

Техническая литература.
Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976
О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

ГЛАВА 2

ЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ

Физические свойства

Этиленгликоль (гликоль, 1,2 – этандиол, 1,2 - диоксиэтан) $\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$ имеет молекулярную массу 62,07. При обычных условиях этиленгликоль является бесцветной прозрачной, довольно вязкой жидкостью без запаха со сладковатым вкусом. Основные физические характеристики этиленгликоля приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные физические характеристики этиленгликоля

Плотность (истинная), г/см ³		1,11336
Относительная плотность d_{20}^{20}		1,1155
Температура, °С	кипения при 101,3кПа(760мм.рт.ст)	197,6
	замерзания	- 13
Давление насыщенного пара при 20°С	Па	8,0
	мм рт. ст.	0,06
Коэффициент преломления n_D^{20}		1,4316
Молекулярная рефракция при 20°С		14,49
Поверхностное натяжение при 20°С, мН/м (дин/см)		48,4
Парахор	наблюдаемый	148,9
	рассчитанный	152,2
Удельная теплоёмкость при 20°С	Дж/(г·К)	2,35
	кал/(г· °С)	0,561
Теплопроводность при 20°С	Вт/(м·К)	0,29
	кал/(см·с· °С)	0,00069
Вязкость при 20°С, мПа·с (сПз)		20,93
Диэлектрическая проницаемость при 20°С		38,66
Электропроводность при 25°С, Ом ⁻¹ ·см ⁻¹		1,07·10 ⁻⁶
Дипольный момент при 30°С, D		2,20±0,02
Константа Верде, мин/(Гаусс·см)	при 25°С и 546,1нм(5461А)	0,01456
	при 25°С и 589,3нм(5893А)	0,01232

Скорость звука в этиленгликоле при 24°С равна 1721 м/с.

Критические параметры, являющиеся расчётными, так как этиленгликоль при температуре кипения даже при нормальном давлении частично разлагается, приведены ниже:

Критическая температура, °С.....374±5

Техническая литература.
Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976
О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

Критическое давление, мПа(кгс/см²).....7,72±0,42
(78,7±4,2)
Критическая плотность, г/см³.....0,333±0,001

Термодинамические свойства этиленгликоля (первые три значения для газа) при стандартных условиях характеризуются величинами, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Термодинамические свойства этиленгликоля

Энтропия, Дж/(моль·К)[ккал/(моль·К)]		323,77 (77.33)
Свободная энергия образования (стандартная), кДж/моль (ккал/моль)		-309,82 (-74,82)
Теплота, кДж/моль (ккал/моль)	образования(стандартная)	-397,75 (-95,1)
	сгорания (жидкости при 20)	1180,3 (281,9)
	плавления	11,64 (2,78)
	испарения (при 197,2 °С)	56,94 (13,6)

Теплота испарения этиленгликоля при разных температурах дана в таблице 3.

Таблица 3- Теплота испарения этиленгликоля

Теплота испарения	Температура, °С								
	40	60	80	100	120	140	160	180	198
кал/г	258	252	247	241	236	229	224	217	191
кДж/г	1,08	1,06	1,03	1,01	0,99	0,96	0,94	0,91	0,80

Другие виды теплоты при стандартных условиях (298,15К) имеют следующие значения:

		кДж/моль	ккал/моль
Теплота образования	жидкости	-455,96±0,84	-108,9±0,2
	газа	-388,13±1,68	-92,7±0,4
Теплота сгорания жидкости		1189,69±0,67	284,14±0,16

Плотность этиленгликоля и его водных растворов в широком диапазоне температур (от -45 до 200 °С) приведена в приложении в табл.4.

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

Таблица 4 – Плотность этиленгликоля и его водных растворов (в г/см³) при различных температурах

Темпе- ратура, °С	Концентрация этиленгликоля, %									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
-45	-	-	-	-	-	1,110	1,125	1,137	-	-
-40	-	-	-	-	-	1,108	1,122	1,134	-	-
-35	-	-	-	-	1,087	1,105	1,120	1,131	-	-
-30	-	-	-	-	1,086	1,103	1,118	1,129	-	-
-25	-	-	-	-	1,085	1,101	1,115	1,126	1,136	-
-20	-	-	-	1,067	1,083	1,098	1,112	1,123	1,133	-
-15	-	-	-	1,066	1,081	1,096	1,109	1,120	1,130	-
-10	-	-	1,048	1,064	1,079	1,094	1,107	1,117	1,127	1,134
-5	-	-	1,047	1,062	1,077	1,091	1,104	1,114	1,123	1,131
0	1,015	1,030	1,046	1,061	1,075	1,088	1,101	1,111	1,120	1,127
5	1,014	1,029	1,044	1,059	1,073	1,085	1,097	1,108	1,116	1,124
10	1,013	1,027	1,042	1,056	1,070	1,083	1,094	1,105	1,113	1,120
15	1,012	1,026	1,041	1,054	1,067	1,080	1,091	1,102	1,110	1,117
20	1,011	1,024	1,038	1,052	1,064	1,077	1,088	1,098	1,106	1,113
25	1,009	1,022	1,036	1,050	1,062	1,074	1,084	1,094	1,102	1,110
30	1,007	1,021	1,034	1,047	1,059	1,071	1,081	1,091	1,099	1,106
35	1,006	1,019	1,032	1,045	1,056	1,067	1,078	1,087	1,092	1,103
40	1,004	1,017	1,029	1,041	1,053	1,064	1,074	1,084	1,092	1,099
45	1,002	1,014	1,026	1,038	1,049	1,060	1,071	1,081	1,089	1,096
50	0,999	1,012	1,023	1,035	1,046	1,057	1,067	1,077	1,085	1,093
55	0,996	1,009	1,021	1,032	1,043	1,054	1,064	1,073	1,082	1,089
60	0,994	1,006	1,018	1,029	1,040	1,051	1,060	1,069	1,078	1,085
65	0,991	1,003	1,014	1,026	1,037	1,047	1,057	1,065	1,074	1,081
70	0,988	1,000	1,011	1,023	1,033	1,044	1,053	1,062	1,070	1,078
75	0,986	0,997	1,008	1,019	1,029	1,040	1,050	1,058	1,066	1,074
80	0,983	0,994	1,005	1,016	1,026	1,036	1,046	1,054	1,063	1,070
85	0,979	0,990	1,001	1,012	1,022	1,032	1,042	1,050	1,059	1,066
90	0,976	0,987	0,997	1,008	1,018	1,028	1,038	1,046	1,055	1,063
95	0,973	0,983	0,993	1,004	1,014	1,024	1,034	1,043	1,051	1,059
100	0,969	0,980	0,990	1,000	1,010	1,020	1,030	1,039	1,047	1,055
110	0,961	0,972	0,982	0,992	1,003	1,012	1,022	1,030	1,039	1,047
120	0,953	0,964	0,974	0,984	0,994	1,004	1,013	1,022	1,031	1,039
130	0,945	0,955	0,965	0,975	0,985	0,995	1,005	1,013	1,024	1,031
140	0,937	0,947	0,956	0,966	0,976	0,986	0,996	1,005	1,014	1,022
150	0,927	0,937	0,947	0,957	0,967	0,977	0,987	0,996	1,005	1,014
160	0,917	0,928	0,938	0,948	0,958	0,968	0,977	0,987	0,996	1,005
170	0,907	0,918	0,928	0,938	0,948	0,957	0,968	0,978	0,987	0,995

Примечание. Плотность этиленгликоля при 180, 185, 190, 195 и 200 °С составляет соответственно 0,986, 0,982, 0,977, 0,972 и 0,967 г/см³

Температурный коэффициент относительной плотности этиленгликоля $\Delta d/\Delta t$ в интервале температур 0 – 40 °С составляет 0,0007 на 1 °С.

Плотность водных растворов этиленгликоля не является строго аддитивной функцией состава раствора, так как при его смешении с водой происходит уменьшение объёма смеси. Максимальное уменьшение (сжатие) около 1,3% получается при смешении равных объёмов жидкостей. Для различных соотношений воды и гликоля уменьшение объёма показано на рис.1.

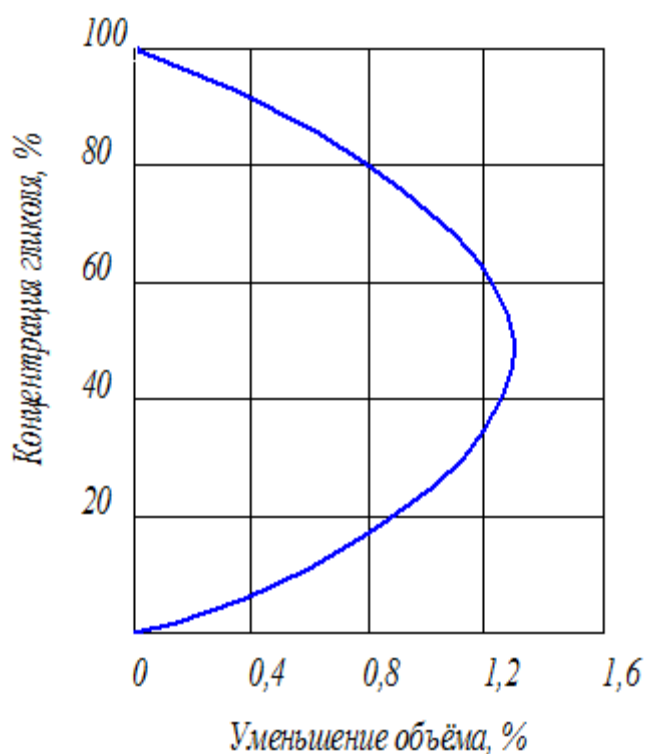


Рис. 1. Уменьшение объёма смешения этиленгликоля с водой при 20 °С

По относительной плотности d_{20}^{20} водного раствора этиленгликоля с достаточной точностью можно определять его концентрацию (табл.5).

