

МИНИСТЕРСТВО Финансов СССР
ГЛАВНАЯ ПАЛАТА МЕР И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ
им. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

ИССЛЕДОВАНИЯ
В ОБЛАСТИ ПЛОТНОСТИ,
ДАВЛЕНИЯ И ВЯЗКОСТИ

ТРУДЫ ВНИИМ
ВЫПУСК 22 (82)

МАШГИЗ · 1954

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

10012

Вашингтон

МИНИСТЕРСТВО ФИНАНСОВ СССР
ГЛАВНАЯ ПАЛАТА МЕР И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИИ имени Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

ИССЛЕДОВАНИЯ
В ОБЛАСТИ ПЛОТНОСТИ,
ДАВЛЕНИЯ И ВЯЗКОСТИ

ТРУДЫ ВНИИМ

ВЫПУСК 22 (82)

Под редакцией
профессора Н. С. Махельсона

БИБЛИОТЕКА
Всесоюзного научно-иссле-
довательского института метрологии
имени Д. И. Менделеева



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ И СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1954 ЛЕНИНГРАД

№ 10913

Ответственный редактор
директор ВНИИМ канд. техн. наук *М. Ф. Юдин*

ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ МАШГИЗА
Редакция литературы по конструированию
и эксплуатации машин
Заведующий редакцией инж. *Ф. И. Фетисов*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий сборник содержит семь отдельных статей, связанных между собой общей задачей изучения свойств жидкостей.

Первая статья Н. С. Михельсона имеет целью ознакомить с трудами комиссии б. Главной Палаты мер и весов по установлению таблицы плотностей водно-спиртовых растворов на основе результатов, полученных Д. И. Менделеевым в его классическом труде «О соединении спирта с водой». Статья излагает принятый комиссией порядок обработки результатов Д. И. Менделеева и метод составления таблицы плотностей, положенной в настоящее время в основу спиртометрии. К статье прилагаются и самые таблицы.

Вторая работа Н. С. Михельсона содержит математическое обоснование формул, являющихся решением основных задач спиртометрии, на основании которых составляются таблицы для промышленных целей.

Статья М. Д. Иппиц представляет собой глубокое теоретическое исследование принципа конструкции металлического спиртомера — прибора, весьма распространенного в промышленности. Автор вскрывает источники его погрешностей и рекомендует способы их возможного устранения.

Статья П. А. Налимова описывает выполненную им большую и весьма важную для ареометрии работу по созданию и исследованию нового набора денсиметров повышенной точности.

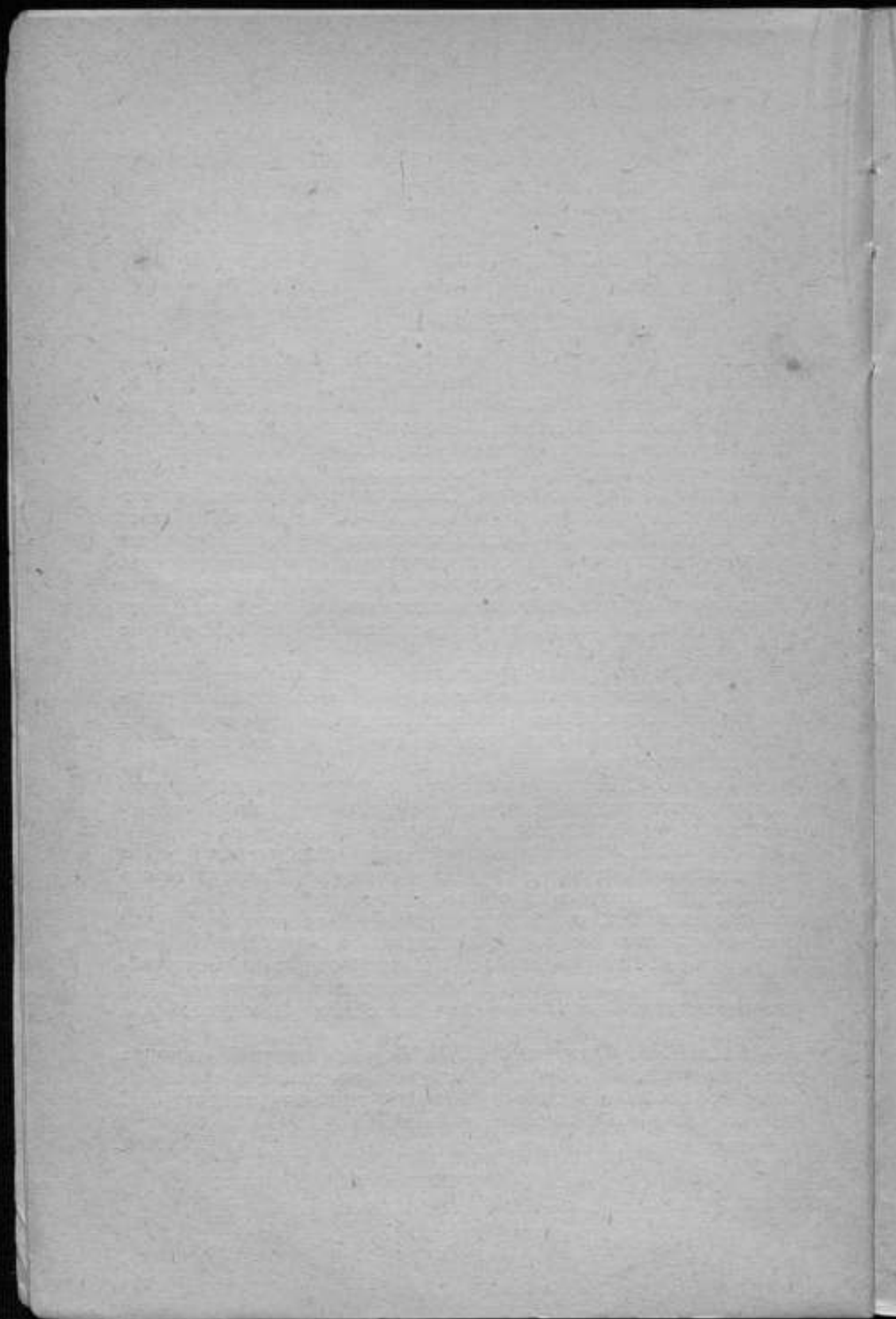
Статья Л. П. Степанова излагает устройство микроанометра специального типа с верхним пределом давления 400 мм вод. столба и исследует возможные случайные погрешности измерения.

Автор полагает, что прибор этот может быть использован для проверки микроанометров других типов.

В статье И. И. Пугачева и Л. П. Степанова описывается устройство и принцип действия оригинального, весьма простого прибора, воспроизводящего избыточное давление с высокой степенью точности.

Статья Н. А. Чеснокова и А. И. Индрика содержит описание экспериментальной работы по определению вязкости трансформаторного масла и жидкости «140» при температурах ниже 0° С на вискозиметре с падающим шариком.

Редактор



ТРУДЫ КОМИССИИ б. ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР И ВЕСОВ
ПО УСТАНОВЛЕНИЮ ТАБЛИЦЫ ПЛОТНОСТЕЙ
ВОДНО-СПИРТОВЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВАНИИ РАБОТ
Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

Введение

В царской России алкогολометрия основывалась на иностранных, весьма устаревших данных, полученных еще Гильпином (1792 г.), переработанных Траллесом (1812 г.) и затем Бриксом (1847 г.). Появление в 1865 г. классического труда Д. И. Менделеева «О соединении спирта с водой», а затем его работа «Исследование водных растворов» (1887 г.) не изменили положения дела. Слишком большая косность и преклонение перед западной наукой не позволили довериться данным, полученным русским ученым.

Только в Советском Союзе был поднят вопрос о пересмотре спиртомерных таблиц на основе указанных трудов Менделеева. Для этого в 1924 г. при б. Главной Палате мер и весов (ныне Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии) была образована Комиссия метрологов, в состав которой вошли профессоры М. С. Вревский, А. Н. Георгиевский, А. И. Горбов и Б. М. Коялович.

В результате весьма большого, тщательного и всестороннего исследования Комиссия составила таблицы удельных весов (плотностей) водно-спиртовых растворов, отнесенных к воде при наибольшей плотности (ρ_{11}), расположенных по весовым процентам для температур от -25°C до $+30^{\circ}\text{C}$ и удельных весов водно-спиртовых растворов, отнесенных к воде при наибольшей плотности (ρ_{11}), расположенных по объемным процентам при 15°C для того же промежутка температур. С переводом всех измерений на температуру 20°C вместо 15°C явилась необходимость пересчитать эти таблицы, отнеся плотности к объемным процентам при 20°C , что и было позднее выполнено сотрудниками ареометрической лаборатории Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии. Потребность в этих таблицах среди широких научных и промышленных кругов вызывает необходимость их опубликования.

Одновременно с этим является весьма желательным ознакомить широкие круги заинтересованных в этом лиц с обстоятельствами возникновения публикуемых таблиц.

Настоящая статья имеет целью в кратком изложении работы, которую столь основательно проделала упомянутая выше Комиссия,¹ осветить вопрос о тех данных, которые были положены в основу таблиц, о произведенных исследованиях, сопровождавших работу Комиссии, и, наконец, о методе математической обработки, которой были подвергнуты результаты опытных данных.

1. Данные, положенные Комиссией в основу таблиц

Основными данными для составления таблиц плотностей водно-спиртовых растворов послужили работы Д. И. Менделеева. Как известно, в своем труде «О соединении спирта с водой» Менделеев исследовал очень большой диапазон крепостей водно-спиртовых растворов: от 35 до 100% для температур в пределах от 0° до -35° С. Им были исследованы растворы и для температур ниже нуля, но для этих температур у Менделеева имеются лишь указания на результаты его опытов, приведенные в его «Исследованиях водных растворов». Имея в виду составить полную таблицу плотностей, Комиссия была принуждена воспользоваться и другими, более поздними источниками, наиболее заслуживающими внимания, чтобы пополнить недостающие у Менделеева данные. Эти дополнительные источники позволили не только создать полную таблицу плотностей водно-спиртовых растворов, но одновременно дали возможность выявить огромные преимущества результатов исследования Менделеева сравнительно с другими исследованиями.

Таким образом, первая задача, которая возникла перед Комиссией, состояла в изучении экспериментальных исследований, проведенных после Менделеева. Задача эта была выполнена проф. М. С. Вревским.

Проф. Вревским были изучены следующие работы, выполненные после Менделеева.

1) Исследование теплового расширения спирта и его водных растворов, произведенное Берлинской поверочной комиссией в 70-х годах прошлого века. Из всей этой работы были опубликованы лишь окончательные результаты в виде алколометрических таблиц, в основу которых положены данные Менделеева и некоторых других исследователей для температуры 15° С.

2) Исследование теплового расширения спирта и его растворов, произведенное в 1892 г. сотрудником Берлинской поверочной комиссии Крейтлингом².

¹ Работы Главной Палаты мер и весов по установлению удельных весов водно-спиртовых растворов, Журнал прикладной химии, 1929, т. 1, № 3, 4—5.

² W. Kreitling, Die Ausdehnung des Wassers, des absoluten Alkohols und Mischungen beider Erlangen, 1892.

3) Исследование в области водно-спиртовых растворов А. Г. Дорошевского в 1911 г.¹

4) Работы, опубликованные в бюллетенях Бюро стандартов в 1913 г.²

5) Экспериментальное исследование Рекингеля³.

В результате изучения работ Берлинской поверочной комиссии и Крейтлинга проф. Вревский обнаружил, что полученные ими данные для изотерм 10° и 20° С находятся в хорошем согласии с результатами Менделеева, и так как первые также находятся в хорошем согласии между собой, то, с одной стороны, это свидетельствует о достоинстве германских работ в этой их части, а с другой — является вполне определенным подтверждением точности данных, найденных Д. И. Менделеевым для изотерм 10 и 20° С.

Перейдя к рассмотрению результатов для крайних изотерм (0° и 30° С), проф. Вревский обнаружил, что разности между плотностями Менделеева и Крейтлинга для этих температур уже более значительны; в отдельных случаях они достигают 20 единиц пятого десятичного знака. Столь же значительны и разности между числами Менделеева и Берлинской поверочной комиссии; и так как результаты Крейтлинга и Берлинской комиссии еще более несогласны между собой (разности достигают 44 единиц пятого десятичного знака), то необходимо признать, что результаты германских ученых в этой части их работ не заслуживают доверия. Поэтому проф. Вревский пришел к выводу, что приходится отказаться от возможности на основании работ германских ученых сделать заключение о числах Д. И. Менделеева для изотерм 0 и 30° С.

Перейдя к изучению работы, выполненной группой ученых и опубликованной в Бюро стандартов, проф. Вревский отмечает чрезвычайно близкое совпадение их чисел с результатами Менделеева для изотермы 25° С. Имея в виду, что числа Менделеева для изотермы 25° С получены из данных для 20 и 30° С, следует заключить, что данные Менделеева для 30° С не менее достоверны, чем для 10 и 20° С.

Что касается изотермы 0° , то за отсутствием более поздних, заслуживающих доверия, определений для этой температуры, сопоставление данных Менделеева не могло быть осуществлено. Американская комиссия не изучала этой изотермы. Сам Менделеев, однако, считает результаты, полученные им при этой температуре, наиболее точными.

Подводя итог сопоставлению исследования Менделеева с другими, выполненными после него, проф. Вревский приходит к заключению, что преимущества работы Менделеева для всех

¹ Дорошевский А. Г., Исследование в области водно-спиртовых растворов, 1911 г.

² Density and thermal Expansion of Ethyl Alcohol and of its Mixtures with water, Bull. Bur. of Standards a № 3, 1923.

³ Recknagel, Sitzungsberichte d. k. Bayer. Acad. d. w. 1866.

Данные Д. И.

$\frac{r}{\rho}$ по весу ρ	r	Плотность ρ_1	r	Плотность ρ_2	r
10,035	—	—	—	—	15,08
24,973	—	—	—	—	15,30
29,897	—	—	—	—	14,93
35,011	0,00	0,95782	9,88	0,95180	14,69
36,082	—	—	—	—	14,90
39,890	00	94954	9,78	94290	15,20
40,137	00	94910	10,72	94180	14,39
42,003	00	94562	10,42	93832	15,01
43,807	00	94209	10,13	93488	15,98
44,992	00	93979	9,78	93272	15,17
45,723	00	93833	10,10	93095	15,30
46,170	00	93742	10,32	92987	14,83
47,925	00	93375	11,01	92555	15,83
49,504	00	93045	9,97	92294	14,93
50,275	00	92882	10,12	92114	15,20
51,830	00	92548	10,01	91783	14,80
53,935	00	92087	10,20	91301	14,91
54,638	00	91929	10,30	91132	15,10
55,187	00	91808	—	—	15,09
59,732	00	90804	9,73	90027	14,97
60,873	00	90544	—	—	15,08
64,903	00	89617	10,16	88800	15,07
69,870	00	88449	—	—	15,31
70,016	00	88416	10,23	87590	15,26
74,932	00	87261	11,00	86361	15,21
80,123	00	86005	10,41	85151	15,44
85,003	00	84788	10,13	83956	14,83
87,630	00	84118	—	—	15,08
89,653	00	83589	10,10	82754	14,82
90,075	00	83476	10,47	82619	14,99
91,023	00	83222	10,39	82361	15,28
94,952	00	82133	10,81	81235	15,07
95,013	00	82115	10,37	81238	14,92
97,550	00	81379	—	—	14,39
99,038	00	80923	10,31	80059	14,93
100,000	00	80625	10,38	79755	15,18

Таблица 1

Менделеева

Плотность ρ_1	r	Плотность ρ_2	r	Плотность ρ_1
0,98307	—	—	—	—
96434	—	—	—	—
95723	—	—	—	—
94866	20,07	0,94507	29,80	0,93825
94658	—	—	—	—
93908	—	—	25,83	93126
93917	20,01	93508	30,72	92704
93497	20,30	93104	31,20	92266
93050	—	—	30,05	91964
92868	20,30	92472	30,02	91710
92701	21,02	92258	29,83	91566
92641	20,10	92232	29,93	91459
92183	19,93	91861	30,70	91010
91910	20,02	91509	30,09	90677
91719	20,08	91332	30,18	90496
91408	21,30	90890	30,69	90121
90927	21,23	90418	30,00	89701
90752	20,03	90355	29,97	89542
90629	—	—	—	—
89600	20,11	89182	30,08	88360
89329	—	—	—	—
88397	20,00	87985	29,81	87164
87204	—	—	30,11	85947
87174	19,96	86780	29,87	85933
86006	20,02	85598	29,75	84757
84726	20,27	84313	29,37	83507
83558	19,35	83170	30,25	82209
82857	—	—	—	—
82353	20,11	81897	30,50	80980
82226	—	—	30,13	80900
81946	20,10	81529	29,87	80666
80870	—	—	29,18	79640
80865	20,83	80358	30,13	79537
80176	—	—	28,97	78936
79671	20,07	79237	29,38	78447
79352	19,59	78949	29,96	78101

исследованных им температур вне всякого сомнения. К этому, по его мнению, следует еще добавить, что, не говоря об исключительно критическом отношении к своему эксперименту, выделяющем исследование Менделеева из ряда других работ, работа Менделеева по полноте исследования превосходит все подобные работы. В исследовании Менделеева в промежутке 35 — 100% им изучены 30 точек при 0°, 27 — при 10°, 33 — при 15°, 24 — при 20° и 29 — при 30° С.

Как уже сказано, определения Менделеева охватывают растворы, содержащие от 35 до 100% спирта. Так как работу Бюро стандартов следует признать лучшей после Менделеева, то Комиссия 6. Главной Палаты мер и весов решила недостающие данные между 10 и 35% заполнить плотностями американской таблицы. Но так как в работе Бюро стандартов эти концентрации все же не были исследованы для изотерм 0 и 10° С, то для этого промежутка плотности спиртовых растворов были рассчитаны при помощи температурных градиентов Крейтлинга, полученных последним в его вышеупомянутой работе. Таким образом и был пополнен промежуток от 0 до 35%, не исследованный Менделеевым.

Все изложенное относится к плотностям водно-спиртовых растворов для температур выше нуля. Что касается таблицы плотностей для температур ниже нуля, то соответствующий экспериментальный и литературный материал оказался весьма скудным. Он ограничен результатами, полученными Рекнагелем, и данными опытов Менделеева, сведения о которых, как уже упомянуто, приведены в его «Исследовании водных растворов», 1887, стр. 225. Рекнагель изучал тепловое расширение восьми растворов спирта в промежутке между -40° С и $+46^{\circ}$ С и с помощью параболической формулы составил таблицу плотностей водно-спиртовых растворов.

Менделеев не опубликовал описания своих опытов, а ограничился лишь приведением числовых значений коэффициентов параболической формулы, рассчитанных на основании собственных определений плотностей десяти растворов между -16° С и $+30^{\circ}$ С. Согласно между найденными им коэффициентами и коэффициентами Рекнагеля оказалось удовлетворительным.

Приняв во внимание благоприятную оценку исследования Рекнагеля, данную Менделеевым, Комиссия остановилась на исследовании Рекнагеля и на основании его экспериментального материала рассчитала таблицу плотностей для температур ниже 0° С.

Таковы источники, на основании которых Комиссией 6. Главной Палаты были составлены таблицы плотностей водно-спиртовых растворов. Главенствующую роль в них играют исследования Менделеева.

Выше приводится сводная таблица результатов, полученных Менделеевым в его работе «О соединении спирта с водой» (табл. 1, стр. 8 и 9).

2. Исследование температурных данных

Вторая задача, поставленная Комиссией б. Главной Палаты, касалась температурных условий. Температурная шкала, применявшаяся Менделеевым, не совпадала с водородной шкалой, принятой ко времени работ Комиссии. Поэтому необходимо было ввести соответствующие поправки к показаниям температур, наблюдавшимся Менделеевым. Однако это возможно было выполнить лишь при наличии термометра, применявшегося Менделеевым.

Как оказалось, этот термометр сохранился во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии, и необходимо было лишь подтвердить его подлинность, привести температурные данные к водородной шкале и отнести плотности, полученные Менделеевым, к целым градусам. Эта работа была выполнена проф. А. Н. Георгиевским. Твердую уверенность в подлинности термометра дали результаты калибровки термометра и сопоставление их с результатами калибровки, выполненной самим Менделеевым. Подлинность подтверждалась и совпадением длины одного градуса по расчету Менделеева и по определению проф. Георгиевского. Но еще большую уверенность дал расчет поправок к показаниям термометра, произведенный проф. Георгиевским на основании результатов калибровки, определения значения основного промежутка и положения нулевой точки в эпоху работы Менделеева, и сопоставление сумм этих поправок с поправками, найденными Менделеевым.

Соответствующие данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Деление шкалы	Поправки на калибр	Поправки на положение нулевой точки	Поправки на основной промежуток	Сумма поправок, полученная Георгиевским	Поправки, найденные Менделеевым
0	0	-80	0	-80	-80
5	+8	-80	-1	-73	-73
10	+16	-80	-2	-66	-66
15	+24	-80	-3	-59	-59
20	+35	-80	-5	-50	-50
25	+47	-80	-6	-39	Не указаны
30	+57	-80	-7	-30	» »
35	+53	-80	-8	-35	» »

Для приведения показаний термометра к водородной шкале проф. Георгиевским была проведена обширная работа по сравнению термометра Менделеева с образцовым термометром б. Главной палаты № 4540 при температурах 10, 15, 20, 25, 30 и 35° С. Для каждой из этих шести температур сделано по три серии наблюдений, каждая из которых состояла из десяти сравнений.

Пересчитанные данные Д. И. Менделеева

№ по весу P	Плотности				
	ρ_0	ρ_{20}	ρ_{30}	ρ_{40}	ρ_{50}
10,035	—	—	0,98302	—	—
24,973	—	—	96439	—	—
29,897	—	—	95707	—	—
35,011	0,95781	0,95164	94833	0,94495	0,93788
36,082	—	—	94639	—	—
39,890	94953	94267	93909	—	92790
40,137	94908	94223	93861	93491	92736
42,003	94561	93855	93485	93109	92335
43,807	94208	93490	93109	—	91945
44,992	93978	93248	92865	92477	91688
45,723	93832	93095	92710	92319	91529
46,170	93741	93003	92615	92222	91430
47,925	93374	92623	92232	91838	91042
49,504	93044	92284	91891	91492	90660
50,275	92881	92115	91721	91320	90487
51,830	92547	91776	91370	90976	90154
53,935	92086	91308	90907	90499	89677
54,638	91928	91148	90747	90339	89515
55,187	—	—	90622	—	—
59,732	90802	89997	89583	89173	88342
60,873	—	—	89322	—	—
61,903	89616	88804	88389	87966	87123
69,870	88448	—	87216	—	85932
70,016	88416	87601	87181	86758	85898
74,932	87260	86436	86009	85581	84711
80,123	86004	85177	84749	84317	83429
85,003	84787	83958	83529	83097	82206
87,630	84117	—	82850	—	—
89,653	83588	82754	82324	81889	80999
90,075	83474	82650	82212	81776	80888
91,023	83221	82386	81957	81519	80631
94,952	82132	81295	80863	—	79546
95,013	82114	81281	80845	80411	79524
97,550	81378	—	80109	—	78824
99,038	80922	80077	79652	79225	78371
100,000	80624	79779	79354	78928	78074

В результате этой экспериментальной работы проф. Георгиевский рассчитал поправки на приведение показаний температур по Менделееву к показаниям по водородной шкале через каждый градус. Поправки выражены были в сотых долях градуса.

После перевода температур на водородную шкалу необходимо было плотности растворов, найденные при температурах наблюдений, привести к целым градусам (10, 15, 20 и 30° С). Но так как Менделеевым не были поставлены специальные опыты для определения температурных коэффициентов изменения плотностей, то Комиссия решила воспользоваться коэффициентами Бюро стандартов на том основании, что эти коэффициенты и коэффициенты, рассчитанные на основании опытных данных Менделеева, дают при интерполировании на целые градусы согласные между собой результаты.

Наконец, для того, чтобы возможно было перейти к выполнению третьей и решающей задачи, стоящей перед Комиссией — к математической обработке всех данных и к составлению таблиц, необходимо было учесть, что Менделеев, относя плотность водно-спиртовых растворов к воде при 4° С, пользовался наиболее достоверной в то время таблицей плотностей воды по Коппу. Но так как к тому времени, когда проводилась работа Комиссии, имелись уже лучшие данные плотностей воды — по Шапон, то плотности водно-спиртовых растворов были пересчитаны применительно к новым данным. В результате были получены окончательные значения плотности всех исследованных Менделеевым различных 36 водно-спиртовых растворов (табл. 3), приведенные к целым градусам (0, 10, 15, 20 и 30° С).

3. Математическая обработка опытных данных и составление таблиц

Третья, и последняя задача, которую должна была решить Комиссия, заключалась в составлении самих таблиц. Для этого необходимо было подвергнуть математической обработке данные Менделеева, собранные в табл. 3. Эту работу выполнил проф. Б. М. Коялович.

Проф. Коялович начал с обработки изотермы 15° С, как наиболее полно охватывающей область спиртовых растворов крепости между 35 и 100%.

Цель работы заключалась в подборе наилучшей формулы, выражающей зависимость между плотностью ρ и процентным (по весу) содержанием спирта в растворе p . Однако непосредственное сопоставление этих чисел между собою не дало возможности подметить хотя бы общий характер зависимости между ρ и p . Поэтому были введены в рассмотрение некоторые функции x и y этих величин, а именно:

$$x = \frac{100 - p}{100}; \quad (1)$$

$$y = 1000 (\rho - \rho_{100}), \quad (2)$$

где ρ_{100} — плотность безводного спирта при 15°C .

Величина x представляет собой весовой процент воды в растворе, а y — в 1000 раз увеличенную разность между плотностью спиртового раствора и плотностью безводного спирта. Сопоставление этих новых величин обнаружило некоторое постоянство отношения y к \sqrt{x} . Это постоянство в особенности заметно было для растворов в интервале от 35 до 85%. Если y примерно пропорционально \sqrt{x} , то, следовательно, y^2 приблизительно пропорционально x , так что в выражении y^2 в виде целого полинома

$$y^2 = A + Bx + Cx^2 + Dx^3 + Ex^4 + \dots \quad (a)$$

по мысли проф. Кояловича, доминирующим членом должен оказаться член с первой степенью x , а все остальные члены должны иметь малое влияние на величину y^2 . Поэтому было основание рассчитывать, что в формуле (a) можно будет ограничиться небольшим числом членов.

Далее проф. Коялович подметил, что, не изменяя характера зависимости (a), в правую часть этого выражения можно включить еще один член первой степени, а именно KY , так как получающееся уравнение

$$Y^2 = A_1 + KY + Bx + Cx^2 + Dx^3 + Ex^4 + \dots \quad (3)$$

легко приводится к форме (a) подстановкой

$$Y = y + \frac{K}{2}.$$

Включение лишнего члена в формулу, которую предполагается обрабатывать способом наименьших квадратов, как известно, увеличивает точность приближения. Если же это включение лишнего члена может быть сделано без повышения степени многочлена, то оно особенно выгодно.

Определение коэффициентов A, K, B, C, D, E велось при условии, чтобы значение

$$\sum (Y_i^2 - A_1 - KY_i - Bx_i - Cx_i^2 - Dx_i^3 - Ex_i^4)^2$$

было минимумом.

Хотя, по замечанию проф. Кояловича, минимум суммы квадратов отклонений y^2 не гарантирует минимум суммы квадратов отклонений самого y , тем не менее этот прием определения коэффициентов ф-лы (3), как увидим из дальнейшего, оказался достаточным. Постепенно повышая степень многочлена (3), проф. Коялович остановился на полиноме 4-й степени:

$$Y^2 = A_1 + KY + Bx + Cx^2 + Dx^3 + Ex^4. \quad (4)$$

Применяя способ наименьших квадратов, он вычислил коэффициенты ф-лы (4), опираясь на следующие 16 данных Менделеева: 1, 3, 7, 11, 14, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 27, 29, 30 (табл. 4). К сожалению, проф. Коялович не указывает, чем руководствовалась Комиссия при выборе именно этих данных. Сам Менделеев не отвечает им какого-либо предпочтения.

Определяя коэффициенты ф-лы (4) по способу наименьших квадратов, тем самым определили и коэффициенты ф-лы (а), по которой и были рассчитаны значения y соответственно значениям x . В табл. 4 эти значения сопоставлены с результатами опытных данных Менделеева.

Как видно из этой таблицы, согласно результатов, вычисленных по формуле, с действительными результатами Менделеева не оставляет желать ничего лучшего. По этой формуле и была вычислена изотерма 15° С для каждого целого процента p в промежутке от 35 до 100%. А именно, для каждого целого значения p определялось x по ф-ле (1), затем по ф-ле (а) — значение y и, наконец, по ф-ле (2) величина плотности ρ , соответствующая взятому значению p . Таким же образом были обработаны и другие изотермы: 0, 10, 20 и 30° С.

В литературе не было примера, где бы независимо обрабатывалось несколько изотерм. Обыкновенно значения для других изотерм получали при посредстве температурных коэффициентов или градиентов. Но обилие данных, полученных Менделеевым непосредственно из опыта для всех изученных им изотерм, дало возможность и даже обязывало провести обработку каждой изотермы в отдельности.

Результат обработки этих четырех изотерм дал подобное же согласие с опытными данными. Средние квадратичные и наибольшие отдельные уклонения от опыта оказались следующими:

Изотерма	Среднее квадратичное уклонение	Наибольшее уклонение
0°	3,5	8
10°	2,1	5
15°	2,5	5
20°	2,1	6
30°	3,9	8

Обработав таким образом все основные изотермы, для которых Менделеев дал так много опытных данных, необходимо было, пользуясь этими изотермами, вычислить плотности спиртовых растворов для всех промежуточных температур от 0 до 30° С через 1° С.

Обычно при определении плотности ρ_t при разных температурах предполагают, что зависимость плотности от температуры выражается формулой

$$\rho_t = a + bt + ct^2 + dt^3 + \dots$$

Затем ищут значения коэффициентов этой формулы, чтобы находить величины ρ_t при каждом t .

Таблица 4

Сличение данных Д. И. Менделеева с вычисленными по формуле (а)

№	P _i	x _i	y _i		Δ
			опыт	формула	
1	35,011	1,8562	154,79	154,79	0
2	39,890	1,5069	145,55	145,57	-2
3	40,137	1,4915	145,07	145,08	-1
4	42,003	1,3808	141,31	141,32	-1
5	43,807	1,2827	137,55	137,60	-5
6	44,992	1,2226	135,11	135,11	0
7	45,723	1,1871	133,56	133,56	0
8	46,170	1,1659	132,61	132,60	+1
9	47,925	1,0865	128,78	128,82	-4
10	49,504	1,0200	125,37	125,37	0
11	50,275	0,9891	123,67	123,67	0
12	51,830	0,9294	120,25	120,22	+3
13	53,935	0,8541	115,53	115,53	0
14	54,632	0,8302	113,93	113,89	+4
15	55,187	0,8120	112,68	112,68	0
16	59,732	0,6741	102,29	102,30	-1
17	60,873	0,6428	99,68	99,67	+1
18	64,903	0,5408	90,35	90,31	+4
19	69,870	0,4312	78,62	78,64	-2
20	70,016	0,4282	78,27	78,30	-3
21	74,932	0,3345	66,55	66,57	-2
22	80,123	0,2481	53,95	53,94	+1
23	85,003	0,1764	41,75	41,73	+2
24	87,630	0,1412	34,96	34,98	-2
25	89,653	0,1154	29,70	29,66	+4
26	90,075	0,1102	28,58	28,54	+4
27	91,023	0,0986	26,03	26,00	+3
28	91,952	0,0532	15,09	15,12	-3
29	95,013	0,0525	14,91	14,94	-3
30	97,550	0,0251	7,55	7,54	+1
31	99,038	0,0097	2,98	3,02	-4
32	100,000	0,0000	0,00	0,02	-2

Сумма квадратов отклонений = 197
Среднее квадратичное отклонение = 2,48

Проф. Коялович для вычисления плотности применил свой оригинальный способ. Вместо определения коэффициентов a, b, c, \dots он исключает их, пользуясь определенными данными Менделеева, и таким образом устанавливает непосредственную зависимость между известными плотностями и одной новой искомой плотностью для выбранной температуры. Так, при вычислении плотностей для изотермы 5°C проф. Коялович выписывает следующие пять соотношений, принимая $\rho_t = a + bt + ct^2 + dt^3$:

$$\begin{aligned} t=0^\circ & \quad \rho_0 = a; \\ t=5^\circ & \quad \rho_5 = a + 5b + 25c + 125d; \\ t=10^\circ & \quad \rho_{10} = a + 10b + 100c + 1000d; \\ t=15^\circ & \quad \rho_{15} = a + 15b + 225c + 3375d; \\ t=20^\circ & \quad \rho_{20} = a + 20b + 400c + 8000d. \end{aligned}$$

Из этих соотношений, путем исключения коэффициентов a, b, c, d , он получает выражение

$$\rho_{20} - 4\rho_{15} + 6\rho_{10} - 4\rho_5 + \rho_0 = 0;$$

после преобразований оно принимает вид

$$\rho_0 - \rho_{10} = \frac{1}{4}(\rho_0 - \rho_{10}) + \frac{3}{4}(\rho_{10} - \rho_{15}) - \frac{1}{4}(\rho_{15} - \rho_{20}),$$

откуда и определяется ρ_0 .

Подобным образом Б. М. Коялович вычислил и изотерму 25°C , опираясь при ее вычислении на изотермы 10, 15, 20 и 30°C , т. е. устраняя изотерму 0° , как наиболее удаленную от изотермы 25°C . (В предыдущем случае была устранена изотерма 30°C .)

Далее таким же путем были вычислены промежуточные изотермы (3, 8, 13, 17, 22 и 27°) и, наконец, линейным интерполированием остальные изотермы.

