

# **ДИНАМИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ СОСТОЯНИЯ**

**Магомедов М. М-Ш.**

**ФГБУН Институт проблем геотермии ДНЦ РАН**

$$\eta(P, T, c) = \eta(P_s, T, c) \left[ \left( 1,700 \frac{\rho(P, T)}{\rho(P_s, T)} - 0,7000 \right) - 2,500 \times 10^{-8} P T c \right] + 1,600 \times 10^{-4} \frac{P T}{P_1 T_1}, \quad (1)$$

а для чистой воды  $c = 0$  формула примет вид

$$\eta(P, T) = \eta(P_s, T) \left( 1,700 \frac{\rho(P, T)}{\rho(P_s, T)} - 0,7000 \right) + 1,600 \times 10^{-4} \frac{P T}{P_1 T_1}, \quad (2)$$

где  $\eta(P, T, c)$  – коэффициент динамической вязкости раствора (мкПа · с) при давлении  $P$  (МПа), температуре  $T$  (К) и концентрации  $c$  (% масс.);  $\eta(P_s, T, c)$  – вязкость раствора вблизи линии насыщения при  $P_s$ ,  $T$  и  $c$ , здесь  $P_s$  – давление на линии насыщения, которое в зависимости от температуры (333 - 473 К) может быть таким  $0,1 \leq P_s \leq 2,0$  МПа.;  $\rho(P, T)$ ,  $\eta(P, T)$  – плотность и вязкость воды при  $P$  и  $T$ ;  $\rho(P_s, T)$ ,  $\eta(P_s, T)$  – плотность и вязкость воды вблизи линии насыщения при  $P_s$  и  $T$ ;  $P_1 = 1$  МПа;  $T_1 = 1$  К.

1. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. Рек. Государственной Службой стандартных справочных данных. ГСССД Р-776-98. М.: Издательство МЭИ. 1999. 168 с.
2. ВНИЦ МВ. Свойства материалов и веществ. Вода и водяной пар. Таблицы стандартных справочных данных. М.: Изд-во МЭИ. 1999. Вып. 1.
3. Скелетная таблица удельного объема и энтальпии воды и водяного пара. Справочный материал // Теплоэнергетика. 1987. № 3. С.71–77.

Рассчитанные по формуле (2) значения динамической вязкости воды, мкПа · с

$P$ , МПа	$T$ , К						
	333,15	348,15	373,15	398,15	423,15	448,15	473,15
$P_s$	465,0	377,9	281,8	221,0	182,5	156,1	134,3
20	473,1	384,7	287,5	226,6	187,6	161,0	139,4
40	480,1	391,4	293,2	231,0	192,3	165,9	144,3
60	487,7	397,4	298,4	235,9	196,8	170,4	148,9
80	495,3	403,8	303,5	240,5	201,2	174,9	153,3
100	501,0	409,6	308,6	245,1	205,5	178,9	157,5
120		415,6	313,2	249,4	209,6	183,1	161,5
140		421,2	318,1	253,5	213,5	186,9	165,4
160		426,5	322,7	257,5	217,4	190,7	169,2
180		431,7	326,9	261,7	221,3	194,4	172,7
200		437,0	331,2	265,3	224,8	197,9	176,4
220		442,0	335,5	269,3	228,4	201,6	180,0
240		447,2	339,8	273,0	231,9	205,0	183,4
260		452,1	343,8	276,7	235,5	208,3	186,6
280		456,6	347,8	280,1	238,9	211,6	189,9
300		461,5	351,8	283,6	242,2	214,8	193,0
320		466,4	355,8	287,4	245,4	217,9	196,1
340		470,9	359,3	290,7	248,4	221,1	199,1
360		475,3	363,0	293,8	251,8	224,4	202,3
380		479,8	366,8	297,1	254,9	227,2	205,1
400		484,1	370,5	300,4	258,0	230,5	208,2

