

Министерство
образования Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
технологический институт
(технический университет)

кафедра процессов и аппаратов химической технологии

Е.И.Борисова, О.Н.Круковский, А.В.Маркова, О.В.Муратов

Свойства жидкостей и газов

Методические указания
к курсовому проектированию

Санкт-Петербург
2001

УДК 66.02

Е.И.Борисова, О.Н.Круковский, А.В.Маркова, О.В.Муратов **Свойства жидкостей и газов:** Метод. указания к курсовому проектированию.– Сп-б.: Сп-б технологический институт, 2001. - 23 с.

Содержатся справочные данные необходимые для выполнения курсового проекта по процессам и аппаратам химической технологии. Приведены аппроксимационные формулы для расчета основных теплофизических параметров жидкостей, газов (паров) и растворов: плотности, вязкости, теплоемкости и пр. Кроме того, приведены таблицы равновесных составов некоторых бинарных смесей.

Эти материалы предназначены для студентов 3 курса химических и химико-технологических специальностей, выполняющих курсовой проект по процессам и аппаратам химической технологии, и соответствуют учебной программе дисциплины «процессы и аппараты химической технологии».

Табл. 13, библиогр. 9 назв.

Рецензент:

Профессор кафедры ОХБА, д-р техн.наук Г.М.Островский

Утверждены на заседании учебно-методической комиссии общеинженерного отделения 16.01.2001.

Рекомендованы к изданию РИСо СпБТИ(ТУ)

(ВВЕДЕНИЕ

Методические указания по курсовому проектированию по процессам и аппаратам содержат аппроксимационные формулы для расчета теплофизических параметров жидкостей и газов, которые удобнее при расчетах на ПК, чем таблицы и номограммы. Кроме того в методических указаниях приведены таблицы равновесных составов некоторых бинарных смесей.

Материалы, представленные в данных методических указаниях, реализованы также в компьютерной версии, которая позволяет получить требуемую выборку данных по одному или нескольким веществам, а также представить некоторые данные в графической форме, что позволяет решать и оформлять задачи на более современном уровне.

Эти материалы помогут студентам при расчетах процессов тепло-массообмена в курсовом и дипломном проектировании, особенно при выполнении этих расчетов с использованием ЭВМ.

1. Основные физические свойства некоторых жидкостей

1.1. Плотность и коэффициент объемного расширения жидкостей

Плотность жидкостей $\rho(t)$ и коэффициент объемного расширения $\beta(t)$ в диапазоне температур $10 \div 120$ °С могут быть вычислены по формулам:

$$\rho(t) = \rho_0 - A_1 \cdot t - A_2 \cdot t^2, \quad (1)$$

$$\beta(t) = -\frac{\rho'(t)}{\rho(t)} = \frac{A_1 + 2 \cdot A_2 \cdot t}{\rho_0 - A_1 \cdot t - A_2 \cdot t^2}, \quad (2)$$

где

ρ – плотность, кг/м³; β – коэффициент объемного расширения, 1/К;
 t – температура, °С; ρ_0 , A_1 , A_2 – коэффициенты, приведенные в таблице 1.

Таблица 1.

Название	ρ_0	A_1	A_2
Ацетон	813	1,03	0,00164
Бензол	900	1,02	0,000536
Вода	1000	0,062	0,00355
1,2 дихлорэтан	1282	1,44	0,000506
Изопропиловый спирт	801	0,796	0,000357
Метиловый спирт	810	0,826	0,00125
Пропиловый спирт	819	0,718	0,00149
Сероуглерод	1292	1,32	0,00354
Толуол	884	0,884	0,00080
Уксусная кислота	1070	0,957	0,00208
Хлороформ	1524	1,65	0,00310
Четыреххлористый углерод	1633	1,90	0,00101
Этанол	808	0,932	0,00101

1.2. Вязкость и поверхностное натяжение жидкостей

Вязкость жидкостей $\mu(t)$ и поверхностное натяжение $\sigma(t)$ в диапазоне температур $10 \div 120$ °С могут быть определены по формулам:

$$\mu(t) = \mu_0 \cdot \exp\left(\frac{A_1}{t + 273}\right), \quad (3)$$

$$\sigma(t) = \sigma_0 - A_2 \cdot t, \quad (4)$$

где

μ – динамический коэффициент вязкости, мПа·с; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; t – температура, °С; μ_0 , A_1 , σ_0 , A_2 – коэффициенты, приведенные в таблице 2.

Таблица 2.