Этим приемом были обработаны на промежутке от 0 до 30° все данные Менделеева, которые охватывают крепости спиртовых растворов от 35 до 100% (по весу).

Для промежутка от 10 до 30%, как было указано выше, в основу были положены данные Бюро стандартов. Этот промежуток был обработан тем же приемом, как и промежуток Менделеева, причем смыкание изотерм с изотермами Менделеева не оставляло желать ничего лучшего. Только в изотерме 30° пришлось изменить на 1 единицу пятый знак плотности, найденной Бюро для 34%, чтобы смыкание этой изотермы оказалось совершенно гладким.

Так как в данных Бюро стандартов отсутствовала изотерма 0° , то для промежутка от 0 до 35% были использованы температурные множители Крейтлинга, как являющиеся результатами прямых

опытов. С применением их к изотерме 15° была рассчитана изотерма 0° для этого промежутка.

Остается изложить метод, которым была составлена таблица плотностей для температур ниже нуля. Раньше уже было сказано, что для составления таблицы плотностей при этих температурах были использованы опытные данные Рекнагеля. Так как эти данные не обладают большой точностью, то было принято решение ограничиться в этой части таблиц лишь четырьмя десятичными знаками после запятой, и закон температурных расширений искать, ограничиваясь формулой вида

$$v_t = 1 + At + Bt^2.$$

В качестве опорных пунктов при вычислении коэффициентов A и B по способу наименьших квадратов были выбраны все восемь исследованных Рекнагелем растворов. По этой формуле были вычислены сначала удельные объемы, а затем плотности всех восьми растворов для температур -5° , -10° , -15° , -20° и -25° . По последним были определены температурные градиенты для промежутков 0° , -5° ; -5° , -10° ; 0° , -15° ; 0° , -20° ; 0° , -25° , которые затем были интерполированы по составу через 1% для растворов от 21 до 100%. Интерполирование велось параболой 3-й степени для первых двух градиентов и 4-й степени — для остальных трех. Прибавлением этих градиентов к найденным плотностям была получена таблица плотностей растворов крепости от 21 до 100% для температур ниже нуля через пять градусов. Распространение этой таблицы на промежуточные температуры через один градус велось уже линейным интерполированием.

На этом и была закончена работа Комиссии по составлению таблицы плотностей водно-спиртовых растворов, отнесенных к воде при наибольшей плотности (ρ_{4}), для температур от -25° до $+35^\circ$ С, расположенных по весовым процентам. Эта таблица затем была развернута и по объемным процентам при 15° С. Но так как впоследствии спиртометрия перешла, как и вообще все измерения, на температуру 20° С, то позднее ареометрическая лаборатория Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии рассчитала таблицу плотностей водно-спиртовых растворов, расположенных по объемным процентам при 20° С.

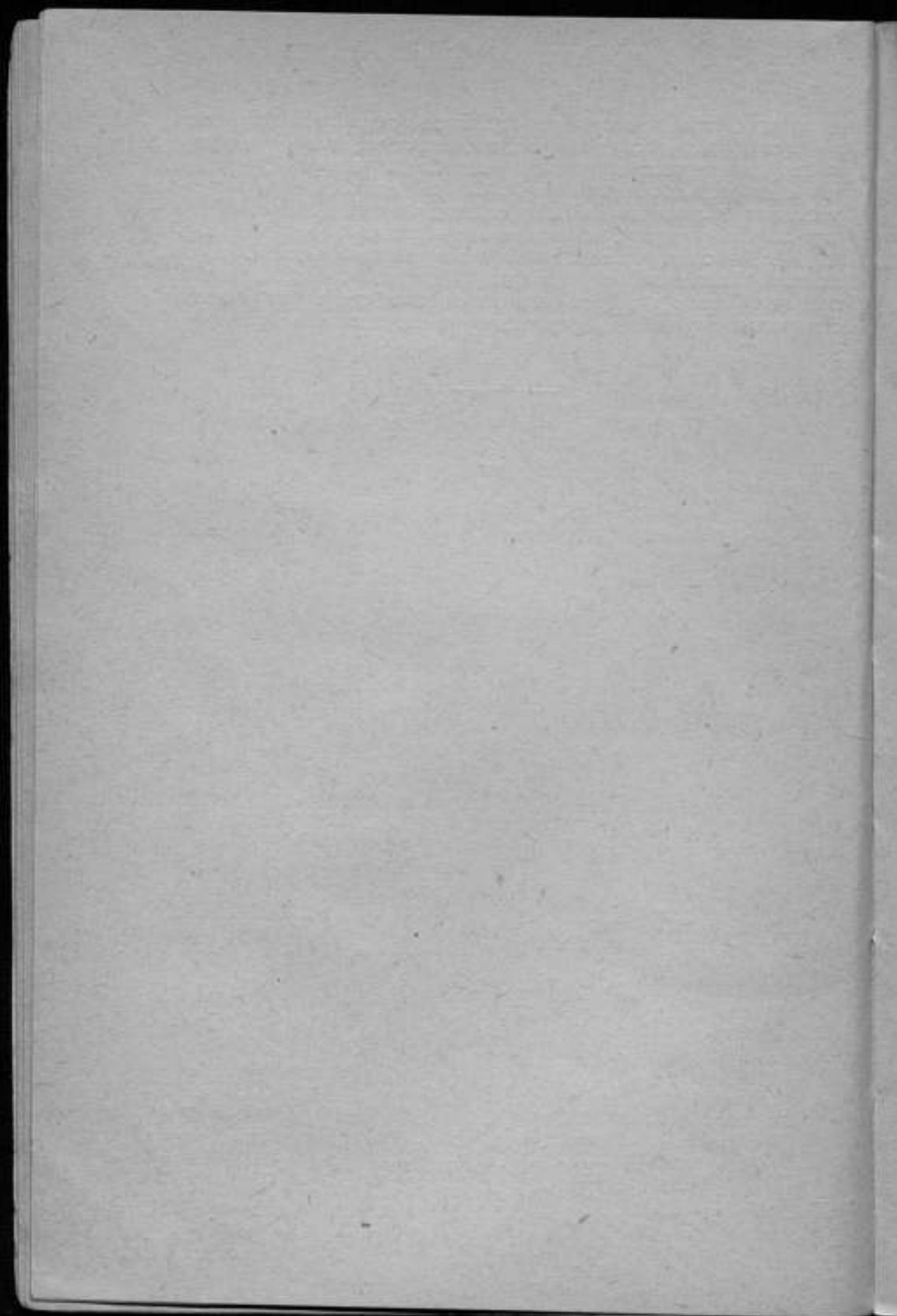
Расчет этот был сделан следующим образом.

Прежде всего по формуле перехода от процентов по весу к процентам по объему

$$q = p \frac{\rho_p^{(20)}}{\rho_{100}^{(20)}}$$

(где p — процент по весу, q — соответствующий ему процент по объему) была составлена таблица, показывающая, какое число процентов по объему (с точностью до 0,001) соответствует целому

числу процентов по весу через 1%. Тогда вся таблица плотностей водно-спиртовых растворов, расположенная по целым процентам по весу, могла рассматриваться как таблица плотностей, отнесенная к дробным объемным (при 20° С) процентам. Поэтому для составления таблицы плотностей, расположенных по целым объемным (при 20° С) процентам, оставалось лишь интерполированием привести все числа таблицы к целым объемным процентам. В подавляющем большинстве случаев было достаточно линейной интерполяции. Только для очень крепких спиртов, где вторые разности становятся ощутимыми, пришлось принять их во внимание.



ТАБЛИЦЫ ПЛОТНОСТЕЙ
ВОДНО-СПИРТОВЫХ РАСТВОРОВ,
РАСПОЛОЖЕННЫХ ПО ВЕСОВЫМ
И ОБЪЕМНЫМ ПРОЦЕНТАМ,
ДЛЯ ПРОМЕЖУТКА ТЕМПЕРАТУР
ОТ -25° ДО $+30^{\circ}$ С

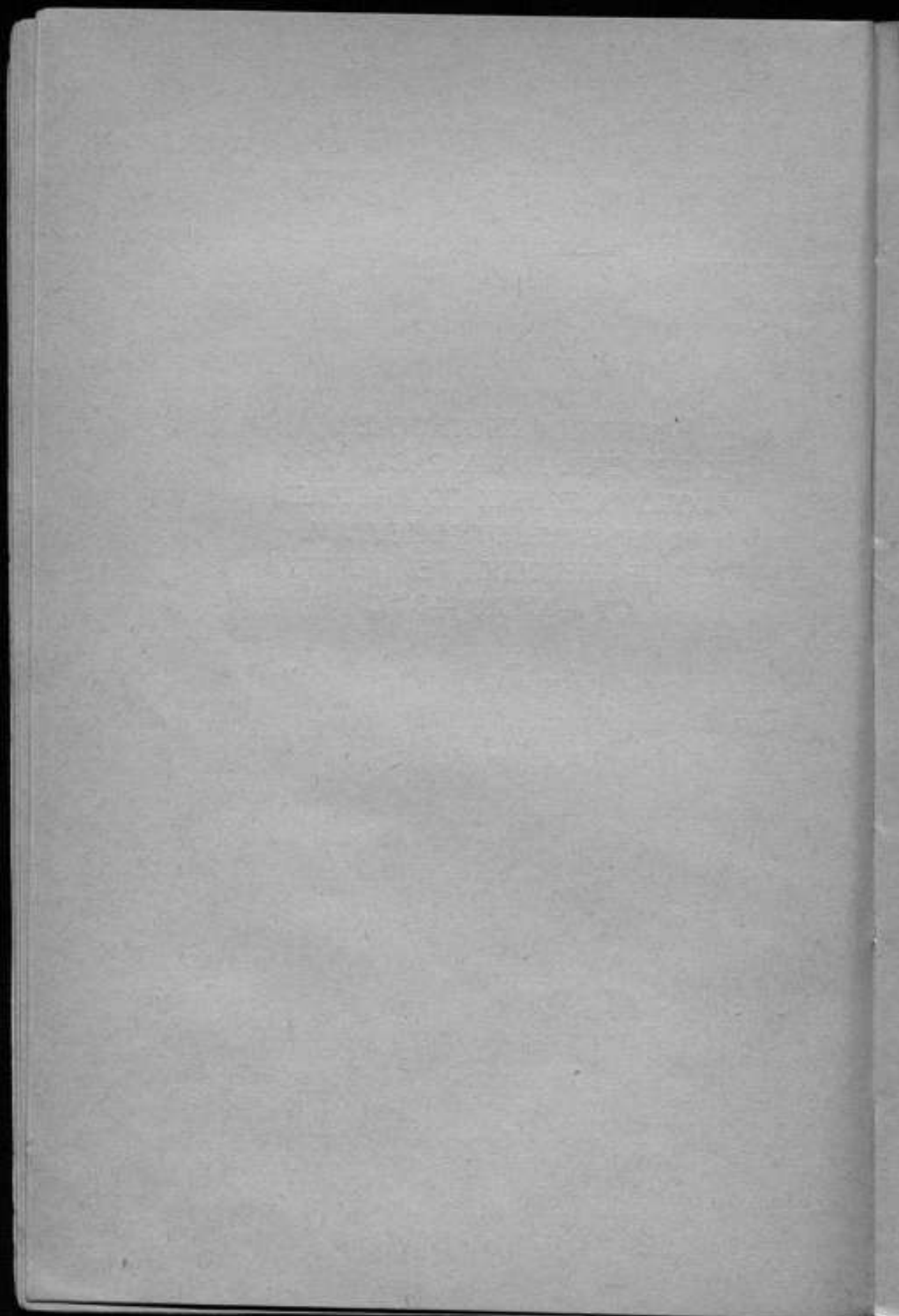


Таблица I

Плотности водно-спиртовых растворов, расположенные по весовым процентам, для температур выше нуля

t p	t		p		t		p		t		p		t		p		t		p					
	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10	10	9°	8°	7°	6°	5°	4°	3°	2°	1°	0°		
0	0,99987	0,99983	0,99977	0,99969	1,00000	0,99999	0,99997	0,99993	0,99988	0,99981	0,99973	0,99973	0,99981	0,99988	0,99993	0,99997	0,99999	1,00000	0,99999	0,99997	0,99993	0,99988	0,99981	0,99973
1	801	805	808	811	812	809	805	805	799	792	785	785	799	792	805	809	812	812	811	805	805	799	792	785
2	620	624	627	630	630	627	623	623	617	610	602	602	617	610	623	627	630	630	627	620	620	617	610	602
3	446	450	453	456	455	451	447	447	441	434	426	426	441	434	447	451	455	455	453	446	446	441	434	426
4	281	284	287	289	289	285	280	280	273	266	258	258	273	266	280	285	289	289	287	281	281	273	266	258
5	127	129	131	133	132	129	127	127	121	114	106	106	121	114	127	131	133	132	131	127	127	121	114	106
6	98984	98985	98986	98987	98985	98978	98972	98964	98955	98946	98946	98946	98955	98964	98972	98978	98985	98985	98987	98986	98986	98985	98984	98984
7	850	850	849	849	846	842	837	830	821	811	801	801	821	811	830	837	842	846	849	849	846	842	837	830
8	723	722	720	717	713	707	701	693	683	672	660	660	683	672	693	701	707	713	717	720	720	717	713	707
9	601	598	594	590	585	577	569	560	549	537	524	524	549	537	560	569	577	585	590	594	598	594	590	585
10	485	480	475	469	462	453	444	433	421	408	393	393	421	408	433	444	453	462	469	475	480	485	480	475
11	374	368	361	354	345	335	324	311	298	283	267	267	298	283	311	324	335	345	354	361	368	374	368	361
12	268	260	252	243	233	221	208	194	179	163	145	145	179	163	194	208	221	233	243	252	260	268	260	252
13	166	156	146	136	125	110	95	80	63	46	26	26	63	46	80	95	110	125	136	146	156	166	156	146
14	69	69	65	61	57	50	42	33	24	15	6	6	24	15	42	50	57	61	65	69	69	69	65	61
15	97977	97953	97949	97934	97919	97902	97886	97869	97851	97832	97811	97811	97832	97851	97869	97886	97902	97919	97934	97949	97953	97977	97977	97953
16	889	874	857	840	823	805	783	762	739	716	692	692	739	716	762	783	805	823	840	857	874	889	874	857
17	805	787	768	749	729	707	683	660	635	610	583	583	635	610	660	683	707	729	749	768	787	805	787	768
18	721	700	679	657	634	609	583	557	530	503	473	473	530	503	557	583	609	634	657	679	700	721	700	679
19	636	613	589	564	538	511	483	454	425	395	363	363	425	395	454	483	511	538	564	589	613	636	613	589
20	552	526	499	471	442	413	382	351	319	286	252	252	319	286	351	382	413	442	471	499	526	552	526	499
21	466	437	407	377	345	313	279	246	211	176	139	139	211	176	246	279	313	345	377	407	437	466	437	407
22	387	345	312	280	240	210	174	138	101	63	24	24	101	63	138	174	210	240	280	312	345	387	345	312
23	285	250	215	180	144	105	67	28	9	9	9	9	28	9	67	105	144	180	215	250	285	285	250	215
24	191	153	115	77	38	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	38	77	115	153	191	153	115
25	94	54	13	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	13	54	94	94	54	13

Продолжение таблицы 1

P	i	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	t
25	0,97094											0,96665	25
26	96992											539	26
27	884	96949	839	794	748	702	654	605	556	507	458	406	27
28	770	722	674	626	577	527	476	425	374	321	268	215	28
29	650	599	548	498	446	394	341	288	235	180	125	68	29
30	523	470	417	364	310	256	201	146	90	34	0,96711	95977	30
31	388	334	280	224	168	112	55	0,96845	95998	95940	95882	823	31
32	245	189	134	077	020	95962	95903	841	785	726	665	605	32
33	096	039	95982	95924	95866	807	747	687	626	565	503	442	33
34	95942	95884	826	767	708	648	587	525	463	400	337	274	34
35	784	725	665	606	545	481	422	359	295	231	166	102	35
36	623	562	501	440	378	316	252	188	123	67	0,96756	0,96697	36
37	457	395	333	270	207	143	078	012	0,96801	94946	94879	812	37
38	287	223	159	095	031	94966	94899	94832	765	697	629	561	38
39	112	047	94981	94916	94850	784	716	648	579	510	441	371	39
40	94932	94866	94800	94732	94665	94597	94528	94459	94389	94319	94249	94178	40
41	748	680	612	544	476	407	337	267	196	125	0,96756	0,96697	41
42	560	491	422	353	284	214	143	072	0,96801	93928	93856	805	42
43	369	299	229	159	089	018	93946	93874	93801	728	655	582	43
44	174	104	033	93962	93891	93819	93746	93673	93599	93525	93451	93376	44
45	93976	93905	93834	93762	93690	93617	93543	93469	93395	93320	93245	93170	45
46	775	703	631	558	485	412	337	262	187	112	0,96711	0,96646	46
47	571	498	425	351	277	203	128	052	92977	92901	92824	756	47
48	364	290	216	142	067	92992	92916	92840	764	688	610	534	48
49	154	080	005	92931	92855	92779	92703	92626	92549	92473	92396	92319	49
50	92942	92867	92792	92717	92641	92565	92488	92411	92333	92256	92177	92100	50

Продолжение табл. 1

$\frac{t}{p}$	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	$\frac{t}{p}$
50	0,92942	0,92867	0,92792	0,92717	0,92641	0,92565	0,92488	0,92411	0,92333	0,92256	0,92177	50
51	728	653	577	501	425	349	271	194	115	637	91958	51
52	513	437	361	284	208	131	053	91975	91896	91817	738	52
53	296	220	143	066	91989	91912	91833	734	675	596	516	53
54	077	000	91923	91846	768	691	612	532	453	373	293	54
55	91856	91779	701	624	546	468	389	309	229	149	069	55
56	634	556	478	400	322	243	164	084	004	90923	90843	56
57	411	332	254	175	097	017	90338	90858	90778	697	617	57
58	187	108	029	90350	90871	90791	712	631	551	470	389	58
59	90652	90883	90804	724	644	564	485	404	323	242	161	59
60	735	656	577	497	417	337	257	176	095	014	89932	60
61	508	428	349	269	189	109	028	89947	89866	89785	703	61
62	280	200	120	040	89390	89380	89799	718	637	555	473	62
63	051	89671	89891	89811	731	650	569	488	406	324	242	63
64	89821	741	661	581	501	420	338	257	175	093	011	64
65	590	510	430	350	270	189	107	025	88943	88861	88779	65
66	359	279	198	118	038	88957	88875	88793	711	629	546	66
67	127	047	88966	88885	88805	724	642	560	478	395	312	67
68	88894	88814	733	652	571	490	408	326	244	161	078	68
69	680	580	499	418	337	256	174	092	009	87936	87843	69
70	426	346	265	184	103	022	87939	87857	87774	691	608	70
71	191	111	030	87949	87868	87787	704	621	538	455	372	71
72	87955	87875	87794	713	632	551	468	385	302	219	135	72
73	719	638	557	476	395	314	231	148	065	86981	86897	73
74	481	400	319	238	157	075	86992	86909	86826	742	658	74
75	242	161	080	86999	86917	86835	752	669	586	502	418	75

Продолжение табл. 1

t	p	$0''$	$1''$	$2''$	$3''$	$4''$	$5''$	$6''$	$7''$	$8''$	$9''$	$10''$	t	p
75	0,87242	0,87161	0,87080	0,86999	0,86917	0,86835	0,86752	0,86669	0,86586	0,86502	0,86418	0,86335	75	75
76	002	86921	86840	759	677	595	512	429	346	262	178	94	76	76
77	86761	680	599	518	436	354	271	188	105	21	85937	85853	77	77
78	520	439	358	277	195	113	030	85947	85863	85779	85695	85611	78	78
79	277	196	115	034	85952	85870	85787	704	620	536	451	367	79	79
80	033	85952	85871	85790	708	626	543	459	375	291	206	122	80	80
81	85787	706	625	544	462	380	297	213	129	045	84960	84876	81	81
82	340	459	378	297	215	133	049	84965	84881	84797	84712	84628	82	82
83	291	210	129	048	84966	84884	84800	716	632	548	463	378	83	83
84	041	84960	84879	84797	715	633	549	465	381	297	212	127	84	84
85	84789	708	627	545	463	381	297	213	129	044	83959	83874	85	85
86	535	454	373	291	209	127	043	83959	83874	83789	83704	83619	86	86
87	278	197	116	034	83952	83870	83786	702	617	532	447	362	87	87
88	019	83938	83857	83775	693	611	527	442	357	272	187	102	88	88
89	83758	676	595	513	431	349	265	180	095	010	82925	82840	89	89
90	494	412	330	248	166	084	000	82915	82830	82745	82660	82575	90	90
91	227	145	063	82981	82898	82816	82732	647	562	477	392	307	91	91
92	82956	82874	82792	710	627	544	460	375	290	205	120	35	92	92
93	682	600	518	435	352	269	185	100	015	81930	81845	81760	93	93
94	404	322	240	157	074	81991	81907	81822	81737	81652	81567	81482	94	94
95	121	039	81957	81874	81791	81708	81624	81539	81454	81369	81284	81199	95	95
96	81853	81751	81668	81585	81502	81419	81335	81250	81165	81080	80995	80910	96	96
97	540	457	374	291	208	125	041	80956	80871	80786	80701	80616	97	97
98	242	159	076	80992	80908	80825	80741	80656	80571	80486	80401	80316	98	98
99	80837	80853	80769	80685	80601	80517	80433	80349	80264	80179	80094	80009	99	99
100	523	539	454	369	285	200	116	032	80048	79964	79879	79794	100	100

Продолжение табл. 1

ϵ		11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	t	
p												t	p
0	0,99963	0,99952	0,99940	0,99927	0,99913	0,99897	0,99880	0,99862	0,99843	0,99823	0	0	0
1	776	765	753	740	725	709	692	674	655	636	1	1	1
2	593	582	570	557	542	526	509	491	472	453	2	2	2
3	416	405	393	380	365	349	332	314	295	275	3	3	3
4	248	237	224	210	195	178	161	143	124	103	4	4	4
5	88	76	62	47	32	15	98998	98979	98959	98938	5	5	5
6	98935	98922	98908	98893	98877	98861	843	822	801	780	6	6	6
7	789	775	760	745	729	712	693	672	650	627	7	7	7
8	647	633	617	601	584	566	546	525	502	478	8	8	8
9	510	495	478	461	442	423	402	380	356	331	9	9	9
10	378	361	343	324	304	284	262	238	214	187	10	10	10
11	250	232	212	192	171	149	126	101	75	47	11	11	11
12	126	105	85	64	41	17	97983	97967	97939	97910	12	12	12
13	006	97984	97961	97938	97914	97889	863	835	805	775	13	13	13
14	97889	866	841	816	790	764	736	706	675	643	14	14	14
15	776	751	724	697	669	641	612	581	548	514	15	15	15
16	666	638	610	582	551	522	490	457	423	387	16	16	16
17	555	526	496	465	433	401	366	331	296	259	17	17	17
18	443	412	380	347	313	278	241	204	167	129	18	18	18
19	330	297	263	228	191	154	115	75	37	96997	19	19	19
20	216	181	144	107	68	28	96988	96947	96906	864	20	20	20
21	101	63	24	96985	96944	96902	860	816	773	729	21	21	21
22	96984	822	778	735	689	643	596	549	501	453	22	22	22
23	865	822	778	735	689	643	596	549	501	453	23	23	23
24	743	698	652	606	558	510	461	412	362	312	24	24	24
25	618	570	522	474	424	374	323	272	220	168	25	25	25

Продолжение табл. 1

t \ p	t	p
25	0,96618	0,96522
26	489	388
27	354	250
28	215	106
29	070	95958
30	95920	804
31	764	745
32	604	645
33	441	585
34	273	482
35	101	315
36	94924	209
37	744	144
38	560	035
39	371	94857
40	178	744
41	93982	675
42	783	490
43	581	300
44	376	229
45	169	034
46	92960	93837
47	746	764
48	533	637
49	316	483
50	098	226
		017
		92940
		92806
		729
		515
		437
		299
		081
		91861
		91940
		159
		377
		455
		670
		92883
		094
		302
		508
		581
		711
		93910
		106
		93962
		034
		157
		349
		420
		606
		789
		94902
		079
		251
		420
		585
		745
		95901
		844
		95936
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338
		524
		690
		94835
		012
		186
		357
		524
		686
		844
		95906
		144
		302
		489
		96474
		034
		182
		338

Продолжение табл. 1

t p		11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	t p	
50		0,92098	0,92019	0,91940	0,91861	0,91781	0,91702	0,91622	0,91543	0,91462	0,91382	50	
51		91879	91800	720	640	560	481	400	321	240	159	51	
52		658	579	499	418	338	258	177	98	017	90936	52	
53		436	356	276	195	114	034	90953	90873	90792	711	53	
54		213	133	052	90971	90889	90809	728	647	566	484	54	
55		90989	90908	90827	746	664	583	502	420	338	256	55	
56		763	682	601	520	438	356	274	192	110	028	56	
57		536	455	374	292	210	128	045	89953	89881	89799	57	
58		308	227	145	063	89981	89899	89816	734	651	569	58	
59		080	89998	89916	89834	752	669	586	504	421	339	59	
60		89851	759	687	604	522	439	356	273	190	108	60	
61		621	539	457	374	291	208	125	042	88959	88876	61	
62		391	308	226	143	060	88977	88894	88810	727	643	62	
63		160	077	88994	88911	88828	745	662	578	494	410	63	
64		88928	88845	762	679	596	512	429	345	261	177	64	
65		696	613	530	446	363	279	195	111	027	87943	65	
66		463	380	297	213	129	045	87960	87876	87792	708	66	
67		229	146	063	87979	87894	87810	725	640	556	472	67	
68		87965	87911	87828	744	659	574	489	404	320	236	68	
69		760	676	592	508	423	338	253	168	084	000	69	
70		524	440	356	272	187	102	017	86932	86847	86763	70	
71		288	204	119	035	86950	86865	86780	695	610	525	71	
72		051	86967	86882	86797	712	627	542	457	372	286	72	
73		86813	729	644	559	474	389	303	218	133	047	73	
74		574	490	405	320	235	150	064	85979	85893	85807	74	
75		334	250	165	080	85995	85910	85824	739	653	566	75	

Продолжение табл. 1

t p	t	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	t p
75	0,85334	0,86250	0,86165	0,86080	0,85985	0,85910	0,85824	0,85739	0,85653	0,85566	0,85479	75
76	093	003	85924	85839	754	668	582	497	411	324	238	76
77	85852	85768	682	597	512	426	340	254	168	81	081	77
78	610	525	440	354	269	183	97	011	84925	84838	758	78
79	366	281	196	110	024	84938	84852	84766	680	593	507	79
80	121	035	84950	84864	84778	692	606	520	434	347	261	80
81	84875	84780	703	617	531	445	358	272	186	100	114	81
82	627	541	455	369	283	196	109	023	83937	83851	747	82
83	378	292	206	120	033	83946	83859	83773	687	601	515	83
84	127	041	83955	83869	83781	694	607	521	435	349	263	84
85	83874	83788	702	616	528	441	354	268	181	095	009	85
86	619	533	447	360	273	186	098	012	82925	82839	741	86
87	361	275	189	102	015	82928	82840	82754	667	581	495	87
88	101	015	82929	82842	82755	668	580	494	408	322	236	88
89	82839	82753	667	580	493	405	318	232	146	060	074	89
90	574	488	402	315	228	140	053	81967	81881	81795	81709	90
91	306	220	134	047	81960	81872	81785	699	613	527	441	91
92	034	81948	81862	81775	689	601	514	427	341	255	169	92
93	81769	673	587	500	414	326	239	152	066	80980	80894	93
94	481	395	308	221	135	048	80961	80874	80788	702	616	94
95	198	112	025	80938	80852	80765	678	592	506	420	334	95
96	80909	80823	80737	651	565	478	391	305	219	133	47	96
97	615	530	444	358	272	186	099	013	79927	79841	759	97
98	316	231	145	059	79973	79888	79801	79715	630	543	457	98
99	010	79925	79839	79753	668	583	497	412	326	239	153	99
100	79695	610	525	440	355	271	185	100	014	78927	78841	100

Продолжение табл. 1

t \ p		21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	t \ p
25	0,96115	0,96061	0,96007	0,95952	0,95896	0,95839	0,95782	0,95724	0,95666	0,95607	25	
26	95965	95909	95853	796	739	680	621	561	502	442	26	
27	810	752	695	636	577	517	456	395	334	272	27	
28	651	591	532	471	410	349	287	225	162	098	28	
29	487	426	364	302	240	177	114	050	94986	94921	29	
30	320	257	194	131	067	003	94938	94873	807	741	30	
31	149	085	021	94956	94890	94824	758	692	625	557	31	
32	94973	94908	94842	776	709	642	575	507	439	370	32	
33	794	728	661	593	525	457	389	320	250	180	33	
34	612	544	476	407	338	268	198	128	058	93987	34	
35	426	357	288	218	147	076	005	93934	93863	791	35	
36	236	166	096	024	93952	93880	93808	736	661	591	36	
37	042	93971	93899	93826	755	681	609	536	462	388	37	
38	93845	773	700	626	552	479	406	332	258	183	38	
39	646	572	498	423	348	274	200	126	051	92975	39	
40	444	369	294	218	142	067	92992	92917	92841	765	40	
41	239	163	087	011	92934	92858	782	707	630	554	41	
42	032	92955	92878	92802	724	647	571	495	418	341	42	
43	92823	745	668	591	513	435	359	281	204	126	43	
44	611	533	456	378	299	221	144	066	91988	91909	44*	
45	397	319	241	162	083	005	91927	91849	770	690	45	
46	181	103	024	91945	91865	91787	708	630	550	470	46	
47	91964	91885	91806	726	646	567	488	409	329	249	47	
48	745	656	586	506	426	346	266	186	106	026	48	
49	525	445	365	285	204	124	043	90862	90882	90802	49	
50	303	223	143	062	90981	90900	90819	738	657	577	50	

t p	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	t p
50	0,91303	0,91223	0,91143	0,91062	0,90981	0,90900	0,90819	0,90738	0,90657	0,90577	59
51	080	000	90919	90838	757	676	595	513	431	351	51
52	90856	90775	694	613	532	451	369	287	205	124	52
53	630	549	468	387	305	224	142	059	89977	89896	53
54	403	322	241	159	077	89995	89913	80830	748	665	54
55	175	093	012	89929	80847	705	683	600	518	436	55
56	89946	89864	89782	099	616	534	452	369	287	205	56
57	717	634	552	469	385	303	221	138	056	88973	57
58	487	404	321	238	154	072	88990	88907	88824	741	58
59	255	173	090	007	88923	88840	758	675	592	508	59
60	025	88841	88858	88775	691	608	525	442	359	275	60
61	88793	709	625	542	458	375	292	209	125	041	61
62	560	476	392	309	224	141	058	87975	87891	87807	62
63	327	243	159	075	87990	87907	87824	740	656	572	63
64	093	009	87925	87841	756	672	589	505	421	336	64
65	87859	87774	690	606	521	436	353	269	184	099	65
66	624	539	455	370	285	200	116	032	86947	86862	66
67	388	303	219	134	048	86964	86879	86794	709	624	67
68	152	067	86982	86897	86811	727	641	556	470	385	68
69	86915	86830	745	660	574	489	403	317	231	145	69
70	678	592	507	422	336	250	164	078	85992	85905	70
71	440	354	268	183	097	011	85925	85838	752	665	71
72	201	115	029	85943	85857	85771	685	598	511	424	72
73	85961	85875	85789	703	616	530	444	357	270	182	73
74	721	635	549	462	375	288	202	115	028	84940	74
75	480	394	307	220	133	046	84959	84872	84785	697	75

p	y		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	t	
	p	t												
75	0,85480		0,85307	0,85220	0,85133	0,85046	0,84959	0,84872	0,84785	0,84697			75	
76	238	065	655	84977	84890	84803	84716	84629	84541	84453			76	
77	84995	84822	734	559	472	385	296	208	120	32			77	
78	751	564	490	402	315	228	140	51	83932	715			78	
79	506	419	332	245	157	070	83982	734	83804	617			79	
80	260	173	086	83999	83911	83823	83734	83645	83556	83467			80	
81	013	83925	83838	751	663	574	485	396	307	218			81	
82	83764	677	589	501	413	324	235	146	057	83967			82	
83	514	425	338	250	162	073	82984	731	642	552			83	
84	262	174	086	82998	82910	82821	82731	82642	82552	82462			84	
85	008	82920	82832	744	656	567	477	387	297	207			85	
86	82752	664	576	488	400	311	221	131	041	81950			86	
87	494	405	318	230	142	053	81963	763	673	583			87	
88	235	147	059	81971	81882	81793	81703	81613	81523	81432			88	
89	81973	81885	81797	709	620	531	441	351	261	170			89	
90	708	620	532	444	355	266	176	085	80995	80905			90	
91	440	352	264	176	088	80908	80818	80728	80638	80548			91	
92	168	080	80992	80904	80816	80727	80637	80547	80458	80368			92	
93	80893	80805	717	629	541	453	363	274	185	096			93	
94	615	527	439	351	264	176	087	79998	79909	79820			94	
95	333	245	158	070	79983	79895	79807	719	630	541			95	
96	045	79959	79872	79785	698	611	523	435	347	258			96	
97	79764	668	581	494	407	320	234	147	059	78971			97	
98	457	371	285	198	111	026	78939	78853	78767	680			98	
99	154	068	78982	78895	78809	78725	630	554	469	384			99	
100	78842	78756	670	585	500	416	333	250	165	082			100	

Таблица II
Плотности водно-спиртовых растворов, расположенные по объемным процентам, при 20° С, для температур выше нуля

