

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ГАЗОВ, ЖИДКОСТЕЙ И
ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ВЕЩЕСТВ**

Методические указания

**Иваново
2009**

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ивановский государственный химико-технологический университет»

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЗОВ,
ЖИДКОСТЕЙ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ВЕЩЕСТВ**

Методические указания

Составители: Е.М. Шадрина, Г.В. Волкова

Иваново 2009

УДК (66.02.:536).001.24(083.5)

Определение теплофизических свойств газов, жидкостей и водных растворов веществ: метод. указания (Сост. Е.М. Шадрина, Г.В. Волкова; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2009. – 80с.)

В методических указаниях представлены номограммы для определения теплофизических свойств: плотности, динамического коэффициента вязкости, коэффициента теплопроводности, удельной массовой теплоемкости и критерия Прандтля газов и паров, жидкостей и водных растворов солей, рассмотрена возможность пересчета данных величин в зависимости от температуры.

Данный сборник может быть полезен студентам всех форм обучения и всех специальностей технологических ВУЗов при выполнении расчетных заданий, оформлении лабораторных работ, расчете курсовых и дипломных проектов по курсу "Процессы и аппараты химической технологии", "Процессы и аппараты пищевых производств", "Гидравлика и теплотехника", "Теплотехника", "Техническая термодинамика и теплотехника", "Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения".

Табл. 17 Библиогр.: 22 назв.

Рецензент:

доктор технических наук, профессор А.Н. Лабутин (Ивановский государственный химико – технологический университет)

Редактор В.Л. Родичева

Подписано в печать 22.01.2009. Формат 60x84/8. Бумага писчая.

Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 5,16. Тираж 200 экз. Заказ

ГОУ ВПО Ивановский государственный
химико-технологический университет

Отпечатано на полиграфическом оборудовании
кафедры экономики и финансов ГОУ ВПО «ИГХТУ»
153000, г. Иваново, пр. Ф. Энгельса. 7

ОГЛАВЛЕНИЕ

Условные обозначения	4
Введение	5
Глава 1 Плотность газов, жидкостей и водных растворов солей	8
1.1. Определение плотности газов	8
1.2. Определение плотности жидкостей	9
1.3. Определение плотности водных растворов веществ	16
Глава 2 Вязкость газов, жидкостей и водных растворов веществ	23
2.1. Определение вязкости газов	23
2.2. Определение вязкости жидкостей	27
2.3. Определение вязкости водных растворов веществ	31
Глава 3 Теплоемкость газов, жидкостей и водных растворов веществ	38
3.1. Определение теплоемкости газов	38
3.2. Определение теплоемкости жидкостей	42
3.3. Определение теплоемкости водных растворов веществ	47
Глава 4 Теплопроводность газов, жидкостей и водных растворов веществ	54
4.1. Определение теплопроводности газов	54
4.2. Определение теплопроводности жидкостей	58
Определение теплопроводности водных растворов веществ	63
Глава 5 Критерий Прандтля газов и жидкостей	71
5.1. Определение критерия Прандтля газов и паров	71
5.2. Определение критерия Прандтля жидкостей	74
Список использованной литературы	79

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

V - объем, м^3 ;

v - удельный объем, $\text{м}^3/\text{кг}$;

c – удельная массовая теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

c' - удельная объемная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$;

c_μ - удельная молярная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кмоль}\cdot\text{К})$;

g - ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

G - вес, Н ;

γ - удельный вес, $\text{Н}/\text{м}^3$;

λ - коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

m - масса, кг ;

M - молекулярная масса, $\text{кг}/\text{кмоль}$;

μ - динамический коэффициент вязкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

P - давление, Па ;

ρ - плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$;

t - температура, $^\circ\text{C}$;

T - абсолютная температура, К ;

τ - время, с ;

r – объемная доля компонента в смеси;

x – молярная доля компонента в смеси;

$\bar{\chi}$ - массовая доля компонента в смеси;

θ - напряжение внутреннего трения (касательное напряжение), $\text{Н}/\text{м}^2$;

Q - количество подводимой (отводимой) теплоты, Дж .

ВВЕДЕНИЕ

Пересчет единиц измерения

В справочной литературе часто значения физико-химических величин приводятся в единицах измерения, относящихся к различным системам или во внесистемных единицах. Поэтому при выполнении расчетов возникает необходимость пересчета величин в Международную систему единиц - СИ.

СИ принята XI Генеральной конференцией по мерам и весам в октябре 1960 года. В основу СИ положена система единиц МКС (метр - килограмм - секунда). Система содержит небольшое число основных и множество производных единиц. Размерность последних выражается через основные единицы измерения, из соотношений и зависимостей между величинами, определяемыми физическими законами.

Соотношения между единицами даны в таблицах 1-3.

Таблица 1

Соотношение между единицами теплоты

Единицы	Дж [Н · м]	кДж	Кгс · м, кг м	кВт · ч	Кал
Джоуль	1	0,001	$1,02 \cdot 10^{-1}$	$2,78 \cdot 10^{-1}$	0,239
Килоджоуль	1000	1	102	$2,78 \cdot 10^{-4}$	239
Эрг	10^{-7}	10^{-10}	$1,02 \cdot 10^{-8}$	$2,78 \cdot 10^{-14}$	$2,39 \cdot 10^{-8}$
Килограмм-метр	9,81	$9,81 \cdot 10^{-3}$	1	$2,72 \cdot 10^{-6}$	2,344
Киловатт-час	$3,6 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^3$	$3,67 \cdot 10^5$	1	$8,60 \cdot 10^5$
Калория	4,186	$4,186 \cdot 10^{-3}$	0,427	$1,162 \cdot 10^{-6}$	1

Таблица 2

Соотношение единиц измерения давления

Единицы	Па, Н/м ²	Бар	м вод. ст. (при 4 °С)	мм рт.ст. (при 0°С)	ат, (кгс/см ²)	атм
1 Паскаль	1	10^{-5}	$1,0197 \cdot 10^{-4}$	0,0075	$1,0197 \cdot 10^{-5}$	$9,87 \cdot 10^{-6}$
1 Бар	10^5	1	10,197	750,06	1,0197	0,987
1 кгс/м ²	9,807	$98,067 \cdot 10^{-6}$	0,001	0,0736	$1 \cdot 10^{-4}$	$9,678 \cdot 10^{-5}$
1 м вод. ст.	9806,65	$98,067 \cdot 10^{-5}$	1	73,56	0,1	0,0968
1 мм рт. ст.	133,322	$1333,22 \cdot 10^{-6}$	0,0136	1	0,00136	0,00132
1 атмосфера техн., ат	$0,9807 \cdot 10^5$	0,980655	10	735,56	1	0,9678
1 атмосфера физич., атм	$1,013 \cdot 10^5$	1,01325	10,332	760	1,0332	1

Соотношение единиц измерения вязкости
(динамического коэффициента вязкости, μ)

Единицы	Пуаз (пз)	Сантипуаз (спз)	$\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2 = \text{Па}\cdot\text{с}$
1 пуаз	1	100	0,1
1 Сантипуаз	0,001	1	10^{-3}
1 $\text{Па}\cdot\text{с} = \text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$	10	10^3	1

Численные значения теплофизических свойств газов и паров, жидкостей и растворов веществ представлены в виде номограмм.

Рассмотрим на конкретном примере **методику работы с номограммой**.

Допустим, необходимо определить плотность воды обыкновенной при температуре 90°C . По таблице к номограмме 1.1. в соответствии с п.9 (вода обыкновенная) определяют положение точки на координатной сетке номограммы - координаты $X=37,5$ и $Y=87,5$ (см. рис.1). Соединяют данную точку с численным значением температуры $t=90^\circ\text{C}$ на температурной оси и продолжают прямую линию в обратную сторону до пересечения с осью плотностей. Численное значение $\rho_{\text{воды}} = 960 \text{ кг}/\text{м}^3$ соответствует плотности воды при заданной температуре.

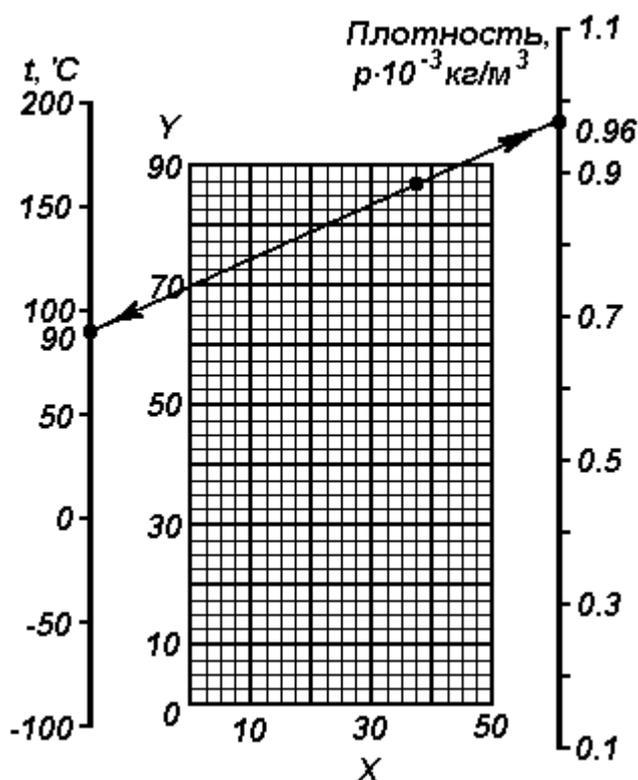


Рис. 1. Схема определения численного значения величины по номограмме

Для ряда веществ значения теплофизических свойств не подходят к описанию зависимостей, представленных номограммами. В этом случае в таблицах указаны литературные источники, где содержится информация по данным теплофизическим свойствам.

Например: в таблице к номограмме 1.3 для плотности водных растворов веществ в п.71 указано:

71	H ₂ SO ₄	[7] таблица 1.31
----	--------------------------------	------------------

Таким образом, плотность водных растворов серной кислоты различной концентрации в большом интервале температур можно найти в литературе [7] - Зайцев И.Д., Асеев Г.Г. Физико-химические свойства бинарных и многокомпонентных растворов неорганических веществ. М., Химия, 1988.- 415с. по таблице 1.31.

При отсутствии информации в литературных источниках, используемых при составлении данных методических указаний, те или иные теплофизические характеристики не определены, поэтому строки в таблице пустые. Однако авторами планируется расширение данных о свойствах газов, жидкостей и водных растворов солей.

Для удобства при работе с номограммами и поиске необходимой информации нумерация веществ во всех таблицах номограмм одинаковая. Например, информация по "воде обыкновенной" находится во всех таблицах в п.9.

В целом, в данных методических указаниях представлены теплофизические характеристики по 71 газу, 80 жидкостям и 210 растворам солей.

В основу методических указаний положены разработки авторов [1], предоставивших номограммы 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2, 3.3, 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 5.1, 5.2.

Номограммы 1.1 и 1.2 дополнены справочными данными [2].

Глава 1. Плотность газов, жидкостей и водных растворов солей

Плотность – отношение покоящейся массы тела к его объему. В СИ единица плотности кг/м^3 .

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1.1)$$

где ρ - плотность, кг/м^3 ; m – масса, кг ; V – объем, м^3 .

Применяемые в настоящее время понятия «удельного веса» и «насыпного и объемного весов» в системе СИ должны заменяться соответственно понятиями плотности, насыпной или объемной массы.

Удельный вес - вес единицы объема вещества, Н/м^3 :

$$\gamma = \frac{G}{V}, \quad (1.2)$$

$$G = m g, \quad (1.3)$$

$$\gamma = \rho g, \quad (1.4)$$

где G – вес, Н ; γ - удельный вес, Н/м^3 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

В данной главе представлены номограммы для определения плотности жидкостей и водных растворов веществ. Расчет плотности газов представлен ниже.

1.1. Определение плотности газов

Плотность идеального газа при нормальных физических условиях ($T_0 = 273,15 \text{ К}$ или $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, $P_0 = 1.01 \cdot 10^5 \text{ Па}$ или $P_0 = 1 \text{ атм}$) рассчитывается по уравнению:

$$\rho_0 = \frac{M}{22,4}, \quad (1.5)$$

где ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях, кг/м^3 ; M – молярная масса газа, кг/кмоль ; $22,4$ – объем 1-го киломоля газа при нормальных условиях, $\text{м}^3/\text{кмоль}$.

При условиях, отличных от нормальных, плотность идеальных газов рассчитывается по уравнению Менделеева - Клапейрона:

$$\rho = \frac{\rho_0 T_0 P}{T P_0}, \quad (1.6)$$

где T и P – соответственно температура, К и давление газа, Па в рассматриваемой системе.

Плотность смеси газов пропорциональна объемной доли компонента в данной смеси:

$$\rho_{см} = \sum_{i=1}^n (\rho_i \cdot r_i), \quad (1.7)$$

где $\rho_{см}$ – плотность смеси газов, кг/м³; ρ_i – плотность i -го компонента газовой смеси, кг/м³; r_i – объемная доля i -го компонента в смеси.

Плотность газов уменьшается при увеличении температуры и увеличивается при повышении давления.

1.2. Определение плотности жидкостей

В основе номограммы 1.2 лежит эмпирическая зависимость:

$$\rho_2 = \rho_1 [1 - \beta(t_2 - t_1)], \quad (1.8)$$

где ρ_2 и ρ_1 – плотности жидкости при температурах t_2 и t_1 , соответственно, кг/м³; β – коэффициент объемного расширения, 1/К.

Плотность жидкостей мало изменяется при изменении температуры и практически не зависит от давления. Определяется экспериментально или рассчитывается по предлагаемым уравнениям, полученным эмпирическим путем. Численные значения коэффициента объемного расширения определяются по справочной литературе [3].

Плотности жидкостей представлены двумя номограммами: 1.1 для нормальных жидкостей и 1.2 для тяжелых жидкостей.

Плотность смеси двух и более жидкостей пропорциональна массовой доле компонента. Для жидкостей, при смешении которых не происходит существенных физико-химических изменений, плотность можно рассчитать по уравнению (1.9):

$$\frac{1}{\rho_{см}} = \frac{\bar{\chi}_1}{\rho_1} + \frac{\bar{\chi}_2}{\rho_2} + \dots + \frac{\bar{\chi}_n}{\rho_n}, \quad (1.9)$$

где $\rho_{см}$ – плотность смеси жидкостей, кг/м³; $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ – плотности компонентов смеси, кг/м³; $\bar{\chi}_1, \bar{\chi}_2, \dots, \bar{\chi}_n$ – массовые доли компонентов.

Номограмма 1.1
для определения плотности нормальных жидкостей

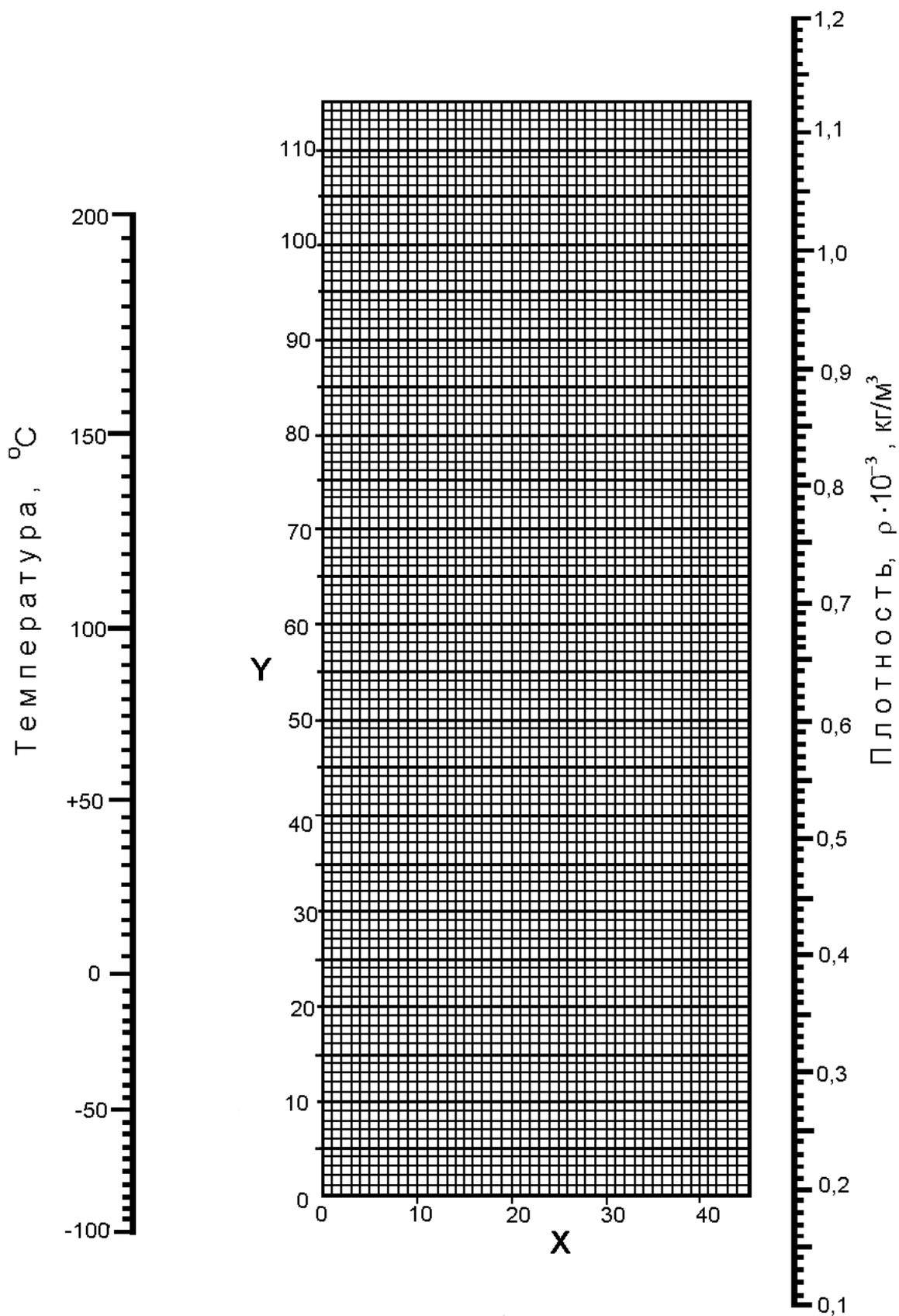


Таблица к номограмме 1.1

№ п/п	Наименование вещества	Координаты		Пределы применимости номограммы, °С	
		X	Y		
1	2	3	4	5	6
1	Азотная кислота				
	100% - я	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	75% - й водный раствор	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	50% - й водный раствор	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	25% - й водный раствор	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
2	Аммиак				
	жидкий	23,0	43,0	-50	+100
	26% - й водный раствор	при 20 °С - ρ = 910 кг/м ³ ; при 120 °С - ρ = 856 кг/м ³			
3	Анилин	33,5	86,0	0	+200
4	Ацетилен	9,5	26,5	-50	+30
5	Ацетон	28,0	60,0	-90	+100
6	Бензин Б-70	33,0	60,0	0	+200
7	Бензиловый спирт	35,0	90,0	-10	+200
8	Бензол	31,0	70,0	0	+200
9	Вода обыкновенная	37,5	87,5	0	+200
10	Вода тяжелая	37,5	97,5	+5	+200
11	Водорода перекись	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
12	Водород фтористый	22,0	70,0	-50	+100
13	Водород хлористый	9,0	50,5	-100	+30
14	Водород цианистый	29,0	52,0	-10	+50
15	Гексан	32,0	50,5		+180
16	Гидразин	34,0	84,5	0	+100
17	Глицерин				
	100% - ный	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	95%-й водный раствор	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	90%-й водный раствор	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	80%-й водный раствор	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	60%-й водный раствор	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	40%-й водный раствор	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
20%-й водный раствор	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей				
18	Гудрон				
19	Дифениламин	36,5	94,0	+60	+200
20	Дифенил	36,0	89,0	+90	+200
21	Диэтиленгликоль	35,5	97,5	0	+200
22	Изобутиловый спирт	33,5	64,5	-60	+200
23	Изомасляная кислота				
	100% - я	32,5	77,5	-60	+200
	различных концентраций				
24	Изопропиловый спирт	25,5	63,0	0	+200
25	Капролактан	36,5	92,0	+70	+200
26	Керосин	37,5	63,5	0	+200
27	о-Крезол				
	м-Крезол				
	р-Крезол				

Продолжение таблицы к номограмме 1.1

1	2	3	4	5	6
28	о-Ксилол	33,5	72,0	-20	+150
	м-Ксилол	33,5	70,5	-20	+150
	р-Ксилол	33,0	70,0	+20	+150
29	Кумол	34,5	71,0	-50	+150
30	Мазут				
	флотский Ф 12	38,0	80,0	0	+150
	флотский Ф 20				
31	Масла				
	Масло АМГ-10	36,0	70,0	+20	+150
	Масло веретенное АУ	37,0	75,0	0	+150
	Масло дизельное	37,0	78,0	0	+150
	Масло касторовое	37,5	83,0	0	+200
	Масло льняное	37,5	80,0	0	+200
	Масло оливковое				
	Масло подсолнечное	37,5	79,0	0	+200
	Масло соляровое	37,5	76,5	0	+150
	Масло трансформаторное	38,0	76,5	0	+150
	Масло хлопковое	37,5	77,5	0	+200
32	Масляная кислота				
	100% - я	33,0	79,0	0	+200
	различных концентраций				
33	Метилацетат	27,0	72,0	-50	+150
34	Метиловый спирт				
	100 %-й	31,5	62,5	-80	+200
	90 % - й	[2] от 0 до 20 ⁰ С – ρ = 820 кг/м ³			
	40 % - й	[2] от 0 до 120 ⁰ С – ρ = 946 ÷ 880 кг/м ³			
	30 % - й	[2] от 0 до 20 ⁰ С – ρ = 950 кг/м ³ ; [3] стр. 512			
35	Метиловый эфир	23,5	47,5	-100	+100
36	Метил хлористый	18,5	62,0	-90	+100
37	Мочевина				
	90% - й водный раствор	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	80%- й водный раствор	42,0	114,0	+80	+150
	60%- й водный раствор	39,5	106,5	+30	+150
	40%- й водный раствор				
	20%- й водный раствор				
38	Муравьиная кислота	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
39	Нитробензол	[3] стр. 515			
40	Нитроглицерин				
41	Олеиновая кислота				
42	Олеум	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
43	Пиридин	31,0	80,0	-30	+150
44	Пропиловый спирт	31,0	64,5	-100	+200
45	Пропиловый эфир	30,5	78,0	-80	+200
46	Сера жидкая	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			