Название	μ_0	A_1	σ_0	A_2
Ацетон	0,0179	846	0,0261	0,000124
Бензол	0,00878	1257	0,0315	0,000127
Вода	0,00105	2024	0,0762	0,000173
1,2 дихлорэтан	0,0197	1092	0,0350	0,000137
Изопропиловый спирт	0,000305	2626	0,0232	0,0000770
Метиловый спирт	0,00740	1279	0,0245	0,0000889
Пропиловый спирт	0,00125	2190	0,0257	0,0000823
Сероуглерод	0,0189	858	0,0352	0,000146
Толуол	0,0147	1076	0,0307	0,000113
Уксусная кислота	0,0109	1384	0,0297	0,0000984
Хлороформ	0,0250	909	0,0299	0,000136
Четыреххлористый углерод	0,0139	1244	0,0293	0,000120
Этанол	0,00375	1686	0,0241	0,0000870

1.3. Теплоемкость и теплопроводность жидкостей

Теплоемкость $c(t)$ и теплопроводность $\lambda(t)$ жидкостей (кроме воды) в диапазоне температур $15 \div 90$ °С могут быть определены по формулам:

$$c(t) = c_0 + A_1 \cdot t, \quad (5)$$

$$\lambda(t) = \lambda_0 - A_2 \cdot t, \quad (6)$$

где

c – удельная теплоемкость, кДж/кг/К; λ – теплопроводность, Вт/м/К; t – температура, °С; c_0, A_1, λ_0, A_2 – коэффициенты, приведенные в таблице 3.

Таблица 3.

Название	c_0	A_1	λ_0	A_2
Ацетон	2,11	0,0028	0,173	0,000356
Бензол	1,65	0,0032	0,151	0,000257
1,2 дихлорэтан	1,22	0,0019	0,140	0,000201
Изопропиловый спирт	2,41	0,0140	0,143	0,000139
Метиловый спирт	2,41	0,0026	0,209	0,000203
Пропиловый спирт	2,24	0,0097	0,157	0,000211
Сероуглерод	1,01	0	0,153	0,000169
Толуол	1,62	0,0035	0,141	0,000235
Уксусная кислота	1,97	0,0036	0,171	0,000165
Хлороформ	0,92	0,0016	0,123	0,000211
Четыреххлористый углерод	0,85	0,00037	0,107	0,000202
Этанол	1,92	0,018	0,171	0,000308

Теплоемкость и теплопроводность воды определяются по формулам:

$$c(t) = 4.215 - 0.001376 \cdot t + 1.339 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 \quad (5')$$

$$\lambda(t) = 0.5545 + 0.00246 \cdot t - 1.184 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 \quad (6')$$

-

1.4. Теплота испарения, давление насыщенных паров и температура кипения жидкостей

Теплота испарения $r(t)$, давление насыщенных паров $P_{\text{нас}}(t)$ в диапазоне температур $10 \div 140$ °С и температура кипения $t_{\text{кип}}(P)$ жидкостей могут быть определены по формулам:

$$r(t) = A \cdot (t_{\text{кр}} - t)^{0.38}, \quad (7)$$

$$P_{\text{нас}}(t) = \exp\left(a - \frac{b}{t + c}\right), \quad (8)$$

$$t_{\text{кип}}(P) = \frac{b}{a - \ln(P)} - c, \quad (9)$$

где

r – удельная теплота испарения (парообразования), кДж/кг; $P_{\text{нас}}$ – давление насыщенных паров, Па; t – температура, °С; P – давление, Па; $t_{\text{кип}}$ – температура кипения жидкости при давлении P , $t_{\text{кр}}$ – критическая температура, °С; A , a , b , c – коэффициенты, приведенные в таблице 4.

Таблица 4.

Название	A	$t_{\text{кр}}$	a	b	c
Ацетон	72,18	235,1	21,54	2940	237,1
Бензол	51,87	289,1	20,79	2789	220,6
Вода	265,3	374,3	23,23	3845	228,4
1,2 дихлорэтан	43,20	288,0	21,07	2927	222,8
Изопропиловый спирт	97,92	235,3	23,59	3640	219,5
Метиловый спирт	152,64	239,6	23,48	3627	238,7
Пропиловый спирт	97,84	263,7	22,44	3166	192,9
Сероуглерод	44,12	279,0	20,88	2691	241,4
Толуол	47,07	318,7	20,91	3097	219,3
Хлороформ	32,83	263,4	20,87	2697	226,8
Четыреххлористый углерод	25,64	283,4	20,77	2808	227,0
Этанол	118,99	243,2	23,80	3804	231,3

Теплота парообразования уксусной кислоты определяется по формуле:

$$r(t) = 333.3 + 0.9657 \cdot t - 0.004223 \cdot t^2$$

2. Основные физические свойства газов и паров

2.1. Молекулярная масса, плотность, коэффициент объемного расширения и вязкость газов и паров

Плотность $\rho(P, T)$, коэффициент объемного расширения $\beta(T)$ и вязкость $\mu(T)$ газов и паров могут быть вычислены по формулам:

$$\rho(P, T) = \rho_0 \cdot \frac{T_0 \cdot P}{T \cdot P_0}, \quad \beta(T) = \frac{1}{T}, \quad (10)$$

$$\mu(T) = \mu_0 \cdot \frac{T_0 + C}{T + C} \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (11)$$

где

ρ – плотность, кг/м³; β – коэффициент объемного расширения, 1/К; μ – динамический коэффициент вязкости МПа·с; P – давление, Па; T – температура, К; $P_0=1.013 \cdot 10^5$ Па; $T_0=273$ К; ρ_0, μ_0, C – коэффициенты, приведенные в таблице 5.