ρ \ t	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	t \ ρ
0	0,99987	0,99993	0,99997	0,99999	1,00000	0,99999	0,99997	0,99993	0,99988	0,99981	0,99973	0
1	840	844	847	850	0,99851	851	848	844	838	831	824	1
2	695	699	702	705	705	705	702	698	692	685	678	2
3	553	557	560	563	563	563	559	555	549	542	534	3
4	416	420	423	426	426	424	421	417	411	404	396	4
5	281	287	290	292	292	291	288	283	276	269	261	5
6	160	162	165	167	166	165	161	155	148	140	132	6
7	043	044	045	047	045	044	039	033	026	017	008	7
8	98931	98931	98932	98932	98930	98927	98922	98916	98907	98898	98888	8
9	824	824	823	822	819	814	809	802	793	783	772	9
10	721	720	718	715	711	705	699	691	681	670	658	10
11	622	619	616	612	607	599	592	583	572	560	548	11
12	527	522	518	512	506	497	489	478	467	454	440	12
13	434	429	423	417	409	399	389	377	365	351	335	13
14	345	338	331	324	314	304	292	279	265	250	234	14
15	258	250	242	233	223	211	198	183	168	152	134	15
16	175	165	155	145	134	119	105	090	073	056	036	16
17	095	083	072	060	048	031	015	000	000	000	000	17
18	017	004	000	000	000	97946	97928	97908	97980	97962	97941	18
19	97943	97929	97901	97977	97963	97946	97928	97908	97980	97962	97941	19
20	871	855	838	821	803	784	762	740	717	693	669	20
21	801	783	764	745	725	703	679	656	630	605	578	21
22	732	711	690	669	646	621	595	570	543	516	487	22
23	661	638	615	591	566	540	512	484	456	427	395	23
24	590	566	540	513	486	458	428	398	367	336	303	24
25	519	492	464	435	405	375	343	311	278	244	209	25

Продолжение табл. 11

t q	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	t q
25	0,97519	0,97492	0,97454	0,97435	0,97405	0,97375	0,97343	0,97311	0,97278	0,97244	0,97209	25
26	446	417	385	355	323	290	256	222	187	151	113	26
27	371	339	306	274	239	203	167	131	94	55	016	27
28	293	259	224	189	153	114	077	038	96959	96938	96918	28
29	214	177	139	102	64	024	96984	96943	962	850	816	29
30	132	093	053	013	96972	96931	889	846	802	758	713	30
31	047	006	96964	96922	879	836	791	746	700	654	607	31
32	96936	96914	870	827	782	736	691	641	594	546	497	32
33	864	818	773	726	680	632	582	533	483	434	382	33
34	765	717	669	621	572	522	471	420	368	315	262	34
35	661	610	560	510	458	405	354	301	248	193	138	35
36	561	498	445	394	340	285	232	177	122	66	010	36
37	435	381	328	272	217	162	106	049	95952	95935	95876	37
38	312	257	202	146	089	032	95974	95916	858	799	739	38
39	183	127	071	014	95956	95898	838	779	719	660	598	39
40	050	95992	95935	95877	818	759	699	639	578	515	453	40
41	95912	854	795	736	677	617	555	493	431	368	304	41
42	770	711	651	592	531	469	407	344	280	216	151	42
43	625	564	503	442	380	318	254	190	125	059	94993	43
44	475	413	351	288	225	162	097	031	94965	94898	831	44
45	321	257	193	130	065	001	94934	94868	801	733	665	45
46	162	097	031	94967	94901	94835	768	700	632	563	494	46
47	94997	94932	94865	799	732	665	596	528	458	388	319	47
48	829	762	694	626	559	490	421	351	281	210	140	48
49	686	618	549	480	412	342	272	201	130	058	93957	49
50	479	409	340	270	201	131	059	93988	93915	86813	770	50

t	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	t
50	0,94479	0,94409	0,94340	0,94270	0,94201	0,94131	0,94059	0,93988	0,93915	0,93843	0,93770	50
51	298	228	157	87	016	93945	93873	800	727	654	580	51
52	112	042	93971	93900	93828	756	683	609	535	461	387	52
53	93923	93852	780	708	636	563	480	415	340	265	190	53
54	730	658	586	512	439	365	291	216	141	65	92989	54
55	533	460	387	313	238	164	89	013	92938	82852	783	55
56	332	258	184	110	035	92959	92883	92807	731	655	577	56
57	127	053	92978	92904	92828	752	676	599	521	445	366	57
58	92919	92844	769	694	618	542	464	387	309	232	153	58
59	708	632	556	480	404	328	250	173	994	016	91937	59
60	494	418	342	265	189	112	034	91956	91877	91798	91718	60
61	277	201	124	047	91970	91893	91814	735	656	576	496	61
62	056	91979	91902	91825	747	670	591	511	432	352	272	62
63	91832	755	677	600	522	444	365	285	205	125	045	63
64	605	528	450	371	293	214	135	055	90075	90894	90814	64
65	377	298	220	141	062	90982	90903	90823	743	662	582	65
66	145	065	90987	90908	90829	749	670	589	509	427	346	66
67	90011	90832	753	672	592	512	433	352	271	190	109	67
68	673	594	515	435	355	275	194	113	032	80951	89859	68
69	433	353	273	193	113	033	89952	89871	89790	89709	89627	69
70	190	110	030	89950	89870	89790	709	628	546	464	382	70
71	89945	89865	89785	705	625	544	462	381	299	217	135	71
72	695	616	536	456	376	295	213	132	050	89968	89886	72
73	445	365	285	205	125	044	89962	89880	89798	89716	89633	73
74	192	112	031	89950	89870	89789	707	625	543	460	377	74
75	88935	88855	88774	693	612	531	449	367	285	202	119	75

Продолжение табл. 11

t \ q		0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	t \ q	
75	75	0,88895	0,88855	0,88774	0,88693	0,88612	0,88531	0,88449	0,88367	0,88285	0,88202	0,88119	75	75
76	76	675	595	514	433	352	271	189	107	24	87941	87858	76	76
77	77	413	333	252	171	90	909	87925	87844	678	595	514	77	77
78	78	147	67	87986	87905	87824	87743	660	577	494	411	327	78	78
79	79	87877	87797	716	635	554	473	390	307	224	141	57	79	79
80	80	605	524	443	362	281	199	116	633	86950	86866	86782	80	80
81	81	328	247	166	85	003	86921	86838	86755	672	588	504	81	81
82	82	047	86965	86885	86804	86722	640	557	474	391	307	223	82	82
83	83	86762	681	600	519	437	355	272	189	107	23	85939	83	83
84	84	474	393	312	231	149	67	85984	85901	85817	85733	649	84	84
85	85	179	98	017	85935	85854	85772	689	605	522	438	353	85	85
86	86	85880	85799	85718	637	555	473	390	306	222	138	53	86	86
87	87	576	495	414	333	251	169	85	001	84917	84833	84748	87	87
88	88	264	183	102	21	84939	84857	84773	84689	605	521	436	88	88
89	89	84947	84865	84784	84702	620	538	454	370	285	202	117	89	89
90	90	621	540	459	377	295	213	129	045	83961	83876	83791	90	90
91	91	287	205	125	043	83961	83879	83795	83711	626	541	456	91	91
92	92	83944	83863	83782	83700	618	536	452	367	282	197	112	92	92
93	93	592	510	428	346	264	181	98	013	82928	82843	82758	93	93
94	94	295	144	662	82980	82897	82815	82731	82646	561	476	391	94	94
95	95	82845	82763	82681	598	516	433	349	264	179	94	009	95	95
96	96	450	368	285	203	120	37	81953	81868	81783	81698	81613	96	96
97	97	035	81953	81870	81787	81704	81621	537	452	367	282	197	97	97
98	98	81596	513	430	347	264	181	997	012	80927	80842	80757	98	98
99	99	130	047	80914	80880	80795	80711	80628	80543	458	373	288	99	99
100	100	80623	80539	454	369	285	200	116	032	79948	79864	79779	100	100

t q	-11'	12'	13'	14'	15'	16'	17'	18'	19'	20'	t q
0	0,99963	0,99952	0,99940	0,99927	0,99913	0,99897	0,99880	0,99862	0,99843	0,99823	0
1	815	804	792	779	764	748	731	713	694	675	1
2	669	658	646	633	618	602	585	567	548	529	2
3	525	514	502	489	474	458	441	423	404	385	3
4	386	374	362	349	334	318	301	283	264	244	4
5	251	240	227	213	198	181	164	146	127	106	5
6	122	111	97	82	67	50	33	14	98994	98973	6
7	98958	98985	98971	98956	98940	98924	98906	98886	866	845	7
8	877	864	849	834	818	802	784	763	741	719	8
9	760	746	731	716	699	682	663	642	620	596	9
10	645	631	615	599	582	564	544	523	500	476	10
11	534	519	502	485	466	448	427	405	381	356	11
12	425	409	391	373	353	334	312	289	265	239	12
13	320	302	283	264	243	222	200	175	150	123	13
14	216	197	177	157	135	113	90	64	38	009	14
15	115	095	073	052	029	005	97981	97955	97927	97897	15
16	016	97994	97971	97949	97925	97900	874	846	816	787	16
17	97920	897	873	848	823	797	769	740	709	678	17
18	826	801	775	750	722	695	666	636	604	571	18
19	733	707	680	653	623	595	565	533	500	465	19
20	642	614	585	557	526	496	463	430	396	360	20
21	550	521	491	460	428	396	361	326	290	253	21
22	457	426	395	362	328	293	257	220	183	145	22
23	363	331	297	263	227	190	152	113	75	36	23
24	268	234	198	162	125	85	46	6	96966	96925	24
25	172	136	98	60	21	96980	96939	96897	855	812	25

Продолжение табл. II

i q	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	i q
25	0, 97172	0, 97136	0, 97098	0, 97060	0, 97021	0, 96980	0, 96939	0, 96897	0, 96855	0, 96812	25
26	075	036	96997	96957	96916	874	831	787	743	699	26
27	96976	96935	894	853	810	766	720	675	629	583	27
28	876	833	789	746	701	655	608	561	513	466	28
29	773	728	682	637	590	542	494	445	396	346	29
30	667	620	573	526	476	427	377	327	276	224	30
31	559	510	460	411	361	310	258	206	153	100	31
32	446	396	344	293	242	188	136	82	27	95972	32
33	329	277	225	171	118	64	009	95954	95897	839	33
34	209	154	100	045	95990	95935	95879	822	763	704	34
35	083	028	95972	95915	858	801	743	685	625	563	35
36	95953	95896	838	780	721	662	604	543	482	419	36
37	818	759	700	640	580	520	460	397	335	271	37
38	679	619	558	497	435	373	311	248	184	119	38
39	535	475	413	350	286	222	159	994	030	94964	39
40	390	327	264	199	134	658	003	94937	94872	806	40
41	240	176	111	045	94978	94911	94845	778	711	644	41
42	085	020	94953	94886	819	750	683	615	547	479	42
43	94926	94859	791	723	655	585	518	448	379	309	43
44	763	695	626	557	487	417	347	276	206	134	44
45	593	525	457	386	315	245	173	101	028	93956	45
46	424	354	283	211	140	068	93995	93922	93849	775	46
47	248	176	105	033	93960	93888	815	741	666	591	47
48	068	93996	83923	73851	777	704	630	556	480	404	48
49	93884	812	739	665	590	516	441	366	290	213	49
50	637	625	550	475	399	324	248	172	096	019	50

Продолжение табл. 11

t q	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	t q
50	0,93697	0,93625	0,93550	0,93475	0,93399	0,93324	0,93248	0,93172	0,93095	0,93019	50
51	505	433	357	281	205	128	052	92976	92899	92822	51
52	311	237	161	084	007	92930	92853	776	699	621	52
53	114	039	92961	92884	92807	729	652	574	497	418	53
54	92913	92836	759	682	604	525	447	368	291	212	54
55	708	630	553	475	397	318	240	161	082	033	55
56	500	422	344	265	186	108	029	01950	91870	91790	56
57	288	210	131	053	91973	91894	91815	736	656	* 576	57
58	074	91995	91916	91837	757	678	598	519	438	358	58
59	91858	779	699	619	539	460	379	300	219	138	59
60	638	559	479	398	318	238	157	078	90997	90916	60
61	416	336	256	175	094	014	90993	90853	772	691	61
62	192	112	031	90950	90868	90788	707	626	545	463	62
63	90965	90884	90803	722	640	559	478	396	314	232	63
64	734	653	572	491	409	327	245	163	081	89999	64
65	501	420	339	257	175	093	010	89928	80846	764	65
66	265	184	102	020	89938	89855	89773	691	608	526	66
67	028	89946	89864	89782	700	617	534	452	368	286	67
68	89788	706	624	541	459	376	293	210	127	045	68
69	545	463	381	298	215	132	049	88982	88882	88799	69
70	300	217	135	052	88969	88886	88803	719	635	551	70
71	053	88970	88887	88804	721	637	554	470	386	302	71
72	88903	720	637	553	470	386	303	219	135	051	72
73	550	467	384	300	216	132	048	87964	87880	87796	73
74	294	211	128	044	87959	87875	87791	706	622	538	74
75	036	87952	87869	87785	700	615	530	445	361	277	75

Продолжение табл. 11

$\frac{t}{q}$	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	$\frac{t}{q}$
75	0,88036	0,87952	0,87869	0,87785	0,87700	0,87615	0,87530	0,87445	0,87361	0,87277	76
76	87775	691	607	523	438	353	268	183	99	015	77
77	511	427	343	259	174	89	004	86919	86834	86750	78
78	243	159	074	86990	86905	86820	86735	650	565	480	79
79	86973	86889	86804	719	634	549	463	378	293	207	80
80	698	614	529	444	359	274	188	103	018	85932	81
81	420	336	251	167	082	85996	85910	85825	85739	653	82
82	138	054	85969	85884	85799	713	627	542	456	369	83
83	85853	85769	683	598	513	427	341	255	169	082	84
84	564	479	394	308	222	136	050	84964	84878	84791	85
85	268	183	098	012	84926	84840	84754	668	582	495	86
86	84968	84883	84797	84711	625	539	452	366	280	194	87
87	663	577	491	405	319	232	145	059	83973	83887	88
88	351	265	179	093	006	83919	83832	83746	660	574	89
89	032	83946	83860	83774	83688	599	512	426	340	254	90
90	83706	620	534	447	360	273	185	099	012	82926	91
91	370	284	198	111	024	82937	82849	82763	82676	590	92
92	026	82940	82854	82767	82680	593	506	420	334	247	93
93	82672	586	499	413	325	238	151	065	81979	81893	94
94	305	219	133	046	81959	81871	81784	81698	612	525	95
95	81923	81837	81751	81664	578	490	403	316	230	144	96
96	527	441	354	267	181	094	007	80920	80834	80748	97
97	111	025	80939	80852	80766	80679	80592	506	420	334	98
98	80671	80586	499	413	327	241	155	069	79983	79897	99
99	204	119	032	79946	79861	79775	79689	79604	518	431	100
100	79695	79610	79525	440	356	271	185	100	014	78927	

t q	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	t q
0	0,99802	0,99780	0,99757	0,99733	0,99708	0,96682	0,99655	0,99627	0,99598	0,99568	0
1	654	632	608	584	559	533	506	477	448	418	1
2	508	486	462	438	413	386	359	330	300	270	2
3	364	342	318	293	268	241	214	185	155	125	3
4	223	201	177	152	126	99	72	43	13	0	4
5	084	062	038	013	98987	98960	98933	98904	98874	842	5
6	98951	98929	98905	98879	853	826	798	769	738	706	6
7	822	800	775	749	722	694	666	637	606	574	7
8	695	673	647	621	594	566	537	507	476	444	8
9	572	548	522	495	467	439	410	379	348	315	9
10	451	426	398	371	343	314	284	252	220	187	10
11	331	306	277	249	219	189	159	126	92	058	11
12	213	186	157	128	97	066	034	001	97966	97932	12
13	095	068	038	008	97977	97944	97912	97878	842	806	13
14	97981	97952	97921	97890	857	824	791	755	719	682	14
15	857	837	805	773	740	705	670	634	597	559	15
16	756	725	691	658	623	588	551	514	476	437	16
17	646	614	579	544	508	472	434	395	356	316	17
18	538	503	468	432	395	357	318	279	238	197	18
19	430	395	358	320	282	243	203	162	120	078	19
20	323	287	248	209	170	129	088	046	002	96059	20
21	215	177	137	097	056	014	96972	96928	96883	838	21
22	106	066	025	96940	96898	96858	854	808	762	715	22
23	96995	96953	96911	868	823	779	733	687	639	591	23
24	883	839	795	750	705	658	611	563	514	464	24
25	789	724	678	631	585	536	487	438	388	337	25

Продолжение табл. II

φ \ t	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	t \ φ
25	0,96769	0,96724	0,96678	0,96631	0,96585	0,96536	0,96487	0,96438	0,96388	0,96337	25
26	653	607	559	511	463	413	363	311	260	208	26
27	488	439	390	339	288	236	184	131	95	69	27
28	417	367	316	265	214	161	108	54	95899	85943	28
29	296	244	192	139	86	31	95977	95921	864	808	29
30	172	119	66	11	95955	95900	844	785	729	671	30
31	046	95991	95936	95880	824	765	708	649	590	531	31
32	95916	859	803	745	688	628	569	508	449	388	32
33	782	724	666	607	547	487	425	365	304	241	33
34	644	584	525	464	403	342	280	218	155	91	34
35	502	441	380	318	256	193	130	66	602	94937	35
36	357	294	232	169	105	042	94977	94912	94847	781	36
37	208	145	081	017	94951	94885	830	755	688	621	37
38	055	94991	94926	94860	794	727	661	594	525	458	38
39	94899	833	767	700	633	565	498	430	361	291	39
40	739	673	605	537	469	400	332	262	192	122	40
41	575	508	440	371	301	231	161	99	021	93949	41
42	410	340	271	201	130	059	93988	93917	93845	774	42
43	238	169	098	027	93955	93883	811	739	667	594	43
44	063	93992	93920	93847	774	702	630	558	484	410	44
45	93884	812	739	666	592	519	446	372	298	224	45
46	702	629	555	480	406	332	258	184	110	034	46
47	517	443	368	292	217	142	068	92993	92917	92841	47
48	329	253	178	102	025	92950	92874	799	723	647	48
49	137	061	92984	92908	92831	754	678	603	525	449	49
50	92943	92866	789	712	634	557	481	405	327	249	50

Продолжение табл. 11

t \ q		21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	t \ q	
50	50	0,92943	0,92856	0,92789	0,92712	0,92634	0,92557	0,92481	0,92405	0,92327	0,92249	50	50
51	51	745	607	590	513	435	357	280	202	125	046	51	51
52	52	544	466	389	311	232	154	076	91908	91920	91841	52	52
53	53	340	262	184	105	025	91047	91859	791	712	632	53	53
54	54	133	055	91975	91817	91877	738	650	581	501	421	54	54
55	55	91924	91845	766	686	606	525	447	368	288	208	55	55
56	56	711	632	552	472	392	312	232	152	072	90992	56	56
57	57	497	417	337	257	176	095	014	90933	90853	773	57	57
58	58	279	199	119	038	90957	90876	90795	714	632	552	58	58
59	59	059	90979	90898	90817	736	655	573	491	409	329	59	59
60	60	90836	755	674	593	512	431	349	267	185	104	60	60
61	61	610	529	448	367	285	204	122	039	89957	89876	61	61
62	62	382	300	219	137	055	89973	89891	89808	726	644	62	62
63	63	150	068	89904	89822	740	658	576	493	411	329	63	63
64	64	89917	89835	753	670	587	505	423	340	258	175	64	64
65	65	682	599	517	434	350	268	186	103	021	88938	65	65
66	66	444	361	278	195	111	029	88947	88864	88781	88697	66	66
67	67	204	120	037	88954	88870	88787	705	622	539	455	67	67
68	68	89961	88877	88794	711	627	544	461	378	295	211	68	68
69	69	716	632	548	465	381	298	215	132	048	87964	69	69
70	70	468	384	300	217	132	049	87965	87883	87799	87715	70	70
71	71	219	135	051	87967	87882	87798	715	631	547	463	71	71
72	72	87967	87882	87798	714	629	545	462	378	293	208	72	72
73	73	712	627	543	458	373	288	204	120	035	86950	73	73
74	74	454	369	285	200	114	030	86945	86860	86775	86690	74	74
75	75	193	108	024	86939	86853	86769	683	598	512	427	75	75

φ	t	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	t	q
75	0, 87193											75	
76	86930	0, 87108	0, 86024	0, 86939	0, 86853	0, 86769	0, 86683	0, 86598	0, 86512	0, 86427	0, 86342	76	
77	665	86845	86845	675	589	504	418	332	246	160	77		
78	395	579	493	408	322	236	150	64	85978	85891	85804	78	
79	122	309	223	138	52	85966	85880	85793	85707	85620	85534	79	
80	85846	036	85950	85864	85778	85692	85606	85519	85432	85344	85257	80	
81	567	85760	674	587	500	414	328	241	154	66	80		
82	283	481	394	307	220	133	47	84960	84873	84785	84698	82	
83	84986	197	110	223	84936	84849	84762	84675	84587	84499	84411	83	
84	704	84909	84823	84735	84647	84560	84473	84386	84297	84209	84121	84	
85	408	617	530	443	355	268	181	93	83915	83827	83740	85	
86	107	321	234	147	59	83071	82983	82895	82807	82719	82631	86	
87	83800	020	83932	83845	83757	83668	83579	83490	83401	83312	83223	87	
88	487	83713	625	537	449	360	271	182	93	003	87		
89	167	399	311	223	135	46	82957	82868	82778	82688	82598	88	
90	82839	079	82991	82903	82815	82726	82636	82546	82456	82366	82276	89	
91	503	82751	663	575	487	398	308	218	128	037	90		
92	160	415	327	239	151	62	81972	81882	81792	81702	81611	91	
93	81805	072	81984	81896	81807	81718	81628	81538	81448	81357	81266	92	
94	439	81718	630	541	453	364	274	184	94	003	93		
95	057	351	263	175	87	80997	80907	80817	80727	80637	80546	94	
96	80660	80969	80881	80793	80705	80616	80526	80437	80348	80258	80168	95	
97	246	573	485	397	310	222	132	43	79954	79865	79775	96	
98	79810	159	072	79985	79898	79810	79721	79633	79545	79455	79365	97	
99	345	79724	550	463	375	289	202	114	25	025	98		
100	78842	259	173	087	000	78915	78828	78742	78657	78571	78485	99	
		78756	78670	78585	78500	78415	78330	78245	78160	78075	77990	100	

Таблица III

Плотности водно-спиртовых растворов, расположенных по весовым процентам, для температур ниже нуля

t P	0°	-1°	-2°	-3°	-4°	-5°	-6°	-7°	-8°	-9°	-10°	-11°	-12°	t P
18	0,9772	0,9774	0,9775	0,9777	0,9778	0,9780	0,9781	0,9782	0,9783	0,9784	0,9785			18
19	64	66	67	69	71	73	74	76	77	79	80			19
20	55	57	59	62	64	66	68	70	71	73	75			20
21	47	49	52	54	57	59	61	63	65	68	70			21
22	38	41	44	46	49	52	55	57	60	63	65			22
23	29	32	35	38	41	45	48	51	54	57	59		0,9763	23
24	19	23	26	30	33	37	40	43	47	50	53		58	24
25	09	13	17	21	24	28	32	35	39	42	46		52	25
26	9399	03	07	11	15	19	23	27	30	34	38		45	26
27	88	9692	9697	01	05	10	14	18	22	26	30		38	27
28	77	81	85	9091	9695	00	04	08	13	17	21		30	28
29	65	70	74	79	84	9689	9693	9698	02	07	12		21	29
30	52	57	62	67	72	77	82	87	9091	9695	01		06	30
31	39	44	49	54	60	65	70	75	80	85	9690		00	31
32	25	30	36	41	46	52	57	62	68	73	78		9688	32
33	10	15	21	26	32	38	43	49	54	60	65		76	33
34	9594	00	06	11	17	23	29	34	40	46	51		63	34
35	78	9684	9690	9695	02	08	14	20	25	31	37		43	35
36	62	68	74	80	9686	9692	9698	05	10	17	23		29	36
37	46	52	58	64	70	76	82	88	9595	9601	08		14	37
38	29	35	41	48	54	60	66	73	79	9686	9692		9598	38
39	11	17	24	31	37	43	50	56	63	69	76		82	39
40	9493	00	06	13	19	25	33	39	46	52	59		66	40

Продолжение табл. III

t P	0°	-1°	-2°	-3°	-4°	-5°	-6°	-7°	-8°	-9°	-10°	-11°	-12°	t P
40	0,9493	0,9500	0,9506	0,9513	0,9519	0,9526	0,9533	0,9539	0,9546	0,9552	0,9559	0,9566	0,9573	40
41	75	9482	9488	9495	01	08	15	21	28	35	42	49	56	41
42	56	63	69	76	9482	9489	9496	03	10	17	24	31	38	42
43	37	44	50	57	64	71	78	84	91	98	06	13	20	43
44	17	24	31	38	45	52	59	66	73	80	87	94	01	44
45	9398	05	12	19	26	33	40	47	54	61	68	75	82	45
46	78	9385	9392	9399	06	13	20	27	34	41	48	55	62	46
47	57	04	71	79	9386	9393	00	07	15	22	29	36	43	47
48	36	43	51	58	66	73	80	87	93	02	09	16	23	48
49	15	22	30	37	45	52	59	67	74	82	89	96	03	49
50	9294	01	09	16	24	31	39	46	54	61	68	76	83	50
51	73	9280	9288	9295	03	11	18	25	33	40	47	55	61	51
52	51	59	67	74	9282	9290	9297	04	12	19	26	33	40	52
53	30	38	45	53	60	68	75	82	90	97	04	11	19	53
54	08	16	23	31	38	45	53	61	68	75	82	89	97	54
55	9185	9194	01	09	16	24	31	39	46	54	61	68	76	55
56	63	71	9179	9186	9194	02	10	17	25	32	40	47	54	56
57	41	49	57	64	72	80	88	95	03	10	18	25	33	57
58	19	27	35	42	50	58	66	73	81	88	95	03	11	58
59	9095	04	12	19	27	35	43	50	58	65	73	80	88	59
60	74	82	9090	9097	05	13	21	28	36	43	51	58	66	60

P	t		p													
	0°	1°	-1°	-2°	-3°	-4°	-5°	-5°	-6°	-7°	-8°	-9°	-10°	-11°	-12°	t
60	0,9074	0,9082	0,9090	0,9097	0,9105	0,9113	0,9121	0,9128	0,9136	0,9143	0,9151	0,9158	0,9166	0,9174	0,9182	60
61	51	59	67	74	82	90	98	06	13	21	29	36	44	52	60	61
62	28	36	44	51	59	67	75	83	90	98	06	13	21	29	36	62
63	05	13	21	29	37	45	53	60	68	75	83	90	98	06	13	63
64	8982	8990	8998	9006	9014	9022	9030	9037	9045	9052	9060	9068	9075	9083	9091	64
65	59	67	75	83	90	98	06	14	22	29	37	45	52	60	68	65
66	36	44	52	59	67	75	83	90	98	06	14	22	29	37	45	66
67	13	21	29	36	44	52	60	68	76	84	92	00	07	15	23	67
68	8889	8897	8905	8913	8921	8929	8937	8945	8952	8960	8968	8975	8984	8992	9000	68
69	66	74	82	89	97	05	13	21	29	37	45	53	61	69	77	69
70	43	51	59	66	74	82	90	98	06	14	22	29	37	45	53	70
71	19	27	35	42	50	58	66	74	82	90	98	06	14	22	30	71
72	8796	8804	8812	8820	8828	8836	8844	8852	8860	8868	8876	8884	8892	8900	8908	72
73	72	80	88	95	03	11	19	27	35	43	51	59	67	75	83	73
74	48	56	64	72	80	88	95	04	11	19	27	35	43	51	59	74
75	24	32	40	48	56	64	72	80	88	95	03	11	19	27	35	75
76	00	08	16	24	32	40	48	56	63	71	79	87	95	03	11	76
77	8676	8684	8692	8700	8708	8716	8724	8732	8740	8748	8756	8764	8772	8780	8788	77
78	52	60	68	76	84	92	00	08	16	24	32	40	48	56	64	78
79	28	36	44	52	60	68	76	84	92	00	08	16	24	32	40	79
80	03	11	19	27	35	43	51	59	67	75	83	91	99	07	15	80

БИБЛИОТЕКА
 Государственный институт метеорологии
 и гидрометеорологии
 имени П. П. Шендера

Продолжение табл. III

t p	t												
	0°	-1°	-2°	-3°	-4°	-5°	-6°	-7°	-8°	-9°	-10°	-11°	-12°
80	0,8603	0,8611	0,8619	0,8627	0,8635	0,8643	0,8651	0,8659	0,8667	0,8675	0,8683	0,8691	0,8699
81	8579	8587	8595	03	11	19	27	35	43	51	59	67	75
82	04	62	70	8578	8586	8594	02	10	18	26	34	42	51
83	29	37	45	54	62	70	8578	8586	8593	01	09	17	26
84	04	12	20	29	37	45	53	61	69	8577	8585	8593	02
85	8479	8487	8495	03	11	19	27	35	44	52	60	68	8577
86	54	62	70	8478	8486	8494	02	10	19	27	35	43	52
87	28	36	44	53	61	69	8477	8485	8493	01	09	18	26
88	02	10	18	27	35	43	51	59	67	8475	8483	8492	00
89	8376	8384	8392	01	09	17	25	33	41	49	57	66	8474
90	49	57	66	8374	8383	8391	8399	07	15	23	31	40	48
91	23	31	39	48	56	64	72	8380	8388	8396	04	13	21
92	8296	8296	8284	21	29	37	45	53	61	70	8378	8386	8395
93	68	8276	8284	8293	01	09	17	26	34	43	51	59	68
94	40	48	56	65	8273	8281	8289	8298	06	15	23	31	40
95	12	20	28	37	45	53	61	70	8278	8287	8295	03	12
96	8163	8191	8219	08	17	25	33	42	50	59	67	8275	8284
97	54	62	8171	8179	8188	8196	04	13	21	30	38	46	54
98	24	32	41	49	58	66	8174	8183	8191	00	08	16	24
99	8094	8102	8111	19	28	36	44	53	61	8170	8178	8186	8194
100	62	8071	8079	8088	8096	8095	05	13	22	30	47	55	63

p	t		-13°	-14°	-15°	-16°	-17°	-18°	-19°	-20°	-21°	-22°	-23°	-24°	-25°	t	
	t	p															
23	0,9754	0,9766	0,9778	0,9770	0,9772	0,9774	0,9775	0,9776	0,9777	0,9778	0,9779	0,9780	0,9781	0,9782	0,9783	23	23
24	60	62	64	67	69	72	74	77	79	82	84	87	89	92	94	24	24
25	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	25	25
26	48	52	56	59	62	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	26	26
27	42	46	50	54	57	61	64	68	71	75	78	81	84	87	90	27	27
28	34	38	43	47	51	55	59	63	67	71	75	79	83	87	91	28	28
29	25	30	35	39	44	48	53	57	61	65	70	74	78	82	86	29	29
30	16	21	26	31	35	40	45	49	53	58	63	67	71	75	79	30	30
31	06	11	16	21	26	31	36	41	45	50	55	59	63	67	71	31	31
32	9694	00	05	10	15	21	26	31	36	41	45	50	55	59	63	32	32
33	81	9687	9693	9698	03	09	14	19	25	30	35	41	46	51	56	33	33
34	68	74	80	86	92	9697	02	08	14	19	24	30	35	41	46	34	34
35	55	61	67	73	79	85	9090	02	08	14	19	24	30	35	41	35	35
36	41	47	53	59	65	72	77	83	89	9495	01	07	13	19	25	36	36
37	26	33	39	45	51	58	64	70	76	82	88	9494	00	06	12	37	37
38	11	18	24	30	37	43	50	56	62	68	75	81	87	93	99	38	38
39	9595	02	09	15	22	28	35	41	47	53	59	67	73	79	85	39	39
40	79	86	93	99	06	12	19	25	31	37	43	50	57	63	69	40	40
41	62	69	76	82	89	9595	02	08	15	21	27	34	41	47	53	41	41
42	45	51	59	65	72	78	85	91	98	04	11	17	24	31	37	42	42
43	26	33	40	47	54	60	67	74	81	88	9594	01	08	15	22	43	43
44	07	14	21	28	35	42	49	56	63	70	76	83	90	96	02	44	44
45	9488	9495	02	09	16	23	30	37	44	51	58	65	72	79	86	45	45
46	69	76	83	90	97	04	11	18	25	32	39	46	53	60	67	46	46
47	50	57	64	71	78	85	92	99	06	13	20	27	34	41	48	47	47
48	30	37	44	51	58	66	73	80	87	9494	01	08	15	22	29	48	48
49	10	17	24	31	38	45	53	60	67	74	81	88	9495	02	09	49	49
50	9390	9397	04	11	18	26	33	40	47	54	61	68	75	82	89	50	50