Таблица 5 – Относительная плотность водных растворов этиленгликоля

d_{20}^{20}	Концентрация гликоля, %	d_{20}^{20}	Концентрация гликоля, %	d_{20}^{20}	Концентрация гликоля, %
1,001	0,80	1,040	29,88	1,079	60,07
1,002	1,59	1,041	30,60	1,080	60,93
1,003	2,38	1,042	31,33	1,081	61,80
1,004	3,17	1,043	32,07	1,082	62,27
1,005	3,95	1,044	32,80	1,083	63,56

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

1,006	4,73	1,045	33,53	1,084	64,45
1,007	5,51	1,046	34,27	1,085	65,35
1,008	6,29	1,047	35,01	1,086	66,26
1,009	7,07	1,048	35,75	1,087	67,19
1,010	7,85	1,049	36,49	1,088	68,13
1,011	8,62	1,050	37,24	1,089	69,08
1,012	9,39	1,051	37,98	1,090	70,03
1,013	10,15	1,052	38,73	1,091	70,98
1,014	10,91	1,053	39,47	1,092	71,95
1,015	11,65	1,054	40,23	1,093	72,93
1,016	12,40	1,055	40,98	1,094	73,92
1,017	13,15	1,056	41,73	1,095	74,92
1,018	13,90	1,057	42,48	1,096	75,93
1,019	14,63	1,058	43,23	1,097	76,95
1,020	15,36	1,059	43,98	1,098	77,99
1,021	16,09	1,060	44,74	1,099	79,05
1,022	16,81	1,061	45,52	1,100	80,12
1,023	17,54	1,062	46,28	1,101	81,23
1,024	18,26	1,063	47,05	1,102	82,38
1,025	18,99	1,064	47,82	1,103	83,55
1,026	19,72	1,065	48,59	1,104	84,73
1,027	20,44	1,066	49,38	1,105	85,90
1,028	21,18	1,067	50,18	1,106	87,10
1,029	21,92	1,068	50,98	1,107	88,33
1,030	22,65	1,069	51,78	1,108	89,59
1,031	23,39	1,070	52,60	1,109	90,90
1,032	24,12	1,071	53,43	1,110	92,24
1,033	24,85	1,072	54,25	1,111	93,62
1,034	25,58	1,073	55,08	1,112	95,01
1,035	26,30	1,074	55,90	1,113	96,43
1,036	27,02	1,075	56,72	1,114	97,88
1,037	27,74	1,076	57,54	1,115	99,34
1,038	28,46	1,077	58,37		
1,039	29,17	1,078	59,21		

Относительная плотность d_{20}^{20} растворов этиленгликоля и диэтиленгликоля (ДЭГ) приведена в табл.6.

Таблица 6 – Относительная плотность растворов этиленгликоля и диэтиленгликоля

d_{20}^{20}	Концентрация ДЭГ, %	d_{20}^{20}	Концентрация ДЭГ, %	d_{20}^{20}	Концентрация ДЭГ, %
1,1155	0,96	1,1165	19,5	1,1175	42,4

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

1,1156	2,8	1,1166	21,5	1,1176	45,2
1,1157	4,7	1,1167	23,5	1,1177	48,2
1,1158	6,5	1,1168	25,6	1,1178	51,5
1,1159	8,3	1,1169	27,8	1,1179	55,0
1,1160	10,1	1,1170	30,0	1,1180	59,1
1,1161	11,9	1,1171	32,3	1,1181	64,1
1,1162	13,8	1,1172	34,6	1,1182	70,2
1,1163	15,7	1,1173	37,1	1,1183	78,3
1,1164	17,6	1,1174	39,7	1,11835	84,5

Относительная плотность растворов, в которых концентрация диэтиленгликоля 85% и выше, является постоянной, равной 1,11836.

Плотность растворов этиленгликоля и пропиленгликоля является линейной функцией их состава и может быть найдена по уравнению:

$$\rho = 1.0400 + 0,00078X$$

где ρ – плотность при 15 °С, X – концентрация этиленгликоля, %.

Зависимость **температуры кипения** водных растворов этиленгликоля от их концентрации при атмосферном давлении приведена в табл.7.

Таблица 7 – Зависимость температуры кипения водных растворов этиленгликоля от концентрации при атмосферном давлении

Концентрация этиленгликоля, %	Температура кипения, °С	Концентрация этиленгликоля, %	Температура кипения, °С	Концентрация этиленгликоля, %	Температура кипения, °С
10	101,1	60	110,0	92	142,8
20	102,2	65	112,3	93	145,6
25	102,8	70	114,4	94	149,4
30	103,3	75	117,7	95	153,9
35	103,9	80	122,2	96	159,4
40	105,0	85	127,8	97	165,6
45	106,1	88	132,8	98	173,9
50	107,2	90	137,2	99	183,9
55	108,3	91	140,0	100	197,8

Температура замерзания. Водные растворы этиленгликоля с концентрацией 30% и выше замерзают при значительно более низкой температуре, чем чистый этиленгликоль. Это свойство водноэтиленгликолевых растворов позволило получить на их основе низкотемпературные жидкости (антифризы) и определило тем самым наиболее широкую область их применения. Следует отметить, что такими же свойствами обладают водные растворы и других гликолей, однако при равной

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

концентрации растворы, содержащие этиленгликоль, имеют температуру замерзания ниже, чем растворы других гликолей.

Зависимость температуры замерзания (начала кристаллизации) от концентрации в области от 2 до 58% и от 80 до 98% приведена в таблице 8.

Данные других источников отличаются от значений, приведенных в таблице.

Таблица 8 – Зависимость температуры замерзания водных растворов этиленгликоля от его концентрации

Концентрация гликоля, %	Температура замерзания, °С	Концентрация гликоля, %	Температура замерзания, °С	Концентрация гликоля, %	Температура замерзания, °С
2	-0,6	28	-13	54	-41
4	-1,3	30	-15	56	-44
6	-2,0	32	-17	58	-48
8	-2,7	34	-18	80	-47
10	-3,5	36	-20	82	-43
12	-4,4	38	-22	84	-40
14	-5,3	40	-24	86	-36
16	-6,3	42	-26	88	-33
18	-7,3	44	-28	90	-29
20	-8	46	-31	92	-26
22	-9	48	-33	94	-23
24	-11	50	-36	96	-19
26	-12	52	-38	98	-16

На рис.2 показана диаграмма температуры замерзания водных растворов этиленгликоля.

Техническая литература.
Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976
О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

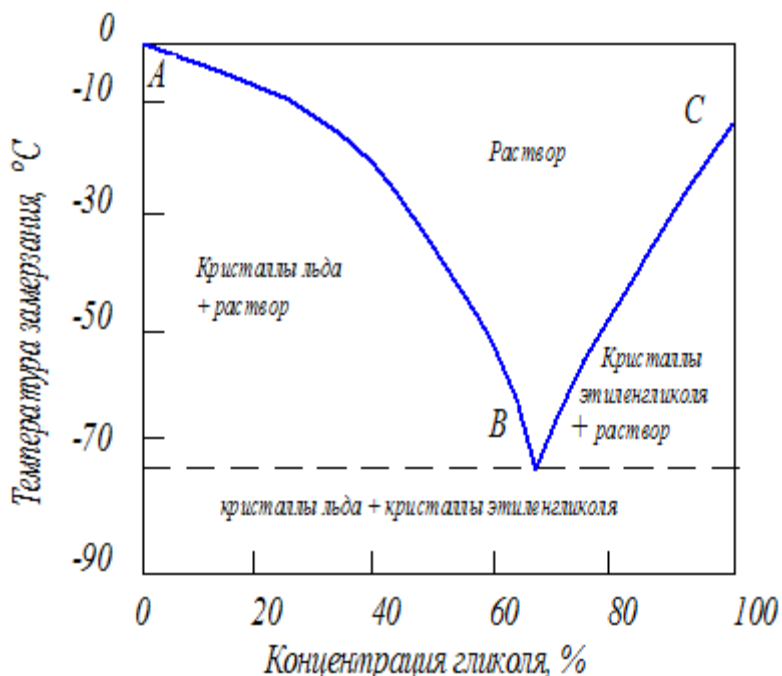


Рис. 2. Диаграмма температур замерзания водных растворов этиленгликоля.

При замерзании водных растворов этиленгликоля образуется рыхлая кашицеобразная масса, объём которой больше первоначального только на 0,25 – 0,30%. Точка В, отвечающая составу 33,3% воды и 66,7% этиленгликоля и температуре замерзания -75°C , близка к составу гидрата $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. При охлаждении раствора с содержанием воды больше 33,3% (кривая АВ) до температуры замерзания выпадают кристаллы льда в виде мягкой взвешенной шуги, а этиленгликоль остаётся в жидком состоянии. При охлаждении концентрированных растворов этиленгликоля (содержание воды менее 33,3%), при температуре замерзания выпадают кристаллы этиленгликоля, а вода остаётся в жидком состоянии. В точке В одновременно кристаллизуются этиленгликоль и вода.

Температуры замерзания смесей этиленгликоля с диэтиленгликолем (ДЭГ) приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Температуры замерзания смесей этиленгликоля с диэтиленгликолем

Концентрация ДЭГ, %	Температура замерзания, $^{\circ}\text{C}$	Концентрация ДЭГ, %	Температура замерзания, $^{\circ}\text{C}$	Концентрация ДЭГ, %	Температура замерзания, $^{\circ}\text{C}$	Концентрация ДЭГ, %	Температура замерзания, $^{\circ}\text{C}$

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

5	-14,5	30	-27,2	55	-39,0	80	-23,3
10	-16,5	35	-30,6	60	-36,4	85	-19,5
15	-18,8	40	-34,1	65	-33,4	9	-15,7
20	-21,3	45	-38,0	70	-30,2	95	-12,0
25	-24,1	50	-	75	-26,8	100	-8,3

Найдено, что замена этиленгликоля равным количеством ди- или триэтиленгликоля приводит к повышению температуры замерзания раствора. Для смеси вода – этиленгликоль – диэтиленгликоль, содержащей постоянное количество воды (40%), температура замерзания составляет:

Этиленгликоль, %	60	54	48	36	24	11	-
Диэтиленгликоль, %	-	6	12	24	36	49	60
Температура замерзания, °С	-53	-51,1	-48,3	-47,3	-44,0	-42,1	-41,4

Температура стеклования чистого этиленгликоля найдена равной 118°С, а для 62,5% - ного водного раствора – минус 131°С.

