. Белогольский
В.И. Левцов
Л.М. Саморукова
С.С. Секоян
С.Р. Стефанов

Москва – 2000

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНЫ ГП "ВНИИФТРИ" и Московский энергетический институт (технический университет)

АВТОРЫ : д – р техн. наук А.А. Александров, В.А. Белогольский, канд. техн. наук В.И. Левцов, Л.М. Саморукова, канд. техн. наук С.С. Секоян, канд. техн. наук С.Р. Стефанов

РЕКОМЕНДОВАНЫ К АТТЕСТАЦИИ Российским национальным комитетом Международной ассоциации по свойствам воды и водяного пара

ОДОБРЕНЫ экспертной комиссией в составе:

д – ра техн. наук В.В. Рощупкина, д – ра техн. наук Л.Р. Фокина, С.Н. Скородумова, канд. техн. наук П.В. Попова

УВЕРЖДЕНЫ Государственным комитетом Российской Федерации по стандартизации и метрологии "18" декабря 2000 г. (протокол № 16)

ДЕПОНИРОВАННАЯ РУКОПИСЬ

УДК 546.212 : 534.22 (08)

Таблицы стандартных справочных данных ГСССД 190 – 2000. Вода. Скорость звука при температурах 0...100 °С и давлениях 0,101325...100 МПа/Александров А.А., Белогольский В.А, Левцов В.И. и др. ; Всеросс. науч. – иссл. центр стандартизации, информации и сертификации сырья, материалов и веществ Госстандарта РФ. – 2000. 12 с. : Ил. : - Библиогр. – 17 назв. – Рус. – Деп. во ВНИЦСМВ 18.12.2000г, N782-00кк.

Таблицы содержат значения термодинамической скорости распространения звука в нормальной, деаэрированной воде при температурах от 0 до 100 °С и при давлениях от атмосферного до 100 МПа.

Авторы А.А. Александров
В.А. Белогольский
В.И. Левцов
Л.М. Саморукова
С.С. Секоян
С.Р. Стефанов

УДК 546.212:534.22(08)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

Таблицы стандартных справочных данных

ВОДА. СКОРОСТЬ ЗВУКА ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ от 0 до 100°С И ДАВЛЕНИЯХ от 0,101325 до 100 МПа	ГСССД 190 - 2000 Взамен ГСССД 117 –88
Tables of Standard Reference Data Ordinary water. Sound velocity in the temperature range 0 to 100 °C and the pressure range 0,101325 to 100 MPa	GSSSD 190 - 2000 Instead of GSSSD 117 –88

Аннотация

Настоящие таблицы стандартных справочных данных содержат значения термодинамической скорости распространения звука в нормальной, деаэрированной, дистиллированной (ГОСТ 6709 –72) воде при температурах от 0 до 100°С и при давлениях от атмосферного до 100 МПа.

Таблицы составлены на основе уравнения, полученного в результате статистической обработки массива имеющихся в литературе экспериментальных данных, основу которого составляют значения скорости звука, измеренные в ГП «ВНИИФТРИ» с помощью рабочего эталона нулевого разряда УВТ-90-А-96.

Погрешности табличных значений определены в соответствии с ГОСТ 8.381-80. Средняя квадратическая погрешность значений скорости звука при атмосферном давлении составляет 0,02 м/с, а величины средней квадратической погрешности значений скорости звука при повышенных давлениях, изменяющиеся в зависимости от температуры и давления от 0,03 до 0,25 м/с, представлены в отдельной таблице.

УДК 546.212:534.22(08)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

Таблицы стандартных справочных данных

ВОДА. СКОРОСТЬ ЗВУКА ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ от 0 до 100°С И ДАВЛЕНИЯХ от 0,101325 до 100 МПа	ГСССД 190 - 2000 Взамен ГСССД 117 –88
Tables of Standard Reference Data Ordinary water. Sound velocity in the temperature range 0 to 100 °C and the pressure range 0,101325 to 100 MPa	GSSSD 190 - 2000 Instead of GSSSD 117 –88

Применение стандартных справочных данных обязательно во всех отраслях народного хозяйства

Вводная часть

Настоящие таблицы стандартных справочных данных содержат значения термодинамической скорости распространения звука в нормальной, деаэрированной, дистиллированной (ГОСТ 6709 –72) воде при температурах от 0 до 100°С и при давлениях от атмосферного до 100 МПа

Уравнение, описывающее зависимость скорости распространения звука от температуры и давления принятое для построения этих таблиц в предыдущем издании [1], базировалось на совокупности высокоточных и хорошо согласующихся между собой экспериментальных данных для атмосферного давления [2 –6] и данных работ [6 –10] для высоких давлений, признанных наиболее надежными из экспериментальных исследований в этой области параметров, полный список которых приведен в [1]. Несколько позже в 1994 г. автор работы [10] указал на необходимость корректировки приведенных в ней значений и предложил поправочную формулу для диапазона температур от 0 до15°С и давлений до 100 МПа [11].