Продолжение табл. III

ρ	t	-13°	-14°	-15°	-16°	-17°	-18°	-19°	-20°	-21°	-22°	-23°	-24°	-25°	t	ρ
50	0,9390	0,9397	0,9404	0,9411	0,9418	0,9426	0,9433	0,9440	0,9447	0,9454	0,9461	0,9468	0,9475	50	50	
51	69	76	83	90	97	05	13	20	27	34	41	48	55	51	51	
52	48	55	62	69	76	83	90	98	05	13	20	27	34	52	52	
53	26	34	41	48	55	63	70	77	84	91	99	06	13	53	53	
54	05	12	19	26	34	41	49	56	63	70	78	85	92	54	54	
55	9283	9291	9298	05	12	20	27	34	41	49	56	64	71	55	55	
56	62	69	76	83	92	99	05	13	20	28	36	42	50	56	56	
57	40	48	55	62	70	77	84	92	99	06	14	21	28	57	57	
58	18	26	33	40	48	55	63	70	77	84	92	99	06	58	58	
59	9195	9195	9195	9195	9195	9195	9195	9195	9195	9195	9195	9195	9195	59	59	
60	73	81	88	95	03	10	18	25	32	40	47	55	62	60	60	
61	51	59	66	73	81	88	95	03	10	18	25	33	40	61	61	
62	28	36	43	51	58	66	73	81	88	95	03	11	18	62	62	
63	06	13	21	28	36	43	51	58	66	73	81	88	95	63	63	
64	9083	9090	9098	06	13	21	28	36	43	51	58	66	73	64	64	
65	60	67	75	83	90	98	05	13	21	28	36	43	51	65	65	
66	38	45	53	61	68	76	83	90	98	06	14	21	29	66	66	
67	15	22	30	38	45	53	60	68	76	83	90	98	06	67	67	
68	8991	8999	07	15	22	30	37	45	53	60	68	75	83	68	68	
69	68	76	84	92	00	07	14	22	30	38	46	53	61	69	69	
70	44	52	60	68	77	85	93	01	09	17	25	33	41	70	70	
71	21	29	37	45	53	60	68	76	84	92	00	07	15	71	71	
72	8898	00	14	22	30	37	45	53	61	69	76	84	92	72	72	
73	74	82	90	98	06	14	22	30	38	46	53	61	69	73	73	
74	51	59	67	75	83	91	99	07	15	23	30	38	46	74	74	
75	27	35	43	51	59	67	75	83	91	99	07	15	23	75	75	

t \ p	-13°	-14°	-15°	-16°	-17°	-18°	-19°	-20°	-21°	-22°	-23°	-24°	-25°	t \ p
75	0,8827	0,8835	0,8843	0,8851	0,8859	0,8867	0,8875	0,8883	0,8891	0,8899	0,8907	0,8915	0,8923	75
76	04	12	20	28	36	43	51	59	67	75	83	91	00	76
77	8781	8789	8797	8805	8813	8820	8828	8836	8844	8852	8860	8868	8876	77
78	57	65	73	81	89	96	04	12	20	28	36	44	52	78
79	32	40	48	56	64	72	80	88	96	04	12	20	28	79
80	08	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	04	80
81	8684	8692	00	08	16	24	32	40	48	57	65	72	80	81
82	59	68	76	84	92	00	08	16	24	32	41	48	56	82
83	34	43	51	59	67	75	83	92	00	08	16	24	32	83
84	10	19	27	35	43	51	59	67	75	83	92	00	08	84
85	8585	8594	02	10	18	26	34	42	50	58	67	75	83	85
86	60	69	77	85	93	01	09	17	25	33	42	50	58	86
87	35	43	52	60	68	76	84	92	00	08	17	25	33	87
88	09	17	25	34	42	51	59	67	75	83	91	00	07	88
89	8483	8491	00	08	16	25	33	41	49	57	65	73	81	89
90	57	65	73	81	89	98	06	14	22	30	39	47	55	90
91	30	38	46	54	62	71	79	87	95	03	12	20	28	91
92	03	12	20	28	36	45	53	61	69	77	85	93	02	92
93	6376	6384	00	09	18	26	34	42	50	58	66	74	82	93
94	48	56	64	72	80	89	97	05	14	22	30	38	46	94
95	20	28	36	44	53	62	70	78	86	94	02	10	18	95
96	8292	8299	00	08	16	24	33	41	49	57	65	74	82	96
97	63	71	79	87	95	04	12	20	28	36	45	53	61	97
98	33	41	49	57	65	74	82	90	98	06	15	23	31	98
99	02	10	18	26	34	43	51	59	67	75	84	92	00	99
100	8170	8178	8186	8194	8203	11	20	28	36	44	53	61	69	100

Плотности водно-спиртовых растворов, расположенные по объемным процентам,
при 20° С, для температур ниже нуля

t \ q	0°	-1°	-2°	-3°	-4°	-5°	-6°	-7°	-8°	-9°	-10°	-11°	-12°	t \ q
21	0,9780	0,9781	0,9782	0,9783	0,9784	0,9785	0,9785	0,9785	0,9787	0,9788	0,9788	—	—	21
22	73	74	75	77	78	80	81	82	83	84	85	—	—	22
23	66	68	69	71	73	75	76	77	78	80	81	—	—	23
24	59	61	63	65	67	69	71	72	74	75	77	—	—	24
25	52	54	56	58	61	63	65	67	69	71	73	—	—	25
26	45	48	50	52	55	57	60	62	64	66	69	—	—	26
27	37	40	42	45	48	51	54	56	59	61	64	—	—	27
28	29	32	35	38	42	45	48	50	53	56	59	—	—	28
29	21	25	28	32	34	38	41	44	47	50	53	0,9761	0,9763	29
30	13	17	21	24	28	32	35	38	41	44	48	56	54	30
31	05	09	13	17	20	24	28	32	34	38	42	45	48	31
32	9696	00	04	08	13	17	20	24	28	32	36	39	42	32
33	85	9691	9695	00	04	09	13	16	20	24	28	32	36	33
34	77	81	86	9091	9695	00	04	08	13	17	21	26	30	34
35	66	71	76	81	85	9690	9695	9699	04	08	13	18	22	35
36	55	60	65	70	75	80	85	89	9694	9699	04	09	14	36
37	44	49	54	59	64	69	74	79	84	89	9694	9699	04	37
38	31	37	42	47	52	58	63	68	73	78	84	89	9694	38
39	18	24	29	35	40	46	51	56	62	67	73	78	83	39
40	05	11	16	22	28	33	39	44	50	55	61	66	72	40

Продолжение табл. IV

$q \backslash t$	0°	-1°	-2°	-3°	-4°	-5°	-6°	-7°	-8°	-9°	-10°	-11°	-12°	$t \backslash q$
40	0,9605	0,9611	0,9616	0,9622	0,9628	0,9633	0,9639	0,9644	0,9650	0,9655	0,9661	0,9666	0,9672	40
41	9591	9597	03	08	14	20	26	31	37	43	48	54	60	41
42	77	82	9589	9595	01	07	13	18	24	30	35	42	48	42
43	62	68	74	81	9587	9593	9599	05	11	17	23	29	35	43
44	48	53	60	66	72	78	85	9591	9597	03	09	15	22	44
45	32	38	45	51	57	63	70	76	82	9589	9595	01	08	45
46	16	23	29	35	42	48	55	61	67	74	80	9586	9593	46
47	00	06	13	19	26	32	39	45	52	58	65	71	78	47
48	9483	9489	9495	03	09	16	23	29	36	42	49	56	62	48
49	56	72	79	9486	9492	9499	06	13	19	26	33	40	46	49
50	48	55	61	68	75	82	9489	9496	02	09	16	23	30	50
51	30	37	43	50	57	64	71	78	9486	9492	9499	06	13	51
52	11	18	25	32	39	46	53	60	67	74	81	9488	9495	52
53	9392	9399	06	13	20	27	35	42	49	56	63	70	77	53
54	73	80	9387	9394	02	09	16	23	30	37	44	51	58	54
55	53	60	68	75	9382	9390	9397	04	11	18	25	32	39	55
56	33	40	48	55	62	70	77	9384	9391	9399	06	13	20	56
57	13	20	27	35	42	49	57	64	71	79	9386	9393	00	57
58	9292	9299	06	14	21	29	36	44	51	58	66	73	9380	58
59	71	78	9285	9293	00	08	15	23	30	38	45	52	59	59
60	49	57	64	72	9279	9287	9294	02	09	17	24	31	38	60

ϵ \ φ	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	ϵ \ φ
60	0,9249	0,9257	0,9264	0,9272	0,9279	0,9287	0,9294	0,9302	0,9309	0,9317	0,9324	0,9331	0,9338	60
61	28	35	43	50	57	65	72	79	87	94	102	110	117	61
62	06	13	21	28	36	43	51	59	66	74	82	90	97	62
63	9183	9191	9198	9206	9214	9221	9229	9236	9244	9252	9259	9266	9274	63
64	61	68	76	83	91	99	106	114	122	129	137	144	151	64
65	38	45	53	61	68	76	84	91	99	107	114	122	129	65
66	14	22	30	38	45	53	61	68	76	84	91	99	106	66
67	9001	9009	9016	9024	9032	9040	9048	9056	9064	9072	9080	9088	9096	67
68	67	75	83	90	98	106	114	121	129	137	145	152	160	68
69	43	51	59	67	74	82	90	97	105	113	121	128	136	69
70	19	27	34	42	50	58	66	73	81	89	97	104	112	70
71	8934	8942	8950	8958	8966	8974	8982	8990	8998	9006	9014	9022	9030	71
72	70	77	85	93	101	109	117	124	132	140	148	155	163	72
73	44	52	60	68	76	84	92	100	107	115	123	130	138	73
74	19	27	35	43	51	59	66	74	82	90	98	105	113	74
75	8894	8901	8909	8917	8925	8933	8941	8949	8956	8964	8972	8980	8988	75
76	68	75	83	91	99	107	115	123	130	138	146	154	162	76
77	41	49	57	65	73	81	89	97	104	112	120	128	136	77
78	15	23	31	38	46	54	62	70	78	86	94	102	109	78
79	8788	8796	8804	8812	8820	8828	8836	8844	8852	8860	8868	8876	8884	79
80	60	68	76	84	92	100	108	116	124	132	140	148	156	80

φ \ t	0°	-1°	-2°	-3°	-4°	-5°	-6°	-7°	-8°	-9°	-10°	-11°	-12°	t \ q
80	0,8760	0,8768	0,8776	0,8784	0,8792	0,8800	0,8808	0,8816	0,8824	0,8832	0,8840	0,8848	0,8856	80
81	33	41	49	57	65	73	81	88	96	04	12	20	28	81
82	05	13	21	29	37	45	53	60	68	77	84	87	01	82
83	8676	8685	8693	8699	8701	8707	8714	8721	8728	8735	8742	8749	8756	83
84	47	56	64	8672	8680	8688	8695	8703	8711	8719	8727	8735	8744	84
85	18	26	34	42	50	58	66	8674	8682	8690	8698	8706	8715	85
86	8588	8596	04	12	21	29	37	44	52	60	68	8576	8585	86
87	58	66	8574	8582	8590	8598	8606	14	22	30	38	46	55	87
88	25	35	43	51	59	67	8575	8583	8591	8599	8607	8616	8624	88
89	8495	8495	11	20	28	36	44	52	60	68	8576	8584	8592	89
90	62	8470	8478	8486	8494	02	10	18	27	35	44	52	60	90
91	29	36	44	53	61	8469	8477	8485	8493	02	10	18	26	91
92	8394	02	10	19	28	36	44	52	60	8468	8476	8484	8492	92
93	59	8367	8375	8383	8391	00	08	16	24	32	40	49	57	93
94	23	30	38	47	55	8363	8371	8380	8388	8396	04	12	21	94
95	8285	8293	01	09	17	25	34	42	50	58	8367	8375	8383	95
96	45	53	8261	8270	8278	8286	8294	03	11	19	27	36	44	96
97	04	12	20	28	37	45	53	8262	8270	8278	8286	8295	03	97
98	8160	8168	8176	8184	8193	01	10	18	26	35	43	51	8260	98
99	13	21	30	38	46	8155	8163	8172	8180	8189	8197	05	13	99
100	8062	8071	8079	8088	8096	05	13	22	30	39	47	8155	8163	100

t q	-13°	-14°	-15°	-16°	-17°	-18°	-19°	-20°	-21°	-22°	-23°	-24°	-25°	t q
28	0,9765	0,9766	0,9768	0,9770	0,9772	0,9774	0,9776	0,9778	0,9780	—	—	—	—	28
29	61	63	65	68	70	72	75	77	79	—	—	—	—	29
30	56	59	62	65	68	70	73	76	78	—	—	—	—	30
31	52	55	58	61	64	67	70	74	76	0,9779	0,9782	0,9785	0,9788	31
32	46	50	53	57	60	64	67	71	74	77	80	83	87	32
33	40	44	48	52	55	59	63	67	70	74	77	81	85	33
34	34	38	42	46	50	54	58	62	66	70	74	78	82	34
35	26	32	36	40	44	48	53	57	61	65	69	73	78	35
36	19	24	28	33	38	42	46	50	55	59	64	68	73	36
37	10	15	20	25	30	34	39	44	48	52	58	62	66	37
38	00	05	11	16	21	26	31	36	41	46	50	55	60	38
39	9689	9695	00	06	11	16	21	27	32	37	42	47	52	39
40	78	84	9689	9695	00	06	11	17	22	27	33	38	44	40
41	66	72	78	84	9689	9695	01	06	12	17	23	28	34	41
42	54	60	66	72	78	84	9689	9695	01	07	12	18	24	42
43	41	48	54	60	66	72	77	83	9689	9695	01	07	13	43
44	28	34	41	47	53	59	65	71	77	83	9689	9695	01	44
45	14	20	27	33	40	46	52	58	64	70	77	83	9689	45
46	00	06	13	19	26	32	38	45	51	57	63	70	76	46
47	9585	9591	9598	04	11	17	24	30	37	43	49	56	62	47
48	69	76	83	9689	9596	02	09	15	22	28	35	41	48	48
49	53	60	67	73	80	9686	9593	00	06	13	20	26	33	49
50	36	43	50	57	64	70	77	9684	9590	9597	04	10	17	50

Продолжение табл. IV

φ \ / \ t	-13°	-14°	-15°	-16°	-17°	-18°	-19°	-20°	-21°	-22°	-23°	-24°	-25°	t \ / \ φ
50	0,9536	0,9543	0,9550	0,9557	0,9564	0,9570	0,9577	0,9584	0,9590	0,9597	0,9604	0,9610	0,9617	50
51	19	26	33	40	47	53	60	67	74	81	88	95	01	51
52	09	16	23	29	36	43	50	57	64	71	78	85	92	52
53	9484	9491	9497	9505	9512	9519	9525	9532	9539	9546	9553	9560	9567	53
54	55	62	70	78	86	94	00	07	14	21	28	35	42	54
55	46	53	60	67	74	82	89	96	03	10	17	24	31	55
56	27	34	41	48	55	63	70	77	84	91	98	05	12	56
57	07	14	21	29	36	43	50	57	64	71	78	85	92	57
58	9387	9394	9401	9409	9416	9423	9430	9437	9444	9451	9458	9465	9473	58
59	65	74	83	92	01	10	19	28	37	46	55	64	73	59
60	46	53	60	67	74	82	89	96	03	11	18	25	32	60
61	24	32	39	46	53	61	68	75	82	89	96	04	11	61
62	03	10	17	25	32	39	47	54	61	68	76	83	90	62
63	9281	9288	9295	9303	9310	9317	9325	9332	9339	9347	9354	9361	9369	63
64	59	66	73	81	88	95	03	10	17	25	32	39	47	64
65	36	43	51	58	66	73	80	88	95	02	10	17	24	65
66	13	21	28	35	43	50	58	65	73	80	88	95	02	66
67	9190	9198	9205	9213	9220	9227	9235	9242	9250	9257	9265	9272	9279	67
68	87	74	9182	9189	9197	9204	9212	9219	9227	9234	9241	9249	9256	68
69	43	51	58	66	73	81	88	96	03	11	18	25	33	69
70	19	27	34	42	49	57	64	72	79	87	94	02	09	70
71	9095	9103	9110	9118	9125	9133	9140	9148	9155	9163	9170	9178	9185	71
72	71	80	89	98	07	16	24	33	41	50	58	67	75	72
73	46	53	61	69	77	84	91	99	07	14	22	29	37	73
74	21	28	36	44	51	59	67	74	82	90	97	05	12	74
75	8995	9003	9011	9018	9026	9034	9041	9049	9057	9065	9072	9080	9087	75

Продолжение табл. IV

t q	-13°	-14°	-15°	-16°	-17°	-18°	-19°	-20°	-21°	-22°	-23°	-24°	-25°	t q
75	0,8995	0,9003	0,9011	0,9018	0,9026	0,9034	0,9041	0,9049	0,9057	0,9065	0,9072	0,9080	0,9087	75
76	70	8977	8985	8993	01	08	16	24	31	39	47	54	62	76
77	44	51	59	67	8975	8982	8990	8998	06	13	21	29	37	77
78	17	25	33	41	49	56	64	72	8980	8987	8995	03	11	78
79	8891	8899	06	14	22	30	38	46	53	61	69	8977	8984	79
80	64	72	8879	8887	8895	03	11	19	27	35	42	50	58	80
81	36	44	52	60	68	8676	8684	8692	00	08	15	23	31	81
82	09	17	25	33	41	49	57	64	8872	8880	8888	8896	04	82
83	8781	8789	8797	05	13	21	29	36	44	52	60	68	8876	83
84	52	60	68	8776	8784	8792	00	08	16	24	32	40	48	84
85	23	31	39	47	55	63	8771	8779	8787	8795	03	11	19	85
86	8693	02	10	18	26	34	42	50	58	66	8774	8782	8790	86
87	63	8672	8680	8688	8696	04	12	20	28	36	44	52	60	87
88	32	41	49	57	65	8674	8682	8690	8698	06	14	22	30	88
89	00	09	18	26	34	42	50	58	66	8674	8682	8690	8698	89
90	8568	8577	8585	8594	02	10	18	26	34	42	50	58	66	90
91	35	44	52	60	8568	8576	8584	8592	01	09	17	25	33	91
92	01	10	18	26	34	42	50	59	8568	8576	8584	8592	00	92
93	8466	8474	8483	8491	8499	07	15	23	32	40	48	56	8564	93
94	29	38	46	55	63	8471	8479	8487	8496	04	12	20	28	94
95	8392	00	09	17	25	33	42	50	58	8466	8474	8483	8491	95
96	53	8361	8369	8378	8386	8394	02	11	19	27	35	43	51	96
97	11	20	28	36	45	53	8361	8369	8377	8385	8393	02	10	97
98	8268	8276	8284	8293	01	09	17	25	34	42	50	8338	8346	98
99	21	30	38	46	8254	8262	8270	8279	8287	8295	03	11	19	99
100	8171	8179	8188	8196	04	12	20	28	37	45	8253	8261	8269	100

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ СПИРТОМЕТРИИ

В практической спиртометрии приходится решать множество задач по определению веса или объема безводного спирта или водно-спиртового раствора определенной крепости при различных заданных условиях. В результате решения таких задач составляются специальные таблицы, которыми широко пользуются в области спиртометрии.

Такого рода таблицы для нормальной температуры 20° С были составлены по поручению Всесоюзного научно-исследовательского института спиртовой промышленности бригадой работников ареометрической лаборатории ВНИИМ под моим руководством (см. в конце статьи). Тогда же были разработаны мною и соответствующие формулы.

Полагая, что работающим в области спиртометрии и поверочного дела интересно и полезно ознакомиться с методами решения подобных задач и на их основе решать новые, возникающие в практике, задачи, я в настоящей статье рассматриваю основные задачи, иллюстрирующие общие методы их решения и даю соответствующие формулы.

В дальнейшем изложении приняты следующие обозначения:

- p — весовой процент водно-спиртового раствора;
- q — объемный (при 20° С) процент водно-спиртового раствора;
- ρ_p — плотность раствора по весу при 20° С крепости p %;
- ρ_q — плотность раствора крепости q % по объему при 20° С;
- ρ_{100} — плотность безводного спирта при 20° С;
- ρ_0 — плотность воды при 20° С.

Задача 1. Перевод весовых процентов в объемные при 20° С и обратно:

$$q = p \cdot \frac{\rho_p}{\rho_{100}}; \quad (1)$$

$$p = q \cdot \frac{\rho_{100}}{\rho_q}. \quad (2)$$

Обоснование формул:

Для вывода этих формул рассчитаем, сколько килограммов безводного спирта содержится в 100 л спиртового раствора, если

крепость раствора выражается в объемных процентах числом q , а в весовых — числом p .

В 100 л раствора содержится q л безводного спирта.

В 100 л раствора содержится $q \cdot \rho_{100}$ л безводного спирта.

С другой стороны:

В 100 кг раствора содержится p кг безводного спирта, т. е.

в $\frac{100}{\rho_p}$ л раствора содержится p кг безводного спирта, в 1 л раствора

содержится $\frac{p \cdot \rho_p}{100}$ кг безводного спирта. В 100 л раствора содержится $p \cdot \rho_p$ кг безводного спирта, откуда

$$q \cdot \rho_{100} = p \cdot \rho_p$$

или

$$q = p \cdot \frac{\rho_p}{\rho_{100}},$$

а так как $\rho_p = \rho_q$, то

$$p = q \cdot \frac{\rho_{100}}{\rho_q}.$$

Задача 2. Определить содержание в литрах безводного спирта в 1 кг водно-спиртового раствора крепости p и q .

x	Безводного спирта в 1 кг раствора
p	$\frac{p}{100 \cdot \rho_{100}}$ л (3)
q	$\frac{q}{100 \cdot \rho_q}$ л (4)

Обоснование формул:

В 1 кг раствора крепости p содержится $\frac{p}{100}$ кг безводного спирта,

что составляет объем, равный $\frac{p}{100 \cdot \rho_{100}}$ л [ф-ла (3)].

Заменив p в ф-ле (3) его выражением по ф-ле (2), получим ф-лу (4).

Задача 3. Определить содержание в килограммах безводного спирта в 1 л водно-спиртового раствора крепости p и q .

x	Безводного спирта в 1 л раствора
p	$\frac{p \cdot \rho_p}{100}$ кг (5)
q	$\frac{q \cdot \rho_{100}}{100}$ кг (6)

Обоснование формул:

В 1 л раствора крепости q содержится $\frac{q}{100}$ л безводного спирта, что составляет $\frac{q \cdot \rho_{100}}{100}$ кг, т. е. получаем ф-лу (6).

Заменив в ней q его выражением из ф-лы (1), получаем ф-лу (5).

Задача 4. Определить количество (x) литров безводного спирта и количество (y) литров воды, содержащихся в 100 л спиртового раствора крепости q , а также сжатие s , происходящее при смешении.

В 100 л спиртового раствора крепости q содержится: безводного спирта

$$x = q \text{ л}; \quad (7)$$

воды

$$y = \frac{(100 - p) \rho_q}{\rho_0} \text{ л}. \quad (8)$$

Сжатие

$$s = \left[q + \frac{(100 - p) \rho_q}{\rho_0} - 100 \right] \text{ л}. \quad (9)$$

Обоснование формул:

Спирту крепости q соответствует крепость p в весовых процентах, т. е. в 100 кг такого раствора содержится p кг безводного спирта и $(100 - p)$ кг воды.

Объем такого количества воды равен $\frac{100 - p}{\rho_{100}}$ л. С другой стороны, 100 кг раствора занимают $\frac{100}{\rho_p}$ л, так что в $\frac{100}{\rho_p}$ л спиртового раствора содержится $\frac{100 - p}{\rho_0}$ л воды, а потому в 100 л раствора содержится $\frac{(100 - p) \rho_p}{\rho_0}$ л воды.

Таким образом, $\frac{(100 - p) \rho_p}{\rho_0}$ л воды и q л безводного спирта при смешении обращаются в 100 л раствора. Поэтому сжатие, происходящее при смешении, равно

$$q + \frac{(100 - p) \rho_p}{\rho_0} - 100.$$

Задача 5. Определить какое количество (x) килограммов воды следует добавить к 1 кг спиртового раствора крепости p , чтобы получить раствор крепости p_1 .

$$x = \left(\frac{p}{p_1} - 1 \right) \text{ кг}. \quad (10)$$

Обоснование формулы:

В 1 кг раствора содержалось $\frac{p}{100}$ кг безводного спирта. После добавления x кг воды то же количество безводного спирта будет

содержаться в $(1+x)$ кг раствора; следовательно, крепость его будет равна $\frac{p}{1+x}$.

Отсюда

$$\frac{p}{1+x} = p_1$$

и

$$x = \frac{p}{p_1} - 1.$$

Задача 6. Определить, какое количество (x) килограммов воды следует добавить к 1 кг спиртового раствора крепости q , чтобы получить раствор крепости q_1 .

$$x = \frac{p}{p_1} - 1 = \frac{q \cdot \rho_{q_1}}{q_1 \cdot \rho_q} \text{ кг.} \quad (11)$$

Обоснование формулы:

Задача может быть решена по ф-ле (10), если предварительно q и q_1 перевести в соответствующие весовые проценты, или по ф-ле (11), которая получается из ф-лы (10) заменой p и p_1 их значениями из ф-лы (2).

Задача 7. Определить, какое количество (x) литров воды следует добавить к 1 л спиртового раствора крепости p , чтобы получить раствор крепости p_1 .

$$x = \frac{(p - p_1) \rho_p}{p_1 \rho_0} \quad (12)$$

Обоснование формулы:

1 л спиртового раствора крепости p весит ρ_p кг; $(1+x)$ л раствора весят $(\rho_p + x \rho_0)$ кг. В этом количестве раствора попрежнему содержится $\frac{p \cdot \rho_p}{100}$ кг безводного спирта, так что после добавления x л воды крепость спирта, с одной стороны, должна быть равна p_1 , а с другой $\frac{p \cdot \rho_p}{\rho_p + x \rho_0}$.

Следовательно,

$$\frac{p \cdot \rho_p}{\rho_p + x \rho_0} = p_1$$

откуда

$$x = \frac{(p - p_1) \rho_p}{p_1 \rho_0}$$

Задача 8. Определить, какое количество (x) литров воды следует добавить к 1 л спиртового раствора крепости q , чтобы получить раствор крепости q_1 .

$$x = \frac{(p - p_1) \rho_q}{p_1 \rho_0} = \frac{q \rho_{q_1} - q_1 \rho_q}{q_1 \rho_0} \text{ л.} \quad (13)$$

Обоснование формулы:

Задача эта может решаться по ф-ле (12), если предварительно q и q_1 перевести в соответствующие весовые проценты, или по ф-ле (13), которая получается из ф-лы (12) заменой p и p_1 их значениями из ф-лы (2).

Задача 9. Определить, какое количество (x) килограммов воды и какое количество (y) килограммов спиртового раствора крепости p следует взять для получения 1 кг раствора крепости p_1 .

$$x = \left(1 - \frac{p_1}{p}\right) \text{ кг}; \quad (14)$$

$$y = \frac{p_1}{p} \text{ кг}. \quad (15)$$

Обоснование формул:

В y кг спиртового раствора содержится $\frac{py}{100}$ кг безводного спирта.

После прибавления x кг воды в новом растворе будет содержаться то же количество безводного спирта. Поэтому на каждые 100 кг нового раствора будет приходиться $\frac{py}{x+y}$ кг безводного спирта.

По условию должно быть $\frac{py}{x+y} = p_1$, причем $x + y = 1$. Следовательно, $py = p_1$, откуда

$$y = \frac{p_1}{p} \text{ кг и } x = \left(1 - \frac{p_1}{p}\right) \text{ кг}.$$

Задача 10. Определить, какое количество (x) килограммов воды и какое количество (y) килограммов спиртового раствора крепости q следует взять для получения 1 кг раствора крепости q_1 .

$$x = 1 - \frac{p_1}{p} = \frac{qp_1 - q_1p}{qp_1}; \quad (16)$$

$$y = \frac{p_1}{p} = \frac{q_1p}{qp_1}. \quad (17)$$

Обоснование формул:

Задача может решаться по ф-лам (14) и (15), если предварительно q и q_1 перевести в соответствующие весовые проценты, или по ф-лам (16) и (17), которые получаются из ф-л (14) и (15) заменой p и p_1 их значениями по ф-ле (2).

Задача 11. Определить, какое количество (x) литров воды и какое количество (y) литров спиртового раствора крепости p следует взять для получения 1 л раствора крепости p_1 .

$$x = \frac{(p - p_1) \rho_{p_1}}{p \rho_1} \text{ л}; \quad (18)$$

$$y = \frac{p_1 \rho_{p_1}}{p \rho_p} = \frac{q_1}{q} \text{ л}. \quad (19)$$

Обоснование формул:

1 кг раствора крепости p_1 занимает объем $\frac{1}{\rho_{p_1}}$ л. Следовательно, на основании ф-л (14) и (15) заключаем, что в объеме, равном $\frac{1}{\rho_{p_1}}$, содержится $\frac{p-p_1}{p}$ кг воды и $\frac{p_1}{p}$ кг безводного спирта, а потому в 1 л раствора содержится $\frac{(p-p_1)\rho_{p_1}}{p}$ кг воды и $\frac{p_1\rho_{p_1}}{p}$ кг безводного спирта.

Переводя вес в объем, получаем $x = \frac{(p-p_1)\rho_{p_1}}{\rho_{p_0}}$ л воды и $y = \frac{p_1\rho_{p_1}}{\rho_{p_0}}$ л безводного спирта. Но по ф-ле (1) $p\rho_p = q\rho_{100}$ и $p_1\rho_{p_1} = q_1\rho_{100}$, следовательно, $y = \frac{q_1}{q}$.

Задача 12. Определить, какое количество (x) литров воды и какое количество (y) литров спиртового раствора крепости q следует взять для получения 1 л раствора крепости q_1 .

$$x = \frac{(p-p_1)\rho_{p_1}}{\rho_{p_0}} \text{ л}; \quad (20)$$

$$y = \frac{q_1}{q} \text{ л}. \quad (21)$$

Обоснование формул:

Задача решается по ф-лам (18) и (19), причем для нахождения количества x л воды следует предварительно объемные проценты q и q_1 выразить через соответствующие весовые проценты p и p_1 .

Задача 13. Определить, какое количество (x) килограммов безводного спирта и какое количество (y) килограммов спиртового раствора крепости p следует взять для получения 1 кг раствора крепости p_1 .

$$x = \frac{p_1-p}{100-p} \text{ кг}; \quad (22)$$

$$y = \frac{100-p_1}{100-p} \text{ кг}. \quad (23)$$

Обоснование формул:

В y кг спиртового раствора содержится $\frac{py}{100}$ кг безводного спирта. Добавив к нему $x = (1-y)$ кг безводного спирта, мы должны получить 1 кг смеси крепости p_1 . Она будет содержать $\left(\frac{py}{100} + 1 - y\right)$ кг безводного спирта. Таким образом, имеем:

$$\left(\frac{py}{100} + 1 - y\right) \cdot 100 = p_1.$$

Решая уравнение относительно y находим:

$$y = \frac{100 - p_1}{100 - p}; \quad x = 1 - y = \frac{p_1 - p}{100 - p}.$$

Задача 14. Определить, какое количество (x) килограммов безводного спирта и какое количество (y) килограммов спиртового раствора крепости q следует взять для получения 1 кг раствора крепости q_1 .

$$x = \frac{p_1 - p}{100 - p} \text{ кг}; \quad (24)$$

$$y = \frac{100 - p_1}{100 - p} \text{ кг}. \quad (25)$$

Обоснование формул:

Задача решается по ф-лам (22) и (23), для чего следует объемные проценты q и q_1 предварительно обратить в весовые p и p_1 по ф-ле (2).

Задача 15. Определить, какое количество (x) литров безводного спирта и какое количество (y) литров спиртового раствора крепости p следует взять для получения 1 л раствора крепости p_1 .

$$x = \frac{(p_1 - p) \rho_p}{(100 - p) \rho_{100}} \text{ л}; \quad (26)$$

$$y = \frac{(100 - p) \rho_p}{(100 - p) \rho_p} \text{ л}. \quad (27)$$

Обоснование формул:

x л безводного спирта весят $x\rho_{100}$ кг, y л спиртового раствора крепости p весят $y\rho_p$ кг. В $y\rho_p$ кг раствора содержится $\frac{p y \cdot \rho_p}{100}$ кг безводного спирта. Таким образом, в $x\rho_{100} + y\rho_p$ кг раствора содержится $x\rho_{100} + \frac{p y \rho_p}{100}$ кг безводного спирта. На основании этого имеем:

$$\frac{\left(x\rho_{100} + \frac{p y \rho_p}{100}\right) \cdot 100}{x\rho_{100} + y\rho_p} = p_1.$$

Но весь объем смеси должен быть равен 1 л, так что

$$\frac{x\rho_{100} + y\rho_p}{\rho_{p_1}} = 1.$$

Итак, имеем два уравнения:

$$100x\rho_{100} + p y \rho_p = p_1 x \rho_{100} + p_1 y \rho_p;$$

$$x\rho_{100} + y\rho_p = \rho_{p_1}$$

или

$$(100 - p_1)x\rho_{100} + (p - p_1)y\rho_p = 0;$$

$$x\rho_{100} + y\rho_p = \rho_{p_1}.$$

Решая их сначала относительно неизвестных $x\rho_{100}$ и $y\rho_p$, находим искомые x и y :

$$x = \frac{(p_1 - p)\rho_{p_1}}{(100 - p)\rho_{100}}; \quad y = \frac{(100 - p_1)\rho_{p_1}}{(100 - p)\rho_p}.$$

Задача 16. Определить, какое количество (x) литров безводного спирта и какое количество (y) литров спиртового раствора крепости q следует взять для получения 1 л раствора крепости q_1 .

$$x = \frac{(p_1 - p)\rho_{q_1}}{(100 - p)\rho_{100}} \text{ л}; \quad (28)$$

$$y = \frac{(100 - p_1)\rho_{q_1}}{(100 - p)\rho_q} \text{ л}. \quad (29)$$

Обоснование формул:

Задача решается по ф-лам (22) и (23), для чего следует лишь объемные проценты q и q_1 предварительно перевести в весовые p и p_1 по ф-ле (2).

Задача 17. Определить, какое количество (x) килограммов водно-спиртового раствора крепости p_2 следует добавить к 1 кг раствора крепости p , чтобы получить раствор крепости p_1 .

$$x = \frac{p_1 - p}{p_2 - p_1} \text{ кг}. \quad (30)$$

Обоснование формулы:

x кг раствора крепости p_2 содержит $\frac{p_2 x}{100}$ кг безводного спирта.