Зависимость **давления насыщенного пара** этиленгликоля от температуры приведена в табл. 10, **а зависимость давления насыщенных паров водных растворов этиленгликоля дана в табл.11.**

Таблица 10 – Зависимость давления насыщенного пара этиленгликоля от температуры

Температура, °С	Давление, мм.рт.ст.	Температура, °С	Давление, мм.рт.ст.	Температура, °С	Давление, мм.рт.ст.	Температура, °С	Давление, мм.рт.ст.
50	0,7	90	9,2	130	68	170	312
55	0,9	95	12	135	83	175	373
60	1,3	100	16	140	103	180	435
65	1,9	105	21	145	125	185	520
70	2,6	110	27	150	153	190	605
75	3,7	115	33	155	183	195	710
80	5,0	120	43	160	219	197,6	760
85	6,7	125	54	165	263	200	820

Таблица 11 – Давление насыщенных паров водных растворов этиленгликоля (в мм.рт.ст. *)

Температура, °С	Концентрация этиленгликоля, %						
	20	40	60	70	80	90	95
60	139	125	105	-	-	-	-

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымонт, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

71	229	206	172	147	115	70	40
82	363	326	272	234	183	112	65
88	451	406	339	291	228	140	81
99	682	614	513	442	346	213	125
110	1004	905	757	652	512	317	188
121	1441	1300	1088	938	738	460	275
132	2023	1826	1531	1321	1042	653	395
138	2378	2147	1801	1555	1228	772	470
149	3240	2927	2458	2125	1682	1065	656
160	4337	3920	3297	2853	2264	1443	899
166	4986	4508	3794	3286	2611	1670	1046
171	5711	5165	4350	3770	2999	1925	1213
177	6517	5896	4969	4309	3432	2211	1401

*1 мм. рт. ст.=133,32 Па

Давление насыщенного пара этиленгликоля (p , мм.рт.ст) при разных температурах (T, K) можно вычислить по следующим уравнениям:

$$\text{в интервале } 25 - 90^{\circ}\text{C} \quad \lg p = 8,863 - \frac{2694,7}{T}$$

$$\text{в интервале } 90 - 130^{\circ}\text{C} \quad \lg p = 9,7423 - \frac{3193,6}{T}$$

$$\text{в интервале } 130 - 197^{\circ}\text{C} \quad \lg p = 9,2477 - \frac{2994,4}{T}$$

В пределах давлений 98,7 – 101,3 кПа (от 740 до 760 мм. рт. ст.) при изменении давления на 133,32 Па (1 мм. рт. ст) температура кипения этиленгликоля изменяется на 0,043 °C.

Давление насыщенных паров водных растворов этиленгликоля (p) можно рассчитать по уравнению идеальной смеси:

$$p = X_1 p_1 + X_2 p_2$$

где X_1, X_2 – мольные доли воды и этиленгликоля; p_1, p_2 – давление паров воды и этиленгликоля.

Коэффициент преломления смесей этиленгликоля с водой, диэтиленгликолем, а также с пропиленгликолем является линейной функцией их состава. Так как между коэффициентом преломления этиленгликоля ($n_D^{20}=1,4316$), воды ($n_D^{20}=1,3330$) и диэтиленгликоля ($n_D^{20}=1,4472$) разница весьма велика, то по коэффициенту преломления бинарных смесей этиленгликоль – вода и этиленгликоль – диэтиленгликоль можно легко и

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

быстро определить их состав. Если на одной из осей ординат отложить коэффициент преломления воды, на другой – коэффициент преломления этиленгликоля, а на оси абсцисс – состав бинарной смеси вода – этиленгликоль (в %), то перпендикуляр, опущенный с прямой, соединяющей коэффициенты преломления обоих веществ, на ось абсцисс, покажет состав смеси, который соответствует найденному коэффициенту преломления.

Температурный коэффициент показателя преломления этиленгликоля $\Delta n_D / \Delta t$ в интервале температур 20 – 40°C составляет 0,00026 на 1°C.

Поверхностное натяжение этиленгликоля (σ , мН/м) при разных температурах t может быть вычислено из уравнения

$$\sigma = 50,21 - 0,089t,$$

которое составлено по экспериментальным данным, полученным в интервале 30 – 160°C. Зависимость поверхностного натяжения этиленгликоля от температуры показана на рис.3, а, а зависимость поверхностного натяжения водных растворов этиленгликоля при 25°C от концентрации приведена на рис. 3, б.

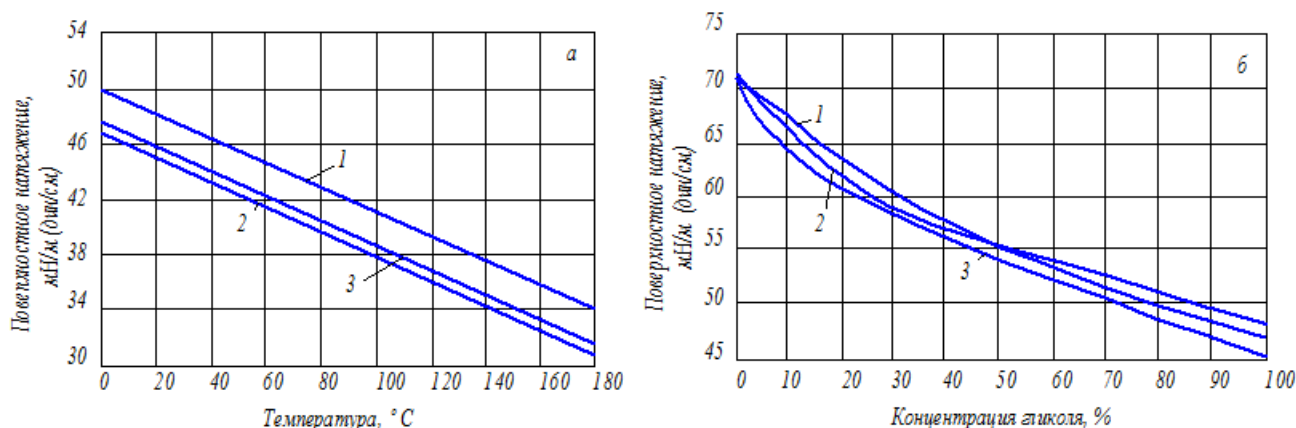


Рис.3. Зависимость поверхностного натяжения этиленгликолей от температуры (а) и водных растворов этиленгликолей при 25°C от концентрации (б):

1 – этиленгликоль; 2 – диэтиленгликоль; 3 – триэтиленгликоль

Теплоёмкость этиленгликоля в зависимости от температуры приведена в таблице 12.

Таблица 12 – Зависимость удельной теплоёмкости этиленгликоля и его водных растворов от температуры

Температура,	Теплоёмкость при различной концентрации этиленгликоля, кал/(г·°C)
--------------	---

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

°C	20%	40%	60%	80%	100%
20	0,930	0,840	0,740	0,649	0,561
30	0,934	0,850	0,755	0,662	0,573
40	0,939	0,860	0,769	0,675	0,584
50	0,943	0,869	0,782	0,687	0,595
60	0,947	0,877	0,794	0,700	0,606
70	0,951	0,885	0,804	0,712	0,618
80	0,955	0,892	0,814	0,724	0,629
90	0,959	0,900	0,823	0,735	0,640
10	0,964	0,906	0,832	0,746	0,651
110	0,969	0,913	0,841	0,756	0,673
120	0,975	0,921	0,850	0,767	0,673
130	0,981	0,929	0,860	0,778	0,685
140	0,988	0,936	0,870	0,788	0,696
150	0,995	0,944	0,879	0,799	0,707
160	1,003	0,953	0,889	0,810	0,718
170	1,012	0,963	0,899	0,821	0,730
180	1,020	0,971	0,909	0,831	0,740
1 кал/(г·°C) $\approx$ 4,19 Дж/(г·K)					

Теплоёмкость этиленгликоля [C , кал/(г·°C)] может быть вычислена из уравнения

$$C = 0,538 + 0,00113t$$

где t – температура, °C.

Номограммы для определения теплоёмкости и теплопроводности водных растворов этиленгликоля при различных температурах приведены в Приложении, стр.366[15].

Теплоёмкость паров этиленгликоля в температурном интервале 0 – 500°C показана на рис.4.

