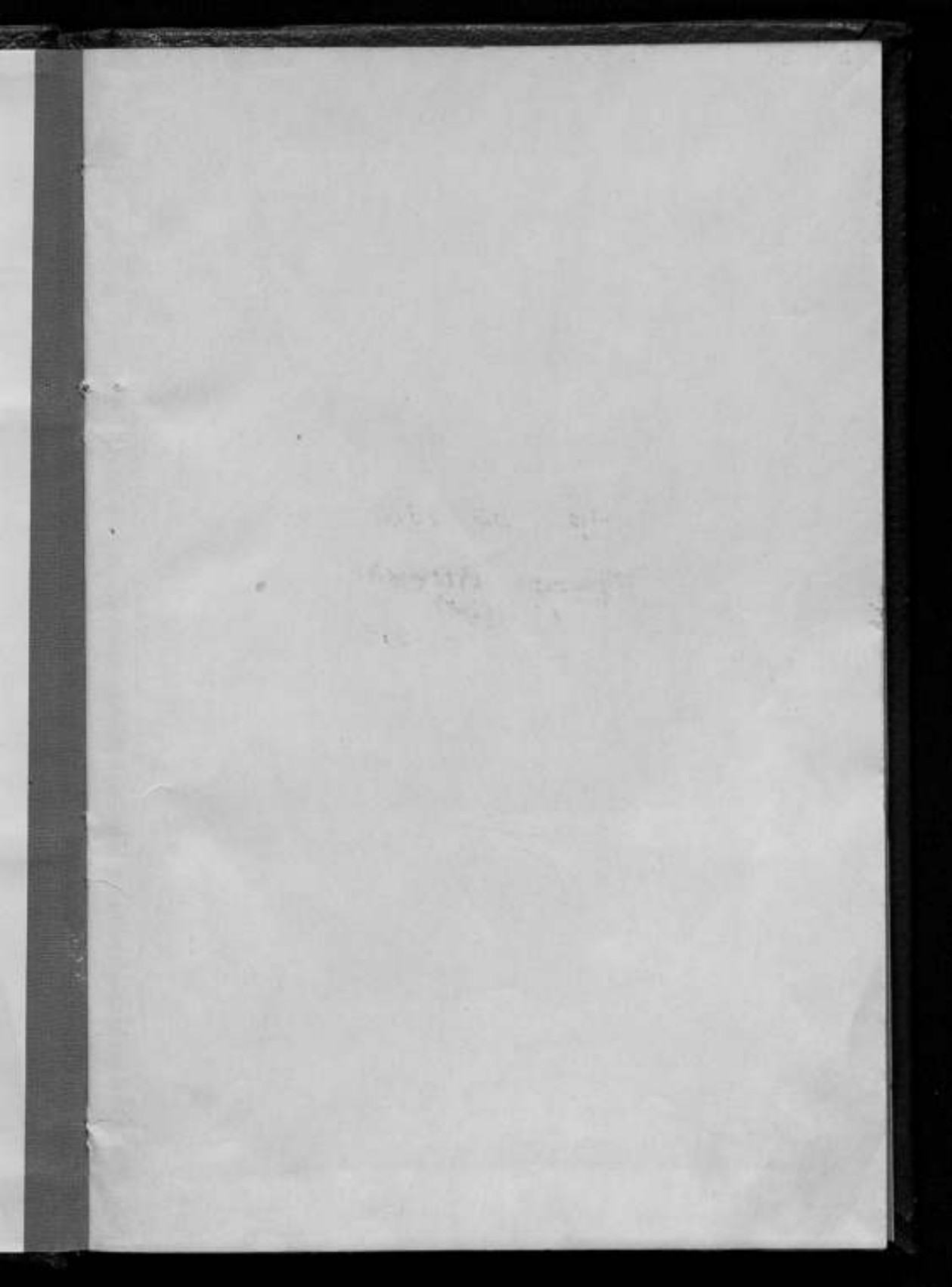