1 кг раствора крепости p содержит $\frac{p}{100}$ кг безводного спирта.

Следовательно, в $(1 + x)$ кг смеси будет содержаться $\frac{p_2 x}{100} + \frac{p}{100}$ кг безводного спирта. Крепость его будет равна

$$\frac{\left(\frac{p_2 x}{100} + \frac{p}{100}\right) \cdot 100}{1 + x} = \frac{p_2 x + p}{1 + x}.$$

Для определения x имеем уравнение

$$\frac{p_2 x + p}{1 + x} = p_1.$$

откуда

$$x = \frac{p_1 - p}{p_2 - p_1}.$$

Задача 18. Определить, какое количество (x) килограммов водно-спиртового раствора крепости q_2 следует добавить к 1 кг раствора крепости q , чтобы получить раствор крепости q_1 .

$$x = \frac{p_1 - p}{p_2 - p_1} \text{ кг.} \quad (31)$$

Обоснование формулы:

Задача решается по ф-ле (30), для чего следует объемные проценты q , q_1 , q_2 предварительно перевести в весовые p , p_1 , p_2 по ф-ле (2).

Задача 19. Определить, какое количество (x) литров водно-спиртового раствора крепости p_2 следует добавить к 1 л раствора крепости p_1 , чтобы получить раствор крепости p .

$$x = \frac{(p - p_1) \rho_{p_1}}{(p_2 - p) \rho_{p_2}} \text{ л.} \quad (32)$$

Обоснование формулы:

x л раствора крепости p_2 весят $x \rho_{p_2}$ кг. 1 л раствора крепости p_1 весит ρ_{p_1} кг. Общий вес смеси $x \rho_{p_2} + \rho_{p_1}$ кг. В этом количестве раствора содержится $\frac{p_2 x \cdot \rho_{p_2}}{100} + \frac{p_1 \cdot \rho_{p_1}}{100}$ кг безводного спирта. Следовательно, крепость такого раствора будет $\frac{p_2 x \rho_{p_2} + p_1 \rho_{p_1}}{x \rho_{p_2} + \rho_{p_1}}$. Поэтому имеем: $\frac{p_2 x \rho_{p_2} + p_1 \rho_{p_1}}{x \rho_{p_2} + \rho_{p_1}} = p$. Решая это уравнение, получаем:

$$x = \frac{(p - p_1) \cdot \rho_{p_1}}{(p_2 - p) \cdot \rho_{p_2}}.$$

Задача 20. Определить, какое количество (x) литров водно-спиртового раствора крепости q_2 следует добавить к 1 л раствора крепости q_1 , чтобы получить раствор крепости q .

$$x = \frac{(p - p_1) \rho_{q_1}}{(p_2 - p) \rho_{q_2}} \text{ л.} \quad (33)$$

Обоснование формул:

Задача решается по ф-ле (32), для чего следует объемные проценты q , q_1 , q_2 предварительно перевести в весовые p , p_1 , p_2 .

Задача 21. Определить крепость и объем спиртового раствора, получающегося от смешения 1 л раствора крепости q_1 с 1 л раствора крепости q_2 .

Перевод весовых процентов в объёмные при 20° С

<i>p</i>	<i>q</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>p</i>	<i>q</i>
0	0,00	25	30,46	50	57,89	75	81,31
1	1,26	26	31,63	51	58,90	76	82,16
2	2,52	27	32,79	52	59,91	77	83,00
3	3,77	28	33,95	53	60,91	78	83,84
4	5,02	29	35,11	54	61,91	79	84,67
5	6,27	30	36,25	55	62,89	80	85,49
6	7,51	31	37,40	56	63,88	81	86,31
7	8,75	32	38,53	57	64,85	82	87,12
8	9,98	33	39,66	58	65,82	83	87,92
9	11,21	34	40,78	59	66,78	84	88,71
10	12,44	35	41,90	60	67,74	85	89,49
11	13,66	36	43,01	61	68,69	86	90,26
12	14,89	37	44,12	62	69,63	87	91,03
13	16,10	38	45,22	63	70,57	88	91,78
14	17,32	39	46,31	64	71,50	89	92,53
15	18,53	40	47,39	65	72,42	90	93,27
16	19,74	41	48,47	66	73,34	91	94,00
17	20,95	42	49,55	67	74,25	92	94,71
18	22,15	43	50,61	68	75,16	93	95,42
19	23,35	44	51,67	69	76,06	94	96,11
20	24,54	45	52,72	70	76,95	95	96,80
21	25,74	46	53,77	71	77,83	96	97,47
22	26,92	47	54,81	72	78,71	97	98,12
23	28,11	48	55,84	73	79,58	98	98,76
24	29,29	49	56,87	74	80,45	99	99,39
25	30,46	50	57,89	75	81,31	100	100,10

Перевод объёмных процентов в весовые при 20° С

<i>q</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>p</i>
0	0,00	25	20,38	50	42,43	75	67,82
1	0,79	26	21,22	51	43,37	76	68,94
2	1,59	27	22,06	52	44,31	77	70,06
3	2,38	28	22,91	53	45,26	78	71,19
4	3,18	29	23,76	54	46,22	79	72,33
5	3,98	30	24,61	55	47,18	80	73,48
6	4,78	31	25,46	56	48,15	81	74,64
7	5,59	32	26,32	57	49,13	82	75,81
8	6,40	33	27,18	58	50,11	83	77,00
9	7,20	34	28,04	59	51,10	84	78,19
10	8,02	35	28,91	60	52,09	85	79,40
11	8,83	36	29,78	61	53,09	86	80,62
12	9,64	37	30,65	62	54,09	87	81,86
13	10,46	38	31,53	63	55,11	88	83,11
14	11,27	39	32,41	64	56,13	89	84,38
15	12,09	40	33,30	65	57,15	90	85,66
16	12,92	41	34,19	66	58,19	91	86,96
17	13,74	42	35,09	67	59,23	92	88,29
18	14,56	43	35,99	68	60,27	93	89,63
19	15,39	44	36,89	69	61,33	94	91,00
20	16,21	45	37,80	70	62,39	95	92,41
21	17,04	46	38,72	71	63,46	96	93,84
22	17,87	47	39,64	72	64,54	97	95,30
23	18,71	48	40,56	73	65,63	98	96,81
24	19,54	49	41,49	74	66,72	99	98,38
25	20,38	50	42,43	75	67,82	100	100,00

Крепость смеси

$$q = \frac{q_1 + q_2}{\rho_{q_1} + \rho_{q_2}} \cdot \rho_{100} \% ; \quad (34)$$

Объем смеси

$$v = \frac{\rho_{q_1} + \rho_{q_2}}{\rho_q} \cdot A. \quad (35)$$

Обоснование формул:

1 л раствора крепости q_1 весит ρ_{q_1} кг; 1 л раствора крепости q_2 весит ρ_{q_2} кг.

В 1 л раствора крепости q_1 безводного спирта $\frac{q_1}{100}$ л,

т. е. $\frac{q_1}{100} \cdot \rho_{100}$ кг.

В 1 л раствора крепости q_2 безводного спирта $\frac{q_2}{100}$ л,

т. е. $\frac{q_2}{100} \cdot \rho_{100}$ кг.

Во всей смеси $\frac{q_1 + q_2}{100} \cdot \rho_{100}$ кг безводного спирта. Следовательно, крепость всей смеси, выраженная в весовых процентах,

$$p = \frac{q_1 + q_2}{\rho_{q_1} + \rho_{q_2}} \cdot \rho_{100} \% ,$$

а в объемных процентах

$$q = \frac{(q_1 + q_2) \cdot \rho_{100} \cdot \rho_p}{(\rho_1 + \rho_2) \rho_{100}} = \frac{(q_1 + q_2) \rho_p}{(\rho_1 + \rho_2)} .$$

Так как вес всей смеси равен $\rho_{q_1} + \rho_{q_2}$, то ее объем будет равен

$$v = \frac{\rho_{q_1} + \rho_{q_2}}{\rho_q} .$$

Задача 22. Найти множитель m , на который надо умножить измеренный при какой-либо температуре t° объем водно-спиртового раствора крепости q , чтобы определить число литров безводного спирта, содержащихся во всей измеренной смеси.

$$m = \frac{q \cdot \rho^{(t)}}{100 \cdot \rho^{(20)}} , \quad (36)$$

где $\rho^{(20)}$ и $\rho^{(t)}$ — плотности водно-спиртового раствора крепости q при температуре 20° С и при наблюдаемой температуре t° .

Обоснование формулы:

Положим, что водно-спиртовой раствор при температуре t° оказался крепости p (в весовых процентах). Это значит, что в 100 кг такого раствора содержится p кг безводного спирта.

100 кг такого раствора занимают $\frac{100}{\rho^{(1)}}$ л, так что в $\frac{100}{\rho^{(1)}}$ л раствора при температуре t° содержится p кг безводного спирта. Следовательно, в 1 л раствора будет содержаться $\frac{p \cdot \rho^{(1)}}{100}$ кг или $\frac{p \cdot \rho^{(1)}}{100 \cdot \rho_{100}}$ л безводного спирта.

Заменяя в последнем выражении p через q по ф-ле (2), получаем:

$$\frac{q \cdot \rho_{100} \cdot \rho^{(1)}}{100 \cdot \rho_{100} \cdot \rho^{(20)}} = \frac{q \cdot \rho^{(1)}}{100 \cdot \rho^{(20)}}$$

Это и будет количество литров безводного спирта, содержащихся в 1 л водно-спиртового раствора, т. е. искомый множитель.

ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПИРТОМЕРОВ

Введение

После того как стеклянные спиртомеры были допущены для официального учета спирта наравне с металлическими, между ними обнаружилось некоторые систематические расхождения, проявляющиеся особенно заметно при измерениях слабых растворов спирта. Оказалось, что металлический спиртомер в растворах спирта от 40% и ниже обычно недопоказывает, причем это недопоказывание в 40% спирте составляет около 0,1 — 0,2%, а на слабых растворах доходит до 0,4 — 0,6%. При больших количествах спиртосодержащих жидкостей такое недопоказание приводит к неправильному учету спирта и именно в сторону снижения его содержания против действительного.

Между тем, все металлические спиртомеры подвергаются обязательной государственной поверке в установленные сроки, и в обращение поступают только те из них, которые удовлетворяют всем предъявляемым при поверке требованиям.

Поверка металлических спиртомеров заключается в выяснении правильности нанесения шкалы и в установлении соответствия весов гирек весу спиртомера, согласно расчетным данным. Указанная поверка осуществляется путем сличения металлического спиртомера с образцовым 1-го разряда металлическим спиртомером на двух точках шкалы, без гирьки и с гирькой «90», при одновременном погружении их в спирт, плотность которого установлена по образцовому спиртомеру, и последующего взвешивания спиртомера и всех его гирек. Наблюденные веса гирек сопоставляются с соответствующими табличными весами, полученными расчетным путем, и оценивается допустимость их отклонений от табличных весов согласно существующему правилу.

Возникает вопрос, в силу каких причин прибор, поверенный и признанный верным, может давать неверные показания на слабых растворах спирта.

Выяснение этого вопроса и отыскание возможности для устранения ошибок указанных приборов и является целью настоящей работы.

При рассмотрении причин этого явления будем считать, что металлический спиртомер после поверки не претерпел никаких изменений.

1. Влияние плотности латуни

Расчет металлического спиртомера основан на решении системы 20 уравнений равновесия, представляющих собою запись условий равновесия при погружении спиртомера в растворы спирта различной плотности до крайних точек шкалы с каждой из десяти гирек и без гирьки.¹

Эти уравнения следующие:

$$\left. \begin{aligned}
 m &= (v_0 + v) \rho_0 & m &= v_0 \rho_1 \\
 m + m_1 &= \left(v_0 + v + \frac{m_1}{\delta} \right) \rho_1 & m + m_1 &= \left(v_0 + \frac{m_1}{\delta} \right) \rho_2 \\
 m + m_2 &= \left(v_0 + v + \frac{m_2}{\delta} \right) \rho_2 & m + m_2 &= \left(v_0 + \frac{m_2}{\delta} \right) \rho_3 \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 m + m_{10} &= \left(v_0 + v + \frac{m_{10}}{\delta} \right) \rho_{10} & m + m_{10} &= \left(v_0 + \frac{m_{10}}{\delta} \right) \rho
 \end{aligned} \right\} (1)$$

Здесь

- m — масса спиртомера;
- m_1, m_2, \dots, m_{10} — масса десяти его гирек;
- v_0 — объем спиртомера до нижнего деления шкалы;
- v — объем шкалы;
- δ — плотность латуни, из которой изготовлены гирьки металлического спиртомера;
- $\rho_0, \rho_1, \dots, \rho_{10}$ — плотности спиртов, в которых спиртомер погружается до крайних точек шкалы; эти спирты называются п р е д е л ь н ы м и;
- ρ — плотность воды.

В результате решения этой системы уравнений получены формулы для предельных, а затем и для промежуточных спиртов, на основании которых произведен расчет спиртомера и его гирек, а также составлена таблица к показаниям металлического спиртомера, связывающая условную шкалу этого прибора с процентным содержанием спирта.

Приводим эти формулы:

$$w_s = r + a^{11-k} (w - r), \quad (2)$$

¹ См. Турубинер И. К. и Иниц М. Д., Техника измерения плотности, Машгиз, 1949.

где

$$w_{\kappa} = \frac{1}{\rho_{\kappa}} \text{— удельный объем } \kappa\text{-го предельного спирта;}$$

$$r = \frac{1}{\delta} \text{— удельный объем латуни, из которой изготовлены гири к металлическому спиртомеру;}$$

$$w = \frac{1}{\rho} \text{— удельный объем дистиллированной воды;}$$

$$a = \sqrt[11]{\frac{w_0 - r}{w - r}};$$

в этом выражении $w_0 = \frac{1}{\rho_0}$ — удельный объем исходного предельного спирта.

$$m_{\kappa} = p_{\kappa} \cdot m,$$

где

$$p_{\kappa} = -1 + \sqrt[11]{\left(\frac{w_0 - r}{w - r}\right)^{\kappa}}.$$

Как видно из приведенных формул, значения предельных спиртов и масса гирек к металлическому спиртомеру в конечном итоге зависят от трех величин: плотности исходного предельного спирта ρ_0 , плотности дистиллированной воды ρ и плотности латуни δ .

Первые две величины имеют вполне определенные числовые значения, соответствующие значениям плотностей спирта и воды при температуре 20°C.¹ Что же касается третьей величины, то она может иметь различные значения в зависимости от сорта латуни.

Расчет металлического спиртомера произведен для латуни, плотность которой равна 8,5 г/см³, причем допустимое отклонение плотности латуни, из которой изготовлены гири к металлическому спиртомеру, было установлено в $\pm 0,02$ г/см³.

Однако выдержать это условие оказалось чрезвычайно трудным, так как плотность латуни, даже одной и той же марки, колеблется в пределах, значительно превышающих установленный допуск. Так, например, наиболее часто встречающаяся латунь имеет плотность в пределах 8,4 — 8,5 г/см³.

Указанное отступление плотности латуни от стандартной и является одной из причин, вызывающей недопоказание металлических спиртомеров. Действительно, если плотность какой-либо из 10 гирек металлического спиртомера будет меньше той плотности, для которой произведен расчет ее массы, то она будет иметь больший против требуемого объем, и, следовательно, спиртомер погрузится с этой гирькой на меньшую глубину (объем погружен-

¹ Плотность исходного предельного спирта выбирается произвольно, но так, чтобы металлический спиртомер при нормальной температуре охватывал возможно более крепкие спирты.

ной части спиртомера будет больше требуемого, так как гирька находится в нижней части спиртомера и погружается в жидкость) и покажет большую плотность спирта, а значит, и меньшую его концентрацию.

Определим, на сколько изменятся показания спиртомера при погружении его с гирьками, плотность которых отстает от установленной, например, на $0,1 \text{ г/см}^3$, т. е. равна $8,4 \text{ г/см}^3$, что и встречается наиболее часто.

Очевидно, что разность объемов погруженной части шкалы спиртомера при погружении его с гирькой, плотность которой равна δ_1 , и при погружении его с гирькой того же веса, но плотности δ_2 , будет равна разности объемов этих гирек, т. е.

$$\Delta v = \frac{m_k}{\delta_2} - \frac{m_k}{\delta_1}$$

Так как

$$\Delta v = S \cdot \Delta h,$$

где S — площадь поперечного сечения стержня спиртомера;
 Δh — разность высот погруженной части шкалы, то получим:

$$\Delta h = \frac{\frac{m_k}{\delta_2} - \frac{m_k}{\delta_1}}{S}$$

Полагая $\delta_1 = 8,5$, $\delta_2 = 8,4$ и принимая во внимание, что стержень металлического спиртомера имеет площадь поперечного сечения $S = 0,1 \text{ см}^2$, найдем значения Δh для разных гирек:

Гирька 90	$\Delta h = 0,1 \text{ мм}$	Гирька 40	$\Delta h = 0,5 \text{ мм}$
80	$\Delta h = 0,2 \text{ »}$	30	$\Delta h = 0,7 \text{ »}$
70	$\Delta h = 0,3 - 0,4 \text{ мм}$	20	$\Delta h = 0,8 \text{ »}$
60	$\Delta h = 0,4 \text{ мм}$	10	$\Delta h = 0,9 \text{ »}$
50	$\Delta h = 0,5 \text{ »}$	0	$\Delta h = 1,0 \text{ »}$

Так как длина шкалы металлического спиртомера составляет 70 мм, то, выражая величины Δh в частях делений шкалы, получим для спиртомеров с ценою деления 0,2 следующие разности в погружении:

Гирька 90	0,07 деления	Гирька 40	0,43 деления
80	0,14 »	30	0,50 »
70	0,21 »	20	0,57 »
60	0,29 »	10	0,64 »
50	0,36 »	0	0,71 »

Из приведенных данных следует, что если спиртомер применяется с гирьками, плотность которых меньше установленной на $0,1 \text{ г/см}^3$, то глубина его погружения будет меньше на указанные выше величины, и, следовательно, он будет недопоказывать крепость спирта.

При подгонке и поверке гирек металлического спиртомера весовым способом, без предварительного определения плотности латуни, уклонение плотности латуни от стандартной остается незамеченным, так как все гирьки, массы которых удовлетворяют табличным, признаются верными.

Поэтому весовой способ подгонки и поверки гирек металлического спиртомера, при применении латуни нестандартной плотности, нельзя признать правильным; его следует заменить другим, при котором это уклонение плотности гирек можно было бы обнаружить и учесть. Таким способом является способ сличения металлического спиртомера при погружении его с каждой гирькой в жидкость одновременно с другим спиртомером, металлическим или стеклянным, шкала которого поверена и имеет поправки.

Согласно приведенным данным, спиртомер должен недопоказывать со всеми гирьками. Между тем в действительности он недопоказывает только с тяжелыми гирьками — «0», «10», «20» и иногда «30». С остальными гирьками его показания либо совпадают с показаниями стеклянного спиртомера, либо очень близки к ним. Да и с тяжелыми гирьками уклонение показаний в действительности более значительно, чем указанное выше. Отсюда следует, что объяснение причин расхождений в показаниях между металлическим и стеклянным спиртомерами только уклонением плотности латуни, из которой изготовлены гирьки металлического спиртомера, нельзя признать достаточным. Это только одна из причин, вызывающих погрешности металлического спиртомера, которую следует принять во внимание, но которой вопрос о недопоказаниях этого прибора не исчерпывается.

2. Учет воздуха, содержащегося внутри спиртомера

Согласно приведенной выше ф-ле (2), масса гирек зависит от массы спиртомера, и таблица весов гирек (ГОСТ 3638—47, спиртомеры металлические), на основании которой производится их подгонка и поверка, составлена в зависимости от массы спиртомера.

Между тем, еще со времен Технического комитета неокладных сбросов при поверке металлических спиртомеров определялась не масса спиртомера, а только лишь масса латуни, из которой он изготовлен; масса же воздуха, заключенного внутри спиртомера, оставалась неучтенной, и, таким образом, при поверке гирек ориентировались на табличные веса, соответствующие более легкому спиртомеру. Если же учесть воздух, заключенный внутри спиртомера, то окажется, что гирьки будут слишком тяжелы. Действительно, для спиртомеров, имеющих наименьшую и наибольшую из установленных масс, т. е. для спиртомеров в 28 г и в 30 г, объем воздуха, при общем объеме спиртомера в 36 мл, будет:

$$36 - \frac{28}{8,4} = 36 - 3,33 = 32,67 \text{ мл};$$

$$36 - \frac{30}{8,4} = 36 - 3,57 = 32,43 \text{ м.л.}$$

Масса воздуха, принимая плотность воздуха равной 0,0012, соответственно будет:

$$32,67 \cdot 0,0012 = 0,039 \text{ г} = 39 \text{ мг};$$

$$32,43 \cdot 0,0012 = 0,039 \text{ г} = 39 \text{ мг}.$$

Таким образом, масса гирек должна быть соответственно увеличена.

В приведенной ниже табл. 1 указаны массы гирек к спиртомерам в 28, 29 и 30 г, взятые непосредственно из таблицы и исправленные в результате учета воздуха внутри спиртомера.

Таблица 1

Гирька	m = 28 г		m = 29 г		m = 30 г	
	табл. масса	масса с учетом воздуха	табл. масса	масса с учетом воздуха	табл. масса	масса с учетом воздуха
90	0,6583	0,6592	0,6818	0,6827	0,7053	0,7062
80	1,3320	1,3339	1,3795	1,3814	1,4271	1,4290
70	2,0216	2,0245	2,0938	2,0967	2,1660	2,1689
60	2,7275	2,7314	2,8249	2,8288	2,9223	2,9263
50	3,4499	3,4548	3,5731	3,5780	3,6963	3,7012
40	4,1894	4,1953	4,3390	4,3450	4,4886	4,4946
30	4,9459	4,9530	5,1226	5,1296	5,2992	5,3063
20	5,7207	5,7289	5,9250	5,9332	6,1293	6,1375
10	6,5136	6,5229	6,7463	6,7556	6,9789	6,9882
0	7,3251	7,3355	7,5867	7,5972	7,8483	7,8588

Если при изготовлении гирек учесть указанные выше две погрешности, то окажется, что большинство гирек к металлическому спиртомеру, за исключением самых тяжелых, будет тяжелее, чем это требуется, т. е. металлический спиртомер будет показывать повышенную крепость спирта по сравнению со стеклянным спиртомером или по сравнению с другими способами определения плотности, а следовательно, и крепости спирта.

3. Поправка на капиллярность

Для дальнейшего выяснения причин расхождений в показаниях спиртомеров обратимся снова к ранее приведенным уравнениям равновесия и посмотрим, учитывают ли они все обстоятельства, сопутствующие погружению металлического спиртомера.

При составлении этих уравнений, очевидно, было сделано допущение о том, что влияние явлений капиллярности при погружении спиртомера во всех спиртах одинаково. Однако мениск жидкости, образующийся вокруг стержня спиртомера при его погружении, в разных растворах спирта различен и вызывает различное дополнительное погружение спиртомера.

Шкала спиртомера устанавливается по первому предельному спирту и таким образом учитывается влияние массы мениска, соответствующего этому спирту. Изменение же массы мениска в других спиртах и влияние его на погружение спиртомера по сравнению с первым предельным спиртом уравнениями не учитывается. Поэтому левые части уравнений (1) следует исправить, введя дополнительное слагаемое Δ_m — массу мениска предельных спиртов. Помимо этого, в уравнениях правого столбца (1) не отражены потеря веса в воздухе непогруженной части стержня спиртомера, занимаемой шкалой, и вызываемое этим обстоятельством изменение положения нижней точки шкалы спиртомера.

С учетом сказанного уравнения равновесия должны иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 m + \Delta_0 &= (v_0 + v) \rho_0 \\
 m + m_1 + \Delta_1 &= \left(v_0 + v + \frac{m_1}{\delta} \right) \rho_1 \\
 m + m_2 + \Delta_2 &= \left(v_0 + v + \frac{m_2}{\delta} \right) \rho_2 \\
 &\dots \dots \dots \\
 m + m_{10} + \Delta_{10} &= \left(v_0 + v + \frac{m_{10}}{\delta} \right) \rho_{10} \\
 m + \Delta_1 - v_e &= v_0 \rho_1 \\
 m + m_1 + \Delta_2 - v_e &= \left(v_0 + \frac{m_1}{\delta} \right) \rho_2 - \Delta v_1 \rho_2 \\
 m + m_2 + \Delta_3 - v_e &= \left(v_0 + \frac{m_2}{\delta} \right) \rho_3 - \Delta v_2 \rho_3 \\
 &\dots \dots \dots \\
 m + m_{10} + \Delta - v_e &= \left(v_0 + \frac{m_{10}}{\delta} \right) \rho - \Delta v_{10} \rho
 \end{aligned} \tag{3}$$

Здесь Δv_e — объем части стержня, на который спиртомер погружается под влиянием потери веса шкалы в воздухе.

Каждое из произведений $\Delta v_1 \rho_2$, $\Delta v_2 \rho_3$ и т. д. равно произведению v_e , поэтому в уравнениях они взаимно уничтожаются и на расчет металлического спиртомера и гирек не влияют.

Иначе обстоит дело с поправками Δ_k .

Если, как выше было указано, рассматривать только изменение веса мениска по сравнению с весом мениска первого предельного спирта, т. е. считать условия погружения в этом спирте начальными, то $\Delta_1 = 0$, а Δ_k будет означать разность масс менисков между предельным спиртом с номером k и первым предельным спиртом.

Эта разность, так же, как и разность масс менисков соседних предельных спиртов, как это будет видно далее, отлична от нуля, вследствие чего решение системы уравнений (3) и весь расчет предельных спиртов значительно усложняется и может быть выполнен лишь приближенно.

Между тем, рассмотрение теории металлического спиртомера позволяет заключить, что: 1) в первоначальные уравнения равновесия (1) и в ф-лы (2) масса мениска входит не явно, она включена в массу гирьки m_k , и 2) при расчете металлического спиртомера не было принято во внимание изменение веса мениска.

Таким образом, величина m_k в уравнениях (1) и ф-лах (2) не является массой k -й гирьки. Для определения же массы самой гирьки нужно ввести поправку к m_k на изменение массы мениска по сравнению с начальными условиями, т. е. по сравнению с массой мениска первого предельного спирта, в котором производится установление шкалы. Если при изготовлении гирек металлического спиртомера учесть указанные выше поправки, то оказывается возможным сохранить существующий расчет предельных спиртов, а следовательно, и таблицу к показаниям металлического спиртомера, и вместе с тем уточнить его показания настолько, что погрешности их не выйдут из пределов установленного допуска.

Определим эти поправки для различных предельных спиртов. Для этого требуется найти объем мениска, образующегося вокруг стержня спиртомера. Согласно теории Лапласа о капиллярных свойствах жидкостей, объем мениска, образующегося вокруг стержня ареометра, определяется по формуле

$$v = au \cos \alpha,$$

где a — капиллярная постоянная жидкости;

u — периметр сечения стержня;

α — краевой угол.

При условии полного смачивания краевой угол $\alpha = 0$ и задача определения объема и массы мениска значительно упрощается. Но не во всех спиртах наблюдается полное смачивание. Действительно, с понижением крепости спирта поверхностное натяжение жидкости, а следовательно, и капиллярная постоянная — увеличиваются, поэтому должна увеличиваться и высота мениска. Однако для металлических спиртомеров это не наблюдается.

Согласно проведенным измерениям, высоты менисков, образующихся вокруг стержня металлического спиртомера, почти одина-

ковы для всех спиртов, за исключением наиболее слабых, для которых высоты менисков, наоборот, меньше, чем для крепких спиртов. Это ясно видно из приведенных ниже результатов измерений, выполненных с двумя металлическими спиртомерами при погружении их в различные спирты с разными гирьками. Измерения состояли в определении разности между отсчетами по шкале спиртомера по верхнему и по нижнему краю мениска, при многократных повторных погружениях в каждом растворе спирта, и выводе средних значений этих разностей (табл. 2).

Таблица 2

Гирька	Высота мениска в делениях условной шкалы	
	Спиртомер № 1067 (Главликерводка)	Спиртомер № 044 (Таллинский завод КИП)
90	—	0,30
90 (внизу шкалы)	0,31	0,30
80	0,31	0,30
70	0,32	0,31
50	0,29	0,31
40	0,31	0,30
30	0,30	0,30
20 (верх шкалы)	0,31	0,30
20 (низ шкалы)	0,20	0,23
10	0,16	0,20
0 (верх шкалы)	0,14	0,14
0 (низ шкалы)	0,12	0,12

Табл. 2 позволяет заключить, что краевой угол для слабых растворов спирта, по сравнению с крепкими, возрастает, так как, несмотря на увеличение капиллярной постоянной, при переходе к слабым спиртам подъем мениска жидкости по стержню уменьшается.

Ввиду того, что значения краевых углов, образующихся на границе металл — жидкость, для различных растворов спирта нам неизвестны, определение объема мениска можно приближенно произвести следующим образом.

Высота мениска определяется по формуле

$$h = \sqrt{2a} \cdot \sqrt{1 - \sin \alpha}, \quad (4)$$

где a — капиллярная постоянная жидкости;
 α — краевой угол.

Пользуясь этим соотношением, выразим входящий в формулу для определения объема мениска $\cos \alpha$ через высоту мениска.

Так как $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$, а из соотношения (4) $\sin \alpha = 1 - \frac{h^2}{2a}$, то получим:

$$1 - \sin^2 \alpha = 1 - \left(1 - \frac{h^2}{2a}\right)^2 = \frac{h^2}{4a^2} (4a - h^2)$$

и объем мениска

$$v = a\pi \cdot \frac{h}{2a} \sqrt{4a - h^2} = \frac{1}{2} \pi h \sqrt{4a - h^2}. \quad (5)$$

Однако эта формула применима в том случае, если высота мениска, образующегося вокруг стержня ареометра, постоянна, что имеет место для стержней с круглым сечением. Между тем, мениск, образующийся вокруг стержня металлического спиртомера прямоугольного сечения, имеет неодинаковую высоту; на боковых, узких сторонах стержня мениск ниже, чем на широких, а со стороны ребер еще ниже. Верхний край мениска представляет собой кривую линию, симметрично расположенную относительно середины каждой грани стержня.

Следовательно, высота h мениска является величиной переменной, зависящей от положения точки периметра поперечного сечения стержня, и объем мениска в этом случае выразится формулой

$$v = \frac{1}{2} \int_a h \sqrt{4a - h^2} \cdot du. \quad (6)$$

Так как вид кривой верхнего края мениска неизвестен, то определение объема мениска можно произвести лишь приближенно.

Определим сначала объем мениска в предположении, что линия соприкосновения верхнего края мениска со стержнем является ломаной линией, образованной прямыми, пересекающимися в точках наибольшего и наименьшего подъема жидкости, т. е. в точках, расположенных на средней линии каждой грани и на ребрах. Обозначим величину наибольшего подъема мениска для k -го предельного спирта через h_k . Наблюдения показывают, что поднятие жидкости на ребрах составляет около $\frac{2}{3}h_k$, а на боковых узких гранях — около $\frac{2}{3}h_k$. Уравнение каждого прямого отрезка ломаной линии можно представить в виде

$$h = Au + B,$$

где u — расстояние точки периметра поперечного сечения стержня от средней линии грани стержня.

Для широких граней стержня имеем: при $u = 0$, $h = B = h_k$, т. е. наибольшему поднятию по стержню спирта k ; при $u = u_1$, где u_1 — точка на ребре стержня, имеем: $h = Au_1 + h_k = \frac{2}{3}h_k$,

откуда коэффициент A определится равенством $A = -\frac{1}{3} \frac{h_k}{u_1}$ и уравнение прямой будет иметь такой вид:

$$h = h_k - \frac{1}{3} \frac{h_k}{u_1} u \text{ или } h = h_k \left(1 - \frac{1}{3} \frac{u}{u_1}\right).$$

Для боковой узкой стороны стержня точка наибольшего поднятия жидкости по стержню оказывается приблизительно в середине между наибольшей высотой h_k и высотой мениска на ребре, т. е. около $\frac{5}{6} h_k$. Следовательно, при $u=0$ (середина боковой грани) $h = B = \frac{5}{6} h_k$. При $u = u_2$ (расстояние от середины боковой грани до ребра) $h = Au_2 + \frac{5}{6} h_k = \frac{2}{3} h_k$, откуда $A = -\frac{1}{6} \frac{h_k}{u_2}$ и уравнение отрезка линии на боковой грани будет иметь вид:

$$h = \frac{5}{6} h_k - \frac{1}{6} \frac{h_k}{u_2} u,$$

или

$$h = \frac{1}{6} h_k \left(5 - \frac{u}{u_2}\right).$$

Объем мениска, ограниченного такой ломаной линией, согласно равенству (5), выразится суммой двух интегралов:

$$v_1 = 4 \int_0^{u_1} \frac{1}{2} h_k \left(1 - \frac{1}{3} \frac{u}{u_1}\right) \sqrt{4a_k - h_k^2 \left(1 - \frac{1}{3} \frac{u}{u_1}\right)^2} du + \\ + 4 \int_0^{u_2} \frac{1}{2} \cdot \frac{h_k}{6} \left(5 - \frac{u}{u_2}\right) \sqrt{4a_k - \frac{h_k^2}{36} \left(5 - \frac{u}{u_2}\right)^2} du,$$

или, после интегрирования и преобразований,

$$v_1 = \frac{2}{h_k} \left[\left(4a_k - \frac{4}{9} h_k^2\right)^{\frac{3}{2}} (u_1 + 2u_2) - \right. \\ \left. - \left(4a_k - h_k^2\right)^{\frac{3}{2}} u_1 - \left(4a_k - \frac{25}{36} h_k^2\right)^{\frac{3}{2}} \cdot 2u_2 \right], \quad (7)$$

причем $2u_1$ и $2u_2$, как это видно из предыдущего, представляют собою ширину каждой из сторон стержня, и у существующих металлических спиртомеров они, соответственно, будут равны 5 мм и 2 мм.