В последующие годы в ГП "ВНИИФТРИ" был разработан метод [12,13] и создан рабочий эталон нулевого разряда (УВТ –90 –А –96) для воспроизведения единицы скорости звука в дистиллированной воде в диапазоне температур 0 40°С и избыточных давлений 0 60 МПа. [14]. С помощью него были проведены систематические измерения скорости звука в дистиллированной воде во всей этой области параметров [15]. Полученные значения для атмосферного давления согласуются с величинами [1,2], а также с полученными несколько

позже данными [16], в пределах погрешности эталона. При повышенных давлениях отклонения табличных величин [1] в некоторых местах превышают эту погрешность.

Указанные обстоятельства и введение новой Международной температурной шкалы 1990 г. (МТШ-90) обусловили необходимость корректировки таблиц [1].

В дальнейшем использованы следующие условные обозначения:

w – скорость распространения звука в воде, м/с;

p – давление, МПа;

t – температура, °С (МТШ-90);

$\pi = p - 0{,}101325$;

$\tau = t / 100$;

Δw – абсолютная средняя квадратическая погрешность, м/с.

Методическая часть

При разработке настоящих таблиц сохранена структура уравнения, принятая в [1], и часть его, описывающая скорость звука при атмосферном давлении, оставлена такой же как и в [1] с коррекцией лишь на температурную шкалу МТШ-90. При получении уравнения для области высоких давлений в качестве исходных величин использованы новые данные, полученные в ГП «ВНИИФТРИ» для дистиллированной воды на рабочем эталоне нулевого разряда УВТ-90-А-96 [15], и данные работ [6, 8,11], относящиеся к температурам и давлениям более высоким, чем исследованы в [15]. После проверки согласованности исходных величин по изотермам и изобарам, им приданы статистические веса, соответствующие погрешностям их экспериментального измерения, и коэффициенты уравнения определены с помощью метода наименьших квадратов с учетом их значимости.

Основой оценки погрешности табличных значений скорости звука в воде при атмосферном давлении является средняя квадратическая погрешность, полученная обычным методом расчета погрешности линейной функции при статистической обработке исходных экспериментальных данных. Однако, имея в виду возможное влияние на скорость звука способов приготовления образцов воды, на что указывается, например, в [17], и отсутствие надежных данных для учета такого влияния, значение погрешности получено удвоением результата статистического расчета. Средние квадратические погрешности табличных

значений скорости звука в воде при повышенных давлениях получены на основе экспертной оценки и анализа их согласования с экспериментальными данными.

Основная часть.

При температурах от 0 до 100°С и при давлениях от давления насыщения и до 100 МПа скорость распространения звука в воде w описывается уравнением, полученным в результате обработки наиболее достоверных экспериментальных данных с учетом их статистических весов

$$w = \sum_{i=0}^{5} a_{i0}\tau^i + \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3} a_{ij}\tau^i\pi^j$$

где a_{ij} – коэффициент при члене уравнения, содержащем τ в степени i и π в степени j

Первая сумма в правой части этого уравнения передает значения скорости звука при нормальном (0,101325 МПа) атмосферном давлении и при проведении расчетов для этого давления вторая сумма может быть отброшена.

Коэффициенты a_{ij} в уравнении определялись методом наименьших квадратов при использовании указанных выше массивов исходных данных Значения их приведены в табл. 1.

Таблица 1. Числовые значения коэффициентов a_{ij}

i*	j* =0	j=1	j=2	j=3
0	1402,3874	149,94347	39,695230	-15,235495
1	503,83617	81,039755	-200,48177	66,311236
2	-581,17292	-111,69791	328,56051	-105,55834
3	334,63882	172,922898	-334,0451345	105,03105
4	-148,25967	-76,999585	137,256278	-45,780857
5	31,658502	-	-	-
* степень τ в уравнении ** степень π в уравнении				

В табл. 2 приведены рассчитанные по уравнению значения скорости распространения звука в воде при атмосферном давлении. При этом значение , указанное для температуры t =100°С, является экстраполированным значением для жидкой фазы, так как в шкале МТШ-90 температура насыщения воды при атмосферном давлении 0,101325 МПа равна 99,974°С и при температуре 100°С

вода находится в паровой фазе. Средняя квадратическая погрешность значений скорости звука, приведенных в табл. 2, равна 0,02 м/с.