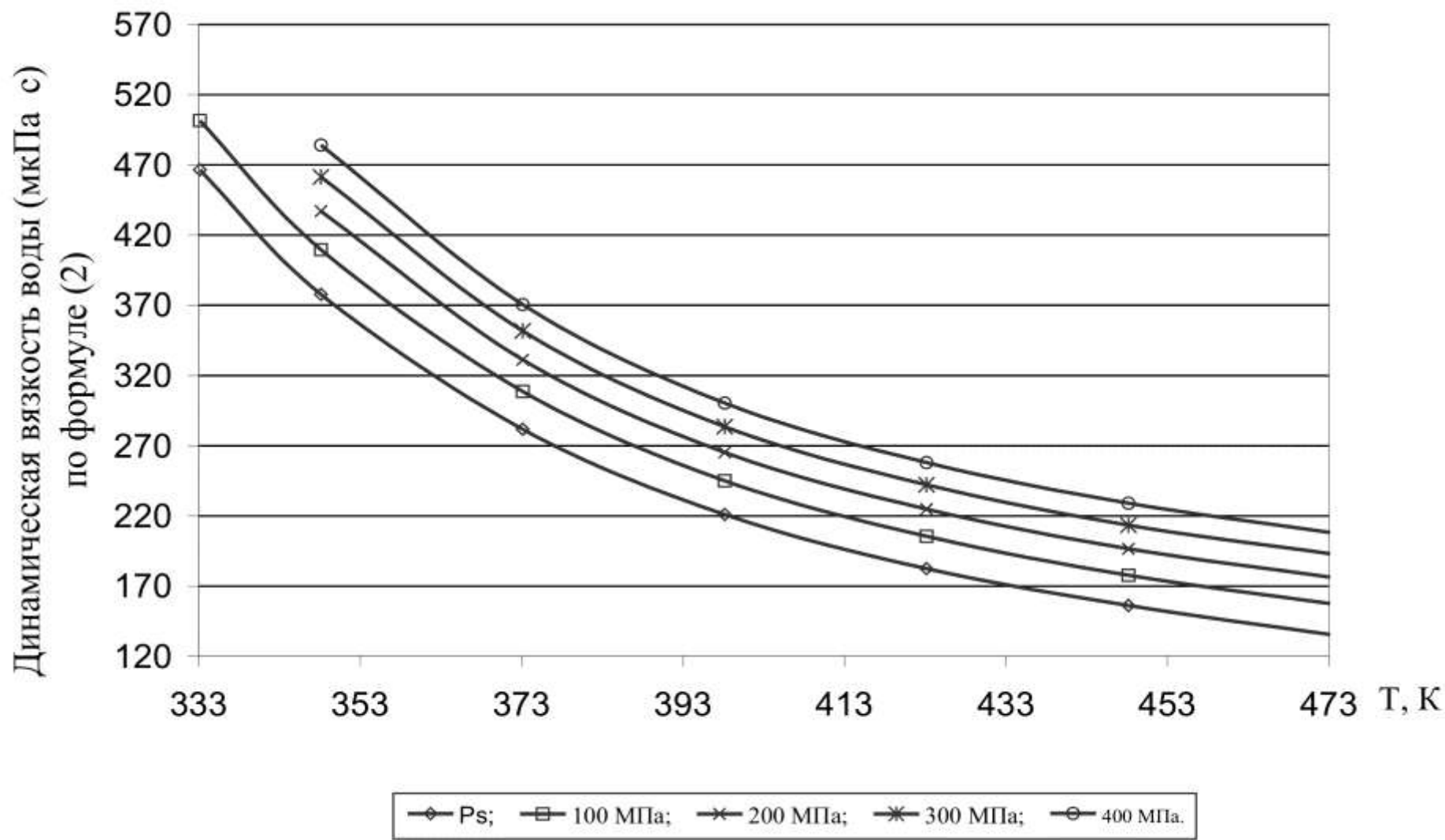


Рис. 1. Изобары вязкости воды при высоких параметрах состояния.

Рассчитанные по формуле (1) значения динамической вязкости системы  $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$ 

T, К	P, МПа					
	$P_s$	20	40	60	80	100
	c = 5 масс. %					
323	680,0	617,5	626,4	635,3	643,6	651,9
373	320,4	326,4	332,4	337,8	343,1	348,5
423	209,8	215,2	220,3	225,0	229,7	234,2
473	155,9	161,4	166,7	171,5	175,6	180,6
	c = 10 масс. %					
323	678,8	688,9	698,4	706,9	716,1	724,5
373	362,1	368,3	374,4	380,0	385,7	391,2
423	237,9	243,6	248,9	253,9	258,7	263,5
473	175,8	181,6	187,0	192,2	197,2	201,7
	c = 15 масс. %					
323	757,0	767,8	777,2	786,5	795,1	804,4
373	412,3	418,9	425,4	431,6	437,3	443,0
423	270,2	276,2	281,8	286,7	291,2	296,7
473	200,2	206,2	212,2	217,5	222,7	227,4
	c = 20 масс. %					
323	856,2	867,5	877,9	886,6	896,2	905,7
373	469,5	476,3	483,6	489,5	495,4	501,3
423	303,8	310,3	315,9	321,0	326,2	331,6
473	224,9	231,2	237,6	243,1	248,3	253,2