Очевидно, что в действительности объем мениска будет промежуточным между значением его, найденным по ф-ле (7), и значением, вычисленным в предположении, что высота мениска одинакова и равна наибольшей высоте h_k поднятия по стержню k -го спирта. Этот последний объем, на основании ф-лы (5), выразится следующим образом:

$$v_2 = \frac{1}{2} h_k \sqrt{4a_k - h_k^2} \cdot 4u_1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{5}{6} \cdot h_k \sqrt{4a_k - \left(\frac{5}{6} h_k\right)^2} \cdot 4u_2$$

или

$$v_2 = 2u_1 h_k \sqrt{4a_k - h_k^2} + \frac{5}{3} u_2 h_k \sqrt{4a_k - \frac{25}{36} h_k^2}. \quad (8)$$

Беря среднее арифметическое между v_1 и v_2 , определенными равенствами (7) и (8), получим приближенное значение объема мениска при условии, что краевой угол отличен от нуля:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2}.$$

Что же касается 1-го предельного спирта, в котором производится подгонка и установление шкалы металлического спиртомера, то этот спирт представляет собою спирт-ректификат крепостью 96%. Различными исследованиями установлено, что такой спирт является жидкостью, хорошо смачивающей чистую стеклянную или металлическую поверхность, и что его краевой угол очень близок к нулю.

Наблюдения, произведенные с металлическими спиртомерами, показывают, что верхний край мениска этой жидкости не имеет резко очерченной границы на шкале спиртомера; жидкость плавно поднимается вверх по стержню и смачивает его, повидимому, несколько выше уровня верхнего края мениска. Поэтому при определении объема мениска для этого спирта можно положить $\alpha = 0$ и $\cos \alpha = 1$.

Тогда из равенства (4) получим: высота $h = \sqrt{2a}$ и объем мениска $v = au = \frac{h^2}{2} u$.

Эта формула будет справедлива только в том случае, если высота мениска для всех точек периметра поперечного сечения стержня одинакова. Но, как уже отмечалось, для прямоугольного стержня верхний край мениска ограничен кривой линией, вид которой неизвестен. Поэтому, применяя указанный ранее способ, определим сначала объем мениска, ограниченного вписанной ломаной линией, затем объем мениска в предположении, что его высота везде одинакова и равна наибольшей высоте поднятия по стержню данной жидкости, и из двух величин объемов возьмем среднее.

Так же как и ранее, уравнение каждого отрезка прямой можно написать в следующем виде: $h = Au + B$.

На широкой грани стержня, при $u = 0$, $h = B = h_1 = \sqrt{2a_1}$, где h_1 — наибольшая высота мениска и a_1 — капиллярная постоянная спирта-ректификата. При $u = u_1$ (половина ширины широкой грани)

$$h = Au_1 + \sqrt{2a_1} = \frac{2}{3} h_1 = \frac{2}{3} \sqrt{2a_1},$$

откуда

$$A = -\frac{\sqrt{2a_1}}{3} \cdot \frac{u}{u_1},$$

и уравнение отрезка прямой на широкой грани будет:

$$h = \sqrt{2a_1} - \frac{1}{3} \sqrt{2a_1} \cdot \frac{u}{u_1} = \sqrt{2a_1} \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{u}{u_1}\right),$$

Уравнение отрезка прямой на боковой, узкой стороне стержня будет иметь вид:

$$h = \frac{\sqrt{2a_2}}{6} \left(5 - \frac{u}{u_2}\right).$$

Объем мениска найдется по следующему выражению:

$$v = \frac{1}{2} \int_0^{u_1} 4h^2 du + \frac{1}{2} \int_0^{u_2} 4h^2 du = 2 \cdot 2a_1 \int_0^{u_1} \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{u}{u_1}\right)^2 du + 2 \cdot \frac{2a_2}{6} \int_0^{u_2} \left(5 - \frac{u}{u_2}\right)^2 du,$$

или, после интегрирования и преобразований, получим выражение для объема мениска, ограниченного вписанной ломаной линией, в следующем виде:

$$v = \frac{76}{27} a_1 u_1 + \frac{61}{27} a_1 u_2. \quad (9)$$

Равенство (9) дает объем меньший, чем действительный объем. Значение последнего будет находиться между объемом, вычисленным по ф-ле (9) и объемом, вычисленным в предположении, что высота мениска везде одинакова и равна наибольшей, т. е. определенным по формуле

$$v = a_1 \cdot u \cdot \cos \alpha, \quad (10)$$

где u — периметр поперечного сечения стержня спиртомера и $\cos \alpha = 1$.

Беря среднее арифметическое между значениями, найденными по формулам (9) и (10), и принимая во внимание, что для металлического спиртомера $u = 14$ мм, а ширина граней — 5 мм и 2 мм

и, следовательно, $u_1 = 2,5$ мм, а $u_2 = 1$ мм, получим приближенное равенство для объема мениска 1-го предельного спирта:

$$v = \frac{62,9}{54} a_1. \quad (11)$$

Ниже приводятся результаты вычислений объемов менисков, выполненных по ф-лам (7), (8) и (11). При вычислениях были использованы значения капиллярных постоянных a_k водно-спиртовых растворов, приведенные в Инструкции 19—47 для поверки стеклянных ареометров (издание Комитета по делам мер и измерительных приборов), приложение II, соответственно плотностям предельных спиртов, указанным в статье проф. Михельсона «К реформе спиртометрии» [Труды ВНИИМ, вып. II (71), «Измерение массы и времени», 1950]. Высоты менисков для различных предельных спиртов были получены из наблюдений и оказались следующими (см. табл. 2):

1) для спиртов от $\kappa = 2$ до $\kappa = 8$, в которые спиртомер погружается с гирьками «80», «70», «60», . . . , «20», высота мениска — около 0,3 ед. условной шкалы или, при длине шкалы металлического спиртомера в 70 мм, высота $h = 2,1$ мм;

2) для спирта $\kappa = 9$, в который спиртомер погружается с гирькой «10» до верхнего деления шкалы, $h = 0,2$ ед. условной шкалы или $h = 1,4$ мм;

3) для спирта $\kappa = 10$, в который спиртомер погружается с гирькой «0» до верхнего деления шкалы, $h = 0,15$ ед. условной шкалы или 1,05 мм;

4) для спирта $\kappa = 11$ (вода или слабый раствор спирта, близкий по плотности к воде), в который спиртомер погружается с гирькой «0» до нижних участков шкалы, $h = 0,12$ ед. условной шкалы или 0,84 мм.

Объемы мениска различных предельных спиртов получились следующими:

$\kappa=0$	$v_0=0,0365_1$ мл	$\kappa=6$	$v_6=0,0388_3$ мл
$\kappa=1$	$v_1=0,0369_4$ »	$\kappa=7$	$v_7=0,0396_7$ »
$\kappa=2$	$v_2=0,0373_3$ »	$\kappa=8$	$v_8=0,0400_4$ »
$\kappa=3$	$v_3=0,0379_6$ »	$\kappa=9$	$v_9=0,0316_3$ »
$\kappa=4$	$v_4=0,0382_1$ »	$\kappa=10$	$v_{10}=0,0275_3$ »
$\kappa=5$	$v_5=0,0384_7$ »	$\kappa=11$	$v_{11}=0,0277_3$ »

Поправки Δ_k , представляющие собою, как уже упоминалось, разность масс менисков между κ -м и 1-м предельными спиртами, определяются по формуле

$$\Delta_k = v_k \cdot \rho_k - v_1 \cdot \rho_1,$$

где ρ_1 и ρ_k — плотности соответствующих предельных спиртов.

Результаты определения этих поправок следующие:

$\kappa=1$	$\Delta_1=0$	$\kappa=7$	$\Delta_7=0,0086_3$ г
$\kappa=2$	$\Delta_2=0,0031_6$ »	$\kappa=8$	$\Delta_8=0,0097_3$ »
$\kappa=3$	$\Delta_3=0,0043_7$ »	$\kappa=9$	$\Delta_9=0,0025_3$ »
$\kappa=4$	$\Delta_4=0,0052_5$ »	$\kappa=10$	$\Delta_{10}=0,0008_3$ »
$\kappa=5$	$\Delta_5=0,0061_7$ »	$\kappa=11$	$\Delta_{11}=-0,0000_3$ г
$\kappa=6$	$\Delta_6=0,0072_3$ »		

Шкала спиртомера с каждой гирькой охватывает промежуток плотностей растворов спирта между двумя предельными спиртами, для которых вычислены приведенные в таблице поправки Δ . Следовательно, для каждой гирьки имеются две таких поправки к ее массе, соответственно погружению спиртомера до верхнего и до нижнего делений шкалы. Беря среднее арифметическое между ними, получим следующие поправки к массе гирек на капиллярность:

Гирька 90	$\Delta = -0,0015_2$	Гирька 40	$\Delta = -0,0079_6$
80	$\Delta = -0,0037_3$	30	$\Delta = -0,0092_4$
70	$\Delta = -0,0048_2$	20	$\Delta = -0,0061_2$
60	$\Delta = -0,0057_1$	10	$\Delta = -0,0008_5$
50	$\Delta = -0,0067_0$	0	$\Delta = -0,0004_4$

Для получения значения массы самой гирьки эти поправки следует вычесть из табличных значений. Введем эти поправки к массе гирек, предварительно исправленной из учета воздуха внутри спиртомера (см. табл. 1); тогда массы самих гирек будут соответствовать значениям, приведенным в табл. 3.

Таблица 3

Гирька	Спиртомер в 28 г		Спиртомер в 29 г		Спиртомер в 30 г	
	Исправл. масса гирьки в г	Поправка к табличной массе в г	Исправл. масса гирьки в г	Поправка к табличной массе в г	Исправл. масса гирьки в г	Поправка к табличной массе в г
90	0,6576 ₂	-0,0006 ₃	0,6811 ₂	-0,0006 ₃	0,7046 ₂	-0,0006 ₂
80	1,3301 ₄	- 18 ₆	1,3776 ₄	- 18 ₆	1,4252 ₄	- 18 ₄
70	2,0196 ₃	- 19 ₁	2,0918 ₃	- 19 ₁	2,1640 ₃	- 19 ₁
60	2,7256 ₄	- 18 ₂	2,8230 ₄	- 18 ₁	2,9205 ₆	- 17 ₁
50	3,4481 ₆	- 18 ₀	3,5713 ₆	- 18 ₀	3,6945 ₀	- 18 ₀
40	4,1873 ₄	- 20 ₈	4,3370 ₄	- 19 ₆	4,4866 ₄	- 19 ₈
30	4,9437 ₄	- 21 ₄	5,1203 ₄	- 22 ₄	5,2970 ₆	- 21 ₄
20	5,7227 ₃	+ 20 ₂	5,9270 ₂	+ 20 ₂	6,1313 ₂	+ 20 ₂
10	6,5220 ₂	+ 84 ₂	6,7547 ₂	+ 84 ₂	6,9873 ₂	+ 84 ₂
0	7,3359 ₄	+ 108 ₄	7,5976 ₄	+ 109 ₄	7,8592 ₄	+ 109 ₄

4. Масса гирек из латуни нестандартной плотности

До сих пор предполагалось, что гирьки к металлическому спиртомеру рассчитаны для установленной плотности латуни, т. е. для плотности 8,5 г/см³. Табл. 3 показывает, что даже для этой латуни тяжелые гирьки имеют недостаточный вес, так как поправки к табличным весам гирек, по которым оценивается правильность гирьки, положительны.

Однако наиболее часто встречается латунь, имеющая плотность $8,4 \text{ г/см}^3$. Определим, какова должна быть масса гирьки для этой латуни.

Пусть спиртомер, масса которого m , погружен в спирт плотности ρ с гирькой m'_κ плотности δ_1 .

Тогда получим следующее уравнение равновесия:

$$m + m'_\kappa + \Delta_\kappa = \left(v + \frac{m'_\kappa}{\delta_1} \right) \rho.$$

Какова должна быть масса гирьки m''_κ , если ее плотность отлична от δ_1 и равна δ_2 , а спиртомер погружен до прежней точки шкалы в том же спирте плотности ρ ?

Уравнение равновесия в этом случае будет иметь вид:

$$m + m''_\kappa + \Delta_\kappa = \left(v + \frac{m''_\kappa}{\delta_2} \right) \rho.$$

В этих уравнениях объем погруженной части шкалы включен в объем v .

Вычитая из второго уравнения первое, получим:

$$m''_\kappa - m'_\kappa = \left(\frac{m''_\kappa}{\delta_2} - \frac{m'_\kappa}{\delta_1} \right) \rho,$$

откуда

$$m''_\kappa = m'_\kappa \cdot \frac{1 - \frac{\rho}{\delta_1}}{1 - \frac{\rho}{\delta_2}} = c \cdot m'_\kappa.$$

Множитель c будет различен для разных гирек, так как он зависит от плотности спирта. Ниже приводятся значения множителя c для различных предельных спиртов и двух значений плотности латуни: $8,5$ и $8,4 \text{ г/см}^3$.

$\kappa=1$	$c=1,001257$	$\kappa=5$	$c=1,001380$	$\kappa=9$	$c=1,001514$
$\kappa=2$	$c=1,001287$	$\kappa=6$	$c=1,001412$	$\kappa=10$	$c=1,001550$
$\kappa=3$	$c=1,001308$	$\kappa=7$	$c=1,001445$	$\kappa=11$	$c=1,001585$
$\kappa=4$	$c=1,001325$	$\kappa=8$	$c=1,001480$		

Каждой гирьке отвечают два значения множителя c , соответственно погружению спиртомера до верхней и до нижней точек шкалы; следовательно, при определении массы гирьки m'_κ следует взять среднее значение этого множителя.

Так, при $\kappa = 1$ спиртомер с гирькой «90» погружается до верхней точки шкалы в 1-м предельном спирте, которому соответствует множитель $1,001257$. С этой же гирькой «90» спиртомер погружается до нижней точки шкалы во 2-м предельном спирте ($\kappa = 2$), которому отвечает множитель $1,001287$. Среднее значение множителя для

гирьки «90» будет 1,001272. Для гирьки «80» множители будут 1,001287 и 1,001308 и средний 1,001297 и т. д.

Ниже приведены эти средние значения множителей c для всех гирек:

Гирька 90	1,001272	Гирька 40	1,001428
80	1,001297	30	1,001462
70	1,001317	20	1,001496
60	1,001353	10	1,001532
50	1,001396	0	1,001568

Умножая значения массы гирек, приведенные в табл. 3, на эти множители, получим значения массы гирек, которые они должны иметь в том случае, если плотность латуни равна не 8,5, как это принято в табл. 3, а 8,4.

В приводимой ниже табл. 4 даны эти значения массы гирек для спиртомеров в 28, 29 и 30 г и разности между этими значениями масс и значениями, приведенными для тех же спиртомеров в Инструкции для проверки металлических спиртомеров.

Таблица 4

Гирька	Спиртомер в 28 г		Спиртомер в 29 г		Спиртомер в 30 г	
	Масса для латуни 8,4 в г	Поправка к табличной массе в г	Масса для латуни 8,4 в г	Поправка к табличной массе в г	Масса для латуни 8,4 в г	Поправка к табличной массе в г
90	0,6584 ₂	+ 0,0001 ₂	0,6819 ₈	+ 0,0001 ₈	0,7055 ₁	+ 0,0002 ₁
80	1,3318 ₄	— 01 ₄	1,3794 ₂	— 00 ₈	1,4270 ₄	— 00 ₂
70	2,0223 ₄	+ 07 ₄	2,0946 ₄	+ 08 ₄	2,1669 ₄	+ 09 ₄
60	2,7293 ₇	+ 18 ₇	2,8269 ₆	+ 20 ₆	2,9245 ₄	+ 22 ₄
50	3,4529 ₁	+ 30 ₁	3,5762 ₈	+ 31 ₄	3,6996 ₃	+ 33 ₃
40	4,1933 ₃	+ 39 ₁	4,3432 ₃	+ 42 ₃	4,4930 ₄	+ 46 ₄
30	4,9509 ₈	+ 50 ₂	5,1278 ₄	+ 52 ₄	5,3048 ₃	+ 56 ₆
20	5,7312 ₈	+ 105 ₃	5,9358 ₈	+ 108 ₂	6,1404 ₃	+ 111 ₃
10	6,5320 ₁	+ 184 ₁	6,7650 ₄	+ 187 ₁	6,9980 ₂	+ 191 ₂
0	7,3474 ₄	+ 223 ₄	7,6095 ₃	+ 228 ₃	7,8715 ₄	+ 232 ₄

5. Поправки к табличной массе гирек

Согласно табл. 3 и 4, масса гирьки «90» должна быть в первом случае меньше, а во втором — больше своего табличного значения. Однако при установлении шкалы спиртомера, производимом без гирьки (нижняя точка) и с гирькой «90» (верхняя точка), значение массы ее берется из таблицы, т. е. большее (для латуни 8,5) или меньшее (для латуни 8,4), чем это требуется по расчетам.

Хотя это отклонение и незначительно, тем не менее оно компенсируется соответствующим сдвигом шкалы вверх или вниз, в за-

зависимости от того, увеличен или уменьшен вес гирьки. Определим, насколько должна быть смещена шкала спиртомера под влиянием некоторого избытка или недостатка веса гирьки «90» по сравнению с табличными данными.

При погружении спиртомера в спирт плотности ρ имеем уравнение равновесия: $m = v \cdot \rho$, где m и v — масса и объем спиртомера, включая и гирьку.

Если дать гирьке догрузку Δm , то спиртомер погрузится дополнительно на некоторый объем стержня Δv , и уравнение равновесия примет вид:

$$m + \Delta m = \left(v + \frac{\Delta m}{\delta} + \Delta v \right) \cdot \rho,$$

где δ — плотность догрузки.

Решая эти уравнения относительно Δv , получим:

$$\Delta v = \frac{\Delta m \left(1 - \frac{\rho}{\delta} \right)}{\rho}, \quad (12)$$

Обозначим площадь поперечного сечения стержня спиртомера буквой S , а величину смещения точки шкалы под влиянием догрузки через h . Тогда получим:

$$\Delta v = Sh,$$

и из равенства (12)

$$h = \frac{\Delta m \left(1 - \frac{\rho}{\delta} \right)}{S\rho}, \quad (13)$$

где для металлического спиртомера $S = 0,1 \text{ см}^2$. Согласно данным табл. 3, для гирек «90», имеющих плотность $\delta = 8,5$, установка шкалы производится при избыточном весе гирьки против требуемого на величину $0,00068 \text{ г}$. Этот избыток в весе вызывает смещение верхней точки шкалы вверх при $S = 0,1 \text{ см}^2$ и $\rho = 0,811021$ (1-й предельный спирт, в котором спиртомер с гирькой «90» погружается до верхней точки шкалы) на следующую величину:

$$h = \frac{0,00068 \left(1 - \frac{0,811021}{8,5} \right)}{0,1 \cdot 0,811021} = 0,007_3 \text{ см.}$$

Но с гирькой «90» спиртомер погружается еще и во 2-м предельном спирте, плотность которого $0,828227$, до нижней точки шкалы. Определяя смещение h для этой точки, найдем:

$$h = \frac{0,00068 \left(1 - \frac{0,828227}{8,5} \right)}{0,1 \cdot 0,828227} = 0,007_4 \text{ см.}$$

Среднее смещение всей шкалы вверх должно быть на величину 0,007₄ см или приблизительно на 0,1 мм.

Для того чтобы это смещение шкалы вверх не отразилось на показаниях спиртомера с другими гирьками, последние должны быть увеличены в весе соответственно указанному смещению.

Из этой же формулы (13) следует, что величина догрузок Δm к гирькам, в зависимости от смещения h , определяется из равенства

$$\Delta m = \frac{S \cdot \rho}{1 - \frac{\rho}{\delta}} \cdot h. \quad (14)$$

Определяя таким путем эти догрузки для различных гирек, найдем следующие величины:

Гирька	Догрузка	Гирька	Догрузка
80	0,0007 ₀ г	30	0,0007 ₀ г
70	0,0007 ₂ »	20	0,0008 ₁ »
60	0,0007 ₃ »	10	0,0008 ₂ »
50	0,0007 ₅ »	0	0,0008 ₂ »
40	0,0007 ₇ »		

Окончательно поправки к табличным весам гирек, плотность которых равна 8,5, будут соответствовать данным табл. 5.

Таблица 5

Гирька	Поправка к табличной массе в г		
	Спиртомер в 28 г	Спиртомер в 29 г	Спиртомер в 30 г
90	0	0	0
80	-0,0012	-0,0012	-0,0012
70	-0,0012	-0,0012	-0,0012
60	-0,0011	-0,0011	-0,0010
50	-0,0010	-0,0010	-0,0010
40	-0,0013	-0,0012	-0,0012
30	-0,0013	-0,0014	-0,0013
20	+0,0028	+0,0028	+0,0028
10	+0,0092	+0,0092	+0,0092
0	+0,0116	+0,0117	+0,0117

Подобным же образом из табл. 4 находим, что для гирек «90», плотность которых равна 8,4, установка шкал металлического спиртомера производится при недостающем весе гирек «90» на величины 0,0001₂; 0,0001₃ и 0,0002₁, соответственно весам спирто-

меров в 28, 29 и 30 г. Это обстоятельство вызывает смещение верхних точек шкалы вниз на величины

$$h_1 = \frac{0,00015 \left(1 - \frac{0,811021}{8,4}\right)}{0,1 - 0,811021} \approx 0,02 \text{ мм.}$$

$$h_2 = \frac{0,00018 \left(1 - \frac{0,811021}{8,4}\right)}{0,1 - 0,811021} \approx 0,02 \text{ мм.}$$

$$h_3 = \frac{0,00021 \left(1 - \frac{0,811021}{8,4}\right)}{0,1 - 0,811021} \approx 0,02 \text{ мм.}$$

Для нижней точки шкалы величины смещений будут соответственно равны:

$$h'_1 = \frac{0,00015 \left(1 - \frac{0,828227}{8,4}\right)}{0,1 - 0,828227} \approx 0,02 \text{ мм.}$$

$$h'_2 = \frac{0,00018 \left(1 - \frac{0,828227}{8,4}\right)}{0,1 - 0,828227} \approx 0,02 \text{ мм.}$$

$$h'_3 = \frac{0,00021 \left(1 - \frac{0,828227}{8,4}\right)}{0,1 - 0,828227} \approx 0,02 \text{ мм.}$$

Следовательно, смещение шкалы вниз будет равно 0,02 мм, в результате чего потребуются уменьшить массы других гирек на величины Δm , определяемые по ф-ле (14); значения их приводятся ниже:

Гирька	Догрузка	Гирька	Догрузка
80	0,0001 _г	30	0,0002 _г
70	0,0001 _г	20	0,0002 _г
60	0,0001 _г	10	0,0002 _г
50	0,0001 _г	0	0,0002 _г
40	0,0002 _г		

Окончательные значения поправок к табличной массе гирек, плотность которых равна 8,4, приведены в табл. 6.

Результаты исследования, приведенные в табл. 6, равно как и результаты, приведенные в табл. 5, свидетельствуют о том, что тяжелые гирьки к металлическим спиртомерам должны иметь больший вес, нежели приведенный в таблице весов гирек к металлическим спиртомерам, ГОСТ 3638—47. Это увеличение веса должно быть тем больше, чем меньше плотность латуни, из которой

Таблица 6

Гирька	Поправка к табличной массе в г		
	Спиртомер в 28 г	Спиртомер в 29 г	Спиртомер в 30 г
90	0	0	0
80	-0,0003	-0,0003	-0,0002
70	+0,0005	+0,0006	+0,0007
60	+0,0017	+0,0018	+0,0020
50	+0,0028	+0,0030	+0,0031
40	+0,0037	+0,0040	+0,0044
30	+0,0049	+0,0050	+0,0054
20	+0,0104	+0,0107	+0,0110
10	+0,0182	+0,0185	+0,0189
0	+0,0221	+0,0226	+0,0230

изготовлены гирьки. Из этих же таблиц следует, что существует такая промежуточная плотность латуни между плотностями 8,4 и 8,5, для которой веса гирек «90»—«30» будут близки к табличным и даже могут с ними совпадать. Если же гирьки имеют плотность 8,4 г/см³, то почти все они требуют некоторой догрузки, величина которой зависит от массы гирьки. Это вполне согласуется с экспериментальными данными, так как при сличении металлических спиртомеров со стеклянными поправки к их показаниям, как правило, оказываются положительными.

Действительно, при проверке партии металлических спиртомеров, изготовленных Ленинградской спиртомерной мастерской и забракованных Ленинградским управлением уполномоченного «Коммерприбор» ввиду того, что плотность гирек оказалась около 8,4 г/см³ вместо установленной ГОСТ 3638—47 8,5 г/см³, выяснилось, что поправки к показаниям металлических спиртомеров, определенные в результате сличения их с образцовыми стеклянными спиртомерами, почти все положительны, за исключением гирек «80» и, иногда, «70».

Поправки к спиртомерам, нагруженным гирьками «70» или «80», как это следует из табл. 6, могут быть и отрицательными, ввиду ничтожно малой догрузки, которая к тому же для гирьки «80» — отрицательна.

Однако эти поправки для гирек «90»—«40» оказываются в пределах установленного допуска, т. е. обычно не превышают 0,1 ед. условной шкалы, в то время как поправки к показаниям металлических спиртомеров для гирек «20», «10», «0» и иногда «30», как уже упоминалось вначале, превышают установленные допуски. Поэтому для приведения показаний металлических спиртомеров в со-

ответствие с показаниями стеклянных необходимо увеличить веса гирек «30», «20», «10» и «0».

Ориентировочные догрузки к ним приведены в табл. 5 и 6.

Исследования спиртомеров с утяжеленными против табличных весов гирьками¹ (на указанные выше догрузки) и с гирьками обычного веса дали результаты, помещенные в табл. 7.

Таблица 7

Гирьки	Спиртомер с утяжеленными гирьками (цена деления 0,1)		Спиртомер с обычными гирьками (цена деления 0,1)	
	показания	поправки в деленных условн. шкалы	показания	поправки в деленных условн. шкалы
30	38,9 ₀ 30,1 ₀	$\pm 0,0_0$ $+0,0_0$	39,2 ₀ 30,8 ₀	$+0,1_0$ $+0,0_0$
20	28,7 ₀ 20,8 ₀	$-0,0_4$ $+0,0_4$	28,8 ₀ 21,0 ₀	$+0,1_4$ $+0,1_4$
10	19,0 ₀ 11,5 ₀	$-0,0_4$ $-0,0_2$	18,9 ₀ 10,5 ₀	$+0,2_0$ $+0,1_4$
0	8,6 ₀ 1,9 ₀	$-0,1_0$ $-0,0_2$	8,5 ₀ 1,6 ₀	$+0,1_0$ $+0,3_0$

Следует иметь в виду, что допустимая погрешность в показаниях спиртомера с гирьками «90»—«20» установлена равной $\pm 0,1$ ед. условной шкалы, а с гирьками «10» и «0» $\pm 0,2$ ед. условной шкалы.

Приведенные результаты показывают, что в то время как в первом случае все поправки удовлетворяют допуску, поправки во втором случае почти все превышают установленный допуск и все положительны, что свидетельствует о недопоказании спиртомера в силу недостаточного веса гирек.

6. Вопросы поверки металлических спиртомеров

Ввиду того, что при весовом способе поверки гирек металлического спиртомера отклонение плотности латуни от стандартной оказывается неустранимым, а также ввиду того, что этот способ требует соблюдения жесткого допуска на плотность латуни, что сильно

¹ К гирьке «10» и особенно к гирьке «0» были даны несколько больше, чем указано в табл. 6, догрузки: 20 и 35 мг, что в дальнейшем было изменено.

осложняет процесс изготовления этих приборов, удобнее отказаться от предъявления жестких требований к плотности латуни, а поверку и окончательную подгонку гирек производить путем непосредственного сличения показаний металлического спиртомера с образцовым стеклянным. Этот способ подгонки и поверки металлических спиртомеров и гирек к ним даст возможность освободить изготовителя от необходимости соблюдения установленного жесткого допуска на плотность латуни и, вместе с тем, приведет к единообразию в показаниях стеклянных и металлических спиртомеров.

Так как непосредственная поверка рабочих металлических спиртомеров по образцовым стеклянным неудобна вследствие того, что шкала металлического спиртомера — условная, и для сопоставления шкал этих двух приборов требуется применение таблиц к показаниям спиртомеров, связанное с точным поддержанием и измерением температуры раствора, то этот способ следует сохранить только для поверки образцовых металлических спиртомеров II разряда, по которым уже и проводить поверку рабочих спиртомеров.

Сличение рабочих металлических спиртомеров с металлическими образцовыми, при одновременном погружении их в раствор с одноименными гирьками, не требует создания особых температурных условий или точного определения температуры, также освободит наблюдателя от необходимости применения указанных выше таблиц.

Поверка будет состоять в обычном сравнении показаний металлического спиртомера с показаниями образцового.

Вследствие того, что массы гирек определены как средние для верхних и нижних точек шкалы, поправки на концах шкалы для одной и той же гирьки могут быть неодинаковыми, а иногда могут иметь даже разные знаки. Указанное обстоятельство должно быть учтено при поверке; спиртомер с каждой гирькой должен быть поверен на концах шкалы.

7. Другие источники погрешностей

В заключение следует указать еще две причины, вызывающие иногда погрешности в показаниях спиртомеров.

Существующие металлические спиртомеры имеют шкалу, нанесенную на двух широких сторонах стержня. При сличении спиртомеров, требующем точного определения показаний приборов, а также при определении поправок к ним подобное устройство шкалы приводит к некоторым расхождениям, так как не всегда штрихи двух шкал, нанесенных на противоположных сторонах стержня спиртомера, совпадают. Для уточнения показаний металлических спиртомеров, особенно образцовых, необходимо иметь одну шкалу, нанесенную на одной из граней стержня.

Второе обстоятельство, которое весьма существенно сказывается

на точности показаний металлического спиртомера и на однообразии смачиваемости стержня жидкостью, это глубина и толщина штрихов, цифр и надписей шкалы. На средних и особенно на слабых крепостях спирта величина погружения спиртомера зависит от положения мениска по отношению к штрихам и цифрам, т. е. от того, подал ли штрих в мениск при погружении спиртомера в раствор или не попал. Для устранения связанных с этим случайных погрешностей было бы желательно, а для образцовых и необходимо, уменьшить толщину и глубину гравировки шкал до толщины контрольных штрихов, имеющих на каждом спиртомере около крайних точек шкалы.

НОВЫЙ ЭТАЛОННЫЙ НАБОР ДЕНСИМЕТРОВ

Введение

В 1921 году, после ликвидации Технического комитета Главного управления неокладных сборов и казенной продажи питей, на Главную Палату мер и весов было возложено установление эталонных наборов ареометров и поверка всякого рода рабочих приборов, служащих для измерения плотности и концентрации жидких тел.

В настоящее время в области ареометрических измерений для осуществления и поддержания единства измерения плотности и концентрации жидких тел с наивысшей точностью служат рабочие эталоны, которые осуществлены и хранятся во ВНИИМ. Они составляют три набора:

1) рабочий эталонный набор денсиметров, состоящий из 19 ареометров, обнимающий всю шкалу плотностей от 0,650 до 2,000 г/мл с наименьшими подразделениями, соответствующими изменению плотности на 0,0005 г/мл;

2) рабочий эталонный набор сахарометров, состоящий из 6 ареометров, обнимающий всю шкалу сахарных растворов в весовых процентах сахара от 0 до 90 с наименьшим подразделением в 0,1%;

3) рабочий эталонный набор стеклянных спиртомеров, состоящий из 10 ареометров, обнимающий всю шкалу водно-спиртовых растворов в объемных процентах спирта от 0 до 100 с наименьшим подразделением в 0,1%.

Развитие народного хозяйства СССР делает необходимым все более и более повышать точность измерений в различных отраслях, в частности, все чаще стали предъявляться повышенные требования со стороны спиртовой и химической промышленности к измерению плотности и концентрации жидких тел. Помимо этого, практика работы с эталонами обнаружила неудобства существования нескольких типов эталонных ареометров. Все это явилось причиной того, что Ареометрическая лаборатория ВНИИМ поставила себе целью повысить точность основных эталонных наборов денсиметров, воспроизводящих единицы плотностей жидких тел при температуре 20°C, и устранить практические неудобства различных типов образцовых ареометров I разряда при

сличении их с различными эталонными приборами. Для разрешения этой задачи был спроектирован, изготовлен и исследован новый эталонный набор денсиметров повышенной точности.

Проект этих денсиметров был разработан проф. Н. С. Михельсоном в 1947 г.; на основании этого проекта был дан заказ заводу на изготовление стеклянных основ денсиметров. Размеры и число их приведены в табл. 1.

Таблица 1



№	Диаметр тела мм	Длина тела мм	Диаметр стержня мм	Длина стержня мм	Число приборов
1	32	160	4,2	210	16
2	33	165	4,0	210	16
3	34	170	4,0	210	16
4	35	170	4,0	210	12
5	35	180	4,0	210	12
6	36	180	4,0	210	12
7	37	180	4,0	210	12
8	38	185	4,0	210	16
9	39	190	4,0	210	64
10	36	180	4,6	210	16
11	37	180	4,6	210	16
12	38	190	4,6	210	16
13	39	190	4,6	210	20
Допуск	$\pm 1,0$	$\pm 15,0$	$\pm 0,2$	$\pm 15,0$	Всего 240

Дальнейшая работа по окончательному оформлению денсиметров производилась на заводе «Эталон» в творческом содружестве работников Ареометрической лаборатории ВНИИМ и работников завода. В результате были созданы три набора эталонных денсиметров повышенной точности по 69 денсиметров в каждом наборе (табл. 2).