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

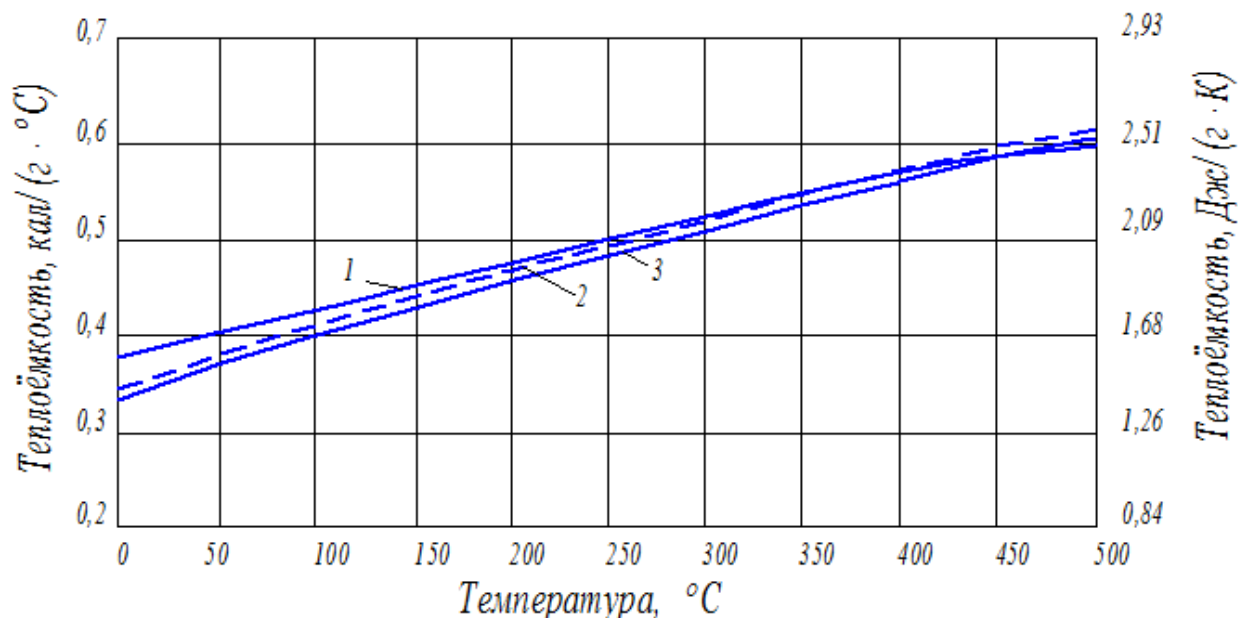


Рис. 4. Теплоёмкость паров этиленгликолей:

1 — этиленгликоль; 2 — диэтиленгликоль; 3 — триэтиленгликоль

Молярная теплоёмкость паров этиленгликоля (состояние идеального газа) в интервале от 298 до 1000K составляет:

Температура, K	298	300	400	500	600	700	800	900	1000
Ср, кал/(моль×K)	23,20	23,28	27,06	30,10	32,72	35,00	36,90	38,00	39,88
1 кал/(моль×K) = 4,19 Дж/(моль×K)									

Теплоёмкость водного раствора этиленгликоля с концентрацией 62,5%, т.е. близкой к применяемой в антифризах, в интервале температур от -188 до +20°C приведена ниже:

Твёрдый		Жидкий		Переохлажденный	
Температура, °C	C, кал/(г·°C)	Температура, °C	C, кал/(г·°C)	Температура, °C	C, кал/(г·°C)
-180	0,185	-35	0,635	-170	0,195
-140	0,230	-25	0,650	-150	0,222
-100	0,280	-15	0,675	-120	0,472
-60	0,350	-5	0,700	-100	0,470
		5	0,715		
		15	0,735		
		20	0,740		

Теплопроводность водных растворов этиленгликоля при разных температурах приведена в таблице 13.

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

Таблица 13 – Зависимость теплопроводности этиленгликоля и его водных растворов от температуры

Температура, °C	Теплопроводность при различной концентрации этиленгликоля, кал/(см·с·°C)				
	20%	40%	60%	80%	100%
10	0,00121	0,00106	0,00093	0,00081	0,00071
25	0,00124	0,00107	0,00093	0,00079	0,00068
40	0,00127	0,00108	0,00092	0,00077	0,00065
55	0,00130	0,00109	0,00091	0,00076	0,00063
70	0,00132	0,00109	0,00090	0,00074	0,00060
95	0,00134	0,00109	0,00088	0,00070	0,00056
120	0,00134	0,00107	0,00085	0,00066	0,00051
150	0,00132	0,00105	0,00081	0,00062	0,00046
175	0,00130	0,00102	0,00077	0,00057	0,00041
1 кал/(см·с·°C) $\approx$ 4,19·10 ² Вт/(м·K)					

В интервале 80 – 120 °C имеет место небольшой максимум теплопроводности, как видно из рис.5, а, а на рис.5, б показана теплопроводность паров этиленгликоля в интервале 0 – 500 °C.

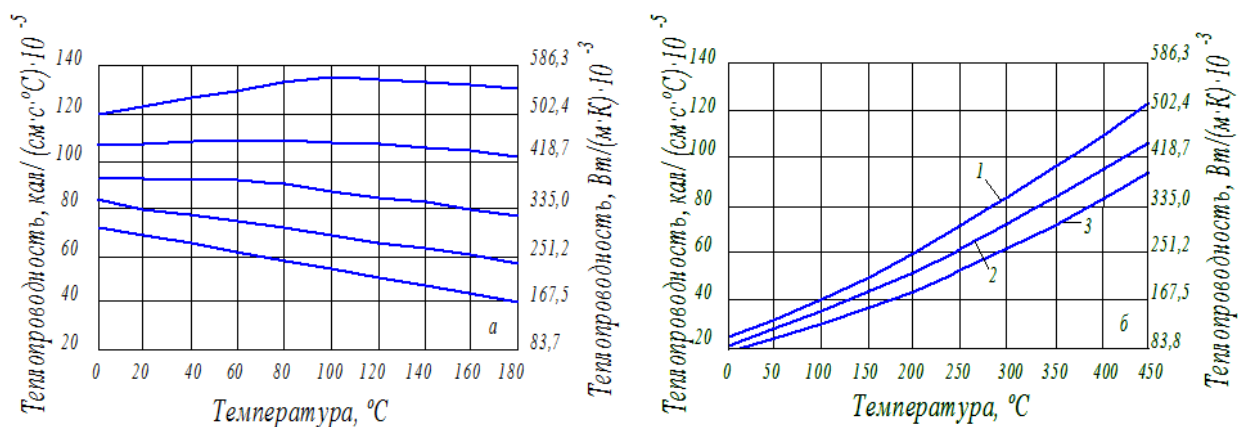


Рис. 5. Зависимость теплопроводности водных растворов этиленгликоля (а) и теплопроводности паров этиленгликолей (б) от температуры:
1 – этиленгликоль; 2 – диэтиленгликоль; 3 – триэтиленгликоль

Номограмма для определения теплопроводности водных растворов этиленгликоля в интервале 10 – 107 °C приведена в приложении , стр.367.

Зависимость вязкости водных растворов этиленгликоля и вязкости паров этиленгликоля от температуры приведена на рис.6.

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

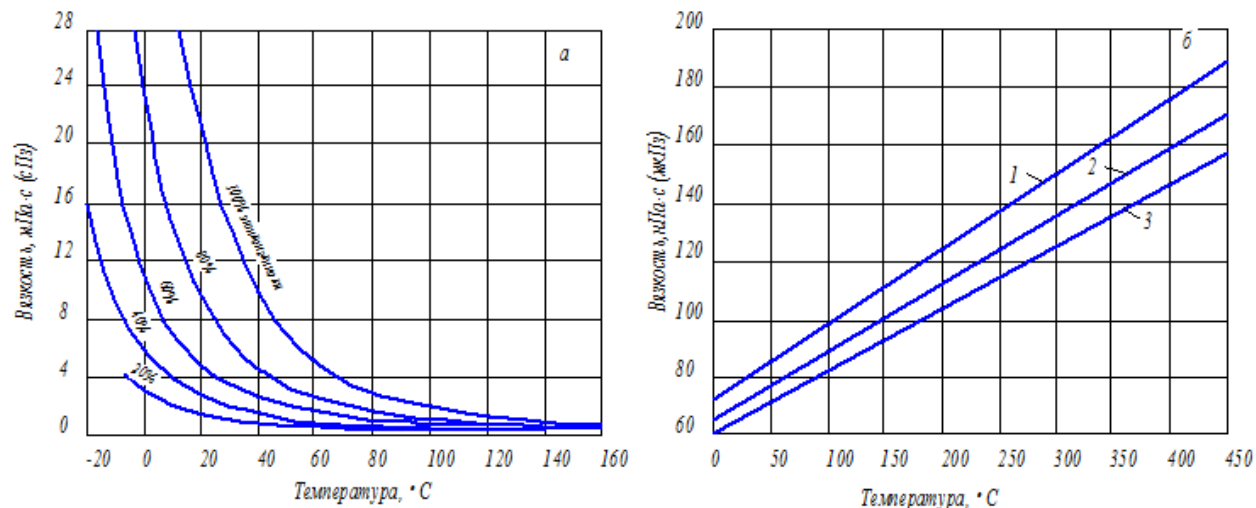


Рис. 6. Зависимость вязкости водных растворов этиленгликоля (а) и паров этиленгликоля (б) от температуры:

1 – этиленгликоль; 2 – диэтиленгликоль; 3 – триэтиленгликоль

Вязкость (кинематическая) смесей этиленгликоля с ди-, три- и тетраэтиленгликолем, а также с пропилен- и дипропиленгликолем, взятых в соотношении 1 : 1, показана на рис. 7.

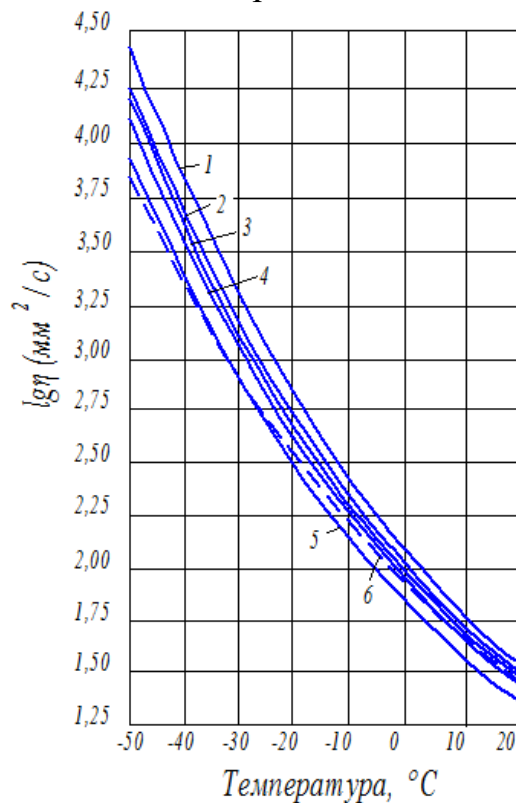


Рис. 7. Зависимость кинематической вязкости ($\lg \eta$, мм²/с) смесей этиленгликоля с другими гликолями от температуры:

1 – с дипропиленгликолем; 2 – с пропиленгликолем; 3 – с тетраэтиленгликолем; 4 – с триэтиленгликолем; 5 – с диэтиленгликолем; 6 – с триметиленгликолем

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

Вязкость смесей этиленгликоля с 95% - ным этиловым спиртом и безводным изопропиловым спиртом, содержащих 40% воды, при температуре - 40°C и содержащих 60% воды, при температуре -17,8°C, показана на рис. 8.