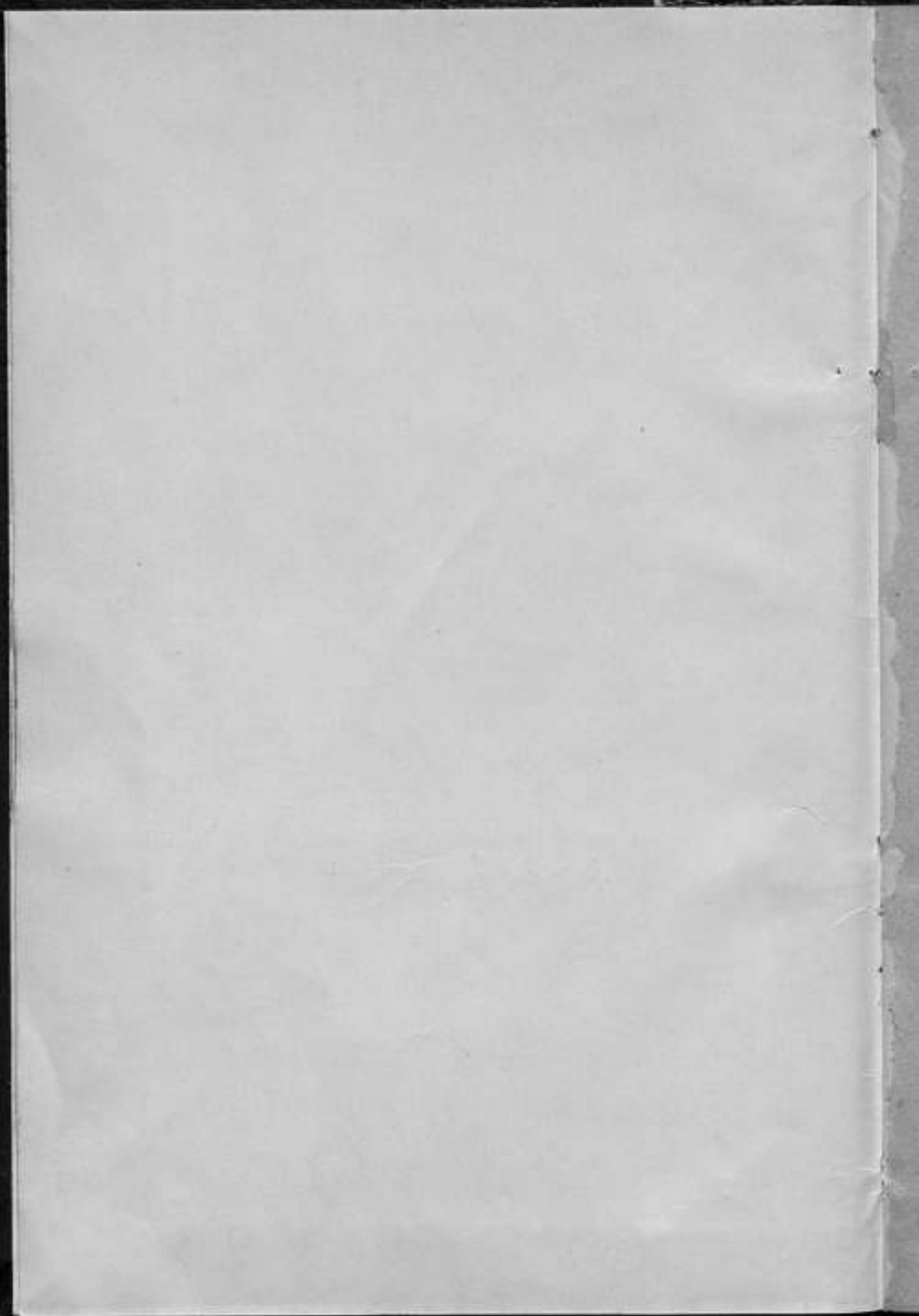