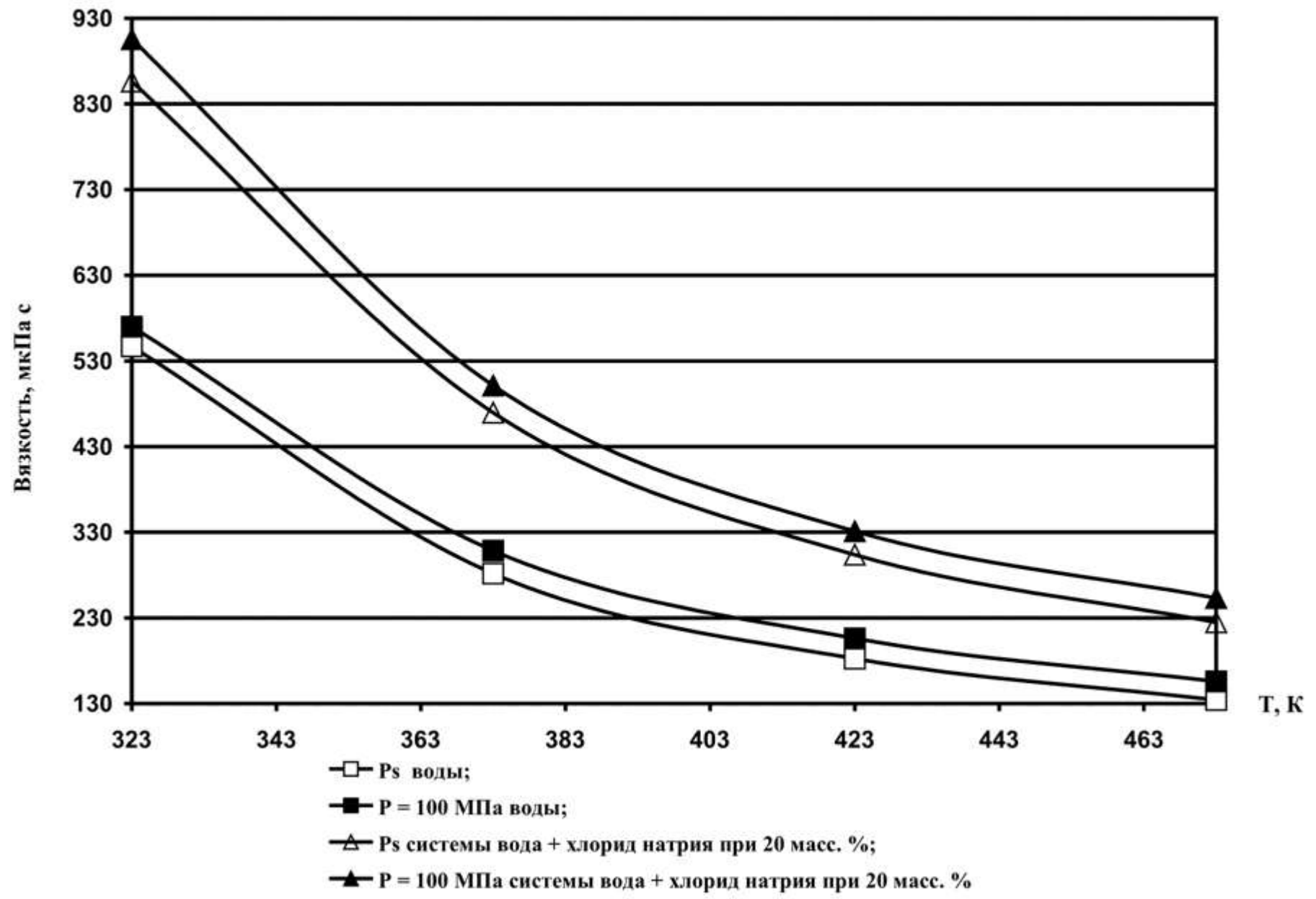


Рис. 2. Изобары вязкости воды и водного раствора хлорида натрия.

Расчитанные по формуле (1) значения динамической вязкости системы  $\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ .