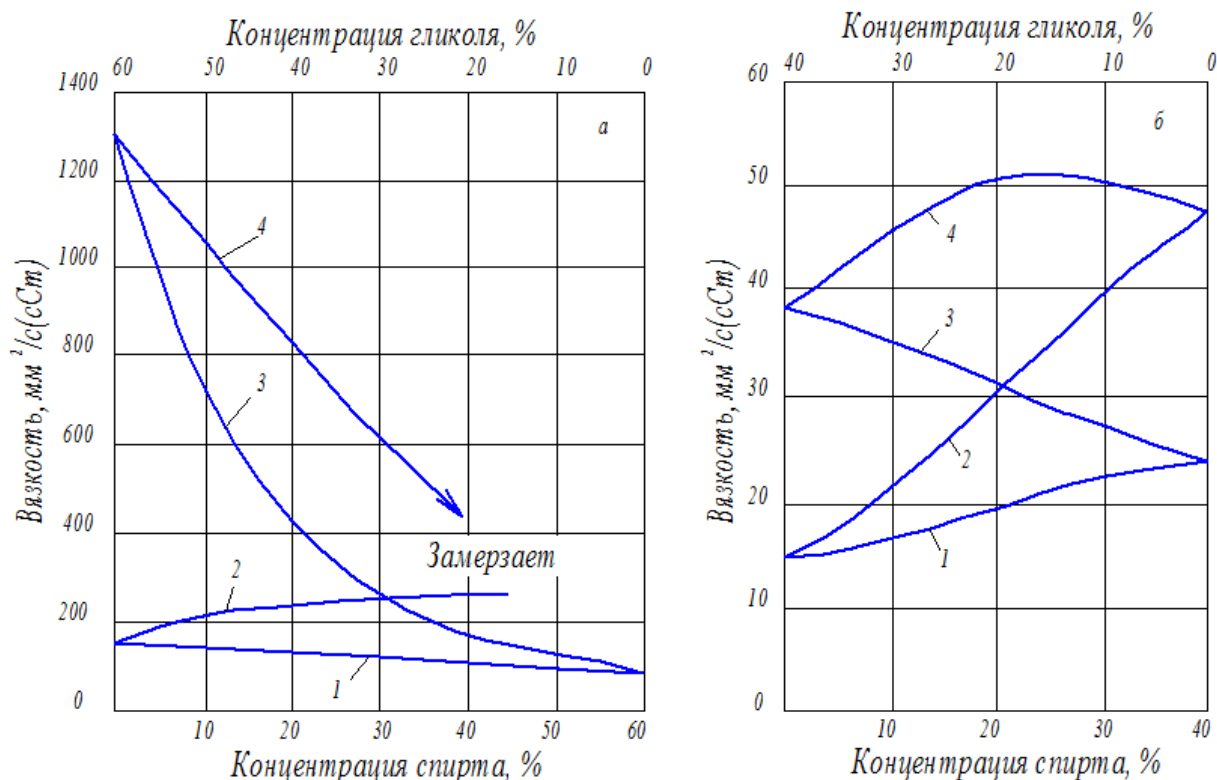


Рис. 8. Зависимость вязкости водных растворов гликоль – спирт, содержащих 40% H₂O (а) и 60% H₂O (б), от концентрации компонентов:

- 1 – этиленгликоль – этиловый спирт (95% - ный);
- 2 – этиленгликоль – изопропиловый спирт (безводный);
- 3 – пропиленгликоль – этиловый спирт (95% - ный);
- 4 – пропиленгликоль - изопропиловый спирт (безводный)

Диэлектрическая проницаемость водных растворов этиленгликоля в зависимости от температуры при длине волны 150 м приведена в таблице 14.

Таблица 14 – Зависимость диэлектрической проницаемости водных растворов этиленгликоля от температуры

Концентрация гликоля, %	Диэлектрическая проницаемость				
	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
20	74,60	67,52	61,20	55,36	50,39
40	68,40	61,56	55,48	49,81	44,78
60	61,08	54,53	48,75	43,68	39,13
80	50,64	45,45	40,72	36,36	32,52
100	38,66	34,94	31,58	28,45	25,61

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

В интервале 20 – 150°C температурные зависимости времени диэлектрической релаксации τ и вязкости η аналогичны, причём отношение η/τ является постоянным и равным $1,21 \cdot 10^9 \text{ кг/(с} \cdot \text{м)}$.

Диэлектрическая проницаемость 50% - ного (об.) водного раствора этиленгликоля (ϵ) меняется с изменением температуры следующим образом:

$t, ^\circ\text{C}$	+20	+10	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60
ϵ	64,5	68,4	72,4	76,5	80,7	85,0	89,3	94,0	98,8

Для указанной смеси зависимость диэлектрической проницаемости от температуры выражается уравнением:

$$\lg \epsilon = 1860 - 2,65 \cdot 10^3 t$$

Акустические свойства этиленгликоля. Скорость звука в этиленгликоле при 24°C примерно в 5 раз выше, чем в воздухе и в 1,2 раза выше, чем в воде. С ростом температуры, давления и концентрации этиленгликоля скорость звука повышается, однако, чем выше концентрация этиленгликоля, тем меньше она влияет на повышение скорости звука.

Зависимость скорости звука в водных растворах этиленгликоля от температуры, концентрации и давления показана на рис.9.

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

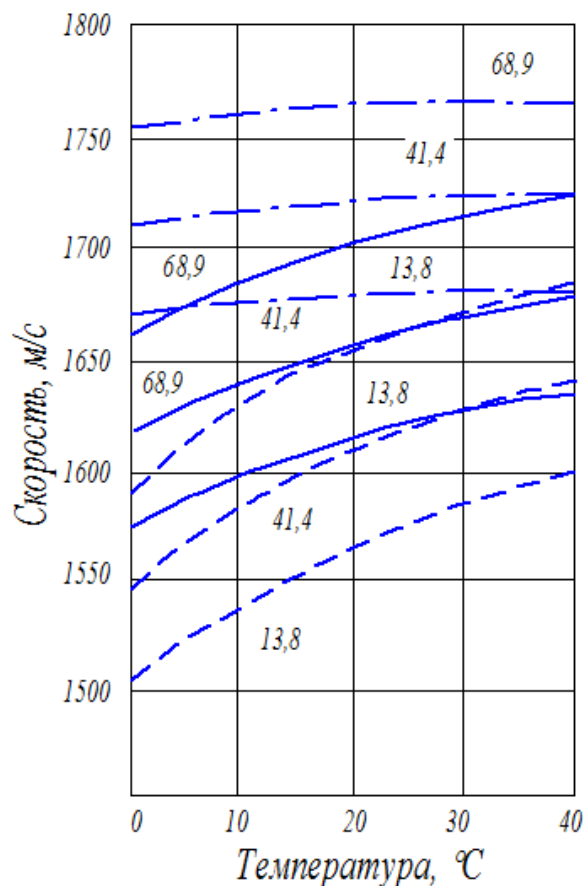


Рис. 9. Зависимость скорости звука в водных растворах этиленгликоля от его концентрации, давления и температуры.

(— — — — 10% этиленгликоля; ————— 20% этиленгликоля;
 - · - · - 33% этиленгликоля; цифры на линиях — давление в МПа)

Диссоциация этиленгликоля. Этиленгликоль является очень слабой кислотой, с ничтожно малой степенью диссоциации. Константа диссоциации этиленгликоля в водных растворах при 25°C равна $6,6 \cdot 10^{-15}$, а константа автопротолиза при 30°C равна 15,60. В изопропиловом спирте константа диссоциации этиленгликоля равна 19,17, а в жидком аммиаке при -38°C — 7,3.

Константы автопротолиза водных растворов этиленгликоля при разных температурах таковы:

Концентрация гликоля, %	При 15°C	При 25°C	При 35°C
10	14,16	13,85	13,55
30	14,00	13,72	13,45
50	13,92	13,66	13,43
70	14,05	13,82	13,63
90	14,62	14,37	14,17

Техническая литература.
Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976
О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

Для слабых растворов этиленгликоля константа автопротолиза pK_s меньше, чем для чистой воды ($pK_s = 14$); минимум pK_s достигает при концентрации этиленгликоля около 50%. Между изменением pK_s и диэлектрической проницаемостью растворов этиленгликоля имеется полная симбатность.

Сжимаемость этиленгликоля в интервале температур от 25 до 105°C приведена в таблице 15.

Таблица 15 – Сжимаемость этиленгликоля

Давление, МПа	Мольный объём V , см ³	$\Delta V/V_0$
При температуре 25 °С		
0,1	55,904	0,0000
25	55,411	0,0088
50	54,958	0,0169
75	54,541	0,0244
100	54,155	0,0313
При температуре 65 °С		
0,1	57,383	0,0000
25	56,799	0,0102
50	56,268	0,0194
75	55,786	0,0278
100	55,343	0,0356
При температуре 105 °С		
0,1	59,045	0,0000
25	58,338	0,0120
50	57,707	0,0227
75	57,141	0,0323
100	56,626	0,0410

Гигроскопичность этиленгликоля. Этиленгликоль весьма гигроскопичен: за 1 неделю 100 частей этиленгликоля поглощают из воздуха 30 частей воды, а за 2 недели – 60 частей, в результате чего образуется раствор, близкий к составу $C_2H_4(OH)_2 \cdot 2H_2O$. Состав водных растворов этиленгликоля, которые находятся в равновесии с воздухом при определённой его относительной влажности и температуре, приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Равновесная концентрация этиленгликоля с влагой воздуха

Температура воздуха, °С	Равновесная концентрация при относительной влажности, %								
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
-5	97,5	93,4	89,3	85,7	82	78	72	63	48
5	97,3	93,2	89,1	85,4	82	76	69	60	42
15	97,1	93,0	88,9	85,0	81	75	66	57	37
25	96,8	92,8	88,6	84,7	80	73	64	55	36
35	96,6	92,7	88,4	84,3	79	72	63	53	35

Техническая литература.
Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976
О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

45	96,4	92,5	88,2	84,0	78	71	62	51	34
----	------	------	------	------	----	----	----	----	----

Точка росы газа при его осушке водными растворами этиленгликоля меняется в зависимости от концентрации гликоля и температуры контакта (рис. 10).