Таблица 5.

Название	Моль. масса, кг/кмоль	ρ_0	μ_0	C
Аммиак	17	0,759	9,39	379
Ацетон	58	2,589	6,50	651
Бензол	78	3,482	6,88	427
Вода	18	0,804	8,11	843
Воздух (азот)	29	1,295	17,3	124
Двуокись серы	64	2,857	11,5	387
1,2 дихлорэтан	99	4,420	8,14	449
Изопропиловый спирт	60	2,679	6,97	480
Метиловый спирт	32	1,429	8,53	634
Пропиловый спирт	60	2,679	6,97	470
Сероуглерод	76	3,393	8,90	500
Толуол	92	4,107	6,44	374
Уксусная кислота	60	2,679	6,76	1004
Хлор	71	3,170	12,3	351
Хлороформ	119	5,313	9,5	462
Четыреххлористый углерод	154	6,875	8,88	384
Этиловый спирт	46	2,054	7,45	615

2.2. Теплоемкость газов и паров

Теплоемкость $c_p(t)$ газов и паров в диапазоне температур $10 \div 100$ °С может быть вычислена по формуле:

$$c_p(t) = c_0 + C_1 \cdot t + C_2 \cdot t^2 + C_3 \cdot t^3, \quad (12)$$

где

c_p – удельная теплоемкость газов при постоянном давлении, КДж/кг/К; t – температура, °С; c_0, C_0, C_1, C_2 – коэффициенты, приведенные в таблице 6.

Таблица 6.

Название	C_0	$C_1 \cdot 10^4$	$C_2 \cdot 10^7$	$C_3 \cdot 10^{10}$
Аммиак	2,052	17,96	4,338	-6,975
Ацетон	1,182	33,95	-18,74	3,516
Бензол	0,956	41,77	-31,22	9,148
Вода	1,861	3,827	4,231	-2,000
Воздух (азот)	1,008	-0,5337	5,945	-4,031
Двуокись серы	0,605	6,703	-6,057	2,077
1,2 дихлорэтан	0,743	16,18	-11,73	3,426
Изопропиловый спирт	1,447	33,82	-1,967	-15,45
Метиловый спирт	1,309	24,60	0,7867	-8,918
Пропиловый спирт	1,339	40,17	-25,08	7,165
Сероуглерод	0,585	5,976	-7,212	3,520
Толуол	1,044	40,52	-25,71	5,342
Уксусная кислота	1,04	28,39	-22,48	8,254
Хлор	0,474	2,283	-3,673	2,184
Хлороформ	0,533	8,721	-10,9	5,598
Четыреххлористый углерод	0,530	6,544	-10,04	5,746
Этиловый спирт	1,332	36,67	-18,01	0,2988

2.3. Теплопроводность газов и паров

Теплопроводность $\lambda(t)$ газов и паров в диапазоне температур $10 \div 100$ °С может быть вычислена по формуле:

$$\lambda(t) = \lambda_0 + B_1 \cdot t + B_2 \cdot t^2 + B_3 \cdot t^3, \quad (13)$$

где λ – теплопроводность газов и паров, Вт/м/К; t – температура, °С; λ_0 , B_1 , B_2 , B_3 – коэффициенты, приведенные в таблице 7.

Таблица 7.

Название	$\lambda_0 \cdot 10^3$	$B_1 \cdot 10^4$	$B_2 \cdot 10^7$	$B_3 \cdot 10^{10}$
Аммиак	21,3	1,11	1,52	-2,47
Ацетон	8,63	0,845	0,578	0
Бензол	7,51	0,908	0	0
Вода	17,2	0,442	3,48	0
Воздух (азот)	24,1	0,768	0	0
Двуокись серы	8,32	0,525	0,0867	-0,0907
1,2 дихлорэтан	5,63	0,741	0	0
Изопропиловый спирт	0,00434	2,73	-7,71	13
Метиловый спирт	0,00504	3,03	-9,83	16,7
Пропиловый спирт	0,200	2,29	-4,98	8,28
Сероуглерод	4,37	0,917	-1,56	0
Толуол	0,00250	1,67	-1,99	2,3
Уксусная кислота	31,9	1,49	27,0	-132
Хлор	7,91	0,352	0,0121	-0,216
Хлороформ	7,84	-0,0906	4,57	-12
Четыреххлористый углерод	5,80	0,324	0	0
Этанол	0,00426	2,73	-7,24	11,4