$T, \text{K}$	$P, \text{MPa}$						$T, \text{K}$	$P, \text{MPa}$						
	$P_s$	20	40	60	80	100		$P_s$	20	40	60	80	100	
	$c = 1,5 \text{ масс. \%}$							$c = 15 \text{ масс. \%}$						
348,2	395,0	402,8	410,2	416,9	423,8	430,8	348,7	629,2	637,9	647,1	654,5	663,2	670,0	
373,8	292,0	297,9	303,7	308,7	314,0	319,3	372,8	466,7	474,0	481,2	487,0	494,4	500,7	
398,0	229,5	234,9	239,8	244,5	249,3	254,0	395,4	369,7	376,5	382,6	388,6	394,4	400,1	
422,6	190,4	195,6	200,6	204,9	209,5	213,7	421,3	296,5	302,9	309,0	314,2	319,7	324,9	
447,6	160,9	165,7	170,5	175,1	179,6	183,5	447,8	246,1	252,3	257,9	263,7	269,3	273,7	
470,7	140,9	145,6	149,7	155,8	160,4	164,6	473,9	210,1	216,3	222,6	228,0	233,4	238,3	
			$c = 5 \text{ масс. \%}$							$c = 20 \text{ масс. \%}$				
347,2	443,4	450,9	458,0	464,4	471,7	477,8	347,9	789,2	799,8	809,6	818,5	827,5	835,8	
372,0	329,0	335,1	341,3	346,7	352,2	357,7	374,5	565,3	573,3	581,8	588,7	595,5	602,4	
395,6	259,9	265,6	270,7	275,9	280,9	285,8	397,2	446,4	453,9	460,5	467,2	473,4	479,6	
424,7	205,4	210,7	215,7	220,4	225,6	229,4	472,3	256,9	263,9	270,9	277,1	282,8	288,1	
446,2	176,9	182,1	187,2	192,0	196,7	200,2				$c = 26 \text{ масс. \%}$				
470,2	153,9	159,3	164,6	170,9	174,0	178,4	348,6	1010,0	1022,0	1034,0	1044,0	1055,0	1064,0	
			$c = 10 \text{ масс. \%}$					375,2	725,8	735,4	745,3	753,4	761,1	769,5
348,4	523,2	531,1	539,1	546,4	553,8	560,2	399,4	564,4	573,6	581,6	588,0	595,5	602,4	
372,4	391,6	398,3	404,5	410,9	417,1	423,0	423,8	457,5	465,8	474,0	481,0	487,7	494,1	
398,7	302,4	308,5	314,0	319,5	324,7	330,0	447,6	385,7	393,8	401,7	408,1	415,7	421,1	
421,4	250,7	256,6	262,2	267,3	272,4	277,0	473,9	325,9	334,3	342,4	349,3	355,8	362,2	
447,2	209,5	215,2	220,8	225,7	230,9	235,3								
471,3	181,9	187,9	193,4	198,8	203,8	208,4								

Таблица 4.

Рассчитанные по формуле (1) значения динамической вязкости системы  $\text{H}_2\text{O} + \text{CaCl}_2$ .

T, К	P, МПа					
	$P_s$	10	30	60	80	100
	c = 9,72 масс. %					
348,74	521	525	533	544	551	558
399,44	313	316	322	331	336	341
424,74	259	262	268	276	281	286
446,48	225	228	234	242	247	252
470,94	196	199	205	214	219	224
	c = 18,17 масс. %					
349,02	722	727	736	750	758	766
372,09	559	564	571	582	589	596
397,74	441	445	453	462	468	474
427,76	361	365	373	382	388	393
448,94	307	312	319	327	333	339
474,06	268	272	279	288	294	300