1. Эталонный набор денсиметров

Денсиметры, входящие в эталонный набор, представляют собой стеклянные ареометры с постоянным весом. В теле каждого денсиметра помещен бумажный ярлычок с надписью: «Эталонный денсиметр. Темп. 20°C. ВНИИМ 1948 г.». Материалом для балласта служит дробь, залитая смолой.

Таблица 2

№ денсиметров	Пределы шкалы в г/мл	№ денсиметров	Пределы шкалы в г/мл
1, 2, 3,	0,6495—0,6605	106, 107, 108,	1,1095—1,1205
4, 5, 6,	0,6695—0,6805	109, 110, 111,	1,1295—1,1405
7, 8, 9,	0,6895—0,7005	112, 113, 114,	1,1495—1,1605
10, 11, 12,	0,7095—0,7205	115, 116, 117,	1,1695—1,1805
13, 14, 15,	0,7295—0,7405	118, 119, 120,	1,1895—1,2005
16, 17, 18,	0,7495—0,7605	121, 122, 123,	1,2095—1,2200
19, 20, 21,	0,7695—0,7805	124, 125, 126,	1,2295—1,2405
22, 23, 24,	0,7895—0,8005	127, 128, 129,	1,2495—1,2605
25, 26, 27,	0,7995—0,8105	130, 131, 132,	1,2695—1,2805
28, 29, 30,	0,8095—0,8205	133, 134, 135,	1,2895—1,3005
31, 32, 33,	0,8195—0,8305	136, 137, 138,	1,3005—1,3205
34, 35, 36,	0,8295—0,8395	139, 140, 141,	1,3295—1,3405
37, 38, 39,	0,8395—0,8505	142, 143, 144,	1,3495—1,3605
40, 41, 42,	0,8495—0,8605	145, 146, 147,	1,3695—1,3806
43, 44, 45,	0,8595—0,8705	148, 149, 150,	1,3895—1,4005
46, 47, 48,	0,8695—0,8805	151, 152, 153,	1,4095—1,4205
49, 50, 51,	0,8795—0,8905	154, 155, 156,	1,4295—1,4405
52, 53, 54,	0,8895—0,9005	157, 158, 159,	1,4495—1,4605
55, 56, 57,	0,8995—0,9105	160, 161, 162,	1,4695—1,4805
58, 59, 60,	0,9095—0,9205	163, 164, 165,	1,4895—1,5005
61, 62, 63,	0,9195—0,9305	166, 167, 168,	1,4990—1,5210
64, 65, 66,	0,9295—0,9405	169, 170, 171,	1,5290—1,5510
67, 68, 69,	0,9395—0,9505	172, 173, 174,	1,5590—1,5810
70, 71, 72,	0,9495—0,9605	175, 176, 177,	1,5890—1,6110
73, 74, 75,	0,9595—0,9705	178, 179, 180,	1,6190—1,6410
76, 77, 78,	0,9695—0,9805	181, 182, 183,	1,6490—1,6710
79, 80, 81,	0,9795—0,9905	184, 185, 186,	1,6790—1,7010
82, 83, 84,	0,9895—1,0005	187, 188, 189,	1,7090—1,7310
85, 86, 87,	0,9995—1,0105	190, 191, 192,	1,7390—1,7610
88, 89, 90,	1,0095—1,0205	193, 194, 195,	1,7690—1,7910
91, 92, 93,	1,0195—1,0305	196, 197, 198,	1,7990—1,8210
94, 95, 96,	1,0295—1,0405	199, 200, 201,	1,8290—1,8510
97, 98, 99,	1,0495—1,0605	2196, 2197, 2204	1,8380—1,9220
100, 101, 102,	1,0695—1,0805	2208, 2212, 2213	1,9180—2,0020
103, 104, 105,	1,0895—1,1005		

Из табл. 2 видно, что ареометрическая шкала от 0,650 до 1,500 г/мл охватывается 55 денсиметрами. Шкала каждого денсиметра разделена на 100 частей, т. е. одно наименьшее деление соответствует изменению плотности на 0,0001 г/мл.

Дальнейшая часть ареометрической шкалы от 1,500 до 1,850 г/мл охватывается 12 денсиметрами с наименьшими подразделениями шкал, отвечающими изменению плотности на 0,0002 г/мл.

Наконец, последние два денсиметра охватывают шкалу плотностей от 1,840 до 2,000 г/мл и одно наименьшее деление ареометрической шкалы соответствует изменению плотности на 0,0005 г/мл.

Точность показаний нового эталонного набора денсиметров по сравнению со старыми эталонами:

- а) на участке от 0,6500 до 1,5000 г/мл увеличена в 5 раз;
- б) от 1,500 до 1,8500 г/мл увеличена в 2,5 раза;
- в) от 1,8400 до 2,0000 г/мл сохранена неизменной.

Как уже было сказано, создание таких приборов имело целью повысить точность измерения плотностей преимущественно тех жидкостей, для которых точный учет плотности является наиболее важным. К таким жидкостям относятся нефтяные, водно-спиртовые и сахарные растворы, а также морская вода, т. е. жидкости, плотность которых заключена между 0,650 и 1,500 г/мл. Для этих жидкостей точность показаний денсиметров повышена в 5 раз. Точность показаний денсиметров для определения плотности более тяжелых жидкостей увеличена лишь в 2,5 раза и, наконец, точность показаний прибора на промежутке от 1,840 до 2,000 г/мл оставлена прежней, так как эти жидкости на данном этапе развития народного хозяйства не требуют большей точности при определении плотности.

После изготовления денсиметров приступили к их исследованию в целях получения значений поправок и установления наибольшей погрешности, определяющей действительную точность полученных поправок к шкале денсиметров.

Исследование денсиметров сводилось к следующим четырем операциям:

- 1) приготовление раствора определенной плотности;
- 2) определение плотности раствора исследуемыми денсиметрами;
- 3) определение плотности раствора гидростатическим взвешиванием;
- 4) вывод поправок к исследуемым денсиметрам.

Ввиду того, что новый эталонный набор денсиметров предназначен для проверки всех видов образцовых ареометров I разряда, которыми снабжены государственные институты мер и измерительных приборов для обеспечения единства измерения на территории республик, исследование денсиметров на протяжении всей шкалы нами производилось в пяти различных жидкостях, а именно:

11 денсиметров на промежутке шкалы плотностей 0,650 — 0,860 г/мл — в 32 различных нефтяных смесях;

19 денсиметров на участке шкалы плотностей 0,811—1,000 г/мл—
в 95 различных водно-спиртовых растворах;
9 денсиметров на участке шкалы плотностей 0,950—1,040 г/мл—
в 59 различных серно-вишневых растворах;
39 денсиметров на участке шкалы плотностей 1,000—1,840 г/мл—
в 117 различных водных растворах серной кислоты;
2 денсиметра на участке шкалы 1,840—2,000 г/мл — в 22 раз-
личных водных растворах иодистой ртути и иодистого калия.

2. Приготовление растворов

Приготовление раствора требуемой плотности для той точки шкалы денсиметра, которая была назначена к исследованию, производилась накануне самого исследования.

После того как была определена плотность раствора гидростатическим взвешиванием и посредством трех денсиметров, этот же раствор служил для дальнейших исследований. К нему прибавлялось лишь более легкое или более тяжелое исходное вещество для получения нового раствора требуемой плотности. Всего было составлено 325 различных растворов.

Для поддержания требуемой чистоты раствора последний подвергался фильтрации после исследования каждой точки шкалы денсиметра.

3. Определение плотности раствора ареометрическим способом

Определение плотности приготовленного накануне раствора ареометрическим способом производилось последовательно тремя денсиметрами два раза: перед и после гидростатического взвешивания. Для этой цели денсиметры поочередно погружались в раствор. Ввиду того, что показания денсиметра существенно зависят от чистоты его поверхности, перед погружением в раствор денсиметры промывались или в спирте-ректификате или в авиационном бензине. Подготовленный таким образом денсиметр медленно погружался в раствор. Не доведя денсиметр на 2—3 мм до поверяемого штриха шкалы, ему предоставляли свободно опускаться под действием собственного веса. Такой прием обеспечивал правильное смачивание жидкостью стержня денсиметра, а следовательно, и правильное образование мениска.

Спустя 5 мин. после того, как денсиметр был погружен в раствор, производили пять отсчетов по ареометрической шкале и записывали среднее значение показаний денсиметра из пяти отсчетов. Причем после каждого отсчета денсиметр приподнимали из жидкости на 20—30 мм и он вновь медленно погружался в раствор. Отсчет вели до одной десятой доли наименьшего деления шкалы, что соответствует изменению плотности на 0,00001 г/мл.

После записи среднего значения показаний денсиметр медленно вынимали из жидкости, промывали в бензине, если он был погружен в нефтяную смесь, или в проточной воде, если он погружался

Таблица 3

Наименование раствора	До или после гравитационного взвешивания	№ измерения п.п.	Отсчет по шкале денсиметра	Среднее значение отсчета	V_i	$V_i^2 \times 10^{10}$	σ
Водно-спиртовой раствор	До	1	0,81163	0,81163	0,00000	0	$\pm 0,000008$
		2	0,81164		+0,00001	1	
		3	0,81162		-0,00001	1	
		4	0,81163		0,00000	0	
		5	0,81163		0,00000	0	
	После	1	0,81164		+0,00001	1	
		2	0,81163		-0,00001	1	
		3	0,81163		0,00000	0	
		4	0,81164		+0,00001	1	
		5	0,81162		-0,00001	1	
Нефтяная смесь	До	1	0,85009	0,85010	-0,00001	1	$\pm 0,000009$
		2	0,85009		-0,00001	1	
		3	0,85011		+0,00001	1	
		4	0,85011		+0,00001	1	
		5	0,85010		0,00000	0	
	После	1	0,85009		-0,00001	1	
		2	0,85011		+0,00001	1	
		3	0,85009		-0,00001	1	
		4	0,85010		0,00000	0	
		5	0,85011		+0,00001	1	
Водный раствор серной кислоты	До	1	1,00029	1,00030	-0,00001	1	$\pm 0,000008$
		2	1,00031		+0,00001	1	
		3	1,00030		0,00000	0	
		4	1,00031		+0,00001	1	
		5	1,00029		-0,00001	1	
	После	1	1,00029		-0,00001	1	
		2	1,00030		0,00000	0	
		3	1,00030		0,00000	0	
		4	1,00031		+0,00001	1	
		5	1,00030		0,00000	0	

в кислотный раствор. Промытый денсиметр вытирали чистым полотенцем.

Аналогичным образом данным прибором определяли плотность раствора после гидростатического взвешивания.

Необходимо отметить, что в большинстве случаев показания, снятые при пятикратном наблюдении одного и того же денсиметра на одной и той же точке шкалы, совпадали между собой или отличались на две-три десятых наименьшего деления шкалы денсиметра.

В табл. 3 приведено несколько примеров.

Из табл. 3 следует, что наибольшая возможная погрешность, полученная в результате определения плотности ареометрическим способом, для различных жидкостей оценена величиной порядка не более чем 0,00001 г/мл. Эта погрешность (интерполированная на глаз) равна предельной точности отсчета по ареометрической шкале денсиметра.

Отсчет температуры раствора производился в момент погружения денсиметра и в момент отсчета по его шкале, причем отступление от температуры 20°C больше $\pm 0,01^\circ\text{C}$ не допускалось.

Поддержание постоянства температуры раствора было осуществлено при помощи термостата и термостатной ванны, которые резиновым шлангом были соединены друг с другом и представляли замкнутую систему.

Дистиллированная вода постоянной температуры перекачивалась из термостата при помощи насоса в ванну, в которой находился цилиндр с исследуемым раствором, и из нее обратно в термостат. Перекачка шла со скоростью 7 л в минуту.

4. Определение плотности раствора гидростатическим взвешиванием

Непосредственно после определения плотности раствора ареометрическим способом производилось измерение плотности его гидростатическим взвешиванием.

Цилиндр с раствором тотчас же после погружения поплавок перемещался по рельсам, ведущим в шкаф под весы.

Перед погружением в раствор поплавок промывали в спирте-ректификате или в бензине, затем обтирали тонким льняным полотенцем и просушивали на этажерке в течение 20 мин. Подготовленный таким образом поплавок медленно погружался в цилиндр на платиновом подвесе (провода диаметром 0,15 мм) на такую глубину, чтобы он охватывался средней частью столба жидкости и чтобы при подвешивании под чашку весов приходилось не поднимать поплавок из раствора, а несколько опускать его. Это делалось с целью устранить смачивание излишней части платинового подвеса. Для лучшего смачивания подвес заблаговременно прокаливали в пламени спиртовой горелки.

Температуру раствора определяли в начале и в конце взвешива-

ния, причем средняя рабочая температура 20°C с погрешностью $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ оставалась неизменной в течение всего опыта.

После каждого взвешивания поплавок в растворе производили взвешивание платинового подвеса в этом же растворе; при этом поплавок оставляли на дне цилиндра для того, чтобы сохранить ту же высоту уровня раствора, что и при взвешивании поплавка.

Все изложенные приемы гидростатического взвешивания имели целью исключить промахи, которые могут возникать вследствие неправильных действий наблюдателя.

Плотность раствора при гидростатическом взвешивании вычисляли на основании следующего уравнения:

$$\rho_{20} = \frac{M_1 - M_2 \left(1 - \frac{e}{\rho}\right)}{V_{20}}, \quad (1)$$

где M_1 — масса поплавка;

M_2 — масса поплавка при взвешивании в жидкости латунными гирями;

e — плотность воздуха при температуре, давлении и влажности во время взвешивания поплавка;

ρ — плотность латуни;

V_{20} — объем поплавка при температуре 20°C .

Измерения дали следующие значения для M_1 , $M_2 \left(1 - \frac{e}{\rho}\right)$ и V_{20} :

$$M_1 = 181,29780 \pm 0,00005 \text{ г};$$

$$M_2 \left(1 - \frac{e}{\rho}\right) = 105,97159 \pm 0,00014 \text{ г};$$

$$V_{20} = 72,75060 \pm 1,4 \times 10^{-4} \text{ мл.}$$

Для оценки результата косвенного измерения плотности раствора методом гидростатического взвешивания мы пользовались вероятной погрешностью результата, которая выражается следующей формулой:

$$R = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_{20}}{\partial M_1} R_1\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_{20}}{\partial M_2} R_2\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_{20}}{\partial V_{20}} R_3\right)^2}. \quad (2)$$

Величины, входящие в эту формулу, имеют следующие значения:

$$\frac{\partial \rho_{20}}{\partial M_1} R_1 = \frac{0,00005}{72,7506} \approx 0,0000007 \text{ г/мл};$$

$$\frac{\partial \rho_{20}}{\partial M_2} R_2 = \frac{0,00014}{72,7506} \approx 0,0000019 \text{ г/мл};$$

$$\frac{\partial \rho_{20}}{\partial V_{20}} R_3 \approx 0,0000026 \text{ г/мл.}$$

Подставляя эти значения и произведя необходимые действия, получаем:

$$R \approx \pm 0,0000032 \text{ г/мл.}$$

В качестве примера приводим данные из протоколов наблюдений за 1951 г. по определению гидростатическим взвешиванием плотности слабого водного раствора серной кислоты.

Первое взвешивание поплавок в растворе:

Раствор	Температура раствора 20°,00 С
Поплавок № 18	Температура весов 20°,80 С
Тара 106,6154 г	Давление 780,60 мм рт. ст.
Вес 106,63797 г	Психрометр 20°,8—10°,9
Подвес 0,65092 г	

Произведя обработку результатов наблюдения, получаем значение плотности:

$$\rho_{20} = 1,035405 \text{ г/мл.}$$

Второе взвешивание поплавок в том же растворе:

Раствор	Температура раствора 20°,00 С
Поплавок № 13	Температура весов 20°,85 С
Тара 106,6154 г	Давление 781,3 мм рт.ст.
Вес 106,63803 г	Психрометр 20°,8—10°,9

Произведя аналогичную обработку результатов наблюдения, получаем значение плотности:

$$\rho_{20} = 1,035403 \text{ г/мл.}$$

Двукратное исследование плотности одного и того же раствора гидростатическим взвешиванием показывает, что полученные плотности отличаются друг от друга лишь в шестом десятичном знаке.

Переходя от вероятной погрешности к предельной (наибольшей возможной) погрешности результата, получаем:

$$\lambda_{\text{lim}} = 0,0000032 \times 4,5 = 0,000013$$

и окончательная плотность раствора

$$\rho_{20} = 1,035404 \pm 0,000013 \text{ г/мл.}$$

5. Вывод поправок к денсиметрам

Вывод поправок к новым эталонным денсиметрам произведен путем определения разности между средним значением плотности одного и того же раствора, полученным ареометрическим способом, и средним значением, найденным методом гидростатического взвешивания при одной и той же температуре 20° С. Средняя плотность раствора, определенная гидростатическим взвешиванием, была

выведена из двукратного исследования, а средняя плотность того же раствора, определенная ареометрическим способом, была получена из четырехкратного исследования ее, причем, как уже было сказано выше, каждое ареометрическое исследование плотности раствора сопровождалось пятикратным погружением денсиметра.

В результате всего исследования к новому эталонному набору денсиметров были получены 675 значений поправок.

При этом удалось установить, что наибольшую погрешность, определяющую действительную точность полученных поправок к шкале денсиметров, следует оценивать:

а) на участке шкалы плотностей от 0,650 до 1,500 г/мл — величиной порядка $1,5 \times 10^{-5}$ г/мл;

б) на участке от 1,500 до 1,840 г/мл — величиной порядка $3,2 \times 10^{-5}$ г/мл;

в) на участке от 1,840 до 2,000 г/мл — величиной порядка $6,4 \times 10^{-5}$ г/мл.

Выводы

На основании проведенной работы удалось повысить точность в эталонном хозяйстве, воспроизводящем единицы плотностей жидких тел при температуре 20°C, и устранить многообразие типов эталонных ареометров, сведя их к одному типу — эталонному денсиметру.

Ареометры такой точности впервые вводятся в область измерения плотности жидких тел для шкалы плотностей от 0,650 до 1,840 г/мл.

ЛИТЕРАТУРА

- Кузнецов И. И., Временник Главной Палаты мер и весов, выд. (15), 1929.
Турубинер И. К. и Иппинг М. Д., Техника измерения плотности, Машгиз, 1949.

МИКРОМАНОМЕТР С КОНЦЕВОЙ МЕРОЙ ДЛИНЫ

Рассматриваемый микроманометр с концевой мерой длины предназначен для проверки микроманометров типов «ММ» завода «Эталон», «АЛД», «Прайдля» и других. Верхний предел измерений — 400 мм вод. ст.

Микроманометр изготовлен заводом «Эталон» по нашим эскизам. В основу прибора положен принцип измерения разности уровней воды в двух сообщающихся сосудах.

Устройство прибора изображено на рис. 1. Сосуд избыточного давления 1 укреплен на стойке 15, сосуд меньшего давления 14 имеет возможность перемещаться вертикально по направляющим 13. Сосуды соединены резиновой трубкой 7. Направляющие заделаны в плиту 9, которая привинчивается к рабочему столу. Подвижной сосуд прикреплен четырьмя винтами к траверзе 11. Перемещение сосуда производит оператор руками с помощью втулок 12.

К плите 9 и траверзе 11 привинчены стальные закаленные пластины 8, полированные с одной стороны.

Работа с прибором производится в следующем порядке. Прибор устанавливается на нуль, для чего подвижной сосуд опускается до соприкосновения пластины 8. Гайкой 16 устанавливают сосуд 1 так, чтобы уровень воды в нем занял вполне определенное положение. Это положение фиксируется оптической системой, состоящей из металлической нити 5, плоскопараллельного стекла 4, зеркала 3, микроскопа 2 и матового стекла 6.

В микроскопе перед окуляром установлена стеклянная пластинка, на которой нанесены два параллельные штриха — биссектор.

Оптическая система настраивается так, чтобы в микроскопе было видно отражение нити от поверхности воды (показано на схеме пунктиром). Вращением гайки 16 добиваются такого положения уровня воды относительно нити 5, при котором рассматриваемое в микроскоп отражение нити окажется в середине биссектора. После установки прибора на нуль левый сосуд поднимается, и между пластинками 8 вставляется концевая мера длины 10, соответствующая нужному (поверочному) давлению. При давлении в правом сосуде, отвечающем высоте столба воды, равной кон-

цевой мере длины, уровень воды в правом сосуде будет занимать то же положение, что и при равенстве давлений в обоих сосудах, т. е. отражение нити от поверхности воды будет видно в микроскопе в середине биссектора. При этом разность уровней воды в обоих сосудах равна концевой мере длины. (Предполагается, что влияние изменения объема резиновой трубки от деформации — ничтожно.)

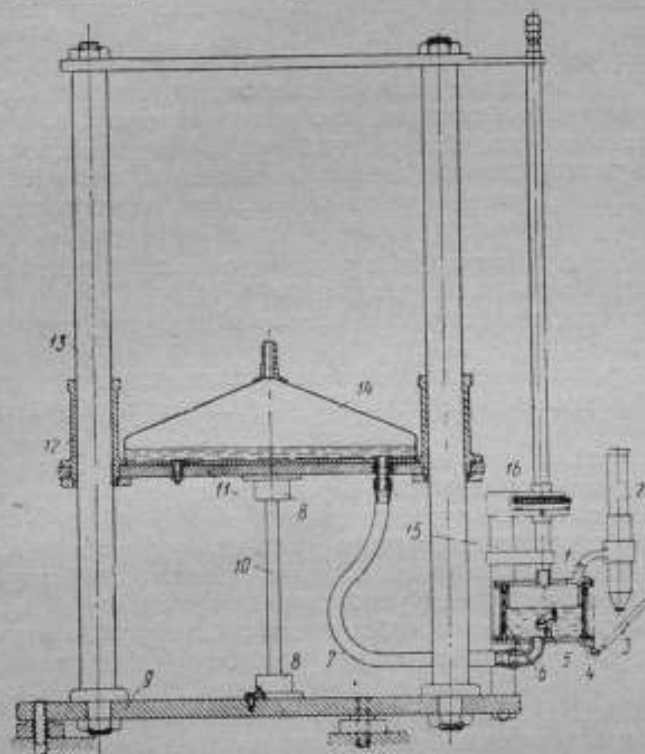


Рис. 1. Схема прибора.

1 — сосуд избыточного давления; 2 — микроскоп; 3 — зеркало; 4 — плоскопараллельное стекло; 5 — металлическая нить; 6 — матовое стекло; 7 — резиновая трубка; 8 — пластины; 9 — плита; 10 — концевая мера длины; 11 — траверза; 12 — ступка; 13 — направляющие; 14 — сосуд меньшего давления; 15 — стойка; 16 — гайка.

Основные размеры прибора: общая высота — 600 мм, расстояние между осями направляющих — 300 мм, диаметр подвижного сосуда — 250 мм, внутренний диаметр неподвижного сосуда — 45 мм, длина (между стеклами 6 и 4) — 65 мм.

С помощью данного прибора легко установить определенное, наперед заданное, давление и весьма трудно измерить имеющееся, так как это требует длительного подбора концевых мер длины. Поэтому назначение прибора — почти исключительно поверочные работы.

Первоначально прибор был изготовлен с оптической системой по типу приборов «ММ».¹ В этих приборах, как известно, фиксация положения уровня жидкости производится по видимому сходящему острию конуса и его отражению от поверхности воды.

Преимущества примененной оптической системы перед оптической системой микроманометров «ММ» следующие:

1) большая точность установки уровня в сосуде избыточного давления;

2) отсутствие влияния поверхностного натяжения воды, так как нить расположена ниже ее поверхности. Это позволяет устанавливать нужное давление, постепенно повышая или понижая его; оптическая же система приборов «ММ» позволяет устанавливать нужное давление лишь при постепенном его повышении;

3) пылинки, плавающие на поверхности воды, не мешают отсчету.

Погрешность микроманометра складывается из следующих основных погрешностей:

1) погрешности установки уровня воды в сосуде избыточного давления;

2) погрешности от неправильной установки прибора;

3) погрешности от изменения положения прибора во время работы;

4) погрешности от деформации резиновой трубки;

5) погрешности концевой меры длины;

6) температурной погрешности.

Погрешность установки уровня воды в сосуде избыточного давления. Эта погрешность определена многократной установкой прибора на нуль вращением гайки 16, которая имеет 100 делений. Шаг резьбы равен 1 мм. Поворот гайки на одно деление соответствует перемещению сосуда 1 на 0,01 мм. Найдено, что эта погрешность составляет 0,005 мм вод. ст. Ее необходимо учитывать дважды.

Погрешность от неправильной установки прибора. При правильном положении прибора направляющие вертикальны. Если направляющие составляют с вертикалью угол α , то относительная погрешность от наклона составит $1 - \cos \alpha$ или, для малых углов, $0,5 \alpha^2$. Абсолютная погрешность δ_1 на верхнем пределе измерения, равном 400 мм вод. ст., при наклоне 7 мин. составит 0,001 мм вод. ст., т. е. ничтожную величину. Установка прибора с точностью до 7 мин. не представляет затруднений.

Погрешность от изменения положения прибора во время работы. Если во время работы прибор случайно наклонится на малый угол β , то абсолютная погрешность от наклона δ_2 составит:

$$\delta_2 = \beta \cdot l,$$

¹ С. Г. Попов, Измерение воздушных потоков, Гостехиздат, 1947.

где l — расстояние между осями сообщающихся сосудов. Для вашего прибора $l = 205$ мм. Поворот прибора на 1 мин. может вызвать погрешность 0,06 мм. Поэтому был применен жесткий монтаж прибора. Для экспериментальной оценки возможного изменения положения прибора во время работы к последнему был прикреплен уровень с ценой деления 5 сек.

Опыты показали, что во время работы с прибором пузырек уровня смещается весьма незначительно, максимум на четверть деления, что соответствует 1,25 сек. Соответствующая этому углу погрешность составит 0,001 мм, т. е. также ничтожную величину.

Анализируя две последние погрешности, можно заключить, что не столь важно точно установить прибор, сколь важно, чтобы он не менял своего положения во время работы.

Погрешность от деформации резиновой трубки. Резиновая трубка, соединяющая сосуды, во время работы деформируется. При деформации изменяется ее объем, что дает погрешность в измерении.

Погрешность от деформации трубки найдена экспериментально следующим образом. Трубка была снята с прибора и в один конец ее была вставлена стеклянная трубка с внутренним диаметром 3,5 мм. Обе трубки были заполнены водой: резиновая — полностью, стеклянная — наполовину. Свободный конец резиновой трубки был закрыт пробкой. Изгибая резиновую трубку, можно было наблюдать изменение уровня воды в стеклянной трубке, являющееся следствием изменения объема трубки при деформации. Наибольшее изменение уровня воды в стеклянной трубке, наблюдавшееся при различных изгибах резиновой трубки, оказалось равным 10 мм, следовательно, изменение объема резиновой трубки не превышает $0,096 \text{ см}^3$. Поскольку в сосуде большего давления уровень воды поддерживается постоянным, изменение объема воды в резиновой трубке скажется в повышении или понижении уровня воды в сосуде меньшего давления.

Нетрудно подсчитать, что изменение высоты уровня воды в сосуде меньшего давления составит 0,002 мм. Таким образом, погрешность измерения, обусловленная изменением объема резиновой трубки, не превосходит 0,002 мм вод. ст.

Погрешность концевой меры длины. Абсолютная погрешность концевой меры длины, согласно ОСТ 85000—39, зависит от ее величины и разряда точности. Для нашего случая вполне подойдут концевые меры IV разряда. Концевая мера этого разряда длиной 400 мм имеет погрешность 0,0015 мм.

Температурная погрешность. Две основные причины обуславливают температурную погрешность прибора. Первая — это изменение длины концевой меры, вторая — изменение плотности воды. Согласно ОСТ 85000—39, изменение длины концевой меры составляет 11,5 мк на 1 м и 1 град. Если температура концевой меры не отклоняется от нормальной более чем на $0,5^\circ \text{C}$,

то максимальная погрешность, вызванная первой причиной, составит на верхнем пределе измерения 0,0023 мм вод. ст.

Изменение плотности воды в интервале температур 19—21°С составляет $\pm 0,02\%$ от плотности при 20°С. Чтобы погрешность, обусловленная изменением плотности воды, была невелика, необходимо в помещении, где установлен прибор, поддерживать температуру с точностью $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Однако это не всегда является обязательным: при поверке микроанометров с водяным заполнением достаточно обеспечить лишь равенство (в пределах $\pm 0,2^\circ\text{C}$) температур поверяемого и образцового микроанометров. Отклонение температуры воды от нормальной на $0,2^\circ\text{C}$ дает на верхнем пределе измерения (400 мм вод. ст.) погрешность в 0,016 мм вод. ст.

При поверке приборов типов «ММ» и «АЛД» исключается погрешность от изменения длины концевой меры, так как микрометрический винт в этих приборах изготовлен из стали, и, следовательно, изменение длины винта при изменении температуры будет такое же, как у концевой меры. В остальных случаях суммарная температурная погрешность не превосходит 0,02 мм вод. ст.

Суммарная погрешность. Арифметическая сумма всех указанных погрешностей составляет 0,04 мм. Эта погрешность относится к верхнему пределу измерения. Температурная погрешность, погрешность от деформации резиновой трубки и погрешность концевой меры длины примерно пропорциональны измеряемой разности давлений. Поэтому погрешность на нижнем пределе измерений сложится из погрешности установки уровня в сосуде избыточного давления, равной 0,01 мм вод. ст., и погрешности от изменения положения прибора, равной 0,001 мм вод. ст., т. е. суммарная погрешность на нижнем пределе измерения составит не более 0,011 мм вод. ст.

Заключение

Созданный во ВНИИМ микроанометр с концевой мерой длины имеет верхний предел измерений 400 мм вод. ст. Максимальная погрешность прибора не превосходит 0,04 мм вод. ст., или 0,01%. Прибор может быть использован для поверки микроанометров типов «ММ», «АЛД» и «Прандтля».

Примененный принцип измерения разности давлений с помощью концевой меры длины позволяет разработать прибор переносного типа.

Переносный прибор должен быть сконструирован так, чтобы центр тяжести поверхности воды в подвижном сосуде находился на одной вертикали с центром тяжести воды в неподвижном сосуде. В этом случае исключается погрешность, обусловленная изменением положения прибора во время работы. Однако форма подвижного сосуда здесь будет сложнее.

ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ КОЛОКОЛ

В поверочном деле по микроманометри весьма желательно иметь простой прибор, который позволял бы воспроизводить всегда одно и то же давление (избыточное) или ряд значений давления. С помощью такого прибора можно будет контролировать работу образцовых микроманометров, нередко сложного устройства, а поэтому и имеющих много причин для «промахов» в измерении.

В аэрогидрометрической лаборатории ВНИИМ разработан и испытан прибор, отличающийся крайней простотой и в то же время воспроизводящий давление с высокой точностью.

Схема прибора, названного нами «гидростатический колокол», приведена на рис. 1. Колокол рассчитан так, что он может плавать в жидкости в вертикальном положении. Состоит он из двух цилиндров, причем верхний цилиндр плотно вставлен в нижний; наружная площадь сечения верхнего цилиндра равна внутренней площади сечения нижнего.

При указанной форме колокола избыточное давление под ним не зависит от глубины его погружения в жидкость.

Введем обозначения:

P_1 — давление снаружи колокола;

P_2 — давление под колоколом;

P — избыточное давление под колоколом;

ρ — плотность жидкости;

g — ускорение силы тяжести;

v — объем части колокола, заштрихованной накрест;

M — масса колокола;

f — наружная площадь сечения верхнего цилиндра, равная внутренней площади сечения нижнего цилиндра.

Составим уравнение равновесия сил:

$$P_1 \cdot f + gM + K = P_2 \cdot f + v \cdot \rho \cdot g, \quad (1)$$

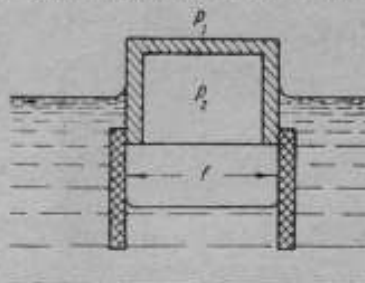


Рис. 1. Схема гидростатического колокола.

где K — сила поверхностного натяжения, приложенная по двум смоченным периметрам. Эту силу принимаем действующей вниз. Величина силы K определится так:

$$K = aU \cos \alpha \cdot \rho \cdot g, \quad (2)$$

где a — капиллярная постоянная (L^2);
 U — длина обоих смоченных периметров;

α — краевой угол.

Из формул (1) и (2) находим $P_2 - P_1 = P$:

$$P = \frac{g}{f} (M - v \cdot \rho + aU \rho \cos \alpha). \quad (3)$$

Формула (3) показывает, что давление не зависит от глубины погружения колокола.

Основными величинами, определяющими избыточное давление, являются f и M . Малое изменение этих величин со временем и

обеспечивает высокую воспроизводимость давления под колоколом.

Члены $v \cdot \rho$ и $aU \rho \cos \alpha$ сравнительно малы. Например, в опытном приборе $v \cdot \rho$ составляет $\frac{1}{15}$ часть M , а $aU \rho \cos \alpha$ — менее 0,1% от M .

Устойчивость плавания колокола обеспечивается следующим условием: общий центр тяжести колокола и жидкости, находящейся внутри его, должен быть ниже центра тяжести объема, образованного наружной боковой поверхностью прибора и двумя плоскостями, проходящими по верхнему уровню жидкости и по нижнему основанию прибора.

Опытный прибор (рис. 2) изготовлен из отрезка медной трубы диаметром 210×200 мм. Для того чтобы можно было точно определить объем v , входящий в ф-лу (3)

Рис. 2. Общий вид гидростатического колокола (с дополнительным кольцом).