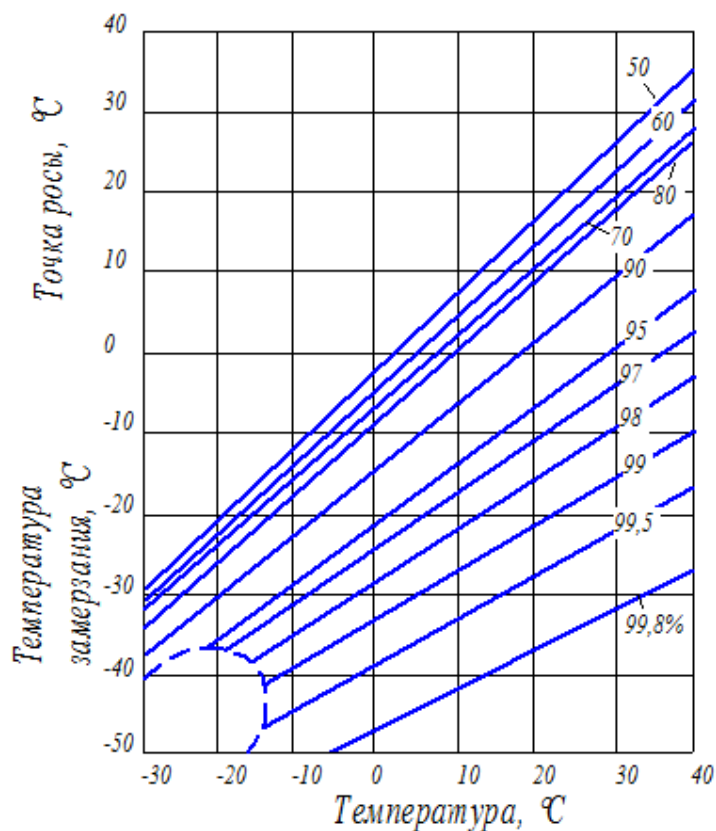


Рис. 10. Зависимость точки росы газа от температуры контакта с водными растворами этиленгликоля.

Растворимость. Этиленгликоль полностью смешивается с водой, и при смешивании выделяется теплота, количество которой зависит от соотношения взятых компонентов и их температуры. Теплота смешения этиленгликоля с водой при различных температурах равна (в кал/моль раствора):

Концентрация гликоля, % (мол.)	При 17 °C	При 32 °C	При 55 °C	При 76 °C
10	-124	-102	-95,0	-83,5
20	-170	-154	-140	-135
30	-177	-161	-148	-138
40	-184	-160	-145	-134
50	-174	-147	-133	-127
60	-152	-127	-115	-112
70	-101	-85,5	-78,4	-78,1
80	-83,4	-70,5	-64,8	-64,8
90	-41,8	-35,0	-32,5	-32,5

1 кал/моль = 4,19 Дж/моль

Этиленгликоль при 20 – 25 °С полностью смешивается с рядом низкомолекулярных органических соединений, содержащих кислород, азот и серу:

одноатомными спиртами (метиловый, этиловый, изопропиловый, *n* – бутиловый, изоамиловый, 3 – пентиловый, диацетоновый, 3 – гептиловый, бензиловый, фурфуроловый)

многоатомными спиртами (ди - , три - и тетраэтиленгликоли, 1, 2 – и 1,3 – пропиленгликоли, дипропиленгликоль, глицерин)

алипиклическими и ароматическими гидроксилсодержащими соединениями (циклогексанол, фенол, *o* - крезол)

карбонильными соединениями (ацетилацетон, ацетон, бензальдегид, метидэтилкетон, фурфурол, циклогексанон)

кислотами (уксусная, диэтилуксусная, 4 – метил – *n* – валериановая)

аминами (анилин, ди – *n* – бутиламин, оксиэтилэтилендиамин, диизопропиламин, диметиламин, диэтилентриамин, α – метилбензиламин, α – метилбензилдиметиламин, триметилентетрамин, *o* – фенитидин, 2 – фенилэтиламин)

амидами (формамид, диэтилформамид)

аминосспиртами (этанол - и изопропаноламин, α -метилбензилэтаноламин, α - метилбензилдиэтаноламин), а также с другими азотсодержащими соединениями (пиридин, 2 – метил – 5 – этилперидин)

простыми эфирами этилен - и диэтиленгликоля (метиловый, этиловый, изопропиловый, бутиловый, этилбутиловый)

сложными эфирами (этилформиат, триэтилфосфат, бутиллактат).

Этиленгликоль полностью смешивается со скипидаром и сернистым ангидридом, но практически не растворяется или же растворяется в весьма небольших количествах в углеводородах, не смешивается с хлор – и нитроуглеводородами. Растворимость этиленгликоля в углеводородах составляет [в % (мол.)]:

В бензоле

при 29 °С.....0,251

при 67,4 °С.....0,943

В циклогексане

при 46,1 °С.....0,038

при 67,4 °С.....0,943

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

В гептане

при 42,7°C.....0,034

при 67,9°C.....0,103

В этиленгликоле при комнатной температуре очень плохо растворимы (менее 1%) масла растительного и животного происхождения, а минеральные масла нерастворимы совсем. Растворимость талового масла, например, составляет 1,1 г/ 100 г, а ализаринового – 3,3 г/ 100 г. В этиленгликоле нерастворимы или очень мало растворимы (менее 0,5%) смолы (даммара, канифоль, каури, копал, шеллак), животный клей, ланолин водный, декстрин (10% - ный водный раствор декстрина смешивается с этиленгликолем полностью).

Каучук, ацетил - и этилцеллюлоза, полихлорвинил в гликоле нерастворимы, а нитроцеллюлоза в нём набухает. Растворимость в этиленгликоле некоторых органических и неорганических соединений при 20 – 25 °C приведена в табл.17.

Таблица 17 – Растворимость органических и неорганических соединений в этиленгликоле при 25°C

Соединение	Растворимость в этиленгликоле, г/100 г	Соединение	Растворимость в этиленгликоле, г/100 г
Бензол	6,0	Барий хлористый	3,6
<i>втор</i> -Бутиламин	39,7*	Калий бромистый	15,5
Гексиловый эфир	0,09	Калий йодистый	49,9
Дибутилфталат	0,5	Калий перхлорат	1,03
<i>о</i> -Дихлорбензол	4,7	Калий серноокислый	0,0
Дихлордиэтиловый эфир	11,8	Калий углекислый	34,4
Диэтиламин	37,1*	Калий хлористый	5,18
Изобутиламин	38,1*	Калий хлорат	1,21
Камфара	4**	Кальций хлористый	20,5
Карбамид	44,0	Литий бромистый	39,4
Метилизобутилкетон	0,7	Литий хлористый	14,3
Метилоранж	1,8	Медь сернокислая (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	46,9
Стирол	3,4**	Натрий бромистый	35,4
Тетрахлорэтилен	0,7**	Натрий йодистый	107,4
Толуол	3,1	Натрий перхлорат	75,5
Фениловый эфир	1,7	Натрий серноокислый	0,54***
Хлорбензол	6,0	Натрий хлорат	16,0

Техническая литература.
Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976
О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

Четырѐххлористый углерод	6,6	Натрий хлористый	7,15
Этиловый эфир	8,5	Ртуть уксуснокислая [Hg(C ₂ H ₃ O ₂) ₂]	17,8
Натрий ацетат	22,78	Свинец хлористый	0,85
Натрий бензоат	19,92	Серебро азотнокислосое	93,4
Натрий лаурат	10,65	Натрий стеарат	0,48
Натрий миристат	3,84	Стронций хлористый	36,4
Натрий олеат	14,11	Таллий хлористый	0,13
Натрий пальмитат	1,18		
*При 4,5 °С в % (масс.) **В % (мол.) ***Этиленгликоль содержит 0,8% воды.			

Особенно хорошо растворяются азотнокислые соли. Так, при 25 °С четырёхкомпонентные смеси с концентрацией около 50% этиленгликоля, 10 – 20% воды и 0,5 – 1% циклогексена содержат 30 – 35% (масс.) азотнокислых солей марганца, никеля, кобальта, меди, цинка или кадмия.

Растворимость двуокиси углерода при 25°С и парциальном давлении СО₂, равном 0,1 Мпа (760 мм.рт.ст.), имеет минимум 25,7 ммоль/л при концентрации гликоля около 30% (мол.), тогда как в воде и чистом гликоле она составляет соответственно 33,6 и 39,4 ммоль/л. Данные по смешиваемости этиленгликоля и растворимости в нём ряда соединений относятся к комнатной температуре. Однако при критической температуре растворения этиленгликоль смешивается со значительно большим числом соединений. Критическая температура растворения (К.Т.Р.) этиленгликоля, т.е. температура, при которой достигается его неограниченная взаимная смешиваемость с компонентами, ограниченно растворимыми при других температурах, для различных соединений приводится в таблице 18.