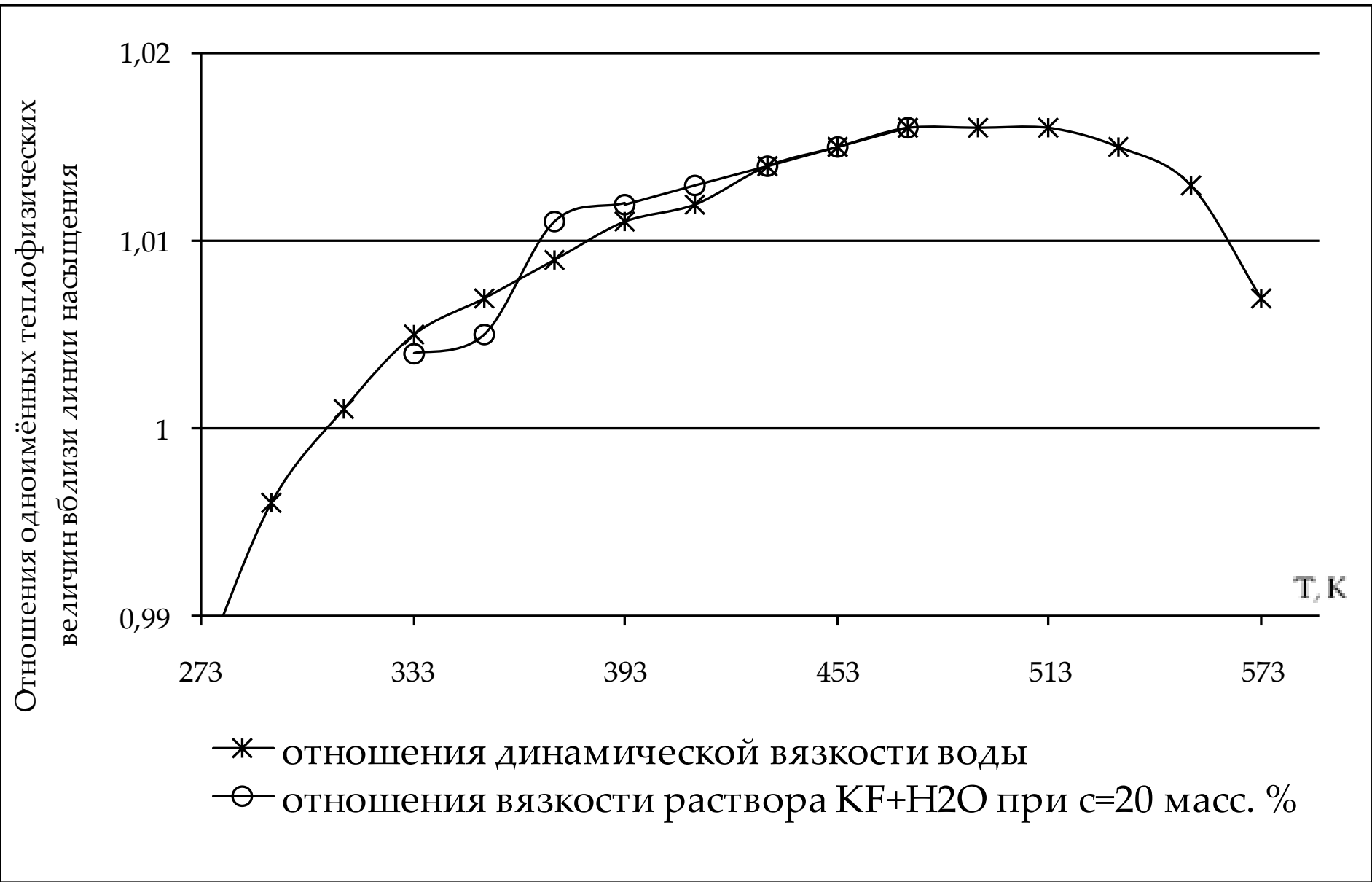
Таблица 5.

Рассчитанные по формуле (1) значения динамической вязкости системы  $\text{H}_2\text{O} + \text{LiCl}$

$T, \text{K}$	$P, \text{МПа}$					
	$P_s$	10	30	60	80	100
	$c = 5 \text{ масс. \%}$					
348,15	454	461	469	476	483	489
420,25	264	270	275	280	285	290
470,42	166	172	177	182	187	192
$c = 10 \text{ масс. \%}$						
399,72	326	333	339	344	350	355
452,54	226	232	238	244	249	254
$c = 20 \text{ масс. \%}$						
348,15	842	854	864	873	883	891
397,20	514	522	530	537	544	551
447,18	363	371	379	386	392	398
471,50	317	326	335	342	348	354

Анализ экспериментальных работ по динамической вязкости водных растворов солей при высоких давлениях, температурах и концентрациях показал, что имеются экспериментальные данные вблизи линии насыщения при давлениях 3, 5, 7, 10 МПа в интервалах температур 333–473 К, но нет расчётных данных вблизи линии насыщения. В таких случаях необходимо воспользоваться равенством одноименных отношений

$$\frac{\eta(P \leq 10, T)}{\eta(P_s, T)} = \frac{\eta(P \leq 10, T, c \leq 25)}{\eta(P_s, T, c \leq 25)} \quad (3)$$



**Рис. 3.** Отношения одноимённых теплофизических величин вязкости воды и водных растворов солей.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**