Масса, объем и плотность  
1939 г.

1870  
1871  
1872  
1873  
1874  
1875  
1876  
1877  
1878  
1879  
1880  
1881  
1882  
1883  
1884  
1885  
1886  
1887  
1888  
1889  
1890  
1891  
1892  
1893  
1894  
1895  
1896  
1897  
1898  
1899  
1900





ТРУДЫ ВСЕСОЮЗНОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО  
ИНСТИТУТА А. МЕТРОЛОГИИ

---

Выпуск 19 (35) *сир*

# МАССА, ОБЪЕМ И ПЛОТНОСТЬ

Сборник статей лаборатории мер массы  
Под редакцией проф. *А. Н. Доброхотова*



*№ 5743*

ГОНТИ  
РЕДАКЦИЯ ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
ЛЕНИНГРАД 1939 МОСКВА

# MASSE, VOLUME ET DENSITÉ

Redacteur Professeur A. N. Dobrokhotoy

Настоящий сборник составлен группой сотрудников Лаборатории мер массы ВНИИМа и включает темы, имеющие актуальное значение для развития измерительного дела в СССР. Статьи сборника представляют интерес для работников поверочных учреждений, фабрик и заводов, изготавливающих и ремонтирующих весовые измерительные приборы, а также для лиц, изучающих измерительное и, в особенности, весовое дело.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В предлагаемом сборнике статей, составленных сотрудниками Лаборатории мер массы ВНИИМа, читатель найдет ответы на некоторые вопросы теоретического и прикладного характера из области измерения массы, объема и плотности. Из теоретических вопросов обращает на себя внимание впервые выдвигаемый в специальной литературе вопрос о коромысле весов, рассматриваемом как особый род маятника, пригодного для практического разрешения не только вопросов измерения массы, но и тех задач, которые до настоящего времени разрешаются почти исключительно при помощи обыкновенного маятника (измерение времени, напряжение силы тяжести).

Большинство статей имеет прикладной характер. Читатели, интересующиеся весовым делом, найдут здесь полезные указания на требования, которые надлежит предъявлять к аналитическим весам, найдут указание на быстрый и точный способ поверки точных гирь, на способ построения приблизительно равномерной шкалы в циферблатных весах. Интересующиеся методом быстрой и точной поверки мер вместимости найдут в сборнике вспомогательную, весьма полезную таблицу, при помощи которой сразу находится масса гирь, которая уравнивает, при различных температурах, воду, наполняющую поверяемый стеклянный измерительный сосуд.

Интересующиеся появившимися в настоящее время в торговом обороте гирями из керамиковой массы найдут ответ о составе и свойствах этого материала, а также интересную историческую справку о применении гирь из подобного материала в глубокой древности.

В общем настоящий сборник является полезным пособием, помогающим повысить свою квалификацию лицам, интересующимся по своей обязанности или любознательности вопросами теоретической или практической метрологии.

---

## ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ВЕСОВ И МИКРОВЕСОВ СОВЕТСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Производство аналитических и других точных весовых приборов стало развиваться в СССР со времени восстановления и усиленного роста нарушенной во время империалистической и гражданской войны безоизмерительной промышленности.

В дореволюционной России производство точных весов носило полукустарный, любительский характер. Лаборатории вузов, втузов и научно-исследовательских институтов того времени питались исключительно точными весами, привозимыми из-за границы.

В настоящее время эта новая отрасль весовой промышленности достигла такого развития, что позволяет вовсе отказаться от импорта наиболее распространенных типов точных весов.

Весы, изготавливаемые в СССР, по своим качествам еще уступают изделиям первоклассных зарубежных фирм (как Рупрехт, Бунге, Сартorius, Лонг и др.), но в достаточной мере удовлетворяют требованиям, предъявляемым к приборам, применяемым в повседневной лабораторной практике.

### Основные принципы устройства аналитических весов и микровесов

Основным типом аналитических весов и микровесов, как и других точных весов, до настоящего времени являются рычажные равноплечные весы, представляющие собой наиболее надежный весовой прибор для научных исследований. К этому типу относятся и весы, изготавливаемые в СССР; делаются попытки построения точных весов с одной чашкой— для гирь и взвешиваемого предмета, представляющих некоторые технические выгоды в устройстве коромысла.

В основу построения рычажных весов положены законы, вытекающие из следующих основных формул, которые дает теория весов:

$$E = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{r} = \frac{n}{s \cdot r} = \frac{l}{Ra + 2Pa_1} \quad (1)$$

$$T = \frac{\pi}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{K + 2Pl^2}{Ra + 2Pa_1}} \quad (2)$$

где  $E$ —чувствительность весов, измеряемая тангенсом угла, на который отклоняется коромысло при добавлении на одну из чашек грузика в 1 мг,



$\alpha$  — угол, на который отклоняется указательный конец стрелки весов под действием добавочного грузика  $r$ , примененного для определения чувствительности,  $l$  — длина плеча коромысла,  $s$  — длина стрелки, выраженная в делениях отчетной шкалы,  $n$  — число делений шкалы, на которое отклоняется указательный конец стрелки при добавлении грузика  $r$ ,  $R$  — масса коромысла,  $2P$  — масса груза, подвешенного к грузоприемным призмам весов,  $a$  — расстояние центра тяжести коромысла от точки опоры,  $a_1$  — расстояние линии, проходящей через рабочие ребра грузоприемных призм от опоры,  $T$  — полупериод колебания весов,  $K$  — момент инерции коромысла<sup>1</sup> и  $g$  — ускорение, сообщаемое свободно падающему телу силой тяжести.