Продолжение таблицы к номограмме 1.1

1	2	3	4	5	6
47	Серная кислота	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	100 % -я	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	93 % -я	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	70 % -я	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	60 % -я	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	40 % -я	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	30 % -я	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	20 % -я	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
10 % -я	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей				
48	Сероводород	19,5	54,0	-60	+60
49	Сероуглерод	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
50	Силикон	36,5	82,5	0	+200
51	Толуол	32,0	70,0	-50	+200
52	Топливо Т-5	38,0	71,0	0	+200
53	Топливо дизельное	36,5	74,5	+20	+150
54	Триэтиленгликоль	36,5	97,5	0	+200
55	Углерод четыреххлористый	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
56	Углерода двуокись	9,5	26,5	-30	+25
57	Уксусная кислота				
	100% - я	31,0	85,0	0	+200
	60% - я	[2] от 0 до 20 ⁰ С – ρ = 1040 кг/м ³ ; [3] стр. 511			
	50% - я	[3] стр. 512			
30% - я	[2] от 0 до 20 ⁰ С – ρ = 1070 кг/м ³ ; [3] стр. 511				
58	Уксусный альдегид	данных нет			
59	Уксусный ангидрид	33,5	70,5	-50	+100
60	Фенол	[3] стр. 512			
61	Формальдегид	25,5	53,0	-80	+80
62	Формаид	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
63	Фосфорная кислота	см. номограмму 1.3 – для растворов веществ			
64	Фреоны				
	Фреон-11	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	Фреон-12	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	Фреон-13	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	Фреон-21	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	Фреон-22	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	Фреон-113	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
	Фреон-114	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
Фреон-142	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей				
65	Фталиевый ангидрид	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
66	Фуран	24,5	70,0	-80	+160
67	Фурфурол	31,5	95,0	-30	+200
68	Хлораль	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			
69	Хлорбензол	31,5	91,0	-40	+200
70	Хлороформ	см. номограмму 1.2 – для тяжелых жидкостей			

Окончание таблицы к номограмме 1.1

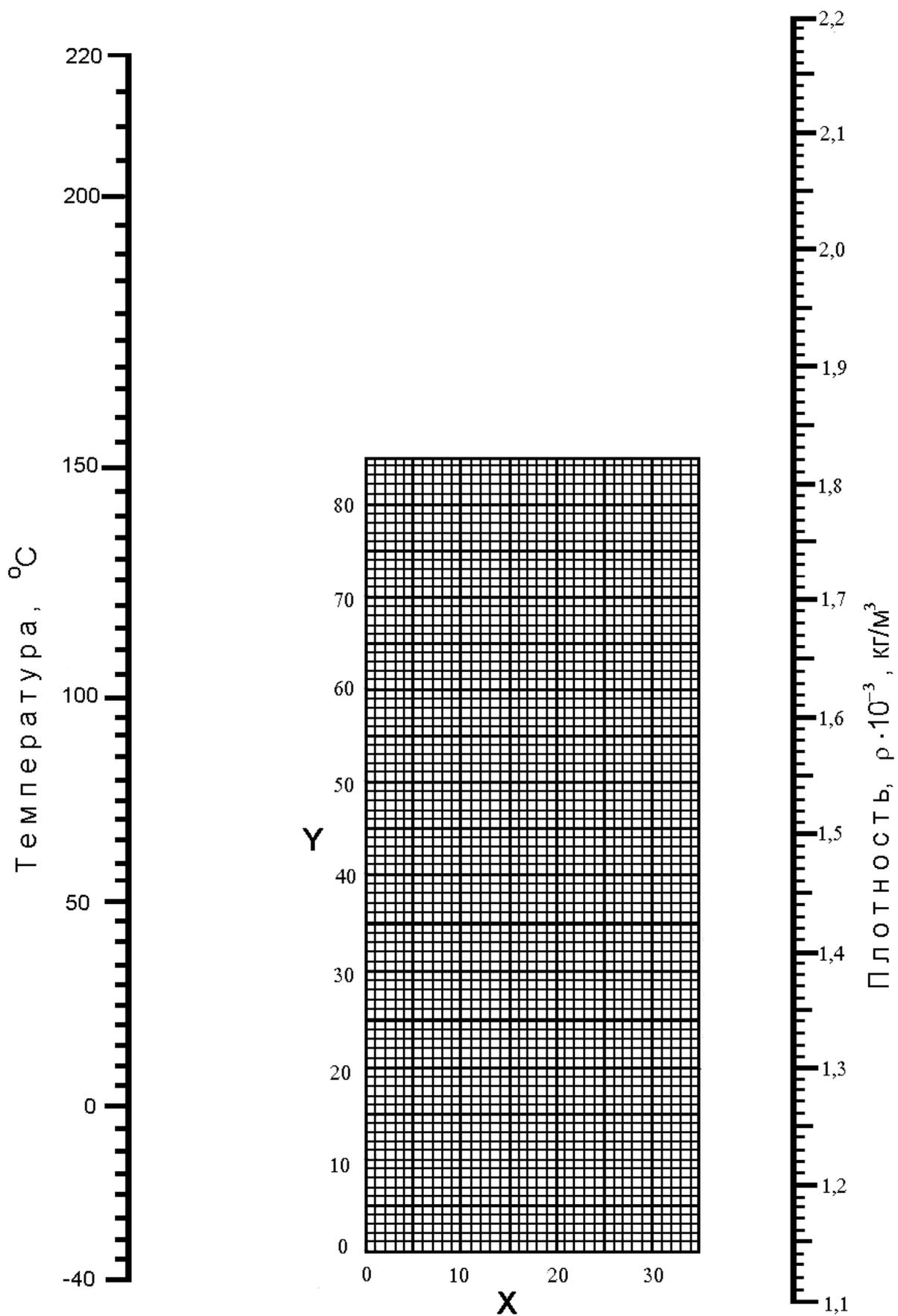
1	2	3	4	5	6
71	Циклогексан	32,0	62,0	+10	+150
72	Щавелевая кислота				
	различных концентраций	см. номограмму 1.3 – для растворов веществ			
73	Этан	20,0	25,5	-100	+20
74	Этил хлористый	24,0	66,0	-30	+100
75	Этиламин	29,0	51,5	0	+150
76	Этилен	15,0	22,0	-100	0
77	Этиленгликоль	36,5	97,5	0	+200
78	Этиловый спирт				
	100% - й	32,5	32,5	-100	+160
	70% - й	[3] стр. 511			
	40% - й				
	20% - й				
79	Этиловый эфир	29,0	54,0	-100	+120
80	Этилформиат	27,0	71,0	-70	+150

Плотность тяжелых жидкостей определяется по номограмме 1.2.

Таблица к номограмме 1.2

Наименование жидкости		Координаты		Пределы применимости номограммы, °С	
		X	Y		
1	2	3	4	5	6
1	Азота двуокись (жидкий)	18,0	33,0	-10	+50
	10% р-р в HNO ₃	20,5	42,5	0	+50
	20% р-р в HNO ₃	21,5	46,0	0	+50
	30% р-р в HNO ₃	21,0	48,5	0	+50
	Азота трехокись	21,5	31,0	-20	+20
2	Азотная кислота				
	100% - я	19,5	39,0	0	+50
	50%-й раствор	27,0	22,0	0	+150
	55%-й раствор	26,0	25,0	0	+150
	60%-й раствор	25,5	27,5	0	+150
	70%-й раствор	24,5	31,5	0	+100
3	Водорода перекись	28,5	35,0	0	+50
4	Глицерин	33,0	17,0	+20	+150
	50%-й раствор	от 0 до 20 °С – ρ = 1136 ÷ 986 кг/м ³			
5	Йодбензол	24,0	67,5	-20	+140
6	Метил бромистый	20,0	52,0	-40	+80
7	Метилен хлористый	19,5	23,5	-40	+50
8	Мочевина (90%-й раствор)	32,5	21,5	+100	+150
9	Муравьиная кислота	25,0	14,5	0	+100
10	Нитобензол	23,5	12,5	+10	+50
11	Нитротолуол	29,5	7,5	0	+150
12	Олеум				
	20% свободной SO ₃	25,0	75,0	+15	+60
	30% свободной SO ₃	30,5	83,5	+15	+60
13	Сера жидкая	33,5	81,0	+120	+220

Номограмма 1.2
для определения плотности тяжелых жидкостей



Окончание таблицы к номограмме 1.2

14	Серная кислота				
	70% - й раствор	30,5	57,5	0	+150
	93% - й раствор	29,5	72,5	0	+150
15	Серная кислота				
	100% -я для различных концентраций	31,0	74,0	+10	+150
		[2] стр. 428			
16	Сероуглерод	23,5	18,0	-40	+50
17	Серы двуокись	13,5	27,5	-40	+70
18	Сера трехокись	6,0	57,0	+10	+100
19	Углерод четыреххлористый	19,5	45,0	0	+220
20	Фосген	17,0	27,5	-40	+60
21	Фосфор	32,0	67,5	+40	+220
22	Формамид	39,5	5,0	+10	+60
23	Фреоны				
	Фреон-11	17,5	35,0	-40	+100
	Фреон-12	7,5	24,0	-40	+80
	Фреон-13	1,5	8,5	-40	0
	Фреон-21	15,5	27,0	-40	+140
	Фреон-22	11,5	17,0	-40	+60
	Фреон-113	16,0	42,0	-20	+180
	Фреон-114	12,0	32,5	-40	+100
Фреон-142	15,0	8,5	-40	+100	
24	Фталевый ангидрид	33,0	20,0	+135	+220
25	Хлор	11,5	29,0	-40	+100
26	м-Хлоранилин	31,0	12,5	0	+150
27	о-Хлоранилин	30,0	12,5	0	+100
28	р-Хлоранилин	31,0	12,0	+70	+220
29	Хлораль	21,5	37,5	-40	+200
30	Хлороформ	21,0	37,0	-40	+50

1.3. Определение плотности водных растворов веществ

Плотность водных растворов солей как и плотность жидкостей мало изменяется при изменении температуры и давления. Определяется экспериментально, численные значения представлены в справочной литературе в виде таблиц или номограмм.

Плотности некоторых водных растворов веществ смотри по номограмме 1.3.

Номограмма 1.3
для определения плотности водных растворов веществ

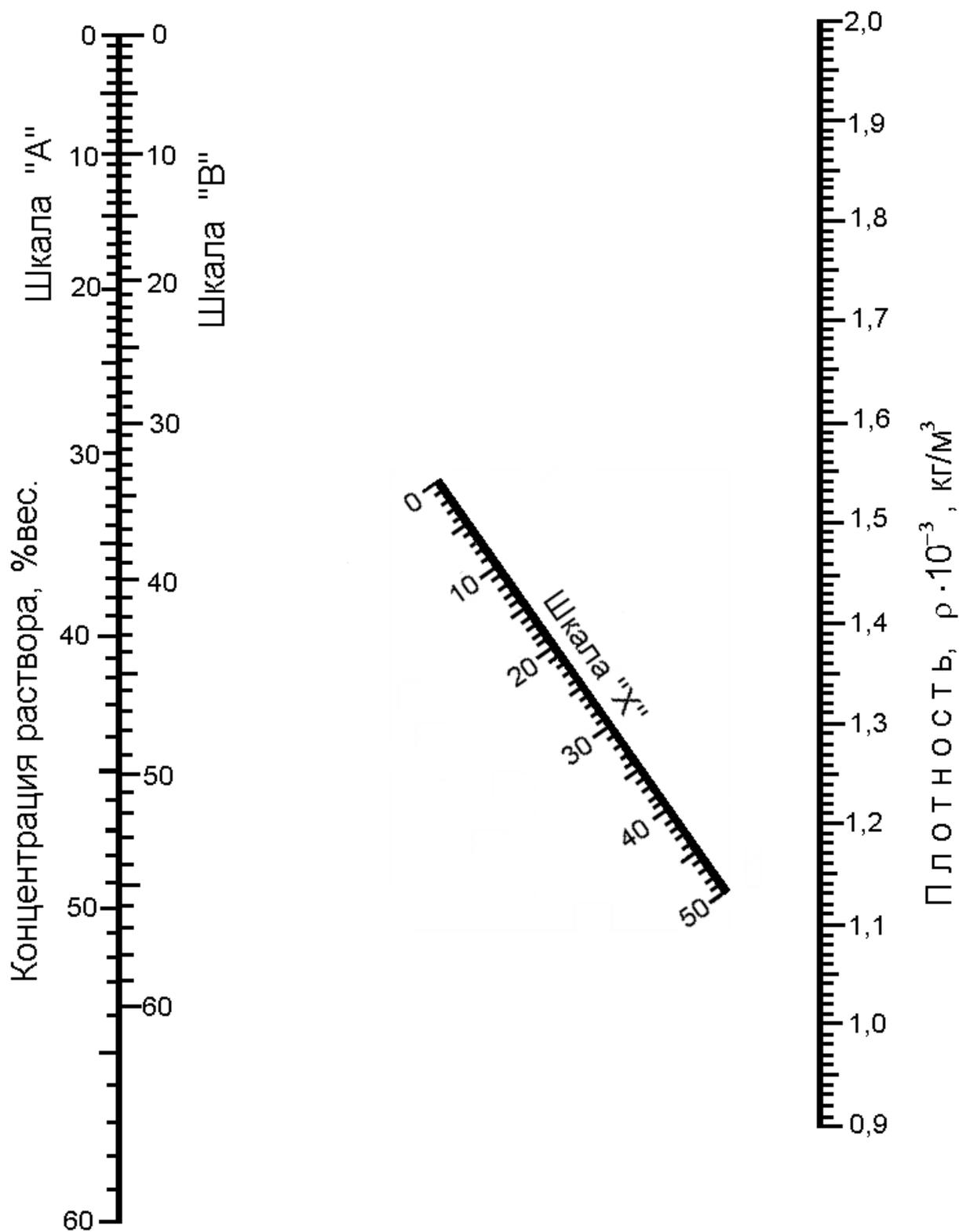


Таблица к номограмме 1.3

№ п/п	Растворенное вещество	Шкала	X	Пределы применимости номограммы, °С	
				5	6
1	2	3	4	5	6
1	AgF	A	6,5	0	+50
2	AgNO ₃	A	3,5	0	+60
3	AlBr₃	A	7,0	0	+22
4	AlCl ₃	B	19,0	0	+40
5	AlNH ₄ (SO ₄) ₂	B	12,0	0	+30
6	Al(NO ₃) ₃	B	15,0	0	+32
7	Al ₂ (SO ₄) ₃	B	7,5	0	+28
8	BaBr₂	A	12,0	0	+40
9	Ba(CH ₃ COO) ₂	B	18,0	0	+40
10	BaCl ₂	A	12,0	0	+26
11	Ba(ClO ₃) ₂	A	14,5	0	+24
12	BaI ₂	A	12,0	0	+60
13	Ba(NO ₃) ₂	A	13,0	0	+10
14	BaSO ₄				
15	BeCl₂	A	20,0	0	+14
16	Be(NO ₃) ₂	B	23,0	0	+28
17	BeSO ₄				
18	CaBr₂	A	14,0	0	+45
19	Ca(CH ₃ COO) ₂	B	27,0	0	+22
20	CaCl ₂	B	15,0	0	+40
21	Ca(ClO ₃) ₂	B	16,5	0	+30
22	CaI ₂	A	13,5	0	+40
23	Ca(NO ₃) ₂	B	17,5	0	+45
24	CdBr₂	A	12,0	0	+40
25	CdCl ₂	A	12,5	0	+40
26	CdI ₂	A	13,0	0	+40
27	Cd(NO ₃) ₂	A	14,0	0	+50
28	CdSO ₄	A	9,0	0	+40
29	CoBr₂	B	9,5	0	+30
30	CoCl ₂	B	10,5	0	+20
31	Co(ClO ₃) ₂				
32	Co(NO ₃) ₂	B	13,5	0	+30
33	CoSO ₄	[7] таблица 1.20			
34	CrBr₃	A	12,0	0	+30
35	CrCl ₃	A	12,0	0	+14
36	CrK(SO ₄) ₂	B	11,5	0	+50
37	Cr(NO ₃) ₃	B	14,0	0	+30
38	CrO ₃	B	17,0	0	+60
39	Cr ₂ (SO ₄) ₃	B	8,5	0	+28
40	CsBr	A	14,5	0	+45
41	CsCl	A	17,0	0	+50
42	CsI	A	14,5	0	+50
43	CsNO ₃	A	16,0	0	+14
44	Cs ₂ SO ₄	B	12,5	0	+26

Продолжение таблицы к номограмме 1.3

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
45	CuCl₂	В	10,0	0	+26
46	Cu(ClO ₃) ₂				
47	Cu(NO ₃) ₂	В	13,5	0	+15
48	CuSO ₄	В	7,0	0	+18
49	FeBr₂	А	12,0	0	+30
50	FeCl ₂	А	12,0	0	+25
51	FeCl ₃	В	14,5	0	+50
52	FeK(SO ₄) ₂	А	13,0	0	+20
53	Fe(NO ₃) ₃	В	14,5	0	+25
54	FeSO ₄	В	9,5	0	+20
55	Fe ₂ (SO ₄) ₃	А	14,5	0	+45
56	H₂AsO₄	В	20,0	0	+60
57	HBr	В	19,5	0	+60
58	HCl	В	35,0	0	+40
59	HClO ₃	В	24,5	0	+24
60	HClO ₄	В	23,5	0	+60
61	H ₂ C ₂ O ₄				
62	HF	В	42,0	0	+40
63	HI	А	19,0	0	+60
64	HIO ₃	А	13,5	0	+40
65	HIO ₄	А	11,0	0	+30
66	HNO ₃	В	28,5	0	+50
67	HgCl₂				
68	H₂O₂	В	39,5	0	+50
69	H ₃ PO ₄	В	28,5	0	+60
70	H ₂ S ₂ O ₈	В	21,0	0	+35
71	H ₂ SO ₄	[7] таблица 1.31			
72	H ₂ SeO ₄	В	16,5	0	+60
73	H ₂ SiF ₆	В	15,0	0	+34
74	InBr₃	А	13,5	0	+30
75	KAl(SO₄)₂				
76	KBr	А	19,5	0	+40
77	KBrO ₃				
78	KCH ₃ COO	В	31,5	0	+50
79	KCN	В	30,0	0	+18
80	K ₂ CO ₃	В	14,5	0	+50
81	KC ₂ H ₅ COO				
82	KCl	А	24,5	0	+24
83	K ₂ C ₂ O ₄				
84	K ₂ CrO ₄	В	15,0	0	+40
85	K ₂ Cr ₂ O ₇	А	19,0	0	+12
86	KF	В	14,0	0	+26
87	K ₃ Fe(CN) ₆	В	27,0	0	+20
88	K ₄ Fe(CN) ₆	А	20,0	0	+16
89	KHCO ₃	А	20,5	0	+10
90	KH ₂ PO ₄	А	19,0	0	+14
91	KHS	В	28,0	0	+40
92	KHSO ₄	В	19,0	0	+27

Продолжение таблицы к номограмме 1.3

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
93	KI	B	15,0	0	+60
94	KN ₃	B	27,5	0	+30
95	KNO ₂	B	24,5	0	+50
96	KNO ₃	B	23,5	0	+24
97	KOH	B	15,0	0	+45
98	K ₃ PO ₄	B	11,0	0	+45
99	K ₂ S	B	16,5	0	+45
100	KSCN	B	31,0	0	+50
101	K ₂ SiO ₃	B	12,0	0	+28
102	KSO ₃	B	14,5	0	+26
103	K ₂ SO ₄	A	15,0	0	+10
104	K ₂ WO ₄	A	11,5	0	+18
105	La(NO₃)₂	A	12,0	0	+30
106	LiBr	B	16,5	0	+45
107	LiCl	B	27,5	0	+42
108	LiClO ₃				
109	Li ₂ CrO ₄				
110	Li ₂ Cr ₂ O ₇				
111	LiI	A	18,5	0	+60
112	LiNO ₂				
113	LiNO ₃	B	25,0	0	+40
114	LiOH	A	6,5	0	+10
115	Li ₂ SO ₄	B	13,5	0	+24
116	MgBr₂	A	14,5	0	+45
117	Mg(BrO ₃) ₂				
118	Mg(CH ₃ COO) ₂	A	25,0	0	+10
119	MgCl ₂	B	15,0	0	+32
120	Mg(ClO ₃) ₂				
121	MgCrO ₄	B	17,5	0	+20
122	MgI ₂	A	12,5	0	+40
123	Mg(NO ₃) ₂	B	16,5	0	+24
124	MgSO ₄	B	9,0	0	+26
125	MnBr₂	A	13,5	0	+32
126	MnCl ₂	B	13,0	0	+30
127	Mn(NO ₃) ₂	B	15,0	0	+55
128	MnSO ₄	B	8,0	0	+30
129	Na₂AsO₄	A	5,5	0	+15
130	NaBr	A	16,5	0	+40
131	NaBrO ₃	A	16,0	0	+24
132	NaCHOO	A	24,5	0	+24
133	Na ₂ CO ₃	A	9,0	0	+18
134	NaCH ₃ COO	B	31,5	0	+28
135	NaCl	B	20,5	0	+26
136	NaClO	B	20,5	0	+40
137	NaClO ₃	B	20,5	0	+40
138	NaClO ₄	B	21,5	0	+38
139	Na ₂ CrO ₄	A	13,0	0	+26
140	Na ₂ Cr ₂ O ₇	B	24,5	0	+45

Продолжение таблицы к номограмме 1.3

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
141	Na ₂ HPO ₄				
142	NaH ₂ PO ₄	A	18,5	0	+10
143	NaHSO ₄	B	17,5	0	+22
144	NaI	A	17,0	0	+60
145	Na ₂ MoO ₄	B	12,5	0	+22
146	NaN ₃	B	24,0	0	+30
147	NaNO ₂	B	23,0	0	+40
148	NaNO ₃	B	21,5	0	+45
149	NaOH	B	12,5	0	+40
150	Na ₃ PO ₄	A	7,0	0	+10
151	Na ₂ S	B	15,5	0	+18
152	NaSCN	B	30,0	0	+45
153	Na ₂ SO ₃	B	11,5	0	+18
154	Na ₂ SO ₄	A	11,5	0	+16
155	Na ₂ S ₂ O ₃	B	16,0	0	+40
156	Na ₂ SiO ₃	B	6,0	0	+26
157	Na ₂ SnO ₃	B	23,0	0	+20
158	Na ₂ WO ₄	A	11,5	0	+38
159	NH₂OH	B	49,0	0	+55
160	NH ₂ OH·HCl	B	33,5	0	+25
161	NH ₄ (AlSO ₄) ₂				
162	NH ₄ Br	B	26,0	0	+34
163	NH ₄ ClO ₄				
164	(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇				
165	(NH ₄) ₂ CrO ₄				
166	NH ₄ CH ₃ COO	B	49,0	0	+30
167	(NH ₄) ₂ CO ₃	B	42,0	0	+45
168	NH ₄ Cl	B	41,5	0	+26
169	NH ₄ I	A	19,0	0	+45
170	NH ₄ NO ₃	A	40,0	0	+50
171	NH ₄ F	A	35,0	0	+14
172	NH ₄ SCN	B	47,5	0	+45
173	(NH ₄) ₂ SO ₄	B	29,5	0	+45
174	NiBr₂	A	10,5	0	+25
175	NiCl ₂	A	10,0	0	+20
176	Ni(NO ₃) ₂	B	12,5	0	+35
177	NiSO ₄	A	8,0	0	+18
178	PbBr	A	16,5	0	+55
179	Pb(CH ₃ COO) ₂	A	18,5	0	+40
180	Pb(ClO ₃) ₂				
181	PbCl	B	16,5	0	+50
182	PbI	A	16,0	0	+50
183	Pb(NO ₃) ₂	A	12,0	0	+30
184	PbNO ₃	A	19,0	0	+22
185	PbOH	A	10,0	0	+28
186	Pb ₂ SO ₄	B	13,0	0	+30
187	SbBr₂				
188	SbCl ₂				

Окончание таблицы к номограмме 1.3

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
189	Sb(NO ₃) ₃				
190	SnCl₂	B	13,5	0	+60
191	SrBr₂	A	13,0	0	+50
192	SrCl ₂	B	11,0	0	+35
193	Sr(ClO ₄) ₂				
194	SrI ₂	A	12,5	0	+40
195	Sr(NO ₃) ₂	B	13,5	0	+40
196	ThCl₄				
197	Th(NO ₃) ₂				
198	Th(NO ₃) ₄	B	10,0	0	+18
199	UO₂(NO₃)₂	B	9,5	0	+50
200	ZnBr₂	B	10,0	0	+50
201	Zn(BrO ₃) ₂				
202	ZnCl ₂	B	13,5	0	+60
203	Zn(ClO ₄) ₂				
204	ZnI ₂	B	9,5	0	+45
205	Zn(NO ₃) ₂	B	12,0	0	+50
206	ZnSO ₄	B	6,5	0	+30
207	HCl	[7] таблица 1.29			
208	NH₃	[7] таблица 1.57			

Глава 2. Вязкость газов, жидкостей и водных растворов веществ

Вязкость жидкостей или газов (внутреннее трение) представляет собой сопротивление среды передвижению одного слоя относительно другого. Динамический коэффициент вязкости или просто динамическая вязкость в системе СИ измеряется в $\frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$ или в $\text{Па} \cdot \text{с}$.