Таблица 18 – Критическая температура растворения (К.Т.Р.) этиленгликоля для различных соединений

Компонент	К.Т.Р., °С	Компонент	К.Т.Р., °С
Адиподинитрил	27	Метилацетат	26,8
Анизол	134,5	Метилбензоат	107,5
Ацетонитрил	-13,5	Метилгексилкетон	66
Ацетонилацетон	>180,5	2-Метилгептанол	<0
Ацетофенон	114,5	Метилгептенон	65
Бензилацетат	100	Метилмалеат	47,8
Бензол	180	Метилмеркаптан	>13,8

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

Борнеол	<99	Метилсалицилат	143
Бромбензол	>150,2	Нафталин	195
Бромистый винил	15,7	Нитробензол	120,2
Бромистый водород	<45	Нитрометан	39,7
Бромформ	142	<i>o</i> -Нитротолуол	142
Бромтолуол	>168	<i>o</i> -Нитрофенол	>189,3
<i>n</i> -Бутилацетат	178	<i>n</i> -Нитрохлорбензол	136,5
<i>n</i> -Гептан	80	Нитроэтан	68
2-Гептанон	>25	<i>n</i> -Октиловый спирт	<0
<i>n</i> -Гептиловый спирт	<0	Пентахлорэтан	>154,5
<i>n</i> -Дециловый спирт	60	Пропилбензоат	164
N,N-Диметиланилин	171,4	Тетралин	213
Дифенил	217	1,1,2,2-Тетрахлорэтан	88,5
<i>o</i> -Дихлорбензол	>165,8	<i>o</i> -Толуидин	-55
β,β' -Дихлорэтиловый эфир	115	Толуол	210
N,N-Диэтиланилин	>183,4	1,3,5-Трихлорбензол	>181
<i>n</i> -Додециловый спирт	135	Фенантреп	225
Изоамилацетат	26	Хлорбензол	>130,8
Изоамилкарбонат	>188,5	1-Хлорнафталин	>193,1
Камфен	>152,5	<i>o</i> -Хлортолуол	>152,5
N-Метиланилин	70	N-Этиланилин	126,5
Камфара	>117	Этилацетат	56,5
<i>o</i> -Крезолметиловый эфир	156	Этилбензоат	136
Ментол	>17,6		

Антифризы

Крупнейшим потребителем этиленгликолей является производство антифризов – низкозамерзающих жидкостей, применяемых для охлаждения двигателей внутреннего сгорания автомобилей и других машин, в качестве хладоносителя в рефрижераторах, теплоносителя в теплообменной аппаратуре и т.д. Этиленгликолевый антифриз используется также и в летний период, поскольку позволяет повысить рабочую температуру жидкости в системе охлаждения и тем самым увеличить температурный перепад между охлаждающей жидкостью и окружающим воздухом, т.е. увеличить теплоотдачу от двигателя. Указанные обстоятельства позволяют форсировать работу двигателя и полнее использовать его мощность, а также способствуют экономии топлива вследствие его более полного испарения и сгорания.

К жидкостям для охлаждения двигателей внутреннего сгорания предъявляется совокупность требований:

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

- 1) высокая теплоёмкость и теплопроводность; чем выше теплоёмкость, тем больше тепла будет отведено от стенок цилиндра и головки блока данным количеством циркулирующей охлаждающей жидкости;
- 2) низкая температура замерзания, что имеет весьма важное значение для большинства районов России; применение антифриза с низкой температурой замерзания позволяет безопасно эксплуатировать автомашины практически при любых отрицательных температурах окружающего воздуха, не сливая жидкость из радиаторов на время стоянок;
- 3) высокая температура кипения, что обеспечивает нормальную работу двигателя в летнее время, особенно в горных районах с пониженным атмосферным давлением, а также уменьшает вероятность образования паровых пробок, приводящих к резкому ухудшению охлаждения двигателя и использованию его мощности;
- 4) высокая температура воспламенения; этот показатель важен для обеспечения безопасности при использовании антифриза;
- 5) малая вязкость, особенно при низких температурах (высокая вязкость антифриза затрудняет его циркуляцию в системе охлаждения и снижает теплопередачу от двигателя к жидкости и от нее в окружающую среду);
- 6) малая вспениваемость (при вспенивании жидкости снижается коэффициент теплопередачи, возможно образование паровых пробок, перегрев двигателя, а также выброс жидкости);
- 7) низкая коррозионная агрессивность по отношению к металлам, сплавам, припоям и покрытиям, применяемым в системе охлаждения двигателя; этот показатель является одним из решающих при оценке качества антифриза, так как продукты коррозии могут ухудшить теплопередачу в системе охлаждения, нарушить нормальную циркуляцию жидкости, не говоря уже о выводе из строя элементов системы охлаждения и потере антифриза;
- 8) инертность по отношению к резиновым шлангам и уплотнительным деталям из резины или пластических масс, применяемым в системе охлаждения, а также инертность или слабое воздействие на лаковое покрытие машины;
- 9) отсутствие запаха или малый запах, низкая токсичность и, наконец, доступная цена.

Для получения низкотемпературных жидкостей, кроме этиленгликоля, применялись также глицерин, метиловый, этиловый и изопропиловый спирты. На рис.11 приведены температуры замерзания водных растворов этиленгликоля, глицерина и метилового спирта.

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

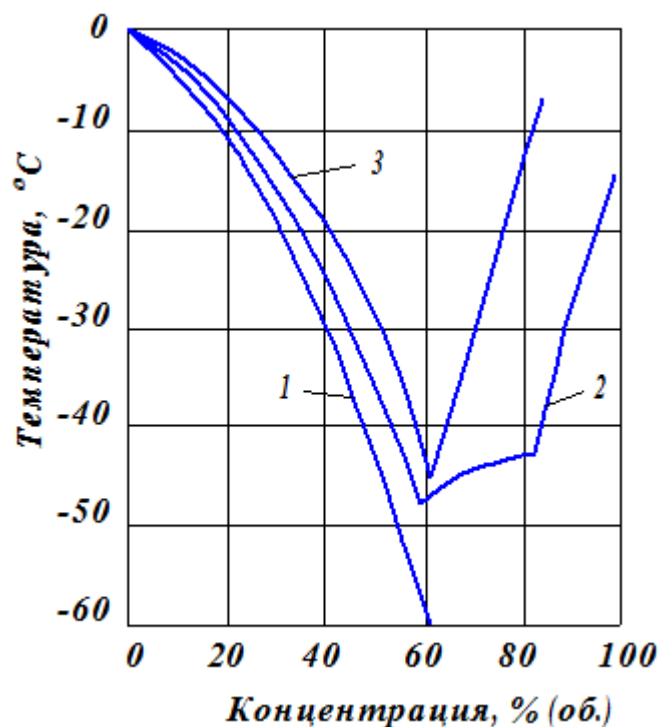


Рис.11. Зависимость температуры замерзания водных растворов некоторых спиртов от их концентрации:

- 1 – метиловый спирт;
- 2 – этиленгликоль;
- 3 – глицерин.

В настоящее время эти жидкости почти полностью вытеснены этиленгликолем, так как по комплексу свойств: низкой температуре замерзания, большой теплоёмкости, высокой температуре кипения, относительно низкой вязкости, невысокой стоимости и ряду других показателей, этиленгликолевый антифриз наиболее полно отвечает предъявляемым требованиям.

Основные компоненты антифриза (вода и этиленгликоль) способны вызывать коррозию железа и других металлов. Коррозия может ускоряться образованием электрохимических пар из-за разнообразия применяемых в охлаждающих системах металлов и сплавов. Выбор для антифриза эффективных ингибиторов коррозии металлов является весьма сложной задачей: ингибитор, эффективный для одного металла, может оказаться неэффективным или даже вредным для другого.

В качестве ингибиторов коррозии применяются как органические, так и неорганические продукты. Наиболее часто указывают амины, амиды, меркаптобензотриазол, бензотриазол, бензоаты, салицилаты, тетрабораты,

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

бораты, нитриты, фосфаты, молибдаты, арсениты, метасиликаты, карбонаты, органосилоксаны и их различные комбинации. Одной из комбинаций, нашедшей широкое применение в антифризах, является смесь триэтаноламинфосфата и натриймеркаптобензтиазола.

Широко применяются бораты, например бура, особенно в комбинации с другими компонентами. Предполагают двоякое действие буры: увеличение буферности системы (поддержание pH на уровне 7 – 9,5) и собственно ингибирование. Вместе с бурой в антифриз вводятся также нитрит натрия, часто меркаптобензтиазол или его натриевая соль для предотвращения коррозии меди и её сплавов, и силикат натрия – для предотвращения коррозии алюминия. Хроматы, которые являются хорошими ингибиторами коррозии многих металлов при действии на них воды и её солевых растворов, для применения в антифризах не рекомендуются не только из-за их токсичности, но также из-за взаимодействия хроматов с этиленгликолем, особенно на свету.

Варианты комбинаций ингибиторов весьма разнообразны, а их содержание колеблется от десятых долей процента до нескольких процентов. Например, один ингибитор содержит 0,25 – 1% арсенита, 0,5 – 2% метабората и 0,1 – 0,6% меркаптобензтиазола щелочного металла, а также 0,2 – 2% бората алкалонамина. В качестве ингибиторов предложены также соли II группы металлов, например, бораты или тетрабораты магния и кальция.

В ряде случаев в состав присадок включается цветной индикатор, изменяющий цвет при потере антифризом антикоррозионных свойств. Для уменьшения просачивания антифриза через неплотности в состав присадок предложено включить трибутоксипропилфосфат.

Эффективность действия ингибиторов зависит от pH среды, для поддержания которого на уровне 7,5 – 9,5 в ингибитор вводят вещества, образующие буферные растворы. К ним относятся одно- и двузамещённые фосфаты, бура или другие соединения бора, карбонаты и т.п. Они обеспечивают в антифризе большой резерв щелочности для нейтрализации кислот, образующихся при окислении этиленгликоля; pH раствора при этом остаётся достаточно постоянным.

Важной присадкой к антифризам являются пеногасители. Назначение их заключается в том, чтобы исключить или резко снизить образование пены, наличие которой ухудшает отвод тепла от работающего двигателя. К пеногасителям относятся: полиорганосилоксановые жидкости, спирты средней молекулярной массы и их эфиры, минеральные масла, алкилфосфаты и ряд других веществ.