Полагая в формулах (1) и (2)  $2P=0$ , получим выражение для чувствительности и времени колебания одного коромысла:

$$E = \frac{n}{s \cdot r} = \frac{l}{Ra} \quad (3)$$

$$T = \frac{\pi}{\sqrt{g}} \cdot \sqrt{\frac{K}{Ra}} \quad (4)$$

Формула (3) показывает, что чем длиннее коромысло, тем оно чувствительнее. Но так как с удлинением коромысла увеличивается его масса и притом, при условии сохранения им требуемой прочности, быстрее, чем длина, то современная весовая техника перешла от длинноплечных весов к короткоплечным, которые, помимо значительной крепости в отношении прогиба, меньшей затраты материала и незначительного влияния температурного коэффициента расширения, обладают еще тем существенным преимуществом, что колеблются быстрее, так как, согласно формуле (4), период колебания коромысла пропорционален квадратному корню из момента инерции его, а следовательно при прочих равных условиях пропорционален его длине.

При расчете длины коромысла современная весовая техника соотносится с размерами взвешиваемых предметов, придавая плечам коромысла такую длину, чтобы требуемого размера чашки могли свободно колебаться, не задевая друг друга и колонки весов. Чрезмерное укорачивание коромысла увеличивает трудности юстировки его плеч. Обычная принятая за границу и нашей весовой промышленностью длина коромысла аналитических весов до 200 г составляет 13—14 см. Чтобы при длине коромысла в 14 см погрешность от неравенства плеч не превосходила при 200 г принятой в СССР нормы 0,4 мг, разность в длине плеч не должна превосходить

$$\frac{0,4 \cdot 70}{200 \ 000} \text{ мм, т. е. } 0,14 \text{ микрона.}$$

Для придания коромыслу легкости и достаточной жесткости последнему необходимо придавать вид фермы. Наиболее рациональной формой коромысла является форма вытянутого ромба с углом 60°, образуемом сходящимися сторонами по концам его продольной оси.

<sup>1</sup> См. ст. С. Д. Гидаспова в настоящем сборнике, стр. 13.

Требования большой точности юстировки плеч коромысла исключают возможность применения в аналитических весах обычного способа крепления призм путем прессования их непосредственно в тело коромысла, невозможного в точных весах, ввиду наличия у них не стальных, а хрупких агатовых призм. Поэтому для укрепления призм в точных весах прибегают к особым регулировочным приспособлениям в виде разнообразного устройства передвижных „карок“, прочно закрепляемых на коромысле при помощи винтов, которыми пользуются также для придания призмам должного неизменного положения. Из таких приспособлений, применяемых нашими заводами, укажем на устройство, применяемое заводом „Эталон“. Приспособление это состоит (рис. 1а) из каретки, изготовленной из того же самого материала, что и коромысло,



Рис. 1.

и укрепляемой на последнем 11 винтами. При помощи этих винтов представляется возможность при юстировке весов перемещать боковую призму, сидящую в пазу верхней утолщенной части каретки, в трех взаимно перпендикулярных направлениях и прочно ее закреплять в требуемом положении. Опорная же призма укрепляется в пазу особой слегка конической втулкой, которая впрессовывается в тело коромысла. Менее практичным оказалось приспособление, применяемое для той же цели заводами „Госметр“ и „Техновес“ (рис. 1б) и состоящее из седлообразной коробки, помещаемой в полукруглом вырезе на конце коромысла и скрепляемой

с ним при помощи лишь 3 винтов. Агатовая же призма укрепляется в пазу верхней части коробки при помощи 4 винтов, позволяющих также юстировать взаимную параллельность рабочих ребер всех трех призм коромысла. Недостатком этого приспособления служит невозможность перемещения грузоприемных призм в вертикальном направлении, вследствие чего вместо жесткого крепления опорной призмы необходимо особое регулировочное приспособление для перемещения ее по вертикали.