Вязкость определяется экспериментальным путем и представлена в справочной литературе в виде таблиц и номограмм.

2.1. Определение вязкости газов

Динамический коэффициент вязкости газов зависит от природы газа, температуры и в меньшей степени зависит от давления:

$$\mu_0 = A \cdot M^a P_{\text{кр}}^b T_{\text{пр}}, \quad (2.1)$$

где μ - динамический коэффициент вязкости, $\text{Па} \cdot \text{с}$; M - молекулярная масса, кг/кмоль ; $P_{\text{кр}}$ - критическое давление, Па ; $T_{\text{пр}}$ - приведенная абсолютная температура, К ; A , a и b - эмпирические коэффициенты.

При увеличении температуры вязкость газов возрастает.

Для смеси газов вязкость пропорциональна объемной доле компонента:

$$\frac{M_{\text{см}}}{\mu_{\text{см}}} = \frac{r_1 \cdot M_1}{\mu_1} + \frac{r_2 \cdot M_2}{\mu_2} + \dots + \frac{r_n \cdot M_n}{\mu_n}, \quad (2.2)$$

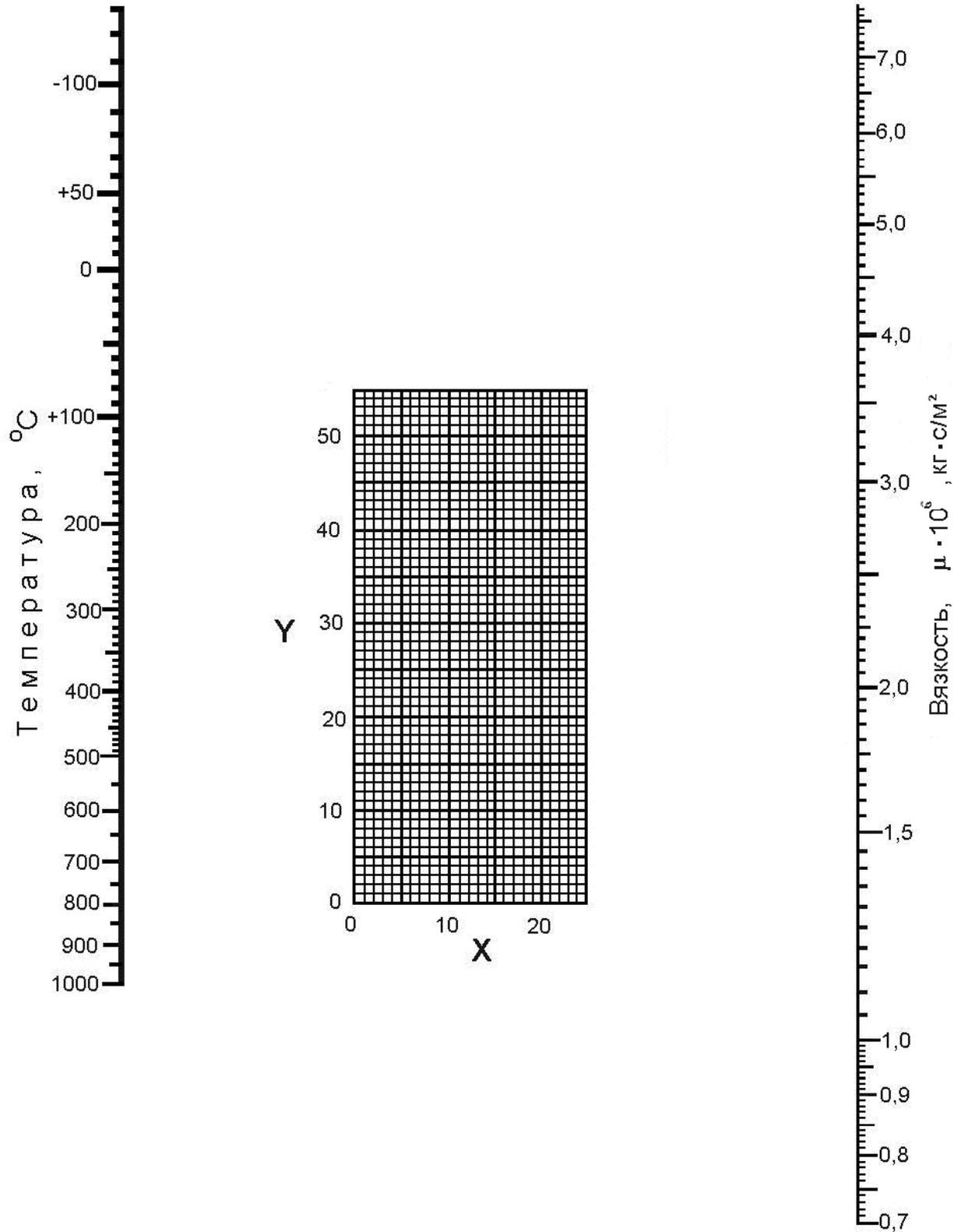
где $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n, \mu_{\text{см}}$ - динамические коэффициенты вязкости компонентов и смеси, соответственно, $\text{Па} \cdot \text{с}$; $M_1, M_2, \dots, M_n, M_{\text{см}}$ - молекулярные массы компонентов и газовой смеси, соответственно, кг/кмоль ; r_1, r_2, \dots, r_n - объемные доли компонентов в смеси.

Динамический коэффициент вязкости газов определяется по номограмме 2.1, где вязкость представлена во внесистемных единицах $\frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$, которые необходимо перевести в $\text{Па} \cdot \text{с}$. Например, по номограмме динамический коэффициент вязкости азота при 50°C равен:

$$1,3 \cdot 10^{-6} \text{ кгс} \cdot \text{с} / \text{м}^2 = 1,3 \cdot 9,81 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Номограмма 2.1

для определения вязкости газов и паров при атмосферном давлении



$$1 \text{ (кг} \cdot \text{с) / м}^2 = 9,81 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Таблица к номограмме 2.1

№ п/п	Наименование вещества	Координаты		Пределы применимости номограммы, °С	
		X	Y	5	6
1	2	3	4	5	6
1	Азот	20,5	37,0	-100	+1000
2	Азота двуокись	13,0	35,5	-50	+200
3	Азота закись	14,5	35,0	0	+400
4	Азота окись	16,5	40,0	-150	+900
5	Аммиак	11,5	28,0	-50	+1000
6	Анилин	13,0	16,0	0	+500
7	Аргон	18,5	45,0	-100	+800
8	Ацетилен	15,0	25,0	0	+250
9	Ацетон	12,0	20,0	0	+600
10	Бензол	13,0	19,0	0	+600
11	Бром	13,5	37,0	+25	+400
12	Водяной пар	9,0	28,0	+100	+1000
13	Водород	20,5	15,5	0	+1000
14	Водород бромистый	12,5	42,5	0	+200
15	Водород йодистый	13,5	42,0	0	+300
16	Водород фосфористый	13,5	30,0	0	+200
17	Водород фтористый				
18	Водород хлористый	13,0	36,0	0	+300
19	Воздух	20,0	38,5	-100	+1000
20	Газ доменных печей (при работе на коксе)	19,0	37,5	0	+1000
21	Газ генераторный				
	из подмосковного угля	19,0	36,5	0	+1000
22	Газ подземной газификации угля	19,0	37,0	0	+1000
23	н-Гексан	12,0	16,0	0	+600
24	Гелий	21,0	40,0	-150	+800
25	Дымовые газы (15% CO ₂ , 11% H ₂ O)	19,0	37,5	0	+1000
26	Йод	13,0	34,5	+100	-600
27	Керосин (Топливо Т-1)	4,0	21,0	+100	+400
28	Кислород	20,0	42,0	-150	+1000
29	Коксовый газ	19,5	22,5	0	+1000
30	Криптон	17,5	49,0	0	+600
31	Ксенон	16,0	46,5	0	+500
32	Метан	18,5	24,5	-50	+800
33	Неон	21,0	54,5	-100	+900
34	Озон	24,0	25,0	-100	+50
35	н-Октан	12,5	11,0	0	+600
36	и-Пентан	12,5	17,0	0	+600
37	Пиридин	22,5	15,5	+100	+300
38	Природный газ				
	Бугусланский	17,5	25,5	0	+1000
	Дашавский	18,0	24,5	0	+1000
	Саратовский	18,0	24,5	0	+1000

Продолжение таблицы к номограмме 2.1

1	2	3	4	5	6
39	Пропан	14,5	19,0	0	+600
40	Сероводород	13,5	32,5	0	+200
41	Сероокись углерода	16,5	28,0	0	+200
42	Сероуглерод	12,5	27,0	0	+400
43	Серы двуокись	14,5	32,0	-50	+1000
44	Толуол	14,0	16,5	0	+600
45	Углерод четырёххлористый	14,5	25,0	0	+600
46	Углерода двуокись	16,0	35,0	0	+1000
47	Углерода окись	20,0	37,0	-100	+1000
48	Уксусная кислота	12,5	22,5	0	+500
49	Уксусный ангидрид	14,0	20,0	0	+500
50	Формальдегид	14,5	24,5	0	+500
51	Фосген	14,0	29,0	0	+500
52	Фреоны				
	Фреон-11	13,0	27,5	-100	+400
	Фреон-12	20,0	26,0	+50	+200
	Фреон-15	15,5	33,5	-100	+400
	Фреон-14	15,5	37,5	-100	+400
	Фреон-21	18,0	25,0	-50	+200
	Фреон-22	17,0	29,5	-50	+200
	Фреон-113	14,5	25,2	-50	+150
	Фреон-114	17,0	26,5	-100	+400
53	Фуран	12,5	22,5	0	+500
54	Фурфурол	13,0	17,0	0	+500
55	Хлор	14,5	33,0	0	+600
56	Хлораль	13,0	14,5	0	+500
57	Хлороформ	13,5	26,5	0	+600
58	Циан	13,0	27,0	0	+200
59	Циклогексан	15,0	14,5	0	+600
60	Циклопентан	11,5	24,0	0	+200
61	Эпихлоргидрин	13,0	21,5	0	+500
62	Этан	15,0	22,5	-50	+600
63	Этил хлористый	13,0	266,0	0	+300
64	Этилакрилат	13,0	17,0	0	+500
65	Этил бромистый	13,5	26,0	0	+500
66	Этилацетат	13,0	19,5	0	+600
67	Этиламин	14,5	19,5	0	+500
68	Этилен	17,0	24,0	-50	+500
69	Этиленгликоль	13,0	19,5	0	+500
70	Этиловый спирт	13,5	22,0	0	+500
71	Этиловый эфир	13,0	18,0	0	+600

2.2. Определение вязкости жидкостей

Вязкость жидкостей значительно снижается с возрастанием температуры и практически не изменяется с увеличением давления.

Для смеси нормальных (неассоциированных) жидкостей вязкость рассчитывается по уравнению:

$$\lg \mu_{\text{см}} = x_1 \lg \mu_1 + x_2 \lg \mu_2 + \dots + x_n \lg \mu_n, \quad (2.3)$$

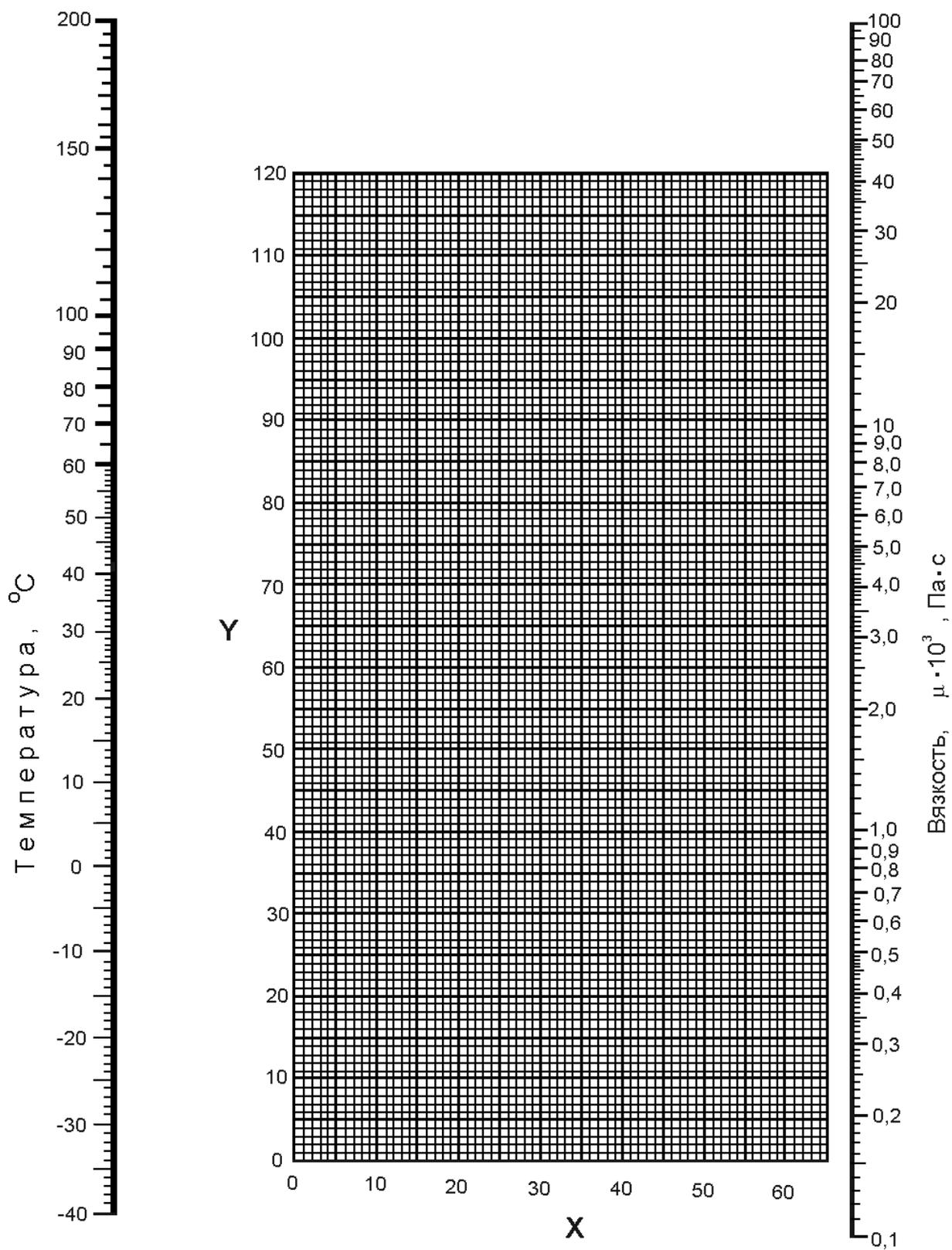
где $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ – динамические коэффициенты вязкости компонентов смеси жидкостей, Па·с; $\mu_{\text{см}}$ – динамический коэффициент вязкости смеси жидкостей, Па·с; x_1, x_2, \dots, x_n – мольные доли компонентов смеси.

Таблица к номограмме 2.2

№ п/п	Название вещества	Координаты		Пределы применимости номограммы, °С	
		X	Y	5	6
1	2	3	4	5	6
1	Азотная кислота		0		
	100% - я	45,5	40,0	0	+80
	75% - й водный раствор	37,0	53,5	0	+80
	50% - й водный раствор	35,0	53,5	0	+80
	25% - й водный раствор	38,0	48,0	0	+80
2	Аммиак жидкий	41,0	8,0	-30	-10
		56,0	4,5	-10	+50
	водный раствор различных концентраций	[3] стр. 516			
3	Анилин	27,0	65,0	0	+150
4	Ацетилен				
5	Ацетон	50,0	23,0	-40	+60
6	Бензин-Б-70	44,5	33,5	-40	+150
7	Бензиловый спирт	26,0	69,0	+20	+120
8	Бензол	41,0	38,0	+10	+150
9	Вода обыкновенная	35,0	45,5	+5	+200
10	Вода тяжёлая	33,0	49,0	+15	+160
11	Водорода перекись	41,0	47,5	0	+50
12	Водород фтористый				
13	Водород хлористый	[6] стр. 5 - 5			
14	Водород цианистый	51,5	14,0	-10	+60
15	Гексан	50,0	21,0	-40	+60
16	Гидразин	45,0	43,0	+5	+50
17	Глицерин				
	100% - й	3,5	100,5	+60	+200
	95%-й водный раствор	10,0	97,0	0	+120
	90%-й водный раствор	12,5	93,5	0	+120
	80%-й водный раствор	16,0	87,0	0	+120
	60%-й водный раствор	22,0	73,0	0	+120
	40%-й водный раствор	27,0	63,5	0	+120
	20%-й водный раствор	31,0	53,5	0	+120

Номограмма 2.2

для определения вязкостей жидкостей на линии насыщения



Продолжение таблицы к номограмме 2.2

1	2	3	4	5	6
18	Гудрон масляный	13,0	117,0	+90	+200
19	Дифениламин	23,0	77,5	55	150
20	Дифенил	33,0	63,5	+70	+200
21	Диэтиленгликоль	19,0	84,0	+20	+120
22	Изобутиловый спирт	25,0	62,5	-	+120
23	Изомаляная кислота				
	100% - я	40,0	49,0	+10	+200
	Изомаляная кислота (различных концентраций)	см. номограмму 2.3			
24	Изопропиловый спирт	28,0	57,0	-	+100
25	Капролактан	17,0	91,0	+70	+200
26	Керосин (Топливо Т-1)	32,0	47,0	-40	-10
	Керосин (Топливо Т-1)	40,0	50,0	-10	+200
27	о-Крезол	22,0	71,0	+10	+150
	м-Крезол	17,0	75,0	+20	+120
	р-Крезол	15,0	76,0	+20	+120
28	о-Ксилол	44,0	40,0	-20	+100
	м-Ксилол	45,0	36,0	0	+120
	р-Ксилол	44,0	37,0	+20	+120
29	Кумол	45,0	40,0	-15	+80
30	Мазут				
	флотский Ф-12	10,0	98,5	+45	+150
	флотский Ф-20				
31	Масла				
	Масло АГМ-10				
	Масло веретённое АУ	17,5	85,0	+10	+70
	Масло дизельное	10,5	97,5	+45	+150
	Масло касторовое	9,5	84,5	+20	+150
	Масло льняное	23,0	91,0	+20	+200
	Масло оливковое	20,0	93,0	+15	+150
	Масло подсолнечное	23,0	92,0	+20	+120
	Масло соляровое	21,0	81,5	0	+150
	Масло трансформаторное	22,5	79,5	+20	+200
	Масло хлопковое	22,0	92,5	+20	+150
32	Масляная кислота				
	100 % - я	39,0	51,0		+200
	Масляная кислота различной концентрации	см. номограмму 2.3			
33	Метилацетат	46,0	27,0	0	120
34	Метилловый спирт				
	100% - й	41,0	36,0	-	+150
	80%-й водный раствор	38,0	46,5	0	+60
	60%-й водный раствор	32,8	52,0	0	+60
	40%-й водный раствор	29,5	54,0	0	+60
	20%-й водный раствор	51,0	52,0	+5	+60
35	Метилловый эфир	53,5	8,5	-	+20
36	Метил хлористый	50,0	13,0		+80

Продолжение таблицы к номограмме 2.2

1	2	3	4	5	6
37	Мочевина				
	95%- й водный раствор	25,0	84,0	+120	+200
	80%- й водный раствор	31,0	69,0	+80	+130
	60%- й водный раствор	32,0	59,0	+40	+120
	40%- й водный раствор	37,0	51,5	0	+100
	20%- й водный раствор	36,0	47,5	0	+100
38	Муравьиная кислота	36,0	53,5	+10	120
39	Нитробензол	39,0	55,0	0	+200
40	Нитроглицерин	16,0	82,0	+10	+60
41	Олеиновая кислота	30,0	88,5	+20	+80
42	Олеум				
	50% свободной SO ₃	21,5	91,0	+50	+70
	40% свободной SO ₃	20,0	90,0	+25	+70
	30% свободной SO ₃	19,0	88,0	+20	+70
	20% свободной SO ₃	19,0	86,5	+15	+70
	10% свободной SO ₃	22,0	86,0	+15	+70
	5% свободной SO ₃	21,0	84,0	+15	+70
43	Пиридин	43,0	43,5		+120
44	Пропиловый спирт	35,0	56,0	-40	+120
45	Пропиловый эфир	47,0	29,0		+90
46	Сера жидкая	38,0	97,0	+120	+155
47	Серная кислота				
	100% - я	24,0	85,0	+25	+100
	90%- й водный раствор	27,5	83,5	0	+100
	80%- й водный раствор	30,0	81,5	+25	+100
	60%- й водный раствор	35,5	71,5	0	+100
	40%- й водный раствор	36,5	59,5	0	+100
	30%- й водный раствор	35,0	55,5	0	+100
	20%- й водный раствор	35,5	51,5	+6	+100
	10%- й водный раствор	35,0	48,5	0	+100
48	Сероводород	52,0	4,0	-20	+50
49	Сероуглерод	53	24	-10	+70
50	Силикон	30,0	75,0	0	+100
	Силикон	34,5	73,0	+100	+200
51	Толуол	47,0	34,0	-20	+90
52	Топливо Т-5	31,5	61,5	-20	+200
53	Топливо дизельное				
54	Триэтиленгликоль	17,0	86,0	+20	+120
55	Углерод четырёххлористый	42,5	43,5	-10	+120
56	Углерода двуокись	46,5	0,0	-40	0
57	Уксусная кислота				
	100% - я	41,0	47,0	+10	+120
	80%-й водный раствор	30,5	59,5	0	+100
	60%-й водный раствор	31,0	58,0	0	+100
	40%-й водный раствор	31,0	55,0	0	+100
	20%-й водный раствор	32,0	51,5	0	+100
58	Уксусный альдегид	[6] стр. 5 - 6			

Окончание таблицы к номограмме 2.2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
59	Уксусный ангидрид	42,5	42,5	0	+150
60	Фенол	21,0	73,0	+20	+140
61	Формальдегид	52,0	10,0	-40	
62	Формамид	31,0	64,0	0	+120
63	Фосфорная кислота,	37,0	49,5	+25	+100
64	Фреоны				
	Фреон-11	49,0	28,5	-40	+50
	Фреон-12	52,5	16,0	-40	+50
	Фреон-13	52,0	9,0	-40	+20
	Фреон-21	53,0	23,0	-40	+80
64	Фреон-22	58,0	13,0	-30	+100
	Фреон-113	45,0	38,0	0	+100
	Фреон-114	48,0	27,5	-40	+80
	Фреон-142	53,0	21,0	-40	+80
65	Фталевый ангидрид	33,0	71,5	+140	+200
66	Фуран	43,5	39,0	0	+160
67	Фурфурол	42,0	52,5	0	+200
68	Хлораль	42,0	47,0	-40	+120
69	Хлорбензол	43,5	40,5	+10	+200
70	Хлорформ	49,0	33,0	-15	+80
71	Циклогексан	46,0	36,5	-10	+80
72	Щавелевая кислота				
	20% - й водный раствор	50,5	54,5	+50	+100
73	Этан				
74	Этил хлористый				
75	Этиламин	49,5	17,5	-40	+100
76	Этилен	62,0	32,0	-40	0
77	Этиленгликоль	22,0	79,0	+20	+160
78	Этиловый спирт				
	100% - й	38,0	47,0	-40	+80
	80%-й водный раствор	31,0	55,0	0	+80
	60%-й водный раствор	27,0	58,5	0	+80
	40%-й водный раствор	25,0	59,5	0	+80
	20%-й водный раствор	27,0	56,0	0	+80
79	Этиловый эфир	50,0	17,0	-40	+100
80	Этилформиат	49,0	27,0	0	+80

2.3. Определение вязкости водных растворов веществ

Вязкость водных растворов является сложной функцией, зависящей от природы растворителя и растворенного вещества, температуры, концентрации, давления. На номограмме 2.3 представлена относительная вязкость водных растворов веществ (вязкость воды принята за единицу) при температуре $18 \div 25$ °С при постоянном давлении.