3. Основные физические свойства некоторых растворов

3.1. Плотность и коэффициент объемного расширения растворов

Плотность растворов $\rho(t)$ и коэффициент объемного расширения $\beta(t)$ в диапазоне температур $0 \div 100$ °C могут быть вычислены по формулам:

$$\lg(\rho(t)) = \lg(\rho_{\text{H}_2\text{O}}(t)) + (a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2) \cdot x, \quad (13)$$

$$\beta(t) = -\frac{\rho'(t)}{\rho(t)}, \quad (14)$$

где

ρ – плотность раствора, кг/м³; β – коэффициент объемного расширения, 1/К;
 x – концентрация растворенного вещества, кг_соли/кг_раствора; t – температура, °C; a_0, a_1, a_2 – коэффициенты, приведенные в таблице 8; $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ – плотность воды, которая может быть рассчитана по формуле (1).

Таблица 8.

Растворенное вещество	$a_0 \cdot 10^4$	$a_1 \cdot 10^6$	$- a_2 \cdot 10^8$
CaCl ₂	3518,10	463,51	270,30
K ₂ CO ₃	3658,27	489,43	274,16
KCl	2579,40	657,08	402,14
KOH	3589,98	406,64	271,68
MgCl ₂	3372,00	791,13	324,26
NH ₄ Cl	1126,89	587,31	319,05
(NH ₄) ₂ SO ₄	2302,10	559,82	327,34
NaCl	2889,19	614,36	447,68
Na ₂ SO ₄	3669,39	701,87	398,19
Na ₂ CO ₃	4221,32	424,62	387,14
NaOH	3937,43	370,31	271,64
KNO ₃	2739,01	68,47	221,32
MgSO ₄	4362,22	86,50	161,57
NH ₄ NO ₃	1904,83	- 248,78	77,72
CuSO ₄	4690,88	- 364,49	249,85
NaNO ₃	2978,91	- 48,30	125,17

3.2. Вязкость растворов

Вязкость $\mu(t)$ растворов в диапазоне температур $0 \div 100$ °C может быть вычислена по формуле:

$$\lg(\mu(t)) = \lg(\mu_{\text{H}_2\text{O}}(t)) + (d_0 + d_1 \cdot t + d_2 \cdot t^2) \cdot x, \quad (15)$$

где

μ – динамический коэффициент вязкости раствора, Па·с; x – концентрация растворенного вещества, кг_соли/кг_раствора; t – температура, °C; d_0, d_1, d_2 – коэффициенты, приведенные в таблице 9; $\mu_{\text{H}_2\text{O}}$ – вязкость воды, которая может быть рассчитана по формуле (3) или

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}}(t) = 0.59849 \cdot (43.252 + t)^{-1.5423}$$

Таблица 9.

Растворенное вещество	$d_0 \cdot 10^2$	$d_1 \cdot 10^4$	$d_2 \cdot 10^9$
CaCl ₂	148,28	-13,30	-3648,23
K ₂ CO ₃	146,67	4,80	-245,24
KCl	-8,76	71,30	9,97
KOH	118,70	17,06	-1098,35
MgCl ₂	217,86	-38,25	4170,79
NH ₄ Cl	-20,28	83,11	-910,40
(NH ₄) ₂ SO ₄	73,59	44,64	-409,06
NaCl	89,22	17,96	-45,46
Na ₂ SO ₄	147,69	8,58	-1356,01
Na ₂ CO ₃	310,88	-134,83	-2914,19
NaOH	347,89	-122,35	544,64
KNO ₃	-21,42	65,80	10,0
MgSO ₄	287,02	-74,88	130,7770
NH ₄ NO ₃	-18,55	94,08	150,0
CuSO ₄	206,92	-58,83	146,58
NaNO ₃	52,32	26,94	0,0

3.3. Теплоемкость растворов

Теплоемкость растворов $c(t)$ в диапазоне температур $0 \div 100$ °С может быть вычислена по формуле [7]:

$$c(t) = c_{\text{H}_2\text{O}}(t) + (B_0 + B_x \cdot x + B_t \cdot t + B_2 \cdot t^2) \cdot x, \quad (16)$$

где

c – удельная теплоемкость раствора, Дж/кг/К; x – концентрация растворенного вещества, кг_соли/кг_раствора; t – температура, °С; B_0, B_x, B_t, B_2 – коэффициенты, приведенные в таблице 10; $c_{\text{H}_2\text{O}}$ – теплоемкость воды, которая может быть рассчитана по формуле (5') или

$$c_{\text{H}_2\text{O}}(t) = 4223.6 + 2.476 \cdot t \cdot \lg(t/100)$$

Таблица 10.