Применение того или иного устройства подвижных кареток, неизбежное при современном состоянии весовой техники, требует большого опыта и внимания при юстировке весов, чтобы довести до минимума упругие напряжения в регулировочных винтах, вредно отзывающиеся на постоянстве весов.

Помимо правильного расположения призм коромысла — взаимной параллельности рабочих ребер призм, их перпендикулярности к плоскости качания коромысла и расположения их на равном расстоянии от опорной призмы — существенным моментом при юстировке весов является придание им надлежащей чувствительности, что обычно достигается изменением положения центра тяжести коромысла относительно его точки опоры путем перемещения вверх или вниз расположенного на коромысле или на стрелке специального регулировочного грузика. Так как линия грузоприемных призм в большинстве весов расположена ниже точки опоры, то по мере уменьшения расстояния центра тяжести от опоры, т. е. уменьшения значения величины  $a$  в формуле (1), возрастает влияние нагрузки весов, т. е. второго слагаемого  $2Pa$ , в знаменателе той же формулы,

вследствие чего чувствительность резко падает с увеличением их нагрузки. Вместе с этим возрастает и время их колебания, как это следует из формулы (4). Оба явления для аналитической практики нежелательны.

Для придания весам большей чувствительности представляется более выгодным идти путем увеличения точности отсчета положения равновесия весов, применяя для этой цели отсчетные шкалы с мелкими подразделениями (микрошкала) и пользуясь для отсчета лупой, вогнутым зеркалом, микроскопом или иными средствами. Уточняя отсчет, представляется возможным расположить центр тяжести коромысла низко и тем самым увеличить его устойчивость, т. е. повысить постоянство весов и ускорить время их колебания. Если отклонение стрелки весов по микрошкале с подразделениями на 0,1 мм отвечает 10 делениям от перегрузки в 1 мг, то чтобы получить от того же грузика отклонение на 10 делений по шкале с миллиметровыми подразделениями, расположенной вблизи микрошкалы, пришлось бы расстояние центра тяжести уменьшить в 10 раз, вследствие чего период колебания весов увеличился бы в три с лишним раза ( $\sqrt{10}$ ). Уточнение отсчета получило широкое применение в микровесах и начинает применяться некоторыми заводами тоже в аналитических весах, например в аналитических весах завода „Эталон“, модель 1934 г.

Для повседневной лабораторной практики, когда на весах приходится взвешивать предметы различного веса, существенно важно, чтобы весы в пределах их подъемной силы обладали постоянной чувствительностью, независимой от нагрузки. Для этого необходимо, как показывает формула (1), чтобы  $a_1 = 0$ , т. е. чтобы рабочие ребра всех трех призм были расположены в одной плоскости.

Практическое выполнение этого условия, требующее значительной затраты времени и труда и потому редко наблюдаемое даже в весах первоклассных зарубежных фирм, значительно упрощается при пользовании методом, предложенным сотрудником Лаборатории весовых приборов ВНИИМа С. Д. Гидасповым, позволяющим сравнительно легко и быстро придать весам определенную наперед заданную чувствительность.<sup>1</sup>

Надлежащее взаимное расположение призм и центра тяжести коромысла определяет верность, чувствительность и устойчивость весов. Но помимо этого существенно важным качеством весов является постоянство их показаний, которое обуславливается надлежащими механическими и термическими свойствами материала коромысла и его частей, прочностью и неизменностью соединения их между собой, тщательностью их сборки и отделки и постоянством температурных и иных условий окружающей среды во время работы на весах.

Материал для коромысла должен обладать однородным строением, значительным модулем упругости, хорошо поддаваться полировке, обладать незначительным термическим коэффициентом и не намагничиваться. Этим условиям в достаточной мере отвечают хорошо провальцованные сплавы — аргентан, бронза с малым содержанием цинка, дуралюминий.

<sup>1</sup> См. ст. С. Д. Гидаспова в настоящем сборнике, стр. 16.

Широко применяемый некоторыми нашими заводами алюминий уступает указанным сплавам как по своим механическим, так и термическим свойствам. В качестве материала для призм и подушек, вместо обычно применяемой для этой цели углеродистой стали, в аналитических весах и микровесах применяются полудрагоценные минералы из группы халцедонов, к которым принадлежит агат, наиболее часто применяемый для этой цели. В виду большого количества разновидностей агата, отличающихся по своей структуре, необходим тщательный подбор его. Агаты ленточные и агаты кристаллического сложения вовсе непригодны вследствие неоднородной твердости первых и хрупкости вторых. Рекомендуются агаты скрытно-кристаллические и однородной окраски. Наиболее подходящей является разновидность агата, носящая название карнеола, имеющего красную окраску.