и сравнить вычисленные по этой формуле значения давления с опытными данными, нижняя часть прибора (на рис. 1 перекрестно заштрихованная) была изготовлена отдельно и после определения ее объема припаяна к верхней части. (Пайка произведена изнутри.) Наверху прибора укреплены уровень и четыре стержня с резьбой, на которые навинчены гайки. Назначение этих деталей — контроль и регулировка правильности положения оси прибора. Кроме того, прибор снабжен двумя латунными кольцами, которые могут прикрепляться в нижней части колокола; это дает возможность изменять давление P (на рис. 2 показан колокол с дополнительным кольцом).

Исследования гидростатического колокола состояли из определения величин, входящих в ф-лу (3), и из спробования прибора на различных жидкостях: воде, древесном спирте, керосине и трансформаторном масле.

Исследования дали следующие результаты:

масса колокола — 5034,0 г;

объем части колокола, показанной на рис. 1 перекрестной штриховкой, $v = 338,36 \text{ см}^3$;

масса 1-го дополнительного кольца — 1020,4 г;

объем 1-го дополнительного колокола — 121,5 см^3 ;

масса 2-го дополнительного кольца — 1564,4 г;

объем 2-го дополнительного кольца — 186,3 см^3 ;

средняя величина диаметра колокола f , принятая при подсчете, — 205,54 мм;

рабочий ход колокола, т. е. разность в глубинах его погружения, при которых сохраняется одно и то же давление — примерно 30 мм. Давления, производимые колоколом, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытания гидростатического колокола

№ опыта	Жидкость	Число наблюдений	Наибольшая разность показаний в мм вод. ст.	Среднее давление под колоколом в мм вод. ст.	Расчетное давление в мм вод. ст.	Разность между расчетным и действительным значениями в %
1	2	3	4	5	6	7
Колокол без кольца						
1	Спирт	6	0,02	143,64	143,67	+0,02
2	Керосин	10	0,02	143,45	143,49	+0,03
3	Трансформаторное масло	20	0,025	142,77	142,77	0,00
4	Вода 19°С	7	0,02	141,78	141,82	+0,03
5	Вода 19°С	3	0,05	141,63	141,39	-0,17
Колокол с кольцом № 1						
6	Спирт	10	0,025	171,45	171,51	+0,03
7	Трансформаторное масло	12	0,02	170,26	170,27	+0,01
Колокол с кольцом № 2						
8	Вода 17°С	8	0,02	183,31	183,36	+0,03
9	Вода 17°С	7	0,055	183,18	182,92	-0,13
Примечания:						
1) В опытах № 4 и № 8 измерение давления производилось при подъеме колокола, в опытах № 5 и № 9 — при опускании.						
2) В графе 4 приведены значения максимальной разности давлений под колоколом, измеренных при различных его погружениях.						

Измерение давлений производилось с помощью водяного микроманометра, соединенного трубкой с внутренней полостью колокола. Погрешность отсчета микроманометра составляет 0,01 мм вод. ст., а погрешность измерения — порядка 0,03 мм вод. ст.

На всех испытанных жидкостях, кроме воды, избыточное давление под колоколом, независимо от глубины погружения и направления движения колокола (вверх или вниз), сохранялось постоянным в пределах точности отсчета давления по микроманометру. Испытания на воде показали: если из-под колокола выпускать воздух и производить измерения давления при различной глубине погружения, давление получается постоянным в пределах точности измерения, если же производить измерения, постепенно нагнетая воздух под колокол, давление также остается постоянным, но большим, чем в первом случае, примерно на 0,15 мм вод. ст. Это объясняется плохой смачиваемостью водой стенок прибора. При подъеме колокола краевой угол $\omega \approx 0$, а при опускании $\omega \approx 120^\circ$. В табл. 1, в графе 6, значения давлений подсчитаны для $\omega = 0$ во всех случаях, кроме испытаний на воде при опускании колокола. Для этого случая ω принято равным 120° .

Заключение

1. Предложенный прибор — гидростатический колокол позволяет воспроизводить избыточное давление воздуха с высокой точностью, а поэтому может найти применение в поверочной практике, например, как эталон-свидетель.
2. Независимость давления под колоколом от глубины его погружения позволяет использовать прибор в качестве газгольдера с весьма постоянным давлением.
3. Прибор не требует точного определения плотности жидкости, в которой он плавает, так как погрешность в определении плотности жидкости, равная 0,1%, соответствует погрешности в определении давления менее чем на 0,01%.
4. Наилучшей жидкостью является трансформаторное масло. По сравнению с другими испытанными жидкостями, трансформаторное масло имеет то преимущество, что оно не конденсируется на внутренних поверхностях колокола.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ НА ВИСКОЗИМЕТРЕ С ПАДАЮЩИМ ШАРИКОМ

Для определения вязкости смазочных масел при низких температурах советские ученые пользуются двумя типами вискозиметров: капиллярными и ротационными. Из капиллярных вискозиметров применяют почти исключительно вискозиметры с истечением жидкости под давлением. Так, К. И. Иванов и А. М. Гутцайт [1] для исследования масел до температуры -45°C применяли вискозиметр Уббелюде-Гольде, который принят в СССР в качестве стандартного для определения динамической вязкости и описан в ОСТ ВКС 7872 (М. И. 5в—35). Этим же прибором, но в несколько измененном виде, пользовались И. Ф. Блудченко и В. Н. Тишкова [2] при определении вязкости смазок для осей вагонов в пределах температур от 0° до -60°C .

В своих первых исследованиях Д. С. Великовский и В. П. Варенцов [3] применяли вискозиметр Оствальда и Ауэрбаха, который оказался, однако, недостаточно удобен для определения вязкости при низких температурах. В последующей работе [4] Д. С. Великовский сконструировал абсолютный вискозиметр, позволяющий определять вязкость при температурах до -60°C . Протекающая через капилляр жидкость собиралась в стакан и взвешивалась.

Ю. А. Пинкевич [5] определял вязкость при низких температурах на двух сконструированных им капиллярных вискозиметрах. Один из них [5, ч. 1] мог быть применен для определения кинематической вязкости при температурах до -35°C . Давление, необходимое для продвижения масла, достигается в нем посредством столба ртути, находящегося поверх масла. Второй тип вискозиметра [5, ч. 1] предназначен для определения динамической вязкости при температурах до -60°C . Истечение жидкости в нем происходит под внешним давлением. Поверх масла помещается метиловый или этиловый спирт в количестве 5 мл. В вискозиметрах системы Пинкевича время истечения масла через капилляр определяется временем протекания ртути или спирта через резервуар, ограниченный метками, который находится вне термостата.

Вискозиметром Пинкевича пользовались также Л. Жердева, З. Возжинская и О. Федосеева [7] в своих исследованиях по опре-

делению вязкости синтетических смазочных масел при низких температурах.

Из других систем капиллярных вискозиметров, применяемых для определения вязкости смазочных масел при низких температурах, можно указать на стандартный метод определения динамической вязкости при низких температурах, описание которого приведено в ГОСТ 1929—42 (51), и на капиллярный вискозиметр М. П. Воларовича для определения кинематической вязкости при 0°C (ГССГ 33—46).

Из ротационных вискозиметров, применяемых для измерения вязкости до температуры -60°C , следует указать на прибор М. П. Воларовича [8] и на прибор А. Ф. Добрянского, А. П. Сиверцова и И. Я. Фридмана [9].

В приборе Воларовича наружный цилиндр неподвижен, внутренний приводится во вращение падающими грузами. Оба цилиндра имеют полусферическое дно. М. П. Воларович и В. Л. Вальдман в своих исследованиях пользовались зазорами между цилиндрами в 1,0 и 0,3 см и нашли, что более удовлетворительные результаты получаются при меньшем зазоре.

Прибор А. Ф. Добрянского, А. П. Сиверцова и И. Я. Фридмана отличается от других приборов с вращающимися цилиндрами тем, что зазор между цилиндрами очень мал (0,05—0,01 см). Постоянную прибора авторы вычисляли не из его размеров, а находили градуировкой по растворам канифоли в касторовом масле, вязкость которых определяли по методу Стокса.

Из всех перечисленных приборов наиболее простым является вискозиметр Пинкевича с истечением жидкости под давлением столба ртути, но этот прибор может быть применен для измерения вязкости при температурах не ниже -35°C .

Вискозиметры с истечением жидкости под давлением требуют оборудования для создания внешнего давления, герметичности всех частей прибора и не лишены погрешности от налипания жидкости на стенки измерительного резервуара вследствие высокой вязкости жидкостей при низких температурах. В случае, если измерительный резервуар вискозиметра находится в термостатной жидкости, кольцевые метки недостаточно четко видны вследствие запотевания стенок термостата.

В приборах, в которых измерительный резервуар вынесен за пределы термостата с охлаждающей жидкостью, вязкость не может быть с достаточной точностью измерена, так как получается большая разница в температурах измерения и окружающего измерительный резервуар воздуха. Погрешность от налипания жидкости на стенки измерительного резервуара и здесь будет иметь место.

Абсолютные капиллярные вискозиметры требуют тщательного определения размеров прибора, осторожного обращения и приемлемы для исследовательских работ, но их нельзя рекомендовать для практических целей.

Ротационные вискозиметры не достаточно компактны и имеют еще некоторые недостатки: требуют много жидкости; постоянная прибора обычно вычисляется из его размеров и требует частой проверки; кроме того, возможна коррозия металлических частей прибора.

Нам предстояла задача выбрать наиболее простой и удобный прибор, который позволял бы измерять вязкость с достаточной точностью и без значительной затраты времени.

Прибором, удовлетворяющим этим условиям, является вискозиметр с падением, вернее — со скольжением шарика по стенке наклонной трубки. Согласно нашим исследованиям [10], вязкость при 20°C , определенная на таком вискозиметре, отличается от вязкости, полученной на образцовых капиллярных вискозиметрах, на $\pm 0,5\%$. Этот тип вискозиметра не требует поправок на поверхностное натяжение и налипание, так как шарик находится внутри жидкости. Подробное описание его и принцип работы на нем приведены в указанной выше работе [10].

Для получения низких температур, помимо вспомогательного термостата, применяется холодильник, состоящий из трех медных резервуаров, вставленных один в другой. Внутренний сосуд служит для помещения охлаждающих средств (лед, твердая углекислота и др.). В пространстве между внутренним и средним резервуарами протекает охлаждаемая термостатная жидкость. Пространство между наружным и средним резервуарами является воздушным изолирующим слоем.

Схема соединения вискозиметра с вспомогательным термостатом и холодильником показана на рис. 1. Термостатная жидкость из вспомогательного термостата T поступает через соединение $1-2$ в рабочий термостат вискозиметра B , откуда через соединение $3-5$ — в холодильник X и далее, по соединению $6-4$, вновь во вспомогательный термостат T . В зависимости от того, какую температуру желательно иметь, количество протекающей термостатной жидкости регулируется дроссельным приспособлением, состоящим из зажимного крана D и соединений A_1 и A_2 .

В качестве термостатной жидкости мы применяли метиловый спирт, в качестве охлаждающего средства — твердую углекислоту и в качестве контактной жидкости — также метиловый спирт.

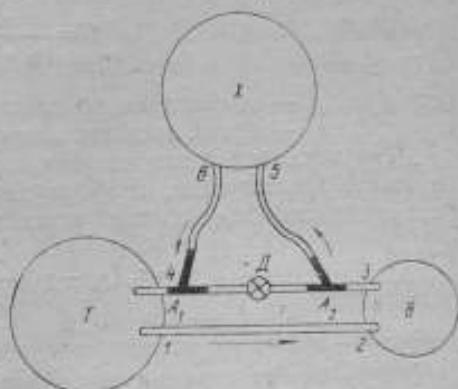


Рис. 1. Схема соединения вискозиметра с вспомогательным термостатом и холодильником.

Пользуясь вспомогательным термостатом и холодильником, можно измерять вязкость до температуры -60°C .

Для определения вязкости при низких температурах мы пользовались двумя термометрами полного погружения: ртутным — со шкалой от $+2^{\circ}$ до -35°C и спиртовым — со шкалой от -30° до -60°C . Цена деления термометров $0,1^{\circ}$.

Общий вид формул для вычисления динамической вязкости η жидкости и постоянной шарика C следующий:

$$\eta = C(\rho_1 - \rho_2) \tau; \quad (1)$$

$$C = \frac{\eta}{(\rho_1 - \rho_2) \tau}, \quad (2)$$

где ρ_1 и ρ_2 — соответственно плотности шарика и жидкости;
 τ — время падения шарика.

Так как постоянная шарика определяется по другой жидкости, а не по исследуемой, то формула для вычисления динамической вязкости любых жидкостей примет следующий вид:

$$\eta_y = \tau_y (\rho_z - \rho_y) \cdot \frac{\eta_x}{\tau_x (\rho_z - \rho_x)}, \quad (3)$$

где η_y — вязкость исследуемой жидкости, ρ_y — ее плотность;

τ_y — время падения шарика в этой жидкости;

η_x — вязкость жидкости, по которой определена постоянная шарика, ρ_x — ее плотность; τ_x — время падения шарика в этой жидкости; ρ_z — плотность шарика.

Эта формула относится к измерениям при 20°C . Для измерений при любых температурах необходимо принять во внимание коэффициент расширения материала шарика, и ф-ла (3) примет следующий вид:

$$\eta_{yt} = \tau_{yt} \left[\frac{6m}{(1 + \alpha t)^3 \pi d^3} - \rho_{yt} \right] \frac{\eta_{xt}}{\tau_{xt} (\rho_z - \rho_{xt})}, \quad (4)$$

где m — масса шарика;

d — диаметр шарика;

α — коэффициент расширения материала шарика;

t — температура измерения.

Поправку на плотность шарика можно получить по данным Ф. Генплера [11]. Он указывает, что на каждые 10° повышения температуры свыше 20° , при которой определяется плотность шарика, следует уменьшать плотность для металлических шариков на 0,0015, для стеклянных — на 0,0003.

По нашим подсчетам, для металлических шариков, которыми мы пользовались для исследований, коэффициент расширения $\alpha = 0,000007$.

Плотность жидкости следует брать также при температуре измерения.

Для введения поправок можно пользоваться таблицей средних температурных поправок плотности нефтепродуктов из ГОСТ 3900—47 (табл. 1).

Таблица 1

Плотность минеральных масел, г/см ³	Температурная поправка на 1°С	Плотность минеральных масел, г/см ³	Температурная поправка на 1°С
0,8500—0,8599	0,000699	0,8900—0,8999	0,000647
0,8600—0,8699	0,000686	0,9000—0,9099	0,000633
0,8700—0,8799	0,000673	0,9100—0,9199	0,000620
0,8800—0,8899	0,000660		

Нами вычислена по данным Л. Д. Худяковой [6] поправка на 1°С для нефтепродуктов с плотностью при 20°С 0,8993 г/см³ отдельно для положительных и отдельно для отрицательных температур; для температур от +20° до 0°С она составляла 0,00063 г/см³ и для температур от 0° до —21°С — 0,00066 г/см³.

Средняя температурная поправка $\frac{0,00063 + 0,00066}{2} = 0,000645$ почти совпадала с указанной в табл. 1.

Для вычисления вязкости необходимо знать диаметр, массу, плотность и постоянную шариков. Диаметр и масса шариков измерялись в соответствующих лабораториях ВНИИМ. Постоянные шариков определялись при 20°С по жидкостям, вязкость которых была измерена на образцовых вискозиметрах. В своей работе мы пользовались только металлическими шариками III, IV, V и VI. Параметры их приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ шарика	Диаметр d , мм	Объем $v = \frac{4}{3} \pi r^3$, см ³	Масса m , г	Плотность $\rho = \frac{m}{v}$, г/см ³	Постоянная C , мм ² /сек ²
III	15,550	1,9678	15,9659	8,1138	0,1326
IV	14,998	1,7656	14,3226	8,1122	1,1943
V	13,500	1,2876	10,4456	8,1124	10,462
VI	10,000	0,5233	4,1379	7,9067	37,041

Вязкость при низких температурах нами определена для двух нефтяных продуктов: трансформаторного масла и жидкости «140» (смесь трансформаторного и машинного масел). Плотности их при

нормальной температуре ρ_{20} соответственно равны 0,8825 и 0,9082. Динамическая вязкость трансформаторного масла при $t = 19,5^\circ\text{C}$ равна 29,71 *ст*, жидкости «140» при 20°C — равна 123,83 *ст*.

Таблица 3

Температура t , $^\circ\text{C}$	№ шарика	Время падения шарика τ , сек.	Динамическая вязкость γ_{D} [по ф-ле (3)], $\text{мг} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1}$ (ср)	Динамическая вязкость γ_{DT} [по ф-ле (4)], $\text{мг} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1}$ (ср)	Расхождение между γ_{D} и γ_{DT} , относительное к γ_{D} , %
-0,5	IV	12,2	105,34	105,19	0,14
-1,5	III	120,3	115,36	115,19	0,15
-6,1	III	166,2	159,37	159,08	0,18
-10,0	IV	25,65	221,47	221,02	0,20
-11,5	IV	29,3	252,99	252,47	0,21
-12,5	III	290,0	278,08	277,46	0,22
-15,5	IV	44,0	379,90	378,94	0,25
-19,8	IV	69,2	599,22	597,60	0,27
-25,5	IV	134,4	1160,4	1156,8	0,31
-26,8	IV	157,1	1356,4	1352,1	0,32
-32,3	IV	319,6	2759,4	2749,6	0,36
-33,5	IV	369,7	3192,0	3180,1	0,37
-35,5	V	56,2	4251,0	4234,6	0,38
-36,0	V	60,6	4583,8	4566,0	0,39
-37,0	V	71,9	5438,4	5417,1	0,39
-41,0	V	137,2	10378	10334	0,42
-45,0	V	285,3	21580	21483	0,45

Таблица 4

$t = -13,5^\circ\text{C}$		$t = -19,8^\circ\text{C}$		$t = -33,5^\circ\text{C}$	
τ , сек.	Расхождение от среднего, %	τ , сек.	Расхождение от среднего, %	τ , сек.	Расхождение от среднего, %
43,9	0,23	70,2	1,15	370,0	0,08
44,2	0,45	68,6	0,86	369,7	0,00
43,6	0,91	68,7	1,01	370,5	0,22
44,4	0,91	69,2	0,29	369,4	0,08
43,9	0,23	70,4	1,44	369,0	0,19
Ср. 44,0	—	Ср. 69,4	—	Ср. 369,7	—

Вязкость трансформаторного масла измерена при температурах от 0° до -45°C . Данные измерений сведены в табл. 3.

Из табл. 3, а также из рис. 2 видно, что вначале, от 0° , примерно, до -25°C , вязкость с понижением температуры возрастает медленно, затем, при дальнейшем понижении до -45°C , возрастает очень сильно, и кривая круто поднимается вверх.

Динамическая вязкость, подсчитанная по ф-лам (3) и (4), дает некоторое расхождение, увеличивающееся с понижением температуры и достигающее при температуре -45°C 0,45%. Эта погреш-

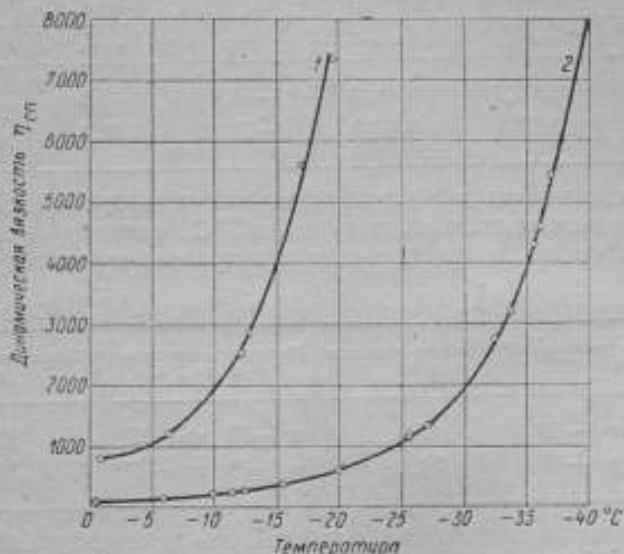


Рис. 2. Зависимость вязкости от температуры.
1 — индустриальное масло; 2 — трансформаторное масло.

ность, которая получается в случае неучета расширения материала шарика и изменения плотности масла при разных температурах, значительно меньше, как мы увидим в дальнейшем, чем погрешность от колебания температуры во время измерений.

Значения времени падения шарика τ в ряде измерений близки. Для иллюстрации в табл. 4 приведены данные для трех температур: $-15,5$, $-19,8$ и $-33,5^{\circ}\text{C}$.

Таблица 5

Опыт 17/XI		Опыт 20/XI	
$t^{\circ}\text{C}$	τ сек	$t^{\circ}\text{C}$	τ сек
$-20,0$	607,9	$-20,0$	606,0
$-26,2$	1229,6	$-26,1$	1230,5

Совпадение результатов определений вязкости трансформаторного масла с каким-либо одним шариком, но проведенных в разное время, или на разных шариках — удовлетворительное. Так, например, определения вязкости, произведенные 17/XI и повторенные 30/XI с шариком IV, дали почти одинаковые результаты (табл. 5).

Определение вязкости с шариками III и IV приведено в табл. 6.

Таблица 6

Шарик III			Шарик IV		
$t^{\circ}\text{C}$	τ сек.	η сП	$t^{\circ}\text{C}$	τ сек.	η сП
-15,7	400,8	384,3	-15,5	44,0	379,9
-26,3	1326,8	1272,3	-26,2	145,1	1252,9

Для выяснения, как изменяется вязкость трансформаторного масла при изменении температуры на 1°C , нами проделаны соответствующие опыты, данные которых приведены в табл. 7.

Таблица 7

Понижение температуры на 1°C	Увеличение вязкости в %	Понижение температуры на 1°C	Увеличение вязкости в %
от -10° до -11°	7,9	от -26° до -27°	12,7
от -15° до -16°	10,4	от -36° до -37°	18,6

Эта таблица показывает, что если при температуре измерения $t = -37^{\circ}\text{C}$ колебание температуры будет составлять $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, то погрешность в определении вязкости может доходить до $\pm 1,86\%$.

Таблица 8

Температура $t^{\circ}\text{C}$	Время падения шарика τ , сек.	Динамическая вязкость $\eta_{\text{д}}$ [по Ф-ле (3)], $\text{мг} \cdot \text{мм}^{-1} \cdot \text{сек.}^{-1}$ (сП)	Динамическая вязкость $\eta_{\text{д}}$ [по Ф-ле (4)], $\text{мг} \cdot \text{мм}^{-1} \cdot \text{сек.}^{-1}$ (сП)	Расхождение между $\eta_{\text{д}}$ и $\eta_{\text{д}}$, относительное к $\eta_{\text{д}}$, %
-1,0	80,6	693,5	692,5	0,14
-6,4	141,0	1213,2	1211,0	0,18
-12,2	292,7	2518,4	2512,8	0,22
-12,8	332,9	2864,3	2857,8	0,23
-17,0	650,0	5592,6	5578,3	0,26
-19,1	827,8	7122,4	7103,1	0,27
-19,4	854,2	7350,1	7329,3	0,28

Погрешность увеличивается с понижением температуры, так как в интервале более низких температур вязкость увеличивается больше, чем в интервале менее низких температур (рис. 2).

Данные по измерению вязкости с шариком IV жидкости «140» приведены в табл. 8 и на рис. 2.

Величины динамической вязкости жидкости «140», вычисленные по ф-лам (3) и (4), так же как и для трансформаторного масла (табл. 3), получились близкими. Максимальное расхождение (при температуре $-19,4^{\circ}\text{C}$) составило около 0,3%.

В промышленных лабораториях, где не требуется высокой точности, для подсчета величины вязкости можно пользоваться ф-лой (3), т. е. не учитывать коэффициента расширения материала шарика и изменения плотности жидкости, так как погрешность в данном случае получается меньше, чем от колебания температуры во время измерения ($\pm 0,1^{\circ}\text{C}$).

Начиная с температуры -20°C жидкость «140» уже не дает постоянной вязкости. Она меняется при повторных падениях шарика, т. е. обнаруживает явление тиксотропии.

Таблица 9

$t = -20,4^{\circ}\text{C}$		$t = -24,2^{\circ}\text{C}$	
τ сек.	Расхождение от первоначального значения, %	τ сек.	Расхождение от первоначального значения, %
167,4	0,00	376,6	0,00
164,4	1,79	364,2	3,32
161,2	3,70	358,7	4,78
158,4	5,38	350,0	7,09

В табл. 9 приведено время четырех последовательных падений шарика V в жидкости при температурах $-20,4$ и $-24,2^{\circ}\text{C}$.

Время тиксотропного восстановления специальному исследованию не подвергалось, однако замечено, что это восстановление происходит очень медленно. Повидимому, в этом масле тиксотропия сопровождается и тиксолабильностью.

Структурная вязкость при указанных температурах выражается в том, что два разных шарика не дают одинаковой вязкости. При определении вязкости при температуре $-20,4^{\circ}\text{C}$ шариками IV и V и при $-24,2^{\circ}\text{C}$ шариками V и VI величины вязкости соответственно отличались на 8,95% и 10,70%.

В случае образования структуры в смазочных маслах вязкость уже не является постоянной величиной. Поэтому в этих случаях необходимо выдержать шарик в состоянии покоя и определять первоначальную (структурную) вязкость по первому падению шарика. После этого заставляют падать шарик несколько

раз подряд до тех пор, пока время падения шарика не станет одинаковым, и определяют вязкость после разрушения структуры. Обе величины вязкости записываются с указанием шарика, с которым производилось измерение.

Выводы

Наиболее простым и удобным в обращении прибором является вискозиметр с падением шарика по стенке наклонной трубки.

Проведены опыты по измерению вязкости двух нефтяных продуктов при температурах от 0° до -45°C .

Найдено, что при температурах от 0° до -25°C вязкость трансформаторного масла увеличивается постепенно, давая пологую кривую. Начиная с -25°C вязкость сильно возрастает и кривая идет круто вверх.

С более вязкой жидкостью (жидкость «140») получается и более крутая кривая.

Трансформаторное масло до температуры -45°C ведет себя как нормальная жидкость.

В жидкости «140» обнаружены явления структурной вязкости и тиксотропии при температурах начиная с -20°C , проявившиеся в несовпадении вязкости при измерении разными шариками и в изменении времени падения шарика при повторных измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов К. И. и Гутцайт А. М., «Нефтяное хозяйство» 1937, № 6.
2. Блиндченко И. Ф. и Тишкова В. И., Вязкость жидкостей и коллоидных растворов, ч. 2, 1944.
3. Великовский Д. С. и Варенцов В. П., «Нефтяное хозяйство», 1937, № 4—5.
4. Великовский Д. С., Труды 1-й конференции по трению и износу в машинах, ч. 1, 1939.
5. Пикевич Ю. А., Вязкость жидкостей и коллоидных растворов, ч. 1, II, 1941, 1944.
6. Худикова Л. Д., Труды ВНИИМ, вып. 6 (22), 1934.
7. Жердева Л., Возжикская З. и Федосеева О., Труды совещания по вязкости жидкостей и коллоидных растворов, т. 2, 1944.
8. Волярович М. П., Вязкость смазочных масел при низких температурах, изд. АН СССР, 1941.
9. Добрянский А. Ф., Сиверцов А. П. и Фридман И. Я., Вязкость жидкостей и коллоидных растворов, ч. 1, 1941.
10. Чесноков Н. А., Труды ВНИИМ, вып. 19 (79), 1952.
11. Hörpfler F., Viskosimeter, Beschreibung und Gebrauchsanleitung.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Н. С. Михельсон. Труды Комиссии б. Главной Палаты мер и весов по установлению таблицы плотностей водно-спиртовых растворов на основании работ Д. И. Менделеева	5
Н. С. Михельсон. Математические задачи спиртометрии	61
✓ М. Д. Иппиц. Источники погрешностей металлических спиртомеров	74
П. А. Надимов. Новый эталонный набор денсиметров	98
Л. П. Степанов. Микродиаметр с концевой мерой длины	108
И. И. Пугачев и Л. П. Степанов. Гидростатический колокол	113
Н. А. Чесноков и А. Н. Индик. Определение вязкости при вязких температурах на вискозиметре с падающим шариком	117

Технический редактор Л. В. Соколова

Корректор А. Л. Павлова

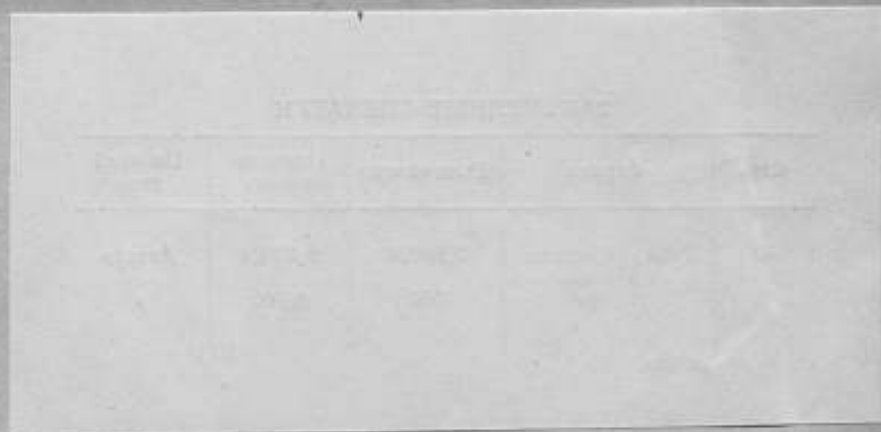
Сдано в набор 18/VII 1953 г. Подписано к печати 22/II 1954 г. М-23608
 Формат бумаги 60×92^{1/16} Печ. листов 8,0. Уч.-изд. листов 7,87. Тираж 600 экз. Заказ 1889.

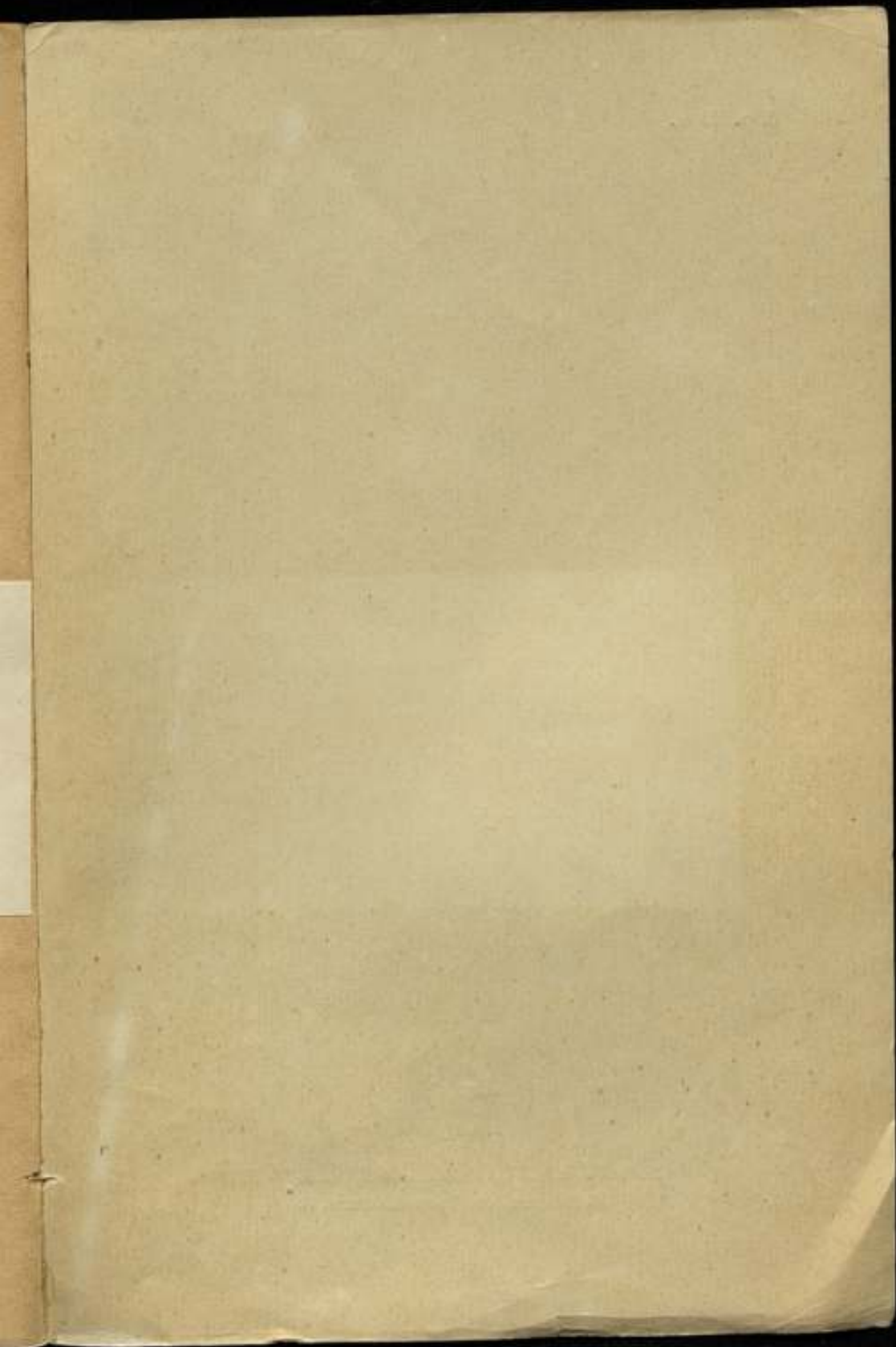
Типография № 2 Ленгорулитографиздата, Ленинград, Социалистическая, 18.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Строка	Напечатано	Следует читать	По чьей вине
5	0,86024	0,87024	Автора
16	760	86760	

Зак. № 1882.





3 р. 95 к.



МАШГИЗ

ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ МАШГИЗА

Ленинград, ул. Дзержинского, 10