Растворенное вещество	$-B_0$	B_x	B_t	$-B_2 \cdot 10^3$
CaCl ₂	6497,23	5563,05	6,36	17,92
K ₂ CO ₃	5086,14	2161,24	6,62	5,51
KCl	5230,02	2939,03	-0,21	16,52
KOH	5343,49	2356,87	10,43	4,76
MgCl ₂	6530,30	4804,79	5,64	19,79
NH ₄ Cl	5087,59	3829,86	5,61	17,89
(NH ₄) ₂ SO ₄	4663,14	2938,54	5,52	7,43
NaCl	5479,43	7878,33	3,14	23,35
Na ₂ SO ₄	5364,78	5043,73	13,45	24,10
Na ₂ CO ₃	4187,41	4760,10	6,66	8,25
NaOH	5297,21	6942,68	14,84	14,15
KNO ₃	4293,94	2585,00	-3,69	5,26
MgSO ₄	6277,71	9435,9	12,00	7,90
NH ₄ NO ₃	3287,70	1136,94	-0,81	-6,5
CuSO ₄	5100,71	1967,28	15,46	-16,69
NaNO ₃	3369,37	2213,59	-0,3	91,95

3.4. Температура кипения растворов

Температура $t_k(P)$ кипения растворов в диапазоне давлений $0,01 \div 0,5$ МПа может быть вычислена по формуле:

$$t_k(P) = \frac{1669,6}{10,0888 - \lg(P) + \lg(a \cdot x^2 + b \cdot x + 1)} - 228,4 \quad (17)$$

где t_k – температура кипения раствора; x – концентрация растворенного вещества, кг соли/кг раствора; P – давление, Па; a, b – коэффициенты, приведенные в таблице 11.

Таблица 11.

Растворенное вещество	$a \cdot 10$	$b \cdot 10^2$
CaCl ₂	-16,0	-56,5
K ₂ CO ₃	-13,0	-13,7
KCl	-6,9	-46,8
KOH	-17,0	-74,6
MgCl ₂	-35,0	-41,7
NH ₄ Cl	-4,7	-65,4
(NH ₄) ₂ SO ₄	-3,9	-25,6
NaCl	-11,0	-61,4
Na ₂ SO ₄	-3,9	-24,1
Na ₂ CO ₃	-1,7	-44,5
NaOH	-14,0	-98,2
KNO ₃	-3,4	-23,8
MgSO ₄	-8,2	-18,2
NH ₄ NO ₃	-3,1	-41,0
CuSO ₄	-8,2	71,0
NaNO ₃	-4,6	-39,0

3.5. Теплопроводность растворов

Теплопроводность $\lambda(t)$ растворов в диапазоне температур $0 \div 100$ °С может быть вычислена по формуле:

$$\lambda(t) = \lambda_{\text{H}_2\text{O}}(t) \cdot (1 - B \cdot x) \quad (18)$$

где

λ – теплопроводность, Вт/м/К; x – концентрация растворенного вещества, кг соли/кг раствора; t – температура, °С; B – коэффициент, приведенный в таблице 12; $\lambda_{\text{H}_2\text{O}}$ – теплопроводность воды, которая может быть рассчитана по формуле (6').

Таблица 12.

Растворенное вещество	$B \cdot 10^3$	Растворенное вещество	$B \cdot 10^3$
CaCl ₂	69,74	Na ₂ SO ₄	425,72
K ₂ CO ₃	180,14	Na ₂ CO ₃	143,84
KCl	104,35	NaOH	-128,84
KOH	130,74	KNO ₃	334,59
MgCl ₂	493,17	MgSO ₄	250,07
NH ₄ Cl	245,88	NH ₄ NO ₃	605,04
(NH ₄) ₂ SO ₄	84,81	CuSO ₄	386,53
NaCl	156,97	NaNO ₃	138,88

4. Равновесие бинарных смесей.

Данные по равновесным составам [8] некоторых бинарных смесей представлены в таблице 13. В этой таблице приведены концентрации y , моль %, низкокипящего компонента в паре и температуры t , °С, при равновесии в зависимости от концентрации x низкокипящего компонента в жидкости.