Номограмма 2.3
для определения относительной вязкости водных растворов
веществ

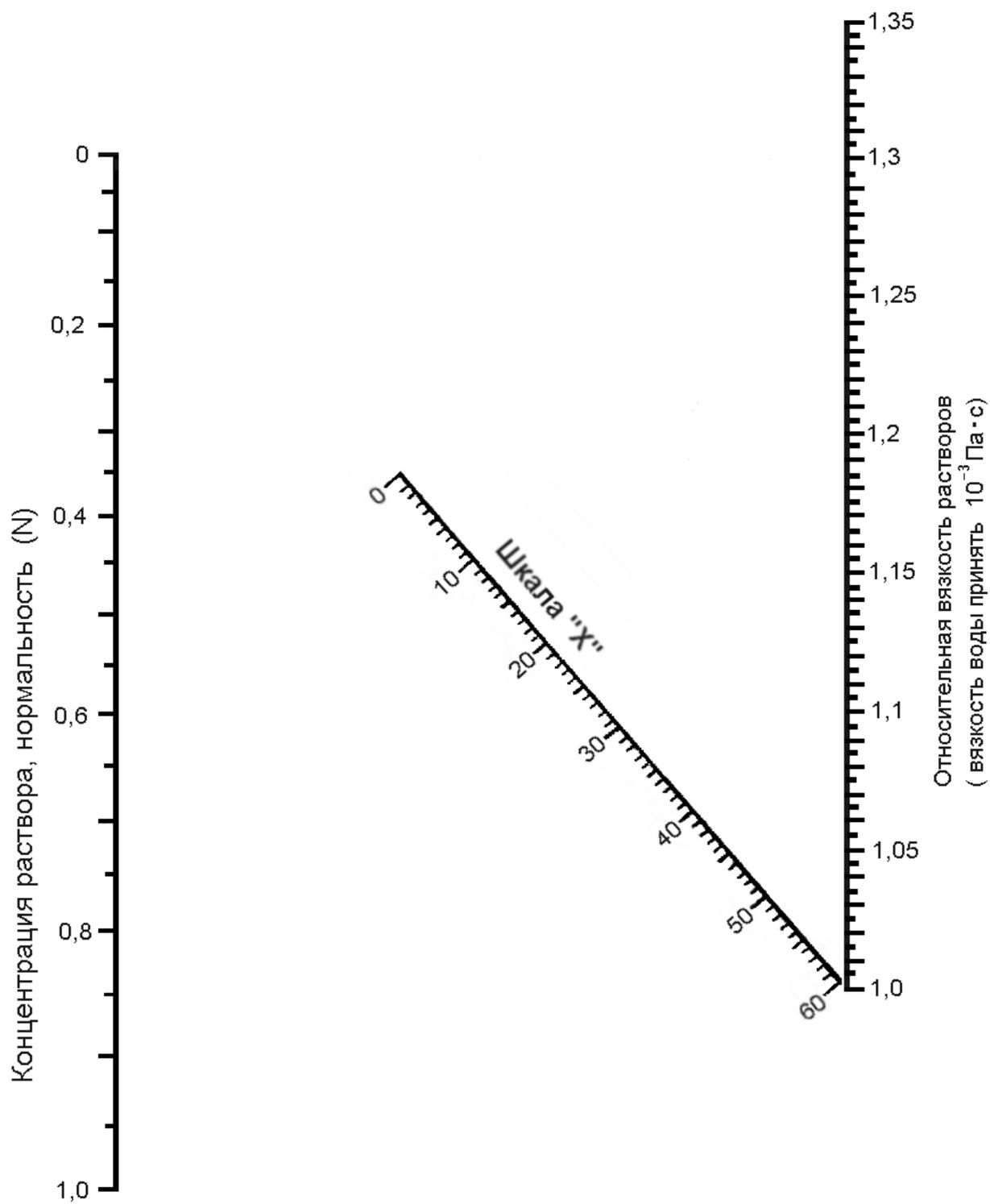


Таблица к номограмме 2.3

№ п/п	Растворенное вещество	Координата X	Пределы применимости номограммы, °С	
			4	5
1	AgF			
2	AgNO ₃	37,5	0	+25
3	AlBr₃			
4	AlCl ₃			
5	AlNH ₄ (SO ₄) ₂			
6	Al(NO ₃) ₃	[7] таблица 1.90		
7	Al ₂ (SO ₄) ₃	9,5	0	+25
8	BaBr₂			
9	Ba(CH ₃ COO) ₂			
10	BaCl ₂	36,5	0	+25
		39,0	0	+17,6
11	Ba(ClO ₃) ₂			
12	BaI ₂	[7] таблица 1.94		
13	Ba(NO ₃) ₂	41,5	0	+25
14	BaSO ₄			
15	BeCl₂			
16	Be(NO ₃) ₂			
17	Be SO ₄	12,0	0	+25
18	CaBr₂			
19	Ca(CH ₃ COO) ₂	36,5	0	+25
20	CaCl ₂	31,0	0	+25
21	Ca(ClO ₃) ₂			
22	CaI ₂			
23	Ca(NO ₃) ₂	38,0	0	+25
24	CdBr₂	[7] таблица 1.102		
25	CdCl ₂	34,5	0	+25
26	CdI ₂	[7] таблица 1.104		
27	Cd(NO ₃) ₂	30,5	0	+25
28	CdSO ₄	13,0	0	+25
29	CoBr₂			
30	CoCl ₂	25,0	0	+25
31	Co(ClO ₃) ₂			
32	Co(NO ₃) ₂	30,5	0	+25
33	CoSO ₄	13,0	0	+25
34	CrBr₃			
35	CrCl ₃	30,5	0	+25
36	CrK(SO ₄) ₂			
37	Cr(NO ₃) ₃			
38	CrO ₃			
39	Cr ₂ (SO ₄) ₃			
40	CsBr			
41	CsCl			

Продолжение таблицы к номограмме 2.3

1	2	3	4	5
42	CsI	[7] таблица 1.10		
43	CsNO ₃	[7] таблица 1.111		
44	Cs ₂ SO ₄			
45	CuCl₂	25,0	0	+25
46	Cu(ClO ₃) ₂			
47	Cu(NO ₃) ₂	28,5	0	+25
48	CuSO ₄	12,0	0	+25
49	FeBr₂			
50	FeCl ₂	[7] таблица 1.114		
51	FeCl ₃	18,0	0	+25
52	FeK(SO ₄) ₂			
53	Fe(NO ₃) ₃	[7] таблица 1.116		
54	FeSO ₄	[7] таблица 1.117		
55	Fe ₂ (SO ₄) ₃			
56	H₂AsO₄			
57	HBr	53,0	0	+25
58	HCl	45,5	0	+25
59	HClO ₃	48,0	0	+25
60	HClO ₄	58,0	0	+25
61	H ₂ C ₂ O ₄			
62	HF			
63	HI			
64	HIO ₃			
65	HIO ₄			
66	HNO ₃	53,5	0	+25
67	HgCl₂	50,0	0	+25
68	H₂O₂			
69	H ₃ PO ₄	17,0	0	+25
70	H ₂ S ₂ O ₈			
71	H ₂ SO ₄			
72	H ₂ SeO ₄			
73	H ₂ SiF ₆			
74	InBr₃			
75	KAl(SO₄)₂			
76	KBr	[7] таблица 1.121		
77	KBrO ₃			
78	KCH ₃ COO	20,5	0	+17,6
79	KCN			
80	K ₂ CO ₃	30,0	0	+25
81	KC ₂ H ₅ COO			
82	KCl	[7] таблица 1.123		
83	K ₂ C ₂ O ₄			
84	K ₂ CrO ₄	35,0	0	+25
85	K ₂ Cr ₂ O ₇	57,0	0	+25
86	KF	[7] таблица 1.125		
87	K ₃ Fe(CN) ₆	48,0	0	+25
88	K ₄ Fe(CN) ₆	36,5	0	+25

Продолжение таблицы к номограмме 2.3

1	2	3	4	5
89	KHCO ₃	33,0	0	+18
90	KH ₂ PO ₄	[7] таблица 1.127		
91	KHS			
92	KHSO ₄	31,5	0	+18
93	KI	[7] таблица 1.129		
94	KN ₃			
95	KNO ₂			
96	KNO ₃	[7] таблица 1.130		
97	KOH	34,5	0	+25
98	K ₃ PO ₄			
99	K ₂ S			
100	KSCN			
101	K ₂ SiO ₃			
102	KSO ₃			
103	K ₂ SO ₄	39,0	0	+25
104	K ₂ WO ₄			
105	La(NO₃)₂			
106	LiBr			
107	LiCl	33,0	0	+25
108	LiClO ₃			
109	Li ₂ CrO ₄			
110	Li ₂ Cr ₂ O ₇			
111	LiI	[7] таблица 1.135		
112	LiNO ₂			
113	LiNO ₃			
114	LiOH	[7] таблица 1.137		
115	Li ₂ SO ₄	16,5	0	+25
116	MgBr₂	[7] таблица 1.138		
117	Mg(BrO ₃) ₂			
118	Mg(CH ₃ COO) ₂			
119	MgCl ₂	25,5	0	+25
120	Mg(ClO ₃) ₂			
121	MgCrO ₄			
122	MgI ₂			
123	Mg(NO ₃) ₂	28,5	0	+25
124	MgSO ₄	11,0	0	+25
125	MnBr₂			
126	MnCl ₂	25,0	0	+25
127	Mn(NO ₃) ₂	27,5	0	+25
128	MnSO ₄	11,0	0	+25
129	Na₂AsO₄			
130	NaBr			
131	NaBrO ₃			
132	Na ₂ CO ₃	0,0	0	+18
133	NaCHOO	25,5	0	+25
134	NaCH ₃ COO	10,0	0	+25

Продолжение таблицы к номограмме 2.3

1	2	3	4	5
135	NaCl	41,0	0	+18
		40,0	0	+25
136	NaClO	41,0	0	+17,6
137	NaClO ₃			
138	NaClO ₄			
139	Na ₂ CrO ₄			
140	Na ₂ Cr ₂ O ₇			
141	Na ₂ HPO ₄	[7] таблица 1.160		
142	NaH ₂ PO ₄			
143	NaHSO ₄	20,0	0	+18
144	NaI	[7] таблица 1.163		
145	Na ₂ MoO ₄			
146	NaN ₃			
147	NaNO ₂	40,0	0	+25
148	NaNO ₃	46,0	0	+25
149	NaOH	19,5	0	+18
150	Na ₃ PO ₄			
151	Na ₂ S	[7] таблица 1.166		
152	NaSCN			
153	Na ₂ SO ₃			
154	Na ₂ SO ₄	22,5	0	+25
155	Na ₂ S ₂ O ₃			
156	Na ₂ SiO ₃			
157	Na ₂ SnO ₃			
158	Na ₂ WO ₄			
159	NH ₂ OH			
160	NH ₂ OH·HCl			
161	NH ₄ (AlSO ₄) ₂			
162	NH ₄ Br	[7] таблица 1.148		
163	NH ₄ ClO ₄			
164	(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇			
165	(NH ₄) ₂ CrO ₄			
166	NH ₄ CH ₃ COO	10,0	0	+25
167	(NH ₄) ₂ CO ₃			
168	NH ₄ Cl	[7] таблица 1.149		
169	NH ₄ I	[7] таблица 1.154		
170	NH ₄ NO ₃	[7] таблица 1.156		
171	NH ₄ F	[7] таблица 1.150		
172	NH ₄ SCN			
173	(NH ₄) ₂ SO ₄	37,5	0	+25
174	NiBr₂			
175	NiCl ₂	25,0	0	+25
176	Ni(NO ₃) ₂	28,5	0	+25
177	NiSO ₄	11,5	0	+25
178	PbBr			
179	Pb(CH ₃ COO) ₂			
180	Pb(ClO ₃) ₂			

Окончание таблицы к номограмме 2.3

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
181	PbCl			
182	PbI			
183	Pb(NO ₃) ₂	40,0	0	+25
184	PbNO ₃	[7] таблица 1.172		
185	PbOH			
186	Pb ₂ SO ₄			
187	SbBr₂			
188	SbCl ₂			
189	Sb(NO ₃) ₃			
190	SnCl₂			
191	SrBr₂	[7] таблица 1.173		
192	SrCl ₂	33,0	0	+25
193	Sr(ClO ₄) ₂	[7] таблица 1.175		
194	SrI ₂			
195	Sr(NO ₃) ₂	37,5	0	+25
196	ThCl₄			
197	Th(NO ₃) ₂			
198	Th(NO ₃) ₄			
199	UO₂(NO₃)₂			
200	ZnBr₂			
201	Zn(BrO ₃) ₂			
202	ZnCl ₂	26,0	0	+25
203	Zn(ClO ₄) ₂			
204	ZnI ₂			
205	Zn(NO ₃) ₂	29,5	0	+25
206	ZnSO ₄	10,5	0	+25
207	Масляная кислота			
208	Изомасляная кислота			
209	HCl	[7] таблица 1.158		
210	NH₃	[7] таблица 1.147		

Глава 3. Теплоемкость газов, жидкостей и водных растворов веществ

Теплоемкость - отношение количества теплоты dQ , полученного телом при бесконечно малом изменении его состояния, к связанному с этим изменением температуры тела dT :

$$c = \frac{dQ}{dT}. \quad (3.1)$$

Обычно теплоемкость относят к единице массы, объема или киломоля вещества и в зависимости от выбранной единицы различают:

- удельную массовую теплоемкость c , Дж/(кг · К);
- удельную объемную теплоемкость c' , Дж/(м³ · К);
- удельную мольную теплоемкость c_{μ} , Дж/(кмоль · К).

Взаимный пересчет теплоемкостей производят по уравнениям (3.2)÷(3.4):

$$c_{\mu} = c \cdot M, \quad (3.2)$$

$$c' = c \cdot \rho, \quad (3.3)$$

$$c' = \frac{c_{\mu}}{22,4}, \quad (3.4)$$

где M - молекулярная масса вещества, кг/кмоль; ρ - плотность вещества, кг/м³.

Различают истинную теплоемкость вещества, т.е. теплоемкость при данной температуре, и среднюю теплоемкость - количество теплоты, необходимое для повышения температуры единицы количества вещества на один градус в заданном интервале температур. В справочной литературе значения средней теплоемкости обычно даются с указанием этого температурного интервала. Теплоемкость зависит от природы вещества, температуры и в меньшей степени от давления.

В данной главе представлены удельные массовые изобарные теплоемкости газов, жидкостей и растворов веществ.

Для ряда веществ зависимость теплоемкости от температуры не подходит к описанию зависимостей данными номограммами, поэтому указаны литературные источники, где представлены данные теплофизические свойства или даны интерполяционные зависимости.

3.1. Определение теплоемкости газов

Удельные массовые теплоемкости газов и паров при атмосферном давлении представлены номограммой 3.1, где теплоемкость выражена в ккал/(кг · К). В СИ теплоемкость необходимо перевести в Дж/(кг · К) или в кДж/(кг · К):

$$1 \text{ ккал} = 4190 \text{ Дж} = 4,19 \text{ кДж}$$

$$1 \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot \text{К}) = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) = 4,19 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

Зависимость истинной теплоемкости для всех веществ от температуры можно представить в виде зависимости:

$$c = a + b \cdot T + d \cdot T^2, \quad (3.1)$$

где c – теплоемкость вещества при заданной температуре, Дж/(кг · К); a, b, d – эмпирические коэффициенты; T – абсолютная температура, К.

Массовая теплоемкость смеси газов пропорциональна массовой доле компонента:

$$c_{\text{см}} = \sum_{i=1}^n (c_i \cdot \bar{\chi}_i), \quad (3.2)$$

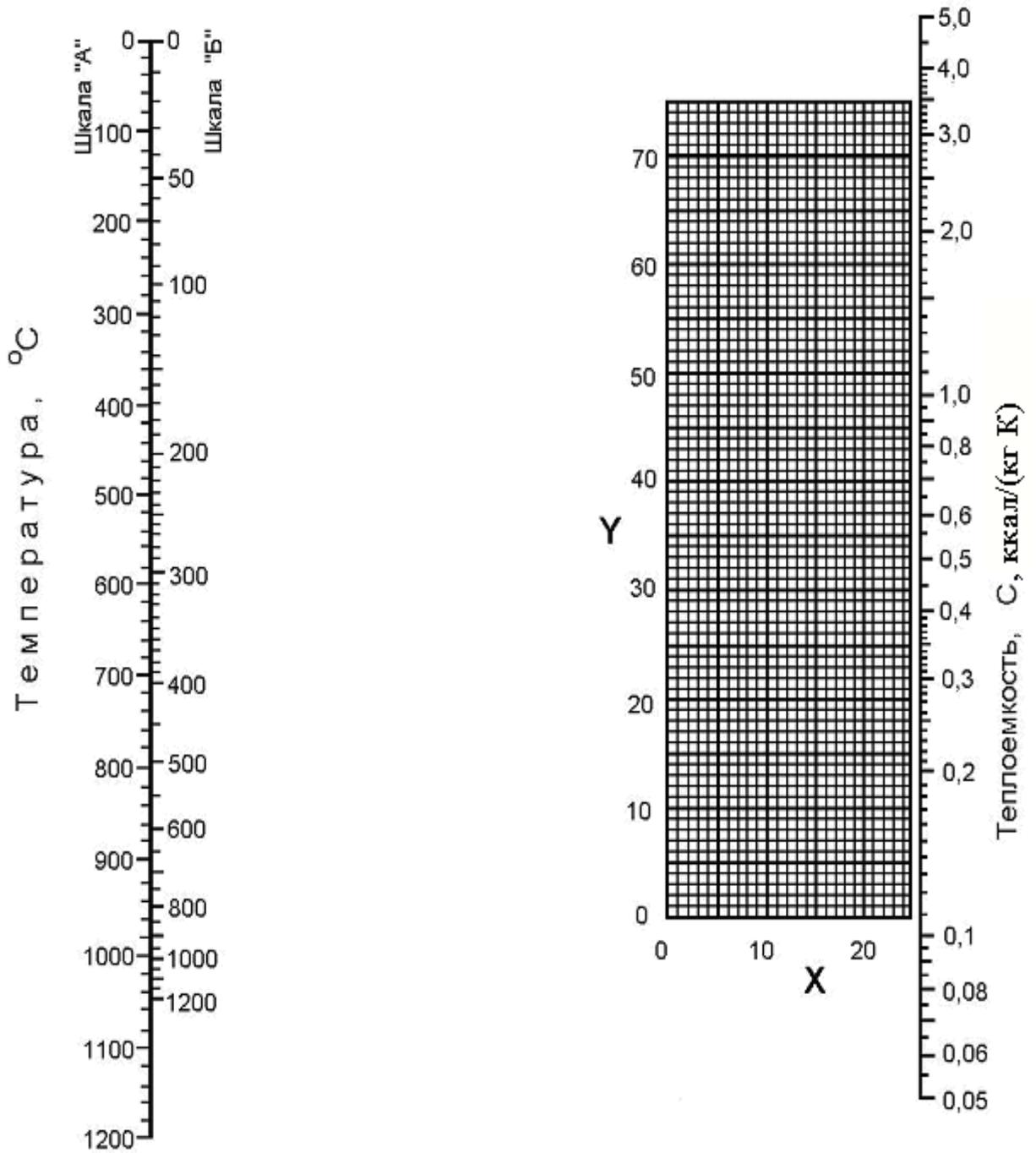
где $c_{\text{см}}, c_i$ – массовые теплоемкости смеси и компонентов данной смеси, Дж/(кг · К); $\bar{\chi}_i$ – массовые доли компонентов смеси.