Техническая литература.
Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976
О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

Антифриз обычно выпускается в готовом для употребления водном растворе или в виде концентрированного этиленгликоля, содержащего необходимые присадки. В последнем случае разбавление этиленгликоля водой производится потребителем. Согласно ГОСТ159-52, выпускается антифриз двух марок (65 и 40), а по ГОСТ 6367-52 – концентрированный этиленгликоль, содержащий ингибиторы коррозии (натрий фосфорнокислый двузамещённый и декстрин), который применяется для приготовления из него антифриза.

Некоторые показатели этих антифризов и этиленгликоля таковы:

		Антифриз 65	Антифриз 40	Этиленгликоль
Относительная плотность d_4^{20}		1,085 – 1,090	1,0675 – 1,072	1,110 – 1,116
Температура замерзания, °С, не выше		- 65	- 40	–
Фракция до 150°С, %, не более		35	47	5
Остаток выше 150°С	%, не менее	64	52	94
	рН, не более	8,5	8,5	8,5
Содержание, г/л	динатрийфосфата	3,0 – 3,5	2,5 – 3,5	4,4 – 5,6
	декстрина	–	–	1,80 – 1,85

Кроме того, выпускаются концентрированный антифриз ТОСОЛ – А, отвечающий современным требованиям, а также готовые к употреблению антифризы ТОСОЛ – А65 и ТОСОЛ – А40, которыми заправляют все выпускаемые легковые машины **ВАЗ и МЗМА и ряд грузовых автомашин.** Показатели качества антифризов ТОСОЛ (по ТУ 02-752 – 73) приведены в табл.19.

Таблица 19 – Показатели качества антифризов

Наименование показателей	ТОСОЛ – А	ТОСОЛ – А40	ТОСОЛ – А65
Внешний вид	Голубая жидкость без механических примесей		Красная жидкость без механических примесей
Плотность при 20°С, г/см ³	1,120-1,140	1,078-1,085	1,085-1,095
Температура кипения при 0.1МПа, °С, не менее	170	108	115
Резерв щёлочности, см ³ , не менее	10	10	10
Содержание воды, %, не более	3	–	–
Температура кристаллизации, °С, не более	- 35*	- 40	- 65
Объём пены через 5 мин, см ³ , не более	50	30	30
Время исчезновения пены, с, не более	5	3	3
рН раствора при 20°С	7,5 – 8,5*	7,5 – 8,5	7,5 – 8,5

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымонт, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

Коррозионное воздействие на металлы, мг, не более	Медь М-1, латунь Л68, чугун серый	10	10	10
	Припой ПОС 35	15	15	15
	Алюминий АК-6М2	30	30	30
Набухание резин**, %(масс.), не более		6	6	6
* Разбавленного на 50% (об.) дистиллированной воды				
**В разбавленном на 50% (об.) водопроводной водой.				

Полиэфирные волокна

Синтетическое волокно лавсан (диакрон в США, терилен в Англии) получается прядением из расплава полиэтилентерефталата – гетероцепного сложного полиэфира терефталевой кислоты и этиленгликоля. Получение полиэтилентерефталата и его переработка в волокна и плёнки является одной из самых перспективных и значительных по объёму областей применения этиленгликоля. Это объясняется тем, что полиэфирные волокна обладают рядом достоинств: высокой прочностью, эластичностью, термо- и светостойкостью, стойкостью к кислотам, окислителям и восстановителям, несминаемостью, способностью сохранять приданную форму в процессе переработки волокна, хорошими электроизоляционными качествами, устойчивостью к действию моли и микроорганизмов. Полиэтилентерефталатные плёнки, кроме того, почти непроницаемы для таких газов, как кислород и азот.

Синтез полиэтилентерефталата включает две основные стадии: получение дигликолевого эфира терефталевой кислоты переэтерификацией диметилтерефталата этиленгликолем и поликонденсация дигликолевого эфира терефталевой кислоты. Для обеспечения полноты реакции переэтерификация диметилтерефталата проводится в избытке этиленгликоля при повышенной температуре (180°C вначале и 200 - 210°C в конце) и в присутствии небольших количеств (0,05 – 0,1%) слабощелочных катализаторов – окислов свинца, кальция, магния, солей низших жирных кислот и двухвалентных металлов, например ацетатов свинца, кадмия, цинка и др. В процессе переэтерификации отгоняются выделяющийся метиловый спирт и избыток этиленгликоля.

После фильтрования от не растворившегося катализатора и других примесей дигликолевый эфир терефталевой кислоты подвергается поликонденсации при 270 – 280°C и остаточном давлении менее 133,3Па (1мм.рт.ст.). В таких условиях отгоняется выделившийся этиленгликоль, а

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

также образующиеся в качестве побочных продуктов димеры, тримеры и тетрамеры этиленгликольтерефталата.

В последнее время стал широко применяться синтез дигликолевого эфира терефталевой кислоты непосредственной этерификацией терефталевой кислоты высокой степени чистоты (99,9%) этиленгликолем. Этерификация проводится при избытке этиленгликоля (2,5 – 3 моль на 1 моль кислоты) и температуре 190 -200°C. Скорость реакции возрастает, если процесс проводится при 0,3 – 1,2МПа (3 – 12 кгс/см²) и более высокой температуре (250 – 260 °C).

Ассортимент изделий из волокна лавсан весьма обширен: ткани, трикотажные и вязаные изделия, тюль, бельтинг, автокорд, канаты, фильтровальные и парусные ткани, рыболовные сети, пожарные рукава, электроизоляция и ряд других изделий.

Гидравлические жидкости

Значительное количество этиленгликоля расходуется на получение гидравлических жидкостей, применяемых в гидроприводах металлургического, металлообрабатывающего, транспортного и подъёмного оборудования, в землеройных и сельскохозяйственных машинах, автомобилях, самолётах. Давление жидкости в системе гидропривода достигает 19,6 – 24,5МПа (200 – 250 кгс/см²), а температура от минус 50 - 60°C до плюс 100, а иногда и 200°C.

К жидкостям для гидравлических систем предъявляются следующие требования: хорошие смазывающие свойства, стабильность при эксплуатации и хранении, низкая температура замерзания и пологая кривая изменения вязкости в широком интервале температур, совместимость с материалами системы и низкая летучесть, высокие температуры кипения, вспышки и самовоспламенения, минимальная вспениваемость и малая плотность (при применении на самолётах, подводных лодках и др.), не токсичность и отсутствие действия на кожные покровы. Для гидравлических систем, работающих вблизи открытого огня или других источников воспламенения, жидкость должна быть негорючей.

В зависимости от условий эксплуатации некоторые из перечисленных требований могут меняться. Например, температура замерзания жидкости, которая применяется в автомобилях и самолётах, должна быть весьма низкой и может быть более высокой при использовании жидкости в машинах и оборудовании, находящихся в помещении.

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

Водно – гликолевые негорючие гидравлические жидкости содержат кроме воды и этиленгликоля следующие компоненты: другой гликоль или смесь гликолей, водорастворимый загуститель, который придаёт раствору необходимые вязкостные свойства, а также ингибиторы коррозии и различные присадки, улучшающие её противоизносные, антипенные, буферные и прочие необходимые показатели. Вода является компонентом, обеспечивающим негорючесть жидкости, её содержание должно быть не менее 35%.

В качестве загустителей (вязкостных присадок) рекомендуются статистические сополимеры окиси этилена и окиси пропилена, полиэтиленгликоли, полиоксиэтилен, оксиэтилированные и окиспропилированные кислоты и алкилфенолы, натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы, полиметакрилат калия, полиакриловая кислота, а также ряд других материалов. Одним из основных требований к вязкостным присадкам является термостабильность и стабильность к механической деструкции.

В качестве ингибиторов коррозии рекомендуются алкиламинонитриты, меркаптобензтиазолнатрий, фосфаты и салицилаты алканоламинов, бура, морфолин и его соединения и др.

Одна из первых негорючих гидравлических жидкостей содержала 37% воды, 49% этиленгликоля, 17% сополимера окиси этилена и окиси пропилена в соотношении (3 – 1) : 1 с молекулярной массой 17000, а также ингибиторы коррозии – 2% диэтил- или триэтиламинофосфата, 1,5% диизопропил- или диизобутиламинонитрита и 0,2% меркаптобензтиазолнатрий. Состав другой гидравлической жидкости таков: 50% воды, 19% этиленгликоля, 6% дипропиленгликоля, 0,5% димеризованного льняного масла и 1% морфолина – ингибитора коррозии, 0,06% натриймеркаптобензтиазола (50%-ного), по 0,5% фосфорной кислоты (75%-ной) и силиконовой антипенной присадки, кроме того, введено 21% сополимера окиси этилена и окиси пропилена, взятых в соотношении 3,5:1 с молекулярной массой 19500. Ещё один вариант негорючей жидкости, в которой содержится: от 10% до 30% сополимера в зависимости от требуемой вязкости окиси этилена (75%) и окиси пропилена (25%), 40 – 60% воды, 20 – 30% этиленгликоля, 3% ингибитора на основе буры, 5% соли оксокислот C_{10} и изопропиламина и до 2,5% калиевой соли бутилфосфорной кислоты.

Ниже приводятся показатели двух водно- гликолевых негорючих гидравлических жидкостей Houghto Safe 620 (I) и Ucon Hygrolube 275-ср (II):

	I	II
Плотность, г/см ³	1,055 (15,6°C)	1,080(d_{20}^{20})

Техническая литература.

Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. Москва. 1976

О.Н. Дымент, К.С. Казанский, А.М. Мирошников

Вязкость, мм ² /с при температуре, °С	17,8	1100	902
	21,1	88	--
	37,8	43,2	60,5
	54,4	25,3	--
	65,6	15,6	27,3
Индекс вязкости		80	155
Температура, °С	застывания	-28,9	31,6
	вспышки	Не вспыхивает	
	воспламенения	Не воспламеняется	--
Удельная теплоёмкость, кДж/(кг·К)		3,35	2,93
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)		0,43	0,45
Коэффициент сжимаемости от 0 до 20,7 МПа (210,9 кг/см ²)		2.46x10 ⁻⁷	--
рН		9	--