Таблица 13

Равновесие бинарных систем

		x	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40
	Смесь											
1	ацетон – бензол	y	0,0	6,3	14,0	24,3	32,9	40,0	46,1	51,2	55,6	59,4
		t	80,1	79,5	78,3	76,4	74,6	72,8	71,2	69,6	68,1	66,7
2	ацетон – вода	y	0,0	42,1	65,8	76,3	80,2	81,6	82,6	83,0	83,4	83,8
		t	100,	86,5	74,6	66,6	63,3	61,9	61,2	60,9	60,7	60,5
3	ацетон – дихлорэтан	y	0,0	5,4	13,0	24,2	34,0	42,4	49,7	55,9	61,2	65,8
		t	82,4	81,5	80,3	78,4	76,7	75,2	73,8	72,5	71,3	70,1
4	ацетон – метиловый спирт	y	0,0	4,7	10,8	19,6	27,0	33,5	38,8	43,2	47,6	51,4
		t	64,8	64,0	63,0	61,6	60,6	59,5	58,7	58,1	57,4	56,9
5	ацетон – четыреххлористый углерод	y	0,0	7,0	18,3	28,9	36,6	42,6	47,7	51,6	54,9	58,2
		t	76,7	74,3	71,7	68,2	65,8	63,9	62,3	61,1	60,3	59,5
6	ацетон – этиловый спирт	y	0,0	6,9	15,5	26,2	34,8	41,7	47,6	52,4	56,6	60,5
		t	78,3	77,1	75,4	73,0	71,0	69,0	67,3	65,9	64,7	63,6
7	бензол – толуол	y	0,0	4,6	11,0	20,8	29,5	37,2	44,3	50,7	56,6	61,9
		t	110,	109,	107,	105,	103,	101,5	99,7	98,0	96,5	95,0
8	бензол – уксусная кислота	y	0,0	12,1	26,1	41,7	51,9	58,9	64,5	68,6	72,3	75,2
		t	118,	115,	11,4	105,	102,	98,9	96,2	94,0	91,9	90,3

Продолжение таблицы 13.

	x	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	P, мм.рт.ст.
1	y	63,1	66,5	69,8	73,0	76,2	79,5	82,9	86,3	89,7	93,2	96,6	100,0	760
	t	65,4	64,3	63,3	62,4	61,5	60,7	60,1	59,6	59,3	58,8	57,8	56,1	
2	y	84,4	85,2	85,1	85,6	86,6	87,5	88,4	89,7	91,5	93,5	96,3	100,0	760
	t	60,2	59,8	59,7	59,5	59,1	58,8	58,5	58,2	57,6	57,6	56,9	56,3	
3	y	69,8	73,4	76,9	80,6	83,9	87,0	89,7	92,1	94,3	96,3	98,2	100,0	760
	t	68,9	67,8	66,6	65,3	64,0	62,8	61,5	60,3	59,1	57,9	56,6	55,3	
4	y	54,9	58,8	62,1	65,6	69,1	72,6	76,3	80,0	83,6	88,5	94,1	100,0	760
	t	56,5	56,2	56,0	55,8	55,6	55,5	55,4	55,4	55,4	55,6	55,8	56,1	
5	y	61,4	64,2	67,0	70,0	72,9	76,6	79,5	81,8	86,9	90,5	94,6	100,0	760
	t	58,7	57,9	57,4	57,2	56,9	56,6	56,3	56,2	56,0	56,0	56,0	56,0	
6	y	64,1	67,4	70,7	73,9	77,1	80,2	83,3	86,5	89,7	92,9	96,3	100,0	760
	t	62,6	61,8	61,1	60,4	59,7	59,1	58,5	58,0	57,5	57,0	56,5	56,1	
7	y	66,8	71,3	75,4	79,1	82,5	85,7	88,6	91,2	93,6	95,9	98,0	100,0	760
	t	93,6	92,3	91,0	89,7	88,5	87,3	86,1	85,0	83,9	82,7	81,4	80,1	
8	y	77,4	79,4	81,4	83,3	85,2	87,1	89,0	91,0	93,0	95,2	97,5	100,0	760
	t	89,0	87,8	86,7	85,6	84,6	82,7	82,9	82,1	81,5	81,0	80,5	80,2	

Продолжение таблицы 13.

		x	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40
9	Смесь вода – уксусная кислота	y	0,0	3,9	9,2	16,7	23,7	30,2	36,9	42,5	48,1	53,5
		t	118,1	116,8	115,4	113,8	111,9	110,1	108,7	107,5	106,0	105,8
10	изопропиловый спирт – толуол	y	0,0	12,4	27,5	42,8	50,3	55,9	59,5	61,78	64,0	66,4
		t	0,0	106,5	100,9	94,6	90,9	88,6	86,8	85,6	84,7	84,0
11	метиловый спирт – вода	y	100,0	13,4	26,9	41,8	51,7	57,9	62,7	66,5	69,9	72,9
		t	0,0	96,4	92,3	87,7	84,4	81,7	79,6	78,0	76,6	75,3
12	метиловый спирт –этиловый спирт	y	78,3	3,0	7,4	14,3	20,8	27,1	33,4	39,6	45,6	51,5
		t	0,0	77,8	77,2	76,5	75,8	75,0	74,3	73,6	72,9	72,2
13	пропиловый спирт – вода	y	100,0	21,6	34,2	37,2	38,6	39,2	39,8	40,4	41,3	42,4
		t	0,0	92,0	89,8	88,5	88,1	88,1	88,0	87,9	87,8	87,8
14	толуол – уксусная кислота	y	118,1	7,0	15,5	25,5	32,3	37,2	41,8	46,0	50,4	54,1
		t	0,0	114,7	111,3	108,9	107,9	105,6	104,3	103,3	102,4	101,7
15	хлороформ – бензол	y	80,5	2,2	6,0	12,5	19,3	27,0	34,5	41,8	48,3	54,6
		t	0,0	80,2	80,0	79,5	78,9	78,5	77,9	77,3	76,3	76,0
16	хлороформ – метиловый спирт	y	0,0	5,9	13,3	23,4	32,0	39,6	45,5	49,7	52,6	54,8
		t	64,9	64,4	63,0	60,8	59,1	57,8	56,7	55,7	54,9	54,4