Таблица к номограмме 3.1

№ п/п	Наименование вещества	Температурная шкала	Координаты		Пределы применимости номограммы, °С	
			X	Y	6	7
1	2	3	4	5	6	7
1	Азот	А	23,0	20,0	0	+1000
2	Азота двуокись	Б	17,5	18,0	0	+1200
3	Азота закись	Б	17,5	20,0	0	+1200
4	Азота окись	А	22,5	19,5	0	+1200
5	Аммиак	А	15,5	39,5	0	+1000
6	Анилин	Б	11,0	31,0	0	+1000
7	Аргон	Ср=0,52 кДж/(кг · К)			0	+1200
8	Ацетилен	Б	17,0	33,5	0	+800
9	Ацетон	Б	12,0	32,0	0	+600
10	Бензол	Ср=01,25 кДж/(кг · К)				
11	Бром					
12	Водяной пар	А	20,5	34,0	0	+1000
13	Водород	А	24,5	74,5	0	+1000
14	Водород бромистый	А	24,0	1,0	0	+1200
15	Водород йодистый	[6] стр. 15				
16	Водород фосфористый	Б	15,5	26,0	0	+1200
17	Водород фтористый	Б	23,5	25,0	0	+1200
18	Водород хлористый	А	23,5	14,0	0	+1200
19	Воздух	А	22,5	19,5	0	+1000
20	Газ доменных печей (при работе на коксе)	А	22,0	21,0	0	+1200
21	Газ генераторный					
	из подмосковного угля	А	22,0	23,0	0	+1200
22	Газ подземной газификации угля	А	21,0	22,5	0	+1200

Номограмма 3.1

для определения удельной массовой теплоемкости газов и паров при атмосферном давлении



$$1 \text{ ккал} = 4190 \text{ Дж} = 4,19 \text{ кДж}$$

Продолжение таблицы к номограмме 3.1

1	2	3	4	5	6	7
23	н-Гексан	Б	10,0	37,5	0	+1000
24	Гелий	$C_p=1,243$ кДж/(кг · К)	0	+1200		
25	Дымовые газы (15% CO ₂ , 11% H ₂ O)					
26	Йод					
27	Керосин (Топливо Т-1)	Б	16,0	37,5	150	+500
28	Кислород	А	20,5	19,0		+1000
29	Коксовый газ	А	18,0	43,5		+1200
30	Криптон	$C_p=0,25$ кДж/(кг · К)			0	+1200
31	Ксенон	$C_p=0,16$ кДж/(кг · К)			0	+1200
32	Метан	А	7,5	44,5	0	+800
33	Неон	$C_p=1,07$ кДж/(кг · К)			0	+1200
34	Озон	Б	17,0	19,5	0	+300
35	н-Октан	Б	10,5	37,0	0	+1000
36	Пентан	$C_p=1,72$ кДж/(кг · К)			0	+20
37	Пиридин	Б	9,5	29,5	0	+1000
38	Природный газ					
	Бугусланский	А	12,0	40,0	0	+1200
	Дашавский	А	11,0	42,5	0	+1200
	Саратовский	А	11,0	42,5	0	+1200
39	Пропан	Б	9,5	37,5	0	+800
40	Сероводород	А	18,0	23,0	0	+1000
41	Сероокись углерода	Б	19,0	15,0	0	+1200
42	Сероуглерод	Б	19,5	11,5	0	+1200
43	Серы двуокись	Б	19,0	12,5	0	+1000
44	Толуол	Б	8,5	31,5	0	+600
45	Углерод четырёххлористый	Б	20,0	9,0	0	+800
46	Углерода двуокись	Б	18,0	19,5	0	+1000
47	Углерода окись	А	22,5	20,5	0	+1000
48	Уксусная кислота	Б	12,0	29,0	0	+1000
49	Уксусный ангидрид	Б	12,0	28,5	0	+1000
50	Формальдегид	Б	14,5	28,5	0	+1000
51	Фосген	Б	20,5	11,5	0	+1000
52	Фреоны				0	
	Фреон-11	А	13,0	16,5	0	+500
	Фреон-12	А	7,0	23,5	0	+400
	Фреон-13	Б	17,0	15,5	0	+800
	Фреон-14					
	Фреон-21	Б	15,5	14,5	0	+500
	Фреон-22	Б	15,0	17,5	0	+500
	Фреон-113	Б	15,5	16,5	0	+500
	Фреон-114	Б	17,0	15,5	0	+300

Окончание таблицы к номограмме 3.1

1	2	3	4	5	6	7
53	Фуран	Б	9,0	29,0	0	+1000
54	Фурфурол	Б	10,0	26,0	0	+1000
55	Хлор	Б	21,5	4,5	0	+1200
56	Хлораль	Б	16,0	15,0	0	+1000
57	Хлороформ	Б	17,5	12,0	0	+600
58	Циан					
59	Циклогексан	Б	5,5	35,5	0	+600
		Б	8,0	34,5	0	+1000
60	Циклопентан	Б	6,0	34,5	0	+1000
61	Эпихлоргидрин	Б	11,5	26,0	0	+1000
62	Этан	Б	9,5	38,5	0	+800
63	Этил хлористый	Б	11,0	27,0	0	+1000
64	Этилакрилат	Б	10,5	30,5	0	+600
65	Этил бромистый	Б	12,5	17,5	0	+1000
66	Этилацетат	Б	9,0	32,0	0	+600
67	Этиламин	Б	12,0	36,5	0	+1000
68	Этилен	Б	11,0	35,5	0	+1000
69	Этиленгликоль	Б	16,0	33,0	0	+600
70	Этиловый спирт	Б	8,5	34,0	0	+1000
71	Этиловый эфир	Б	8,5	36,5	0	+600

3.2. Определение теплоемкости жидкостей

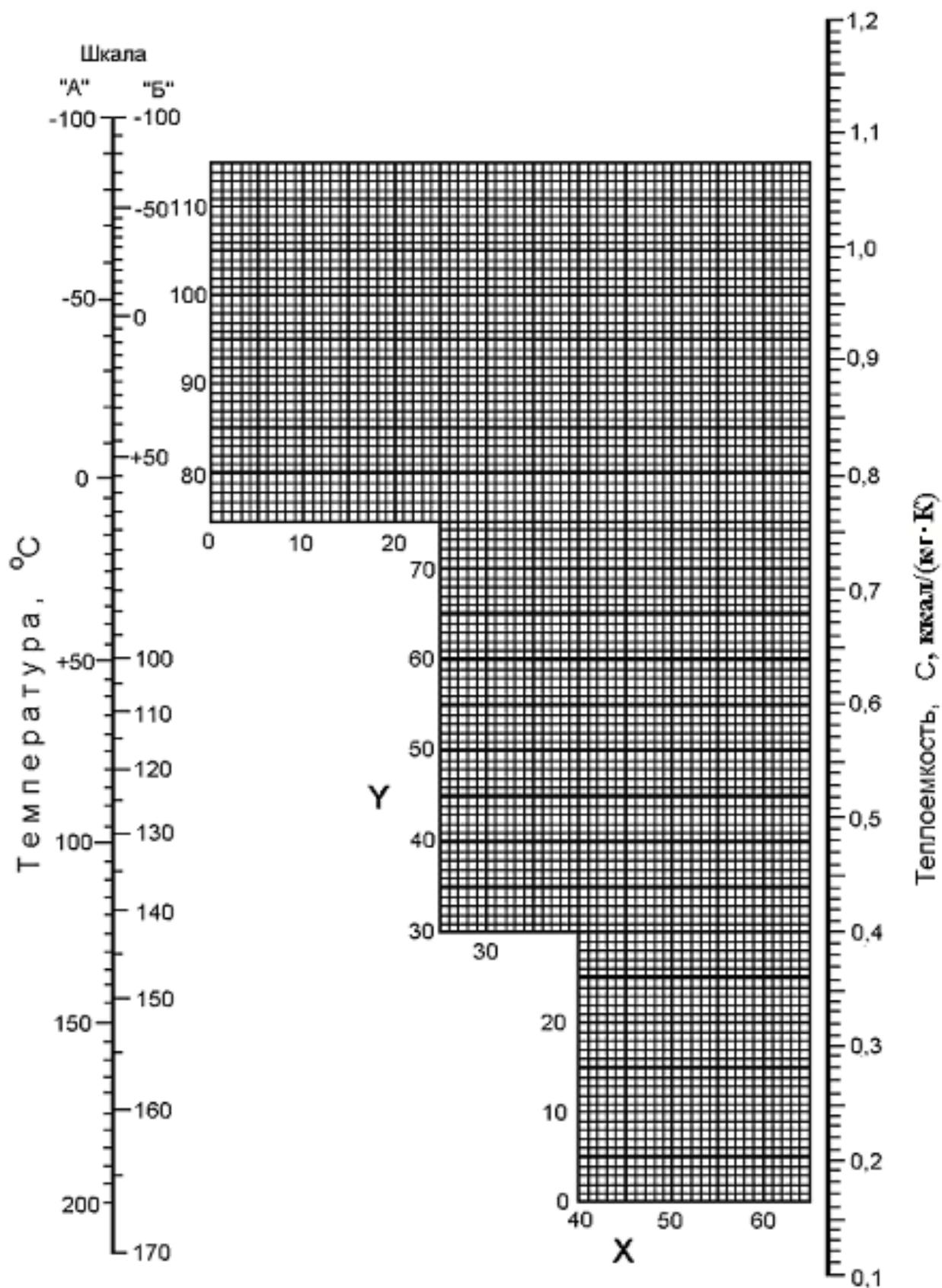
В литературе не приводятся уравнения для приближенного расчета удельных теплоемкостей жидкостей, поэтому пользуются только экспериментальными данными, представленными номограммой 3.2. Теплоемкость жидкостей как и теплоемкость газов увеличивается с ростом температуры.

Массовая теплоемкость смеси жидкостей пропорциональна массовой доле компонента смеси и рассчитывается по уравнению:

$$c_{см} = c_1 \bar{\chi}_1 + c_2 \bar{\chi}_2 + \dots + c_n \bar{\chi}_n, \quad (3.5)$$

где $c_{см}$ – массовая теплоемкость смеси жидкостей или газов, Дж/(кг·К); c_1, c_2, \dots, c_n – теплоемкости компонентов смеси, Дж/(кг·К); $\bar{\chi}_1, \bar{\chi}_2, \dots, \bar{\chi}_n$ – массовые доли компонентов смеси.

Номограмма 3.2
 для определения удельной массовой теплоемкости жидкостей



$$1 \text{ ккал} = 4190 \text{ Дж} = 4,19 \text{ кДж}$$

Таблица к номограмме 3.2

№ п/п	Наименование вещества	Шкала	Координаты		Пределы применимости номограммы, °С	
			X	Y	6	7
1	2	3	4	5	6	7
1	Азотная кислота					
	100% - я	А	61,5	36,5	0	+100
	60% - й водный раствор	А	51,5	62,5	0	+100
2	Аммиак (жидкий)	Б	39,0	110,5	-50	+100
3	Анилин	Б	51,0	51,5	+10	+130
4	Ацетилен	Б	23,5	87,5	-100	0
5	Ацетон	Б	50,5	55,0	-80	+80
6	Бензин Б-70	А	44,5	50,5	0	+200
7	Бензиловый спирт	Б	38,0	59,5	-15	+50
8	Бензол	Б	50,5	44,5	+10	+100
9	Вода обыкновенная	Б	62,5	104,0	+10	+100
10	Вода тяжелая					
11	Водорода перекись					
12	Водород фтористый	Б	40,0	68,5	-70	+50
13	Водород хлористый	А	61,0	59,0	-100	0
14	Водород цианистый	Б	59,0	62,0	-10	+50
15	Гексан	Б	49	55,5	-40	+150
16	Гидразин	А	54,0	72,0	+10	+160
17	Глицерин					
	100% - й	А	50,0	62,0	+20	+200
	95%-й водный раствор					
	90%-й водный раствор					
	80%-й водный раствор					
	60%-й водный раствор					
	40%-й водный раствор					
20%-й водный раствор						
18	Гудрон					
19	Дифениламин				+80	+170
20	Дифенил	Б	54,0	37,5	+80	+170
21	Диэтиленгликоль	А	50,0	55,5	0	+200
22	Изобутиловый спирт	Б	57,0	65,0	0	+150
23	Изомасляная кислота					
	100% - я					
	различных концентраций					
24	Изопропиловый спирт	Б	32,0	72,5	0	+150
25	Капролактам	Б	50,0	50,5	+70	+120
26	Керосин					
27	о-Крезол					
	м-Крезол					
	р-Крезол					
28	о-Ксилол	Б	50,0	45,5	-20	+100
	м-Ксилол	Б	47,5	46,0	-40	+50
	р-Ксилол	Б	54,0	42,0	20	170

Продолжение таблицы к номограмме 3.2

1	2	3	4	5	6	7	
29	Кумол	Б	50,0	46,0	-50	+150	
30	Мазут						
	флотский Ф 12	А	50,5	42,5	0	+200	
	флотский Ф 20	А	51,0	42,0	0	200	
31	Масла						
	Масло АМГ-10	А	46,0	45,0	+20	+150	
	Масло веретенное АУ	А	50,0	43,5	0	+200	
	Масло дизельное	А	51,0	42,5	0	+200	
	Масло касторовое	А	55,0	43,0	0	+200	
	Масло льняное	А	49,5	41,5	0		
	Масло оливковое						
	Масло подсолнечное	А	48,0	42,5	0	+200	
	Масло соляровое	А	51,5	40,5	0	+150	
	Масло трансформаторное	А	43,0	43,0	0	+200	
	Масло хлопковое	А	48,5	42,0	0	+200	
	32	Масляная кислота					
		100% - я	А	51,0	45,5	0	+200
различных концентраций							
33	Метилацетат	Б	51	53	-50	+100	
34	Метиловый спирт						
	100 %-й	Б	33,5	74,0	-50	+150	
	80 % - й						
	60 % - й						
	40 % - й						
	20 % - й						
35	Метиловый эфир	Б	47,5	62,0	-100	+20	
36	Метил хлористый	А	57,5	33,5	-100	+100	
37	Мочевина						
	различных концентраций	см. номограмму 3.3.					
38	Муравьиная кислота	Б	58,0	50,0	+10	+100	
39	Нитробензол	Б	55,0	31,5	+10	+170	
40	Нитроглицерин						
41	Олеиновая кислота						
42	Олеум						
43	Пиридин	А	54,5	38,0	0	+200	
44	Пропиловый спирт	Б	32,5	68,5	-50	+150	
45	Пропиловый эфир	Б	51,5	55,0	-80	+120	
46	Сера жидкая	Б	53,0	15,5	0	+150	
47	Серная кислота						
	100 % -я	[6] стр. 14					
	93 % -я						
	70 % -я						
	60 % -я						
	40 % -я						
	30 % -я						
	20 % -я						
	10 % -я						

Продолжение таблицы к номограмме 3.2

1	2	3	4	5	6	7
48	Сероводород					
49	Серовуглерод	Б	65,0	12,0	-100	+50
50	Силикон	А	58,5	44,0	-50	+200
51	Толуол	Б	50,5	43,5	-90	+50
52	Топливо Т-5	А	46,0	48,0	+20	+200
53	Топливо дизельное					
54	Триэтиленгликоль	А	51,5	51,0	0	+200
55	Углерод четырёххлористый	А	60,0	11,5	-100	+100
56	Углерода двуокись	Б	13,0	84,0	-50	+30
57	Уксусная кислота					
	100% - я	А	51,0	47,0	+20	+200
	80% - я					
	60% - я					
	40% - я					
20% - я						
58	Уксусный альдегид					
59	Уксусный ангидрид	Б	57,0	42,5	-50	+170
60	Фенол					
61	Формальдегид	Б	39,5	78,5	-80	+20
62	Формаид					
63	Фосфорная кислота					
64	Фреоны					
	Фреон-11	А	63,0	10,0	-100	+100
	Фреон-12	Б	51,0	27,5	-100	+40
	Фреон-13	Б	42,0	42,0	-100	0
	Фреон-14	Б	28,5	65,5	-100	-60
	Фреон-21	Б	61,0	17,5	-70	+100
	Фреон-22	Б	50,0	32,0	-100	+60
	Фреон-113	А	62,0	11,5	-50	+150
Фреон-114	Б	60,0	17,5	-40	+100	
65	Фталиевый ангидрид					
66	Фуран	Б	49	45	-80	+50
67	Фурфурол	А	58,5	32,0	-30	+130
68	Хлораль	А	62,0	17,5	+20	+120
69	Хлорбензол	Б	56	30	-30	+60
70	Хлороформ	А	59,0	14,5	+10	+100
71	Циклогексан	Б	43,0	52,5	+10	50
72	Щавелевая кислота					
	20% - й водный раствор					
73	Этан	Б	5,0	95,5	-50	+30
74	Этил хлористый	Б	48,0	44,0	-50	+150
75	Этиламин	Б	40,5	74,5	-40	+170
76	Этилен	Б	13,5	101,5	-100	0
77	Этиленгликоль	А	46,5	55,5	-10	+200

Окончание таблицы к номограмме 3.2

1	2	3	4	5	6	7
78	Этиловый спирт					
	100% - й	Б	30,0	71,5	-100	+150
	90% - й	[6] стр. 14				
	50% - й					
	40% - й					
	20% - й					
79	Этиловый эфир	Б	47,0	60,5	-100	+50
80	Этилформиат	Б	52,0	48,0	-50	+170

3.3. Определение теплоемкости водных растворов веществ

Номограмма 3.3 позволяет определить удельную массовую теплоемкость водных растворов веществ в интервале концентраций по растворенному веществу от 0 до 40 мас. % для диапазона температур 20÷50⁰С.

Приближенно массовую удельную теплоемкость для водных растворов солей можно определить пользуясь правилом аддитивности:

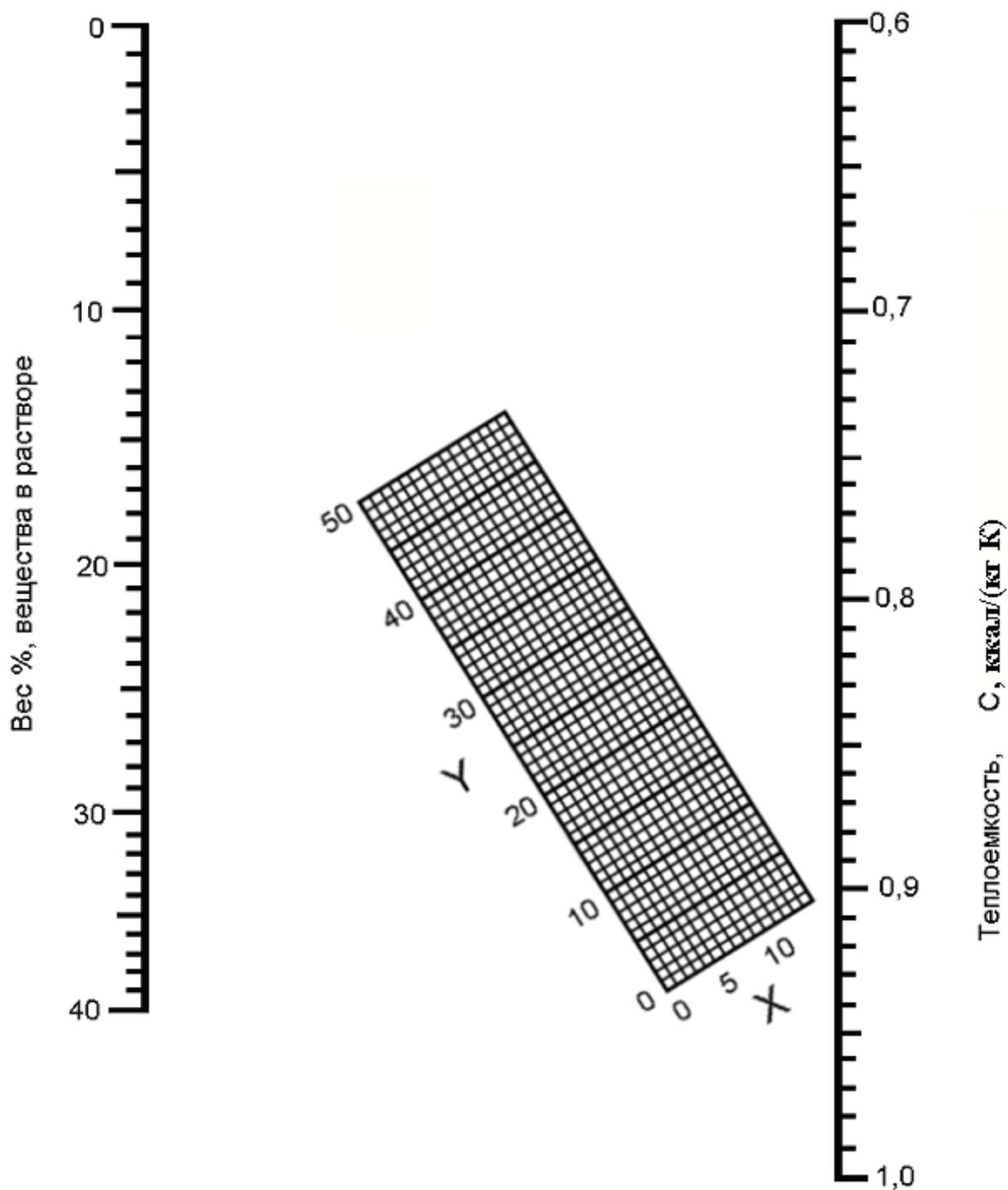
$$c = c_1 \cdot \bar{\chi}_1 + c_2 \cdot \bar{\chi}_2, \quad (3.6)$$

где c – массовая теплоемкость раствора, Дж/(кг · К); c_1 – теплоемкость соли, c_2 – теплоемкость воды; $\bar{\chi}_1$, $\bar{\chi}_2$ – массовые доли соли и воды соответственно. Теплоемкость твердых веществ, при отсутствии экспериментальных данных, определяется по атомным теплоемкостям входящих в него элементов [3, стр.249].