Значения скорости звука в воде при повышенных давлениях , рассчитанные по уравнению, приведены в табл. 3. Средние квадратические погрешности этих значений указаны в табл. 4.

Список литературы

1 Вода. Скорость звука при температурах 0. . .100 °С и давлениях. 0.101325...100 МПа. ГСССД 117 –88. Изд –во стандартов. –1989. –19стр.

2. Del Grosso V, A.. Mader C. W. Speed of sound in pure water. J. Acoust. Soc. Amer. - 1972. - Vol. 52. - N 5. - P. 1442-1446.

3. Del Grosso V. A. Sound speed in pure water and sea water. J. Acoust. Soc, Amer. - 1970. - Vol. 47. - P. 947-949,

4. Barlow A. J. , Yazgan E, Phase -change method for measurements of ultrasonic wave velocity and determination of the speed of sound in water, Brit. J. Appl. Phys. - 1966. - Vol. 17. " P. 807-819.

5. Kroebel W., Mahrt K. H. Recent results of absolute sound velocity measurements in pure water and sea water at atmospheric pressure. Acoustica. - 1976. - Vol. 35. - P. 154-164.

6. Александров А. А., Ларкин. Д. К. Экспериментальное определение скорости ультразвука в воде в широком диапазоне температур и давлений. Теплоэнергетика.-1976. - N. 2. - С. 75-78.

7. Barlow A. J. , Yasgan E. Pressure dependence of the velocity of sound in water as a function of temperature. Brit. J. Appl. Phys. - 1967. - Vol. 18. - P. 645-651.

8. Александров А. А. , Кочетков А. И. Экспериментальное определение скорости ультразвука в воде при температурах 266-423 К и давлениях до 100 МПа. Теплоэнергетика. - 1979. - N. 9. - С. 65-66.

9. Wilson У. D. Speed of sound in distilled water as a function of temperature and pressure. J. Acoust. Soc. Amer, - 1959. - Vol. 51. - N. 8. - P. 1067-1072.

10. Chen-Tung Chen. Millero F. J, Reevaluation of Wilson's sound speed measurements for pure water. J. Acoust, Soc. Amer, - 1976, — Vol. 60. - N 6. - P. 1270-1273;

11. Millero F.J., Xu L. Comments on equations for the speed of sound in seawater. J. Acoust. Soc. Am. - 1994. - V. 95. - N 5. - Pt. 1. - P. 2757-2759.

12. Белогольский В,А., Саморукова Л. М. Анализ временной задержки импульсных преобразователей скорости звука. Метрологические проблемы гидрофизических и гидроакустических измерений. Сборник научных трудов. Москва. 1990 г.

13. Белогольский В, А., Оводов Г. И., Саморукова Л. М., Левцов В. И., Власов Ю.Н. Времяпролетный способ определения скорости звука в жидкой среде и устройство для его реализации. Заявка на патент РФ N 92-000526/28 1992 г. Изобретения. Официальный бюллетень комитета Российской федерации по патентам и товарным знакам,- 1996.~ N 35.

14. Белогольский В.А., Оводов Г,И.,, Саморукова Л. М, Лабораторный комплекс для измерений скорости звука в водных средах. Законодательная метрология. - 1995. - N 6. - С. 20-22.

15. Белогольский В.А., Секоян С.С., Саморукова Л М. , Стефанов С. Р., Певцов Б. И. Исследование зависимости скорости звука от давления в дистиллированной воде. Измерительная техника. – 1999. -№ 4. –С. 66 -69.

16. Fujii Ken-ichi, Masui R. Accurate measurements of the sound velocity in pure water by combining a coherent phase –detection technique and a variable path – length interferometer. J. Acoust. Soc. Amer. –1993. –Vol. 93. -№ 1. –P. 276 –282.

17. Juszkiowicz A.,Kopylowicz J., Kozlowski Z. Measurements of some anomalies in the propagation of ultrasonic waves in pure water. Proc. Congr. of Federation of Acoust. Soc. of Europe, FASE –78. –Warszawa, 1978. –Vol. 1. -p. 25 –