Продолжение таблицы 13

	x	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	P, мм.рт.ст.
9	y	58,7	63,6	67,7	71,6	75,6	79,5	83,0	86,4	89,7	93,0	96,4	100,0	760
	t	105,	104,	103,	103,	102,	102,	101,	101,	100,	100,	100,	100,0	
10	y	68,3	70,0	71,4	73,0	74,7	76,4	78,6	81,7	84,8	88,7	93,6	100,0	760
	t	83,4	82,9	82,4	82,1	81,9	81,5	81,5	81,3	81,2	81,4	81,8	82,3	
11	y	75,5	77,9	80,2	82,5	84,8	87,0	89,3	91,5	93,7	95,8	97,9	100,0	760
	t	74,2	73,1	72,1	71,2	70,2	69,3	68,4	67,5	66,8	66,0	65,0	64,5	
12	y	57,2	62,6	67,7	72,3	76,2	79,8	83,3	86,6	89,9	93,2	96,6	100,0	760
	t	71,5	70,8	70,1	69,4	68,8	68,2	67,5	66,9	66,4	65,9	65,4	64,9	
13	y	43,7	45,2	47,0	49,2	51,8	55,1	59,1	64,1	70,4	77,8	87,7	100,0	760
	t	87,8	87,9	88,1	88,3	88,6	89,0	89,7	90,5	91,5	92,8	94,5	97,3	
14	y	55,8	57,0	59,1	61,5	64,0	66,6	68,9	71,8	75,8	91,0	88,5	100,0	760
	t	101,	100,	100,	100,	100,	100,	100,	100,	101,	102,	104,	110,8	
15	y	61,0	65,9	70,2	74,5	78,9	83,2	87,1	90,0	92,3	94,6	97,0	100,0	760
	t	75,3	74,5	73,7	72,9	72,1	71,0	69,8	68,5	67,2	65,6	63,7	61,3	
16	y	56,6	58,2	60,1	62,1	64,5	67,4	70,8	74,8	79,7	85,4	92,1	100,0	757
	t	54,0	53,7	53,5	53,4	53,4	53,6	54,1	57,8	55,8	57,3	59,1	61,4	

Продолжение таблицы 13.

		x	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40
17	Смесь хлороформ – четырёххлористый углерод	y	0,0	2,8	6,8	13,5	20,0	26,5	33,0	39,5	45,8	52,0
		t	76,8	76,4	75,8	74,7	73,6	72,6	71,6	70,6	69,6	68,6
		y	0,0	8,7	19,2	30,0	38,1	46,1	50,5	53,3	56,0	58,2
18	сероуглерод – ацетон	t	0,56,	53,9	51,2	48,2	45,7	43,5	42,1	41,3	40,6	40,1
		y	0,0	5,8	13,0	24,3	34,4	42,3	48,6	54,3	59,6	64,2
19	сероуглерод – четырёххлористый углерод	t	76,7	75,5	73,7	70,9	68,3	66,1	64,1	62,3	60,6	59,0
		y	0,0	4,4	10,0	18,0	26,0	34,0	41,0	48,0	55,0	61,0
20	хлороформ – дихлорэтан	t	83,3	82,7	81,9	80,5	79,1	77,8	76,4	75,1	73,0	72,5
		y	0,0	2,5	6,1	11,9	17,4	22,6	27,8	32,9	37,8	42,6
21	четырёххлористый углерод – бензол	t	80,2	80,0	79,8	79,4	79,1	78,8	78,6	78,3	78,1	77,9
		y	0,0	11,5	22,1	32,9	41,3	47,2	51,0	53,2	55,1	56,6
22	четырёххлористый углерод – этиловый спирт	t	77,9	75,8	73,6	70,9	68,9	67,4	66,2	65,4	64,9	64,5
		y	0,0	19,4	32,9	44,2	49,6	52,8	55,2	57,6	59,8	61,8
23	этиловый спирт – вода	t	100,0	95,1	91,0	86,7	84,4	83,2	82,5	81,9	81,3	80,9
		y	0,0	7,2	16,4	27,5	34,5	38,3	39,9	40,5	41,9	43,1
24	этиловый спирт – бензол	t	79,8	77,7	75,0	71,8	69,8	68,7	68,3	68,2	67,9	67,8