Таблица к номограмме 3.3

№ п/п	Растворенное вещество	Координаты		Пределы применимости номограммы, ⁰ С	
		X	Y	5	6
1	AgF				
2	AgNO ₃	5,0	37,0	+25	+52
3	AlBr₃				
4	AlCl ₃				
5	AlNH ₄ (SO ₄) ₂				
6	Al(NO ₃) ₃	[7] таблица 1.180			
7	Al ₂ (SO ₄) ₃	5,0	33,0	+21	+53
8	BaBr₂	[7] таблица 1.182			
9	Ba(CH ₃ COO) ₂				
10	BaCl ₂	4,0	37,0	+22	+27
11	Ba(ClO ₃) ₂				
12	BaI ₂	[7] таблица 1.183			
13	Ba(NO ₃) ₂	[7] таблица 1.184			
14	BaSO ₄				

Номограмма 3.3
для определения удельной массовой теплоемкости водных
растворов веществ



$$1 \text{ ккал} = 4190 \text{ Дж} = 4,19 \text{ кДж}$$

Продолжение таблицы к номограмме 3.3

1	2	3	4	5	6
15	BeCl₂				
16	Be(NO ₃) ₂				
17	Be SO ₄	5,0	38,0	+20	+50
18	CaBr₂				
19	Ca(CH ₃ COO) ₂	5,0	28,0	+22	+52
20	CaCl ₂	5,0	45,0	+21	+51
21	Ca(ClO ₃) ₂				
22	CaI ₂				
23	Ca(NO ₃) ₂	5,0	38,0	+21	+51
24	CdBr₂	[7] таблица 1.189			
25	CdCl ₂	[7] таблица 1.190			
26	CdI ₂	[7] таблица 1.191			
27	Cd(NO ₃) ₂	[7] таблица 1.192			
28	CdSO ₄	5,0	38,5		
29	CoBr₂				
30	CoCl ₂	2,5	50,0	+15	+80
31	Co(ClO ₃) ₂				
32	Co(NO ₃) ₂				
33	CoSO ₄				
34	CrBr₃				
35	CrCl ₃				
36	CrK(SO ₄) ₂				
37	Cr(NO ₃) ₃				
38	CrO ₃	6,0	38,0	+25	+30
39	Cr ₂ (SO ₄) ₃				
40	CsBr				
41	CsCl	5,0	42,0	16	+20
42	CsI	[7] таблица 1.196			
43	CsNO ₃	5,0	38,5		
44	Cs ₂ SO ₄				
45	CuCl₂	6,0	37,0	19	+51
46	Cu(ClO ₃) ₂				
47	Cu(NO ₃) ₂	5,5	37,5	18	+50
48	CuSO ₄	5,0	40,0	18	+23
49	FeBr₂				
50	FeCl ₂				
51	FeCl ₃	8,5	48,5	0	+98
52	FeK(SO ₄) ₂				
53	Fe(NO ₃) ₃				
54	FeSO ₄	8,5	24,5		
55	Fe ₂ (SO ₄) ₃				
56	H₂AsO₄				
57	HBr				
58	HCl	6,0	45,5	0	+18
59	HClO ₃				
60	HClO ₄				
61	H ₂ C ₂ O ₄	6.0	18,0	+20	+52

Продолжение таблицы к номограмме 3.3

1	2	3	4	5	6
62	HF	6,5	31,0		
63	HI				
64	HIO ₃				
65	HIO ₄				
66	HNO ₃	8,5	34,0	+21	+40
67	HgCl₂				
68	H ₂ O ₂				
69	H ₃ PO ₄	2,5	29	0	+20
70	H ₂ S ₂ O ₈				
71	H ₂ SO ₄	5,0	35,0		
72	H ₂ SeO ₄				
73	H ₂ SiF ₆				
74	InBr₃				
75	KAl(SO₄)₂	5,5	32,0	+20	+50
76	KBr	7,5	40,0	+20	+51
77	KBrO ₃				
78	KCH ₃ COO				
79	KCN				
80	K ₂ CO ₃	6,0	39,5	+21	+52
81	KC ₂ H ₅ COO				
82	KCl	5,0	43,5	0	+18
83	K ₂ C ₂ O ₄	4,0	38,5	+21	+52
84	K ₂ CrO ₄	4,5	35,5	+20	+51
85	K ₂ Cr ₂ O ₇	6,5	35,5	+25	+30
86	KF				
87	K ₃ Fe(CN) ₆				
88	K ₄ Fe(CN) ₆				
89	KHCO ₃				
90	KH ₂ PO ₄				
91	KHS				
92	KHSO ₄				
93	KI	6,5	43,5	+20	+40
		4,5	40,0	+40	+100
94	KN ₃				
95	KNO ₂				
96	KNO ₃	4,0	40,0	+19	+23
97	KOH	7,5	37,5		
98	K ₃ PO ₄	9,0	43,0		
99	K ₂ S				
100	KSCN				
101	K ₂ SiO ₃				
102	KSO ₃				
103	K ₂ SO ₄	4,0	41,0	+19	+52
104	K ₂ WO ₄				
105	La(NO₃)₂				

Продолжение таблицы к номограмме 3.3

1	2	3	4	5	6
106	LiBr	1,5	38,5	+3	+40
107	LiCl	5,0	42,0	+11	+50
108	LiClO ₃				
109	Li ₂ CrO ₄				
110	Li ₂ Cr ₂ O ₇				
111	LiI	[7] таблица 1.216			
112	LiNO ₂				
113	LiNO ₃	4,0	36,0	+20	+50
114	LiOH	5,5	43,0	+13	+50
115	Li ₂ SO ₄	[7] таблица 1.218			
116	MgBr₂	[7] таблица 1.219			
117	Mg(BrO ₃) ₂				
118	Mg(CH ₃ COO) ₂				
119	MgCl ₂	6,0	45,0	+22	+52
120	Mg(ClO ₃) ₂	[7] таблица 1.221			
121	MgCrO ₄				
122	MgI ₂				
123	Mg(NO ₃) ₂	5,5	36,0	19	+51
124	MgSO ₄	7,5	39,0	18	
125	MnBr₂				
126	MnCl ₂	7,5	36,5	0	+98
127	Mn(NO ₃) ₂	5,0	38,0	19	+51
128	MnSO ₄	5,0	40,0	19	+51
129	Na₂AsO₄				
130	NaBr	5,5	38,5	+20	+52
131	NaBrO ₃				
132	NaCHOO				
133	Na ₂ CO ₃	8,5	24,5	+20	
134	NaCH ₃ COO	5	25,5	0	+18
135	NaCl	6,5	36,5	+20	+40
		8,0	38,0	+20	+100
136	NaClO				
137	NaClO ₃				
138	NaClO ₄				
139	Na ₂ CrO ₄	10,0	31,0	+25	+30
140	Na ₂ Cr ₂ O ₇	7,5	32,5	+25	+30
142	Na ₂ HPO ₄	5,0	34,0	+16	+20
143	NaHSO ₄	[7] таблица 1.239			
144	NaI	4,5	39,5	+20	+51
145	Na ₂ MoO ₄				
146	NaN ₃				
147	NaNO ₂				
148	NaNO ₃	8,0	27,5	+20	+30
149	NaOH	7,5	29,5	+18	
150	Na ₃ PO ₄				
151	Na ₂ S				
152	NaSCN				
153	Na ₂ SO ₃				

Продолжение таблицы к номограмме 3.3

1	2	3	4	5	6
154	Na ₂ SO ₄	14,5	29,0	+20	+40
		0,0	23,5	+40	+94
155	Na ₂ S ₂ O ₃				
156	Na ₂ SiO ₃				
157	Na ₂ SnO ₃				
158	Na ₂ WO ₄				
159	NH₂OH				
160	NH ₂ OH·HCl				
161	NH ₄ (AlSO ₄) ₂	5,0	35,5	+20	+50
162	NH ₄ Br	[7] таблица 1.228			
163	NH ₄ ClO ₄				
164	(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇	6,0	34,0	+25	+30
165	(NH ₄) ₂ CrO ₄	4,5	33,0	+20	+50
166	NH ₄ CH ₃ COO	4,0	25,5	+17,5	
167	(NH ₄) ₂ CO ₃				
168	NH ₄ Cl	4,0	42,0	+18	
169	NH ₄ I				
170	NH ₄ NO ₃	4,5	41,0	+20	+50
171	NH ₄ F				
172	NH ₄ SCN				
173	(NH ₄) ₂ SO ₄	5,5	34,5	+19	+51
174	NiBr	5,5	38,5	+20	+52
175	NiCl ₂	7,0	43,0	+24	+55
176	Ni(NO ₃) ₂	6,5	38,5	+24	+55
177	NiSO ₄	4,5	42,5	+25	+56
178	PbBr				
179	Pb(CH ₃ COO) ₂	5,5	30,5	+18	+51
180	Pb(ClO ₃) ₂				
181	PbCl				
182	PbI				
183	Pb(NO ₃) ₂	4,5	37,0	+18	+51
184	PbNO ₃	[7] таблица 1.248			
185	PbOH				
186	Pb ₂ SO ₄				
187	SbBr₂				
188	SbCl ₂				
189	Sb(NO ₃) ₃				
190	SnCl₂	3,5	38,5	+21	+26
191	SrBr₂				
192	SrCl ₂				
193	Sr(ClO ₄) ₂				
194	SrI ₂	[7] таблица 1.251			
195	Sr(NO ₃) ₂	5,5	43,0	+19	+51
196	ThCl₄				
197	Th(NO ₃) ₂				
198	Th(NO ₃) ₄				
199	UO₂(NO₃)₂				

Окончание таблицы к номограмме 3.3

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
200	ZnBr₂				
201	Zn(BrO ₃) ₂				
202	ZnCl ₂	4,0	35,5	+19	+51
203	Zn(ClO ₃) ₂				
204	ZnI ₂				
205	Zn(NO ₃) ₂	5,0	38,5	+20	+52
206	ZnSO ₄	4,5	39,5	+20	+52
207	Масляная кислота				
208	Изомасляная кислота				
209	HCl				
210	NH₃				

Глава 4. Теплопроводность газов, жидкостей и водных растворов веществ

Теплопроводность представляет собой процесс переноса теплоты вследствие движения микрочастиц вещества. Основным законом теплопроводности является закон Фурье:

$$dQ = -\lambda \frac{dt}{dn} dF d\tau, \quad (4.1)$$

где dQ - количество теплоты, передаваемое теплопроводностью (Дж) за время $d\tau$ (с) через поверхность dF (m^2); dt/dn - градиент температуры, К/м; λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

Коэффициент теплопроводности зависит от агрегатного состояния вещества, его природы, от температуры и давления. При обычных температурах и давлении лучшими проводниками теплоты являются металлы, худшими – газы.

4.1. Определение теплопроводности газов

Коэффициент теплопроводности газов (или просто теплопроводность) лежит в пределах $0,006 \div 0,165$ Вт/(м·К), возрастает с увеличением температуры и не зависит от давления.

При невысоких давлениях коэффициент теплопроводности для газов может быть вычислен по уравнению:

$$\lambda = V \cdot c_v \cdot \mu, \quad (4.2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); c_v – удельная массовая изохорная теплоемкость, Дж/(кг·К); μ – динамический коэффициент вязкости, Па·с.

$$V = \frac{9k}{4}, \quad (4.3)$$

где k – показатель адиабаты.

Для одноатомных газов $V=2,5$; двухатомных – $V=1,9$; трехатомных – $V=1,72$.

Зависимость теплопроводности газов от температуры можно представить уравнением:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^n, \quad (4.4)$$

где λ – теплопроводность газа, Вт/(м·К); λ_0 – теплопроводность газа при $T_0=273K$, Вт/(м·К); T – абсолютная температура, К; n – постоянная, определяемая экспериментальным путем.

Для определения теплопроводности смеси газов можно использовать правило аддитивности:

$$\lambda_{см} = \sum_{i=1}^n (\lambda_i \cdot x_i), \quad (4.5)$$

где $\lambda_{см}$ - теплопроводность смеси газов; λ_i - теплопроводность i -го компонента смеси; x_i - мольная доля i -го компонента смеси; n – количество компонентов.

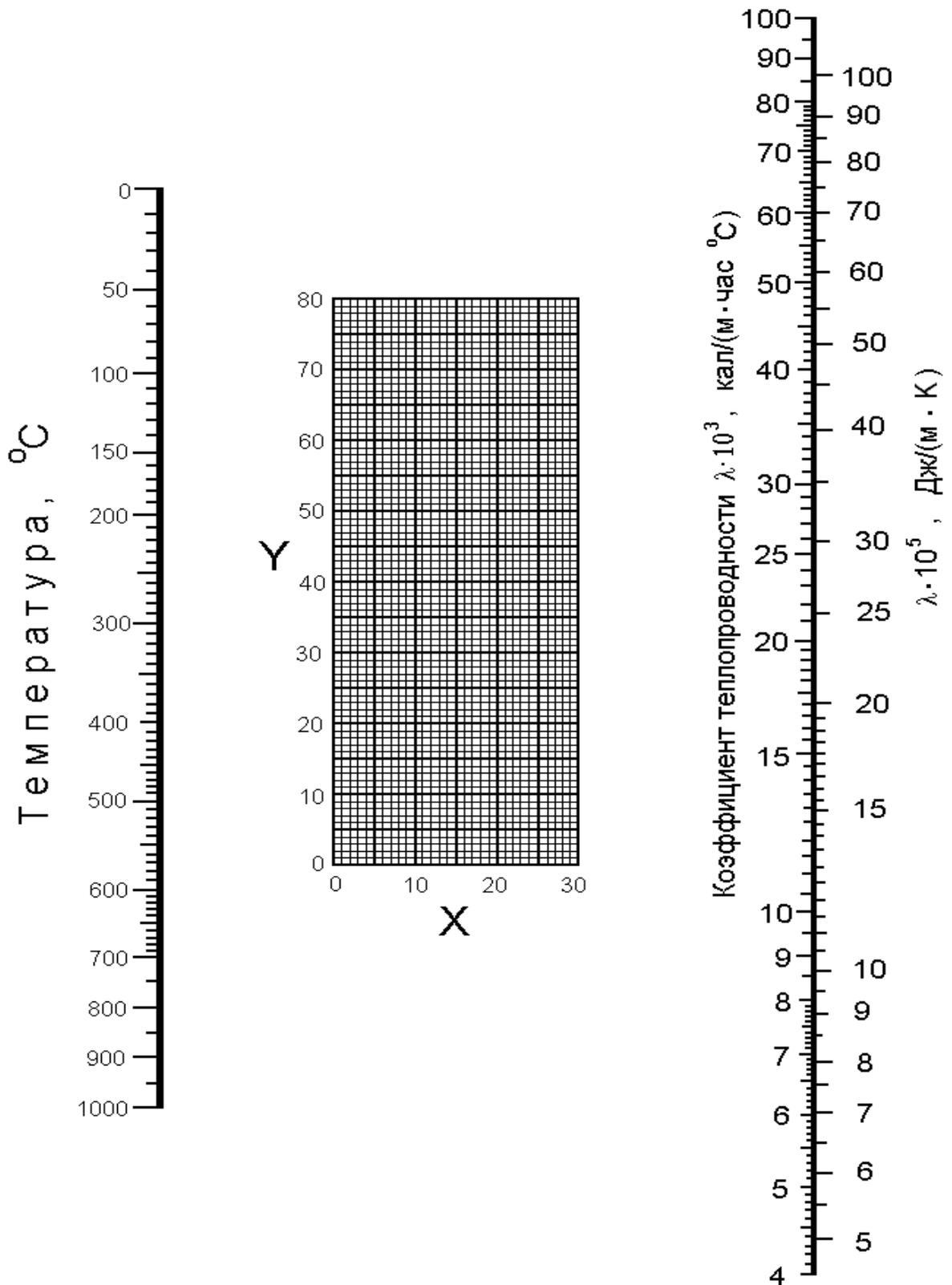
Теплопроводность отдельных газов определяется по номограмме 4.1.

Таблица к номограмме 4.1

№ п/п	Наименование вещества	Координаты		Пределы применимости номограммы, °С	
		X	Y	5	6
1	2	3	4	5	6
1	Азот	23,5	56,0	0	+500
2	Азота двуокись				
3	Азота закись	14,0	45,0	0	+150
4	Азота окись	20,0	57,5	0	+300
5	Аммиак	8,0	61,0	0	+1000
6	Анилин	16,5	38,5	0	+500
7	Аргон	24,0	41,0	0	+500
8	Ацетилен	12,0	56,0	0	+1000
9	Ацетон	4,0	45,0	0	+600
10	Бензол	1,5	46,5	0	+600
11	Бром	[6] стр. 18			
12	Водяной пар	10,0	51,0	0	+800
13	Водород ($\lambda \cdot 10^2$)	25	43	0	+1000
14	Водород бромистый				
15	Водород йодистый				
16	Водород фосфористый				
17	Водород фтористый				
18	Водород хлористый				
19	Воздух	22,5	56,0	0	+700
20	Газ доменных печей (при работе на коксе)	22,5	57,5	0	+1000
21	Газ генераторный				
	из подмосковного угля	22,5	67,5	0	+1000
22	Газ подземной газификации угля	22,0	65,0	0	+1000
23	н-Гексан	3,0	49,0	0	+600
24	Гелий (для гелия на номограмме значения соответствуют $\lambda \cdot 10^2$)	26,5	34,5	0	+600
25	Дымовые газы (15% CO ₂ , 11% H ₂ O)	19,0	56,5	0	+1000

Номограмма 4.1

для определения теплопроводности газов и паров при атмосферном давлении



Продолжение таблицы к номограмме 4.1

1	2	3	4	5	6
26	Йод				
27	Керосин (Топливо Т-1)				
28	Кислород	[6] стр. 18			
29	Коксовый газ				
30	Криптон	[6] стр. 18			
31	Ксенон	[6] стр. 18			
32	Метан	[6] стр. 18			
33	Неон	[6] стр. 18			
34	Озон				
35	н-Октан				
36	Пентан	[6] стр. 18			
37	Пиридин				
38	Природный газ				
	Бугусланский				
	Дашавский				
	Саратовский				
39	Пропан	[6] стр. 18			
40	Сероводород				
41	Сероокись углерода				
42	Сероуглерод				
43	Серы двуокись				
44	Толуол	[6] стр. 18			
45	Углерод четырёххлористый	[6] стр. 18			
46	Углерода двуокись	[6] стр. 18			
47	Углерода окись				
48	Уксусная кислота				
49	Уксусный ангидрид				
50	Формальдегид				
51	Фосген				
52	Фреоны				
	Фреон-11	[6] стр. 18			
	Фреон-12	[6] стр. 18			
	Фреон-13	[6] стр. 18			
	Фреон-14				
	Фреон-21	4,0	38,5	0	+400
	Фреон-22	4,0	43,0	0	+400
	Фреон-113	1,0	33,0	0	+400
	Фреон-114	3,5	42,0	0	+500
53	Фуран	3,5	50,5	0	+500
54	Фурфурол	4,5	39,0	0	+500
55	Хлор	[6] стр. 18			
56	Хлораль	5,0	25,5	0	+500
57	Хлороформ	9,5	26,5	0	+500
58	Циан				
59	Циклогексан	2,0	47,5	0	+500
60	Циклопентан				

Окончание таблицы к номограмме 4.1

1	2	3	4	5	6
61	Эпихлоргидрин	23,0	18,0	0	+500
62	Этан	6,0	60,0	0	+500
63	Этил хлористый	5,0	42,0	0	+500
64	Этилакрилат	4,0	44,0	0	+500
65	Этил бромистый	3,5	36,0	0	+500
66	Этилацетат	3,0	45,0	0	+600
67	Этиламин	5,5	54,0	0	+500
68	Этилен	5,0	57,0	0	+600
69	Этиленгликоль	5,0	43,5	0	+500
70	Этиловый спирт	4,0	49,5	0	+500
71	Этиловый эфир	4,0	52,0	0	+600

4.2. Определение теплопроводности жидкостей

Коэффициент теплопроводности жидкостей находится в пределах $0,1 \div 0,7$ Дж/(м·с·К) или Вт/(м·К). Согласно экспериментальным данным теплопроводность жидкостей уменьшается с ростом температуры. Исключение составляют вода и глицерин.

Коэффициент теплопроводности жидкостей пропорционален изобарной теплоемкости (c_p), плотности (ρ) и вязкости (μ):

$$\lambda_{30} = A \cdot c_p \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho}{\mu}}, \quad (4.6)$$

где λ_{30} – коэффициент теплопроводности при 30°C , Вт/(м·К); μ – динамический коэффициент вязкости, Па·с; ρ – плотность, кг/м³, A – коэффициент, зависящий от степени ассоциации жидкости. Для ассоциированных жидкостей (вода) – $A = 3,58 \cdot 10^{-3}$, для неассоциированных (бензол) – $A = 4,22 \cdot 10^{-8}$.

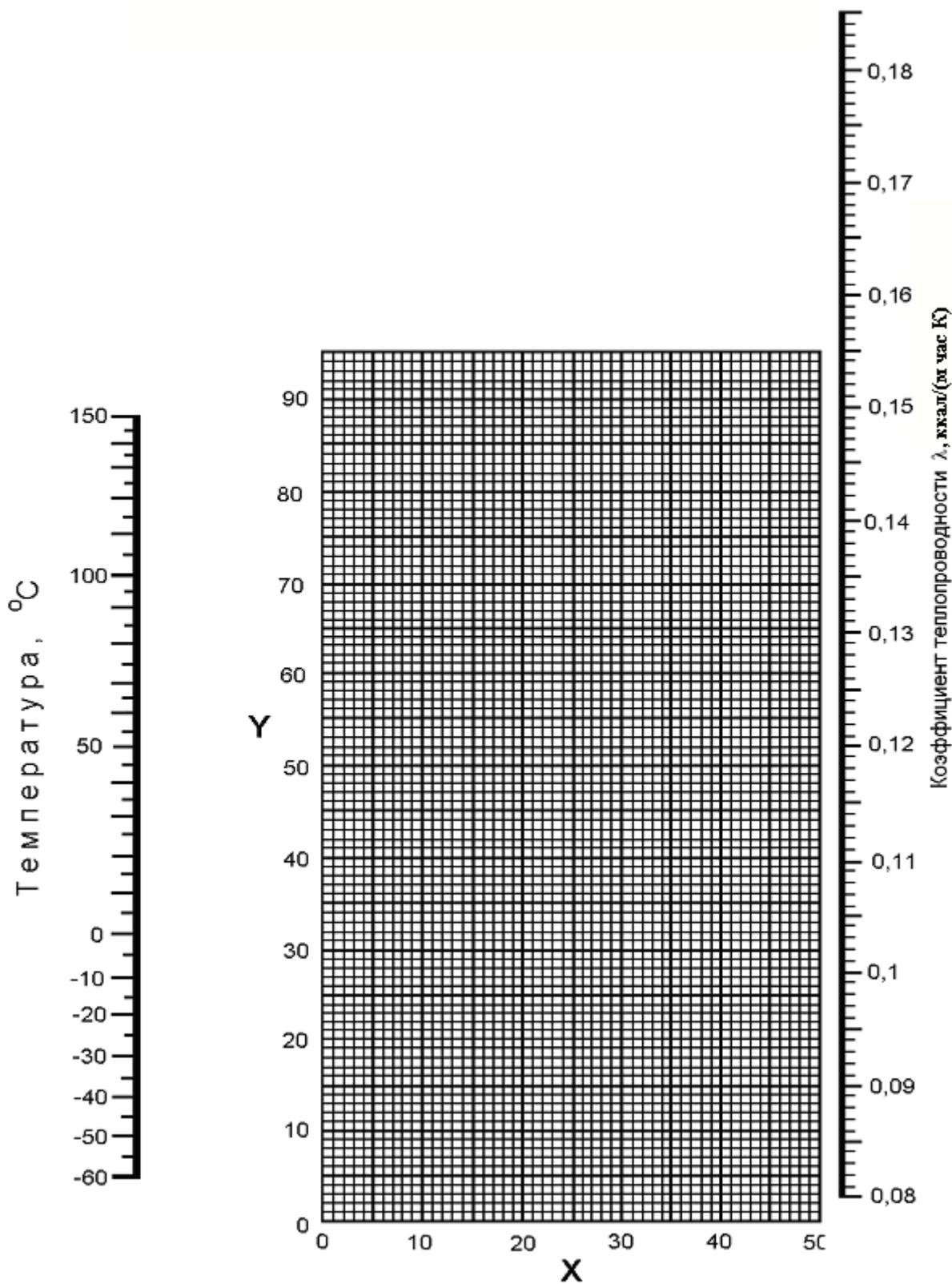
Зависимость теплопроводности от температуры описывается уравнением:

$$\lambda_t = \lambda_{30} [1 - \beta(t - 30^\circ\text{C})], \quad (4.7)$$

где λ_{30} – теплопроводность при температуре 30°C , Вт/(м·К); β – коэффициент объемного расширения, 1/К; t – температура, $^\circ\text{C}$.