Таблица 2. Значения скорости звука при атмосферном давлении (0,101325 МПа) w,м/с

t°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1402,39	1407,37	1412,23	1416,99	1421,63	1426,17	1430,60	1434,92	1439,14	1443,26
10	1447,28	1451,20	1455,03	1458,76	1462,40	1465,94	1469,40	1472,77	1476,05	1479,25
20	1482,36	1485,39	1488,33	1491,20	1493,99	1496,70	1499,34	1501,90	1504,39	1506,80
30	1509,14	1511,42	1513,62	1515,76	1517,82	1519,83	1521,76	1523,64	1525,45	1527,19
40	1528,88	1530,51	1532,07	1533,58	1535,03	1536,42	1537,76	1539,04	1540,27	1541,44
50	1542,57	1543,63	1544,65	1545,61	1546,53	1547,39	1548,21	1548,98	1549,70	1550,37
60	1551,00	1551,58	1552,11	1552,60	1553,04	1553,44	1553,80	1554,11	1554,39	1554,61
70	1554,80	1554,95	1555,06	1555,12	1555,15	1555,13	1555,08	1554,99	1554,86	1554,69
80	1554,49	1554,25	1553,97	1553,65	1553,30	1552,91	1552,49	1552,04	1551,55	1551,02
90	1550,46	1549,87	1549,24	1548,59	1547,89	1547,17	1546,42	1545,63	1544,81	1543,97
100	1543,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 3. Значения скорости звука ,w,м/с при повышенных давлениях

t,°C	Давление p, МПа									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0	1409,83	1417,60	1425,56	1433,68	1441,95	1450,36	1458,90	1467,56	1476,33	1485,20
10	1455,03	1463,04	1471,15	1479,36	1487,65	1496,01	1504,45	1512,95	1521,51	1530,11
20	1490,36	1498,58	1506,84	1515,15	1523,48	1531,85	1540,25	1548,66	1557,10	1565,55
30	1517,39	1525,81	1534,23	1542,65	1551,07	1559,49	1567,91	1576,31	1584,71	1593,10
40	1537,37	1546,01	1554,61	1563,19	1571,74	1580,26	1588,75	1597,21	1605,64	1614,05
50	1551,32	1560,21	1569,03	1577,81	1586,53	1595,20	1603,82	1612,39	1620,91	1629,39
60	1560,05	1569,22	1578,31	1587,32	1596,26	1605,12	1613,92	1622,65	1631,32	1639,93
70	1564,19	1573,68	1583,06	1592,35	1601,55	1610,65	1619,67	1628,61	1637,47	1646,25
80	1564,24	1574,07	1583,78	1593,38	1602,87	1612,26	1621,54	1630,72	1639,80	1648,80
90	1560,58	1570,78	1580,84	1590,77	1600,58	1610,27	1619,85	1629,31	1638,66	1647,91
100	1553,56	1564,11	1574,52	1584,80	1594,95	1604,97	1614,86	1624,64	1634,29	1643,84

Продолжение табл. 3

t,°C	Давление p, МПа									
	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0	1494,15	1503,17	1512,25	1521,39	1530,56	1539,76	1548,98	1558,20	1567,41	1576,60
10	1538,76	1547,44	1556,14	1564,87	1573,61	1582,36	1591,10	1599,84	1608,56	1617,25
20	1574,01	1582,48	1590,96	1599,43	1607,89	1616,35	1624,79	1633,21	1641,61	1649,99
30	1601,48	1609,85	1618,20	1626,53	1634,84	1643,13	1651,40	1659,65	1667,87	1676,06
40	1622,42	1630,76	1639,08	1647,36	1655,62	1663,84	1672,04	1680,21	1688,34	1696,45
50	1637,83	1646,22	1654,57	1662,88	1671,14	1679,38	1687,57	1695,73	1703,86	1711,95
60	1648,48	1656,97	1665,41	1673,79	1682,13	1690,42	1698,67	1706,88	1715,05	1723,18
70	1654,96	1663,60	1672,17	1680,68	1689,13	1697,53	1705,87	1714,16	1722,41	1730,61
80	1657,71	1666,54	1675,29	1683,96	1692,56	1701,10	1709,57	1717,98	1726,34	1734,65
90	1657,06	1666,12	1675,08	1683,96	1692,75	1701,47	1710,11	1718,68	1727,18	1735,62
100	1653,27	1662,60	1671,83	1680,96	1689,99	1698,93	1707,79	1716,55	1725,24	1733,85

Таблица 4. Средняя квадратическая погрешность значений скорости звука в воде при повышенных давлениях

t,°C	Δw, м/с, при давлении p, МПа									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,15	0,17	0,20	0,24
10	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,13	0,15	0,18	0,22
20	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,12	0,14	0,17	0,20
30	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,11	0,13	0,16	0,18
40	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,12	0,14	0,17	0,20
50	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,10	0,14	0,16	0,18	0,21
60	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,15	0,17	0,19	0,22
70	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,15	0,17	0,19	0,22
80	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,15	0,17	0,19	0,22
90	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,17	0,19	0,21	0,24
100	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,19	0,21	0,23	0,25

gost.e-ecolog.ru