Продолжение таблицы 13

	x	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	P, мм.рт.ст.
17	y	58,0	63,5	68,2	72,5	76,8	81,0	84,9	88,5	91,9	95,0	97,7	100,0	760
	t	67,7	66,9	66,1	65,3	64,4	63,9	63,2	62,6	62,0	61,5	61,1	60,8	
18	y	59,9	61,5	63,1	64,6	66,0	65,7	67,0	72,0	75,3	77,2	84,1	100,0	760
	t	39,8	39,5	39,3	39,1	39,1	38,8	38,8	39,5	40,2	40,8	42,4	46,3	
19	y	68,5	72,4	76,0	79,2	82,2	84,9	87,4	90,0	92,7	95,2	97,7	100,0	760
	t	57,5	56,1	54,8	53,7	52,6	51,5	50,5	49,6	48,7	47,8	47,0	46,3	
20	y	67,0	71,0	75,0	79,0	83,0	86,0	89,0	91,0	93,0	95,0	98,0	100,1	760
	t	71,2	70,0	68,9	67,7	66,7	65,9	65,0	64,2	63,5	62,7	62,0	61,1	
21	y	47,4	52,3	57,0	61,8	66,5	71,3	76,0	80,7	85,5	90,3	95,1	100,0	760
	t	77,7	77,5	77,4	77,2	77,1	77,0	76,8	76,7	76,7	76,7	76,7	76,7	
22	y	57,7	58,6	59,6	60,9	62,8	65,2	68,3	72,3	77,4	83,5	91,1	100,0	760
	t	64,2	64,0	63,9	63,7	63,7	64,0	64,6	65,6	67,2	69,4	75,2	75,9	
23	y	63,6	65,2	67,1	69,5	72,2	75,1	78,3	81,9	85,8	90,1	94,8	100,0	760
	t	80,4	79,9	79,5	79,2	79,0	78,8	78,5	78,4	78,2	78,2	78,2	78,3	
24	y	44,3	45,5	47,1	49,2	51,5	53,9	56,9	60,8	65,7	71,7	81,6	100,0	757
	t	67,8	67,9	68,0	68,2	68,5	68,8	69,4	70,3	71,3	72,8	75,0	78,1	

Список используемой литературы.

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Изд. 9-е, пер. и доп. М.: Химия, 1973, 754 с.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. - Л.: Химия, 1987 - 576 с.
3. Рид Р., Дж. Праусниц, Т. Шервуд. Свойства газов и жидкостей.- Л.: Химия, 1982. - 592 с.
4. Романков П.Г., Носков А.А. Сборник расчетных диаграмм по курсу процессов и аппаратов химической технологии. -Л.: Химия, 1997. - 24с.
5. Варгафтик Н.Б. и др. Справочник по теплопроводности жидкостей и газов.- М.: 1990 –349 с.
6. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей.- М.: Наука.- 1972. – 720 с.
7. Справочник химика / под редакцией Б.П. Никольского. 2-е издание Т.1. - М - Л: Химия.- 1966. – 1072 с.
8. Зайцев И.Д., Асеев Г.Е. Физико - химические свойства бинарных многокомпонентных растворов и неорганических веществ.-Химия - 1987 – 720с.
9. Коган В.Б., Фридман В.М. Справочник по равновесию между жидкостью и паром в бинарных и многокомпонентных системах.-Л.; 1957 – 498с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Основные физические свойства некоторых жидкостей	4
1.1. Плотность и коэффициент объемного расширения жидкостей	4
1.2. Вязкость и поверхностное натяжение жидкостей	5
1.3. Теплоемкость и теплопроводность жидкостей	6
1.4. Теплота испарения, давление насыщенных паров и температура кипения жидкостей	7
2. Основные физические свойства газов и паров	8
2.1. Молекулярная масса, плотность, коэффициент объемного расширения и вязкость газов и паров	8
2.2. Теплоемкость газов и паров	9
2.3. Теплопроводность газов и паров	10
3. Основные физические свойства некоторых растворов	11
3.1. Плотность и коэффициент объемного расширения растворов	11
3.2. Вязкость растворов	12
3.3. Теплоемкость растворов	13
3.4. Температура кипения растворов	14
3.5. Теплопроводность растворов	15
4. Равновесие бинарных смесей	15
Список литературы	22

Кафедра процессов и аппаратов химической технологии

Екатерина Игоревна Борисова
Олег Николаевич Круковский
Алла Валентиновна Маркова
Олег Вадимович Муратов

Свойства жидкостей и газов

Методические указания к курсовому проектированию.

Печать компьютерная
Формат 60 x 90¹/₁₆ Печ.л. 1,5, Тираж 25 экз

Санкт-Петербургский технологический институт (технический университет)

198013 СПб Московский пр., 26