Теплопроводность смеси жидкостей определяется по правилу аддитивности (см. определение теплопроводности газов – ур.4.5).

Номограмма 4.2
для определения теплопроводности жидкостей



$$1 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{час} \cdot \text{К}) = 1,163 \text{ Дж}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К})$$

Таблица к номограмме 4.2

№ п/п	Наименование вещества	Шкала	Координаты		Пределы применимости номограммы, °С
			X	Y	
1	2	3	4	5	6
1	Азотная кислота				
	100% - я				
	75% - й водный раствор				
	60% - й водный раствор				
	25% - водный раствор				
2	Аммиак (жидкий)				
	26% - й водный раствор	[6] стр. 15			
3	Анилин	[6] стр. 15			
4	Ацетилен				
5	Ацетон	[6] стр. 15			
6	Бензин Б-70				
7	Бензиловый спирт				
8	Бензол	[6] стр. 15			
9	Вода обыкновенная	[6] стр. 15			
10	Вода тяжелая				
11	Водорода перекись				
12	Водород фтористый				
13	Водород хлористый				
14	Водород цианистый				
15	Гексан	[6] стр. 15			
16	Гидразин				
17	Глицерин				
	100% - й	[6] стр. 15			
	95%-й водный раствор				
	90%-й водный раствор				
	80%-й водный раствор				
	60%-й водный раствор				
	50%-й водный раствор	[6] стр. 15			
20%-й водный раствор					
18	Гудрон				
19	Дифениламин				
20	Дифенил				
21	Диэтиленгликоль	19,5	40,5	-60	+50
22	Изобутиловый спирт	35,0	47,0	0	+90
23	Изомасляная кислота				
	100% - я различных концентраций				
24	Изопропиловый спирт	30,0	56,5	0	+100
25	Капролактан	6,0	68,0	+80	+150
26	Керосин				
27	о-Крезол				
	м-Крезол				
	р-Крезол				

Продолжение таблицы к номограмме 4.2

1	2	3	4	5	6
28	о-Ксилол	27,0	45,5	0	+125
	м-Ксилол	27,0	42,5	0	+125
	р-Ксилол				
29	Кумол	30,5	57,5	0	+100
30	Мазут флотский Ф 12	40,0	36,5	+10	+100
	Мазут флотский Ф 20	42,0	34,5	+10	+100
31	Масла				
	Масло АМГ-10	33,0	33,0	+20	+150
	Масло веретенное АУ	39,0	42,5	+10	+150
	Масло дизельное	39,5	39,5	+10	+100
	Масло касторовое	34,5	82,0	0	+150
	Масло льняное				
	Масло оливковое	44,5	76,5	-20	+100
	Масло подсолнечное				
	Масло соляровое				
	Масло трансформаторное	40,0	23,5	0	+120
Масло хлопковое					
32	Масляная кислота				
	100% - я различных концентраций	4,0	75,5	+80	+120
33	Метилацетат	11,0	62,0	-50	+100
34	Метиловый спирт				
	100 %-й	18,0	81,0	-60	+100
	80 % - й				
	60 % - й				
	40 % - й				
20 % - й					
35	Метиловый эфир	15,0	34,5	-60	0
36	Метил хлористый	5,5	53,0	-20	+20
37	Мочевина				
	90% - й водный раствор				
	80% - й водный раствор				
	60% - й водный раствор				
	40% - й водный раствор				
20% - й водный раствор					
38	Муравьиная кислота	31	72,5	0	+90
39	Нитробензол	32,5	57,5	0	130
40	Нитроглицерин				
41	Олеиновая кислота				
42	Олеум				
43	Пиридин	13,0	64,0	0	+150
44	Пропиловый спирт	27,0	37,0	-60	+100
45	Пропиловый эфир				
46	Сера жидкая				
47	Серная кислота				
	100 % -я				
	93 % -я				

Продолжение таблицы к номограмме 4.2

1	2	3	4	5	6
47	70 % -я				
	60 % -я				
	40 % -я				
	30 % -я				
	20 % -я				
	10 % -я				
48	Сероводород				
49	Сероуглерод				
50	Силикон	25,0	43,0	-60	+150
51	Толуол	24,0	44,0	0	+150
52	Топливо Т-5	35,0	30,0	-50	+150
53	Топливо дизельное	30,0	34,5	0	+150
54	Триэтиленгликоль	21,0	52,0	-60	+50
55	Углерод четыреххлористый	30,5	20,5	-60	+100
56	Углерода двуокись	0,5	29,5	0	+30
57	Уксусная кислота				
	100% - я	27,5	70,5	+30	+100
	80% - я				
	60% - я				
	40% - я				
58	Уксусный альдегид				
59	Уксусный ангидрид	23,5	63,0	+10	+100
60	Фенол				
61	Формальдегид	2,5	62,0	-60	+40
62	Формаид				
63	Фосфорная кислота				
64	Фреоны				
	Фреон-11	22	19,5	-40	+40
	Фреон-12	14,5	11,5	-60	+20
	Фреон-13				
	Фреон-14				
	Фреон-21	16	38,5	-40	+40
	Фреон-22	17	17,5	-60	+20
	Фреон-113	10,5	10,5	-30	+20
Фреон-114	34	8,5	-60	+80	
65	Фталиевый ангидрид				
66	Фуран	14,5	40,5	0	+100
67	Фурфурол	45,0	52,5	-30	+150
68	Хлораль	31	39	-60	+150
69	Хлорбензол	29,5	40,0	0	+80
70	Хлороформ	27,5	31,5	-30	+60
71	Циклогексан	30,5	36,5	+10	+100
72	Щавелевая кислота				
	20% - й водный раствор				

Окончание таблицы 4.2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
73	Этан	8,0	24,5	0	+50
74	Этил хлористый	36,0	41,5	-60	+50
75	Этиламин	9,0	54,5	-40	+150
76	Этилен	23,5	19,0	-60	0
77	Этиленгликоль	5,0	93,0	+20	+150
78	Этиловый спирт				
	100% - й	[6] стр. 15			
	94% - й	33,5	81,5	0	+150
	80% - й	[6] стр. 15			
	60% - й				
	40% - й				
	20% - й				
79	Этиловый эфир	42,5	49,5	0	+60
80	Этилформиат	18,0	60,0	+10	+60

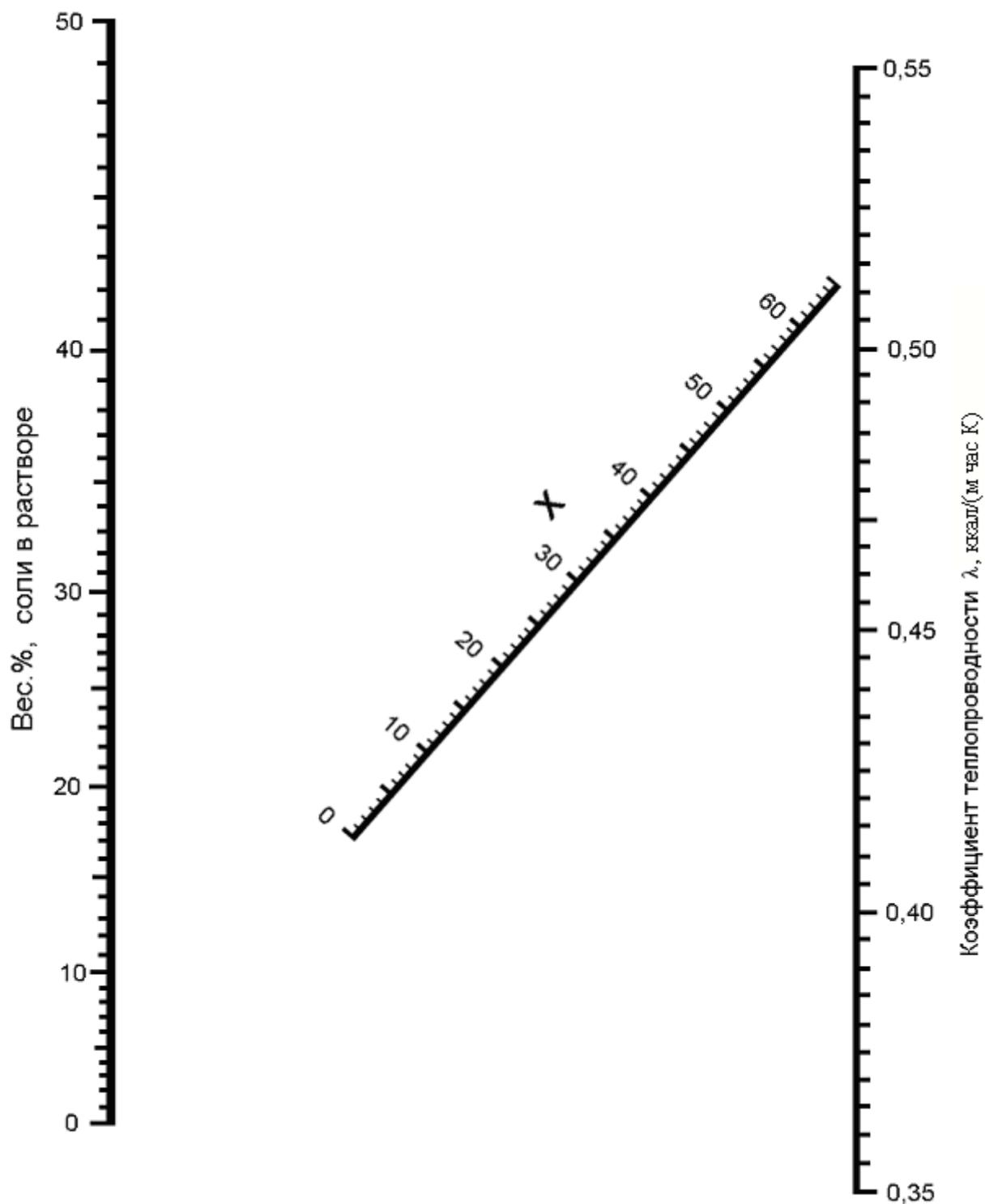
4.3. Определение теплопроводности водных растворов веществ

Коэффициент теплопроводности растворов веществ зависит от природы растворителя и растворенного вещества, от концентрации растворенного вещества, температуры и практически не зависит от давления. Для определения коэффициента теплопроводности водных растворов веществ при температуре 20 °С применяется номограмма 4.3. Для определения коэффициента теплопроводности от температуры применяется номограмма 4.4, в основу которой положена зависимость (4.8):

$$\lambda_t = \lambda_{20} + 0,002(t - 20) - 0,06 \cdot 10^{-4}(t - 20)^2, \quad (4.8)$$

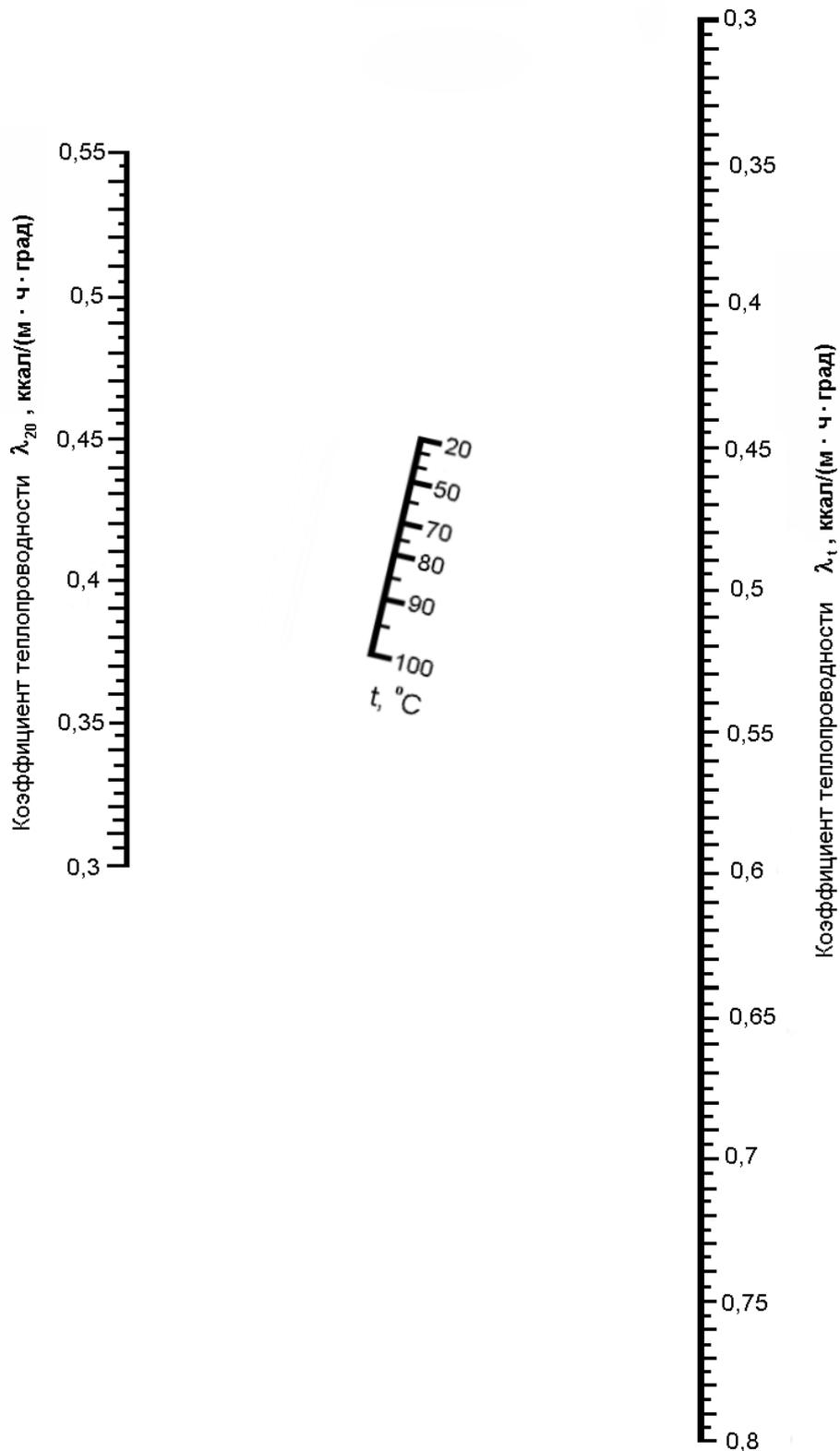
где λ_t – теплопроводность при требуемой температуре, Вт/(м·К); λ_{20} – теплопроводность при температуре 20 °С, Вт/(м·К); t – температура, °С.

Номограмма 4.3
для определения теплопроводности водных растворов веществ
при $t = 20^{\circ}\text{C}$



Номограмма 4.4

для пересчета значений коэффициента теплопроводности при 20°C для любого значения температуры



$$1 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{час} \cdot \text{К}) = 1,163 \text{ Дж}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К}) = 1,163 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

Таблица к номограммам 4.3 и 4.4

№ п/п	Растворенное вещество	Координата		Пределы применимости номограммы, °С	
		X			
1	2	3	4	5	
1	AgF				
2	AgNO ₃	40,0	0	+50	
3	AlBr₃	15,0	0	+20	
4	AlCl ₃	16,5	0	+30	
5	AlNH ₄ (SO ₄) ₂				
6	Al(NO ₃) ₃	20,5	0	+30	
7	Al ₂ (SO ₄) ₃	17,5	0	+20	
8	BaBr₂	33,0	0	+40	
9	Ba(CH ₃ COO) ₂				
10	BaCl ₂	44,0	0	+20	
11	Ba(ClO ₃) ₂	39,0	0	+20	
12	BaI ₂	30,0	0	+50	
13	Ba(NO ₃) ₂	[7] таблица 1.259			
14	BaSO ₄				
15	BeCl₂				
16	Be(NO ₃) ₂				
17	BeSO ₄	29	0	+25	
18	CaBr₂	28,0	0	+50	
19	Ca(CH ₃ COO) ₂				
20	CaCl ₂	42,0	0	+40	
21	Ca(ClO ₃) ₂	34,0	0	+30	
22	CaI ₂	26,5	0	+40	
23	Ca(NO ₃) ₂	44,0	0	+50	
24	CdBr₂	[7] таблица 1.265			
25	CdCl ₂	[7] таблица 1.266			
26	CdI ₂	[7] таблица 1.267			
27	Cd(NO ₃) ₂	[7] таблица 1.268			
28	CdSO ₄	[7] таблица 1.269			
29	CoBr₂	23,0	0	+30	
30	CoCl ₂	28,5	0	+20	
31	Co(ClO ₃) ₂	28,0	0	+30	
32	Co(NO ₃) ₂	34,0	0	+40	
33	CoSO ₄	[7] таблица 1.272			
34	CrBr₃				
35	CrCl ₃				
36	CrK(SO ₄) ₂				
37	Cr(NO ₃) ₃				
38	CrO ₃				
39	Cr ₂ (SO ₄) ₃				
40	CsBr	[7] таблица 1.273			
41	CsCl	31,5	0	+20	
42	CsI	[7] таблица 1.275			
43	CsNO ₃				
44	Cs ₂ SO ₄				

Продолжение таблицы к номограммам 4.3 и 4.4

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
45	CuCl₂	24,5	0	+20
46	Cu(ClO ₃) ₂	33,0	0	+30
47	Cu(NO ₃) ₂	30,0	0	+25
48	CuSO ₄	40,0	0	+10
49	FeBr₂			
50	FeCl ₂	[7] таблица 1.278		
51	FeCl ₃			
52	FeK(SO ₄) ₂			
53	Fe(NO ₃) ₃	[7] таблица 1.279		
54	FeSO ₄	[7] таблица 1.280		
55	Fe ₂ (SO ₄) ₃			
56	H₂AsO₄			
57	HBr			
58	HCl	[7] таблица 1.281		
59	HClO ₃			
60	HClO ₄			
61	H ₂ C ₂ O ₄			
62	HF			
63	HI			
64	HIO ₃			
65	HIO ₄			
66	HNO ₃			
67	HgCl₂			
68	H ₂ O ₂			
69	H ₃ PO ₄			
70	H ₂ S ₂ O ₈			
71	H ₂ SO ₄			
72	H ₂ SeO ₄			
73	H ₂ SiF ₆			
74	InBr₃			
75	KAl(SO₄)₂			
76	KBr	25,0	0	+40
77	KBrO ₃	35,0	0	+10
78	KCH ₃ COO			
79	KCN			
80	K ₂ CO ₃	43,5	0	+30
81	KC ₂ H ₃ COO	39,5	0	+20
82	KCl	30,0	0	+20
83	K ₂ C ₂ O ₄			
84	K ₂ CrO ₄	61,0	0	+40
85	K ₂ Cr ₂ O ₇	40,0	0	+10
86	KF	40,0	0	+30
87	K ₃ Fe(CN) ₆			
88	K ₄ Fe(CN) ₆	35,5	0	+20
89	KHCO ₃	[7] таблица 1.289		
90	KH ₂ PO ₄	[7] таблица 1.290		
91	KHS			

Продолжение таблицы к номограммам 4.3 и 4.4

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
92	KHSO ₄			
93	KI	25,0	0	+50
94	KN ₃			
95	KNO ₂	35,5	0	+40
96	KNO ₃	35,0	0	+20
97	KOH	[7] таблица 1.293		
98	K ₃ PO ₄			
99	K ₂ S			
100	KSCN			
101	K ₂ SiO ₃			
102	K ₂ SO ₃	33,5	0	+20
103	K ₂ SO ₄	45,0	0	+10
104	K ₂ WO ₄			
105	La(NO₃)₂			
106	LiBr	22,0	0	+40
107	LiCl	27,0	0	+20
108	LiClO ₃	26,5	0	+10
109	Li ₂ CrO ₄	53,5	0	+20
110	Li ₂ Cr ₂ O ₇	41,5	0	+20
111	LiI	22,0	0	+50
112	LiNO ₂	36,5	0	+50
113	LiNO ₃	33,5	0	+40
114	LiOH	[7] таблица 1.299		
115	Li ₂ SO ₄	52,5	0	+20
116	MgBr₂	21,5	0	+50
117	Mg(BrO ₃) ₂	27,5	0	+30
118	Mg(CH ₃ COO) ₂			
119	MgCl ₂	24	0	+30
120	Mg(ClO ₃) ₂	26,5	0	+30
121	MgCrO ₄	51,0	0	+20
122	MgI ₂	21,5	0	+40
123	Mg(NO ₃) ₂	33,0	0	+30
124	MgSO ₄	48,0	0	+20
125	MnBr₂			
126	MnCl ₂	24,0	0	+30
127	Mn(NO ₃) ₂	[7] таблица 1.307		
128	MnSO ₄	[7] таблица 1.308		
129	Na₂AsO₄			
130	NaBr	30,0	0	+40
131	NaBrO ₃	42,5	0	+20
132	Na ₂ CO ₃	[7] таблица 1.319		
133	NaCHOO			
134	NaCH ₃ COO	20,0	0	+30
135	NaCl	44,0	0	+20
136	NaClO			
137	NaClO ₃	36,5	0	+40
138	NaClO ₄	35,0	0	+50

Продолжение таблицы к номограммам 4.3 и 4.4

1	2	3	4	5
139	Na ₂ CrO ₄	[7] таблица 1.321		
140	Na ₂ Cr ₂ O ₇	50,5	0	+50
141	Na ₂ HPO ₄			
142	NaH ₂ PO ₄	[7] таблица 1.323		
143	NaHSO ₄	[7] таблица 1.324		
144	NaI	28,0	0	+50
145	Na ₂ MoO ₄			
146	NaN ₃			
147	NaNO ₂	48,0	0	+40
148	NaNO ₃	46,0	0	+40
149	NaOH	[7] таблица 1.327		
150	Na ₃ PO ₄			
151	Na ₂ S			
152	NaSCN			
153	Na ₂ SO ₃	50,5	0	+25
154	Na ₂ SO ₄	[7] таблица 1.328		
155	Na ₂ S ₂ O ₃	50,5	0	+25
156	Na ₂ SiO ₃			
157	Na ₂ SnO ₃			
158	Na ₂ WO ₄			
159	NH₂OH			
160	NH ₂ OH·HCl			
161	NH ₄ (AlSO ₄) ₂			
162	NH ₄ Br	18,0	0	+30
163	NH ₄ ClO ₄	21,5	0	+10
164	(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇			
165	(NH ₄) ₂ CrO ₄			
166	NH ₄ CH ₃ COO			
167	(NH ₄) ₂ CO ₃	16,5	0	+40
168	NH ₄ Cl	17,5	0	+20
169	NH ₄ I	19,5	0	+45
170	NH ₄ NO ₃	25,5	0	+50
171	NH ₄ F	21,5	0	+10
172	NH ₄ SCN			
173	(NH ₄) ₂ SO ₄	31,5	0	+40
174	NiBr₂			
175	NiCl ₂			
176	Ni(NO ₃) ₂	[7] таблица 1.330		
177	NiSO ₄	[7] таблица 1.331		
178	PbBr			
179	Pb(CH ₃ COO) ₂			
180	Pb(ClO ₃) ₂	41,5	0	+15
181	PbCl	31,0	0	+35
182	PbI			
183	Pb(NO ₃) ₂	45,0	0	+30
184	PbNO ₃	[7] таблица 1.332		
185	PbOH			

Окончание таблицы к номограммам 4.3 и 4.4

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
186	Pb ₂ SO ₄			
187	SbBr₂	30,5	0	+50
188	SbCl ₂	39,5	0	+30
189	Sb(NO ₃) ₃	44,0	0	+40
190	SnCl₂			
191	SrBr₂	30,0	0	+50
192	SrCl ₂	41,5	0	+35
193	Sr(ClO ₃) ₂	36,0	0	+50
194	SrI ₂	28,0	0	+45
195	Sr(NO ₃) ₂	43,5	0	+40
196	ThCl₄	28,5	0	+25
197	Th(NO ₃) ₂	33,0	0	+20
198	Th(NO ₃) ₄			
199	UO₂(NO₃)₂			
200	ZnBr₂	22,0	0	+50
201	Zn(BrO ₃) ₂	41,0	0	+30
202	ZnCl ₂	26,0	0	+40
203	Zn(ClO ₃) ₂	26,5	0	+30
204	ZnI ₂	21,5	0	+50
205	Zn(NO ₃) ₂	31,0	0	+50
206	ZnSO ₄	41,0	0	+30
207	Масляная кислота			
208	Изомасляная кислота			
209	HCl			
210	NH₃			

Глава 5. Критерий Прандтля для газов и жидкостей

Критерий Прандтля характеризует теплофизические свойства веществ и зависит от температуры. Рассчитывается по уравнению:

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda}, \quad (5.1)$$

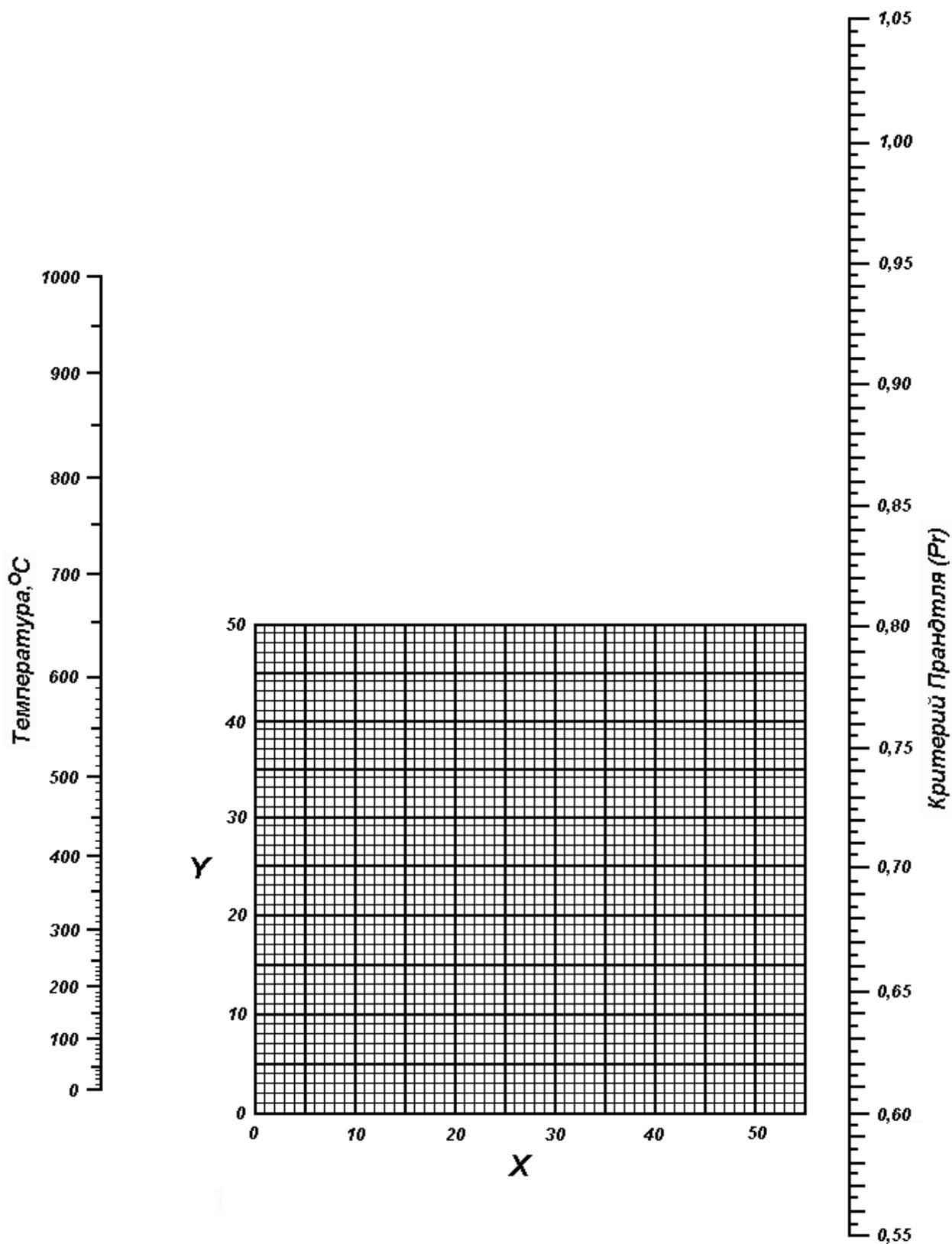
где c – удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг·К); μ – динамический коэффициент вязкости, Па·с; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К). Зная численные значения данных теплофизических характеристик при заданной температуре, критерий Прандтля можно рассчитать. Для упрощения расчетов численные значения критерия Прандтля для газов и жидкостей представлены соответственно номограммами 5.1 и 5.2.

5.1. Определение критерия Прандтля газов и паров

Таблица к номограмме 5.1

№ п/п	Наименование вещества	Координаты		Пределы применимости номограммы, °С	
		X	Y		
1	2	3	4	5	6
1	Азот	26,5	14,0	0	+350
2	Азота двуокись				
3	Азота закись				
4	Азота окись	49,0	29,0	0	+200
5	Аммиак	9,0	25,5	0	+200
6	Анилин				
7	Аргон	40,5	12,5	0	+600
8	Ацетилен				
9	Ацетон	14,5	29,0	0	+400
10	Бензол	20,5	20,5	+200	+500
11	Бром				
12	Водяной пар	3,0	32,0	+100	+350
13	Водород	36,5	15,5	0	+500
14	Водород бромистый				
15	Водород йодистый				
16	Водород фосфористый				
17	Водород фтористый				
18	Водород хлористый				
19	Воздух	37,5	18,5	0	+400
20	Газ доменных печей (при работе на коксе)	45,5	16,5	0	+500

Номограмма 5.1
для определения критерия Прандтля газов и паров
при атмосферном давлении



Продолжение таблицы к номограмме 5.1

1	2	3	4	5	6
21	Газ генераторный				
	из подмосковного угля	44,0	6,0	0	+300
22	Газ подземной газификации угля	49,5	2,0	0	+300
23	н-Гексан	22,5	31,0	0	+600
24	Гелий	46,5	14,5	+100	+600
25	Дымовые газы (15% CO ₂ , 11% H ₂ O)	44,0	13,5	+300	+1000
26	Йод				
27	Керосин (Топливо Т-1)				
28	Кислород	21,5	15,5	0	+300
29	Коксовый газ				
30	Криптон	38,0	12,0	+100	+500
31	Ксенон	39,0	10,0	+100	+500
32	Метан	13,0	14,0	0	+200
33	Неон	44,0	11,0	0	+600
34	Озон				
35	н-Октан	21,5	26	0	+500
36	и-Пентан	26,5	30,5	0	+600
37	Пиридин				
38	Природный газ				
	Бугусланский	55,0	25,5	0	+200
	Дашавский	55,0	31,5	0	+200
	Саратовский	55,0	31,5		+200
39	Пропан	30,5	29,5	+100	+600
40	Сероводород				
41	Сероокись углерода				
42	Сероуглерод				
43	Серы двуокись	38,5	49,5	0	+1000
44	Толуол				
45	Углерод четырёххлористый	30,5	37,5	+100	+600
46	Углерода двуокись	15,0	18,0	0	+300
47	Углерода окись	28,5	20,5	0	+200
48	Уксусная кислота				
49	Уксусный ангидрид				
50	Формальдегид				
51	Фосген				
52	Фреоны				
	Фреон-11				
	Фреон-12				
	Фреон-15				
	Фреон-14				
	Фреон-21				
	Фреон-22				
	Фреон-113				
Фреон-114					

Окончание таблицы к номограмме 5.1

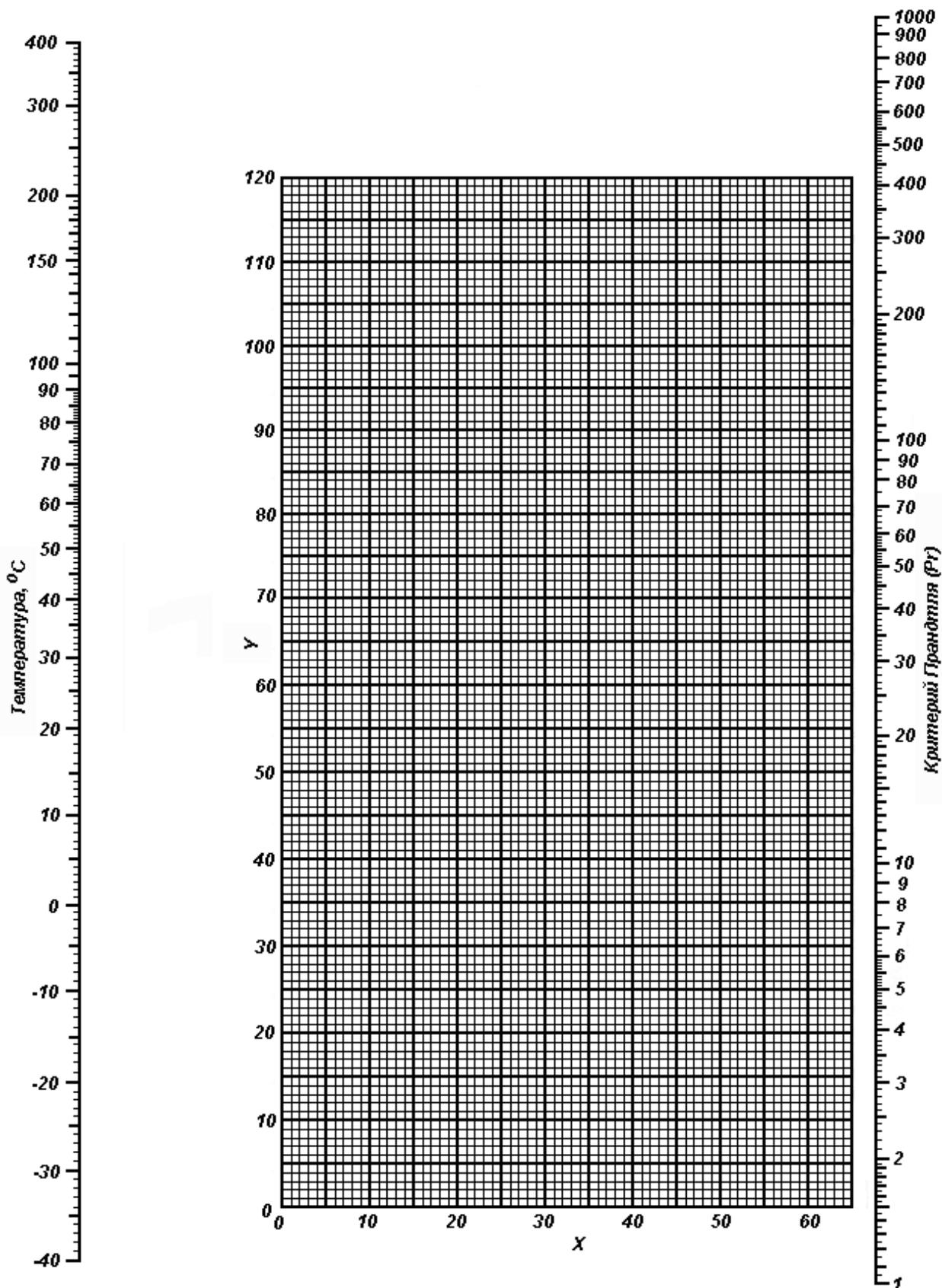
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
53	Фуран				
54	Фурфурол				
55	Хлор				
56	Хлораль				
57	Хлороформ	21,0	25,5	0	+600
58	Циан				
59	Циклогексан	25,5	29,0	+200	+400
60	Циклопентан				
61	Эпихлоргидрин				
62	Этан	43,0	30,0	0	+600
63	Этил хлористый				
64	Этилакрилат				
65	Этил бромистый				
66	Этилацетат	15,0	27,5	+100	+400
67	Этиламин				
68	Этилен				
69	Этиленгликоль				
70	Этиловый спирт				
71	Этиловый эфир	36,0	28,0	0	+400

5.2. Определение критерия Прандтля для жидкостей

Таблица к номограмме 5.2

№ п/п	Наименование вещества	Координаты		Пределы применимости номограммы, °С	
		X	Y		
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1	Азотная кислота				
	100% - я	38,5	46,5	+10	+80
	90% - й водный раствор	38,0	44,0	+10	+100
	70% - й водный раствор	35,0	48,5	+10	+90
	60% - й водный раствор	37,5	48,0	+10	+90
	50% - й водный раствор	37,0	46,5	+10	+100
	40% - й водный раствор	34,0	45,0	+10	+100
2	Аммиак (жидкий)	57,0	2,0	-30	+20
	26% - й водный раствор	31,0	48,0	-10	+10
3	Анилин	19,0	70,0	+20	+150
4	Ацетилен				
5	Ацетон	53,0	27,0	-10	+10
6	Бензин Б-70	47,0	43,0	+10	+200
7	Бензиловый спирт				
8	Бензол	50,0	36,0	+10	+120

Номограмма 5.2
для определения критерия Прандтля жидкостей
на линии насыщения



Продолжение таблицы к номограмме 5.2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
9	Вода обыкновенная	30,5	42,0	0	+200
10	Вода тяжелая	29,0	45,5	+10	+250
11	Водорода перекись				
12	Водород фтористый				
13	Водород хлористый				
14	Водород цианистый				
15	Гексан	55,0	29,0	0	+70
16	Гидразин				
17	Глицерин				
	100% - й				
	95%-й водный раствор				
	90%-й водный раствор				
	80%-й водный раствор				
	60%-й водный раствор				
	50%-й водный раствор	29,0	66,0	0	+90
	40%-й водный раствор				
20%-й водный раствор					
18	Гудрон				
19	Дифениламин				
20	Дифенил				
21	Диэтиленгликоль				
22	Изобутиловый спирт	34,0	72,0	-40	+150
23	Изомасляная кислота				
	100% - я различных концентраций				
24	Изопропиловый спирт	34,0	62,5	0	+100
25	Капролактам				
26	Керосин				
27	о-Крезол				
	м-Крезол				
	р-Крезол				
28	о-Ксилол	48,0	44,0	0	+150
	м-Ксилол	51,0	38,0	0	+150
	р-Ксилол	49,0	40,0	+20	+150
29	Кумол	48	45	0	+150
30	Мазут				
	флотский Ф 12	8,5	100,0	+50	+150
	флотский Ф 20	7,0	101,5	+60	+200
31	Масла				
	Масло АМГ-10	35,0	90,0	+10	+150
	Масло веретенное АУ	19,5	89,5	0	+55
	Масло дизельное	9,0	99,0	+50	+200
	Масло касторовое	9,0	87,0	+20	+300
	Масло льняное	24,0	96,0	+20	+150
	Масло оливковое				
	Масло подсолнечное	22,0	97,0	+20	+150
	Масло соляровое				

Продолжение таблицы к номограмме 5.2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
31	Масло трансформаторное	23,0	85,0	+10	+150
	Масло хлопковое	23,0	97,0	+20	+300
32	Масляная кислота				
	100% - я различных концентраций	14,0	91,5	+100	+200
33	Метилацетат				
34	Метиловый спирт				
	100 %-й	46,0	38,0	0	+100
	80 % - й				
	60 % - й				
	40 % - й	27,0	57,0	0	+100
	20 % - й				
35	Метиловый эфир				
36	Метил хлористый				
37	Мочевина				
	90% - й водный раствор				
	80% - й водный раствор				
	60% - й водный раствор				
	40% - й водный раствор				
	20% - й водный раствор				
38	Муравьиная кислота				
39	Нитробензол	37,5	55,0	+30	+150
40	Нитроглицерин				
41	Олеиновая кислота				
42	Олеум				
43	Пиридин				
44	Пропиловый спирт	34,0	62,5	0	+100
45	Пропиловый эфир				
46	Сера жидкая				
47	Серная кислота				
	100 % -я	21,0	76,5	+10	+150
	90 % -я	22,0	4,0	+10	+150
	70 % -я				
	60 % -я	60,0	12,5	-40	+20
	40 % -я				
	30 % -я	30,0	50,0	0	+150
	20 % -я				
	10 % -я				
48	Сероводород				
49	Сероуглерод	57,0	13,0	-10	+120
50	Силикон	31,0	81,0	0	+300
51	Толуол	52,0	33,5	-10	+120
52	Топливо Т-5	34,0	68,0	0	+200
53	Топливо дизельное				
54	Триэтиленгликоль				
55	Углерод четыреххлористый	55	36	0	+100
56	Углерода двуокись				

Окончание таблицы к номограмме 5.2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
57	Уксусная кислота				
	100% - я	56,0	46,5	+10	+80
	80% - й раствор				
	60% - й раствор				
	50% - й раствор	27,5	55,0	+20	+100
	40% - й раствор				
	20% - й раствор				
58	Уксусный альдегид				
59	Уксусный ангидрид				
60	Фенол	19,0	80,0	+50	+200
61	Формальдегид				
62	Формаид				
63	Фосфорная кислота				
64	Фреоны				
	Фреон-11	56,0	25,5	-20	+40
	Фреон-12	64,5	17,0	-30	+20
	Фреон-13				
	Фреон-14				
	Фреон-21	59,0	17,0	-40	+40
	Фреон-22	65,0	15,0	-40	+10
	Фреон-113	51,0	41,0	-10	+120
	Фреон-114				
65	Фталиевый ангидрид				
66	Фуран				
67	Фурфурол				
68	Хлораль				
69	Хлорбензол	60,0	39,0	0	+120
70	Хлороформ	50,0	29,5	0	+100
71	Циклогексан	44,5	50,0	+20	+100
72	Щавелевая кислота				
	20% - й водный раствор				
73	Этан	58,0	9,5	-40	+20
74	Этил хлористый	62,5	17,5	-40	+60
75	Этиламин				
76	Этилен	61,0	5,0	-40	0
77	Этиленгликоль	44,0	100,0	0	+80
78	Этиловый спирт				
	100% - й	53,0	49,0	-10	+100
	95% - й	44,0	54,0	+20	+80
	80% - й				
	60% - й				
	50% - й	12,0	67,5	+20	+100
	40% - й				
20% - й					
79	Этиловый эфир	55,0	24,0	-10	+90
80	Этилформиат				

Список использованной литературы

1. Основные теплофизические свойства газов и жидкостей (номографический справочник) / Под общ. ред. П.Е. Богданова.- Кемерово, 1971. – 227с.
2. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) / П.Г. Романков [и др.]. - СПб.: Химия, 1993. – 496с.
3. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособие для вузов/ К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. М.: Альянс, 2005 – 576 с.
4. Теплофизические свойства газов, растворителей и растворов солей. справочник/ Е.М. Шадрина [и др.], Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2005. - 196 с.
5. Чубик, И.А. Справочник по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов/ И.А. Чубик, А.М. Маслов. - 2-е изд. доп. – М.: Пищевая промышленность, 1970. -184с.
6. Романков, П.Г. Расчетные диаграммы и номограммы по курсу «Процессы и аппараты химической промышленности»/ П.Г. Романков, М.И. Курочкин. - Л.: Химия, 1985. - 56с.
7. Зайцев, А.Д., Физико-химические свойства бинарных и многокомпонентных растворов неорганических веществ/ А.Д. Зайцев, Г.Г. Асеев. - М.: Химия, 1988. – 415 с.
8. Бретшнайдер, С. Свойства газов и жидкостей. Инженерные методы расчета / Под ред. П.Г. Романкова. - М – Л.: Химия, 1966. – 535с.
9. Рид, Р. И. Свойства газов и жидкостей / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд; пер. с англ. под ред. Б.И. Соколова. - 3-е изд. перераб. и доп. – Л.: Химия, 1982. – 592с.
10. Пери, Д. Справочник инженера – химика. В 2 т. / Под общ. ред. Н.М. Жаворонкова, П.Г. Романкова. - Л.: Химия, 1969. Т.1. - 640с., Т.2.- 504с.

11. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей/ Н.Б. Варгафтик. - 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Наука, 1972. – 720с.
12. Вайсбергер, А. Органические растворители. Физические свойства и методы очистки/ А. Вайсбергер; пер. с англ. – М.: Химия, 1958. – 518с.
13. Хоуген, О. Физико – химические расчеты в технике/ О. Хоуген, К. Ватсон, пер. с англ. – Л.: Госхимиздат, 1941. – 598с.
14. Чиркин, В.С. Теплофизические свойства материалов: Справочное руководство/ В.С. Чиркин – М.: Физ-матгиз, 1959. - 356с.
15. Викторов, М.М. Методы вычисления физико-химических величин и прикладные расчеты/ М.М. Викторов – Л.: Химия, 1977. – 360с.
16. Пасманик, М.И. Производство хлора и каустической соды: справочник / М.И. Пасманик, Б.А. Сасс-Тисовский, Л.М. Якименко. - М.: Химия, 1966. – 308с.
17. Голубев, И.Ф. Вязкость газов и газовых смесей: справочное руководство/ И.Ф. Голубев. – Л.: Химия, 1977. – 360с.
18. Киргинцев, А.Н. Растворимость неорганических веществ в воде: справочник / А.Н. Киргинцев, Л.Н. Трушникова, В.Г. Лаврентьева. - Л.: Химия, 1972. – 245с.
19. Плановский, А.Н. Процессы и аппараты химической технологии / А.Н. Плановский, В.М. Рамм, С.З. Каган. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Гос. научн.-тех. изд-во хим. лит. 1962. -848с.
20. Цедерберг, Н.В. Теплопроводность газов и жидкостей / Н.В. Цедерберг. – М-Л.: Госэнергоиздат, 1963 – 408с.
21. Кэй, Дж. Таблицы физических и химических постоянных / Дж. Кэй, Т. Лэби. – М.: Государственное издание физико-математической литературы, 1962. – 248с.
22. Физические величины: справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейликова . - М.: Энергоатомиздат, 1991. -1232с.