Кроме подбора должного качества материала, важна тщательная обработка и отделка для придания прямолинейности рабочим ребрам призм и плоской поверхности подушкам. Так как на деле ребра призм не представляют идеальной прямой линии, а некоторую цилиндрическую поверхность с очень малым радиусом, и достижение полной параллельности призм представляет большие трудности, то для устранения связанных с этим ошибок взвешиваний приобретают особое значение правильное устройство и тщательное выполнение серег и изолира, которые должны обеспечивать посадку призм всегда на одно и то же место подушек и препятствовать смещению призм даже при некотором нецентричном расположении грузов на чашках весов. Для этого между подушкой грузоприемной призмы и дужкой чашки должно быть включено промежуточное звено, которое, играя роль призмы, расположенной перпендикулярно грузоприемной призме, способствует свободному колебанию чашки и передаче давления груза на одно и то же место призмы.

Из существующих систем изолиров, назначенных для отделения опорной и грузоприемных призм от соответствующих подушек и для предохранения их от случайных повреждений при нагрузке и разгрузке весов, а также в то время, когда на весах не работают, в аналитических весах и микровесах применяются изолиры, при которых подушка опорной призмы остается неподвижной, а поднимается и опускается коромысло, причем наиболее целесообразным является тип так называемого радиального изолира, предложенный в 1875 г. Д. И. Менделеевым. Этот изолир состоит из двух вращающихся около общей оси, совпадающей с рабочим ребром опорной призмы, симметрично расположенных рычагов, позволяющих изолировать коромысло при любом его наклоне, не вызывая смещения призм по подушкам и не требуя выжидания, когда коромысло примет горизонтальное положение, что необходимо при изолирах, представляющих собою жесткую систему, параллельно перемещающуюся в вертикальной плоскости.

Существенной особенностью аналитических весов и микровесов служит наличие в них приспособления, исключающего необходимость пользования при взвешиваниях мелкими подразделениями грамма, обычно меньшими 10 мг, неудобными в обращении вследствие их малых размеров и заменяемыми одной гирей (рейтером) в 10 или 5 мг дугообразной формы, перемещаемой вдоль шкалы, наносимой или на особой скрепленной с

коромыслом линейке, параллельно ему расположенной, или непосредственно на верхнем крае коромысла.

Для предохранения весов во время взвешивания от воздушных потоков и температурных влияний они должны быть помещены в витрине.

### Опытные исследования аналитических весов и микровесов

Исследованию были подвергнуты 13 образцов аналитических весов и 4 микровесов, изготавливаемых в СССР на заводах: „Метрон“ в Москве, „Госметр“, „Техновес“ и „Эталон“ в Ленинграде, и 3 — аналитических весов заграничного производства, с целью выявления их весовых качеств. Для этого были определены основные константы весов: масса коромысла, его моменты инерции, расположение основных точек, расстояние центра тяжести коромысла и линии боковых ножей от опоры, чувствительность, неравноплечность и время колебания.

Момент инерции определялся опытным путем, методом крутильного маятника, основные точки — по формулам чувствительности (1) и (2), неравноплечность и чувствительность — из четырех серий взвешиваний по методу Гаусса и время колебания по секундомеру — из наблюдений 5 полных периодов.

Наблюдения велись мною и сотрудниками Лаборатории весовых приборов ВНИИМа С. Д. Гидасповым и Н. И. Герасимовым.

Как видно из таблицы 1, константы весов отечественного производства близки к константам весов заграничного производства и указывают на сходство тех и других в отношении чувствительности, времени колебания и устойчивости.

В отношении постоянства показаний, зависящего от качества материала основных частей весов, коромысла, призм, подушек, тщательности их отделки и сборки, весы советского производства уступают заграничным, причем этот дефект наблюдается чаще в весах с коромыслами из латуни (латунь разных марок), с каретками, представленными на рис. 1а, и в весах с алюминиевыми коромыслами и кареткой (рис. 1б).

Для иллюстрации указанного непостоянства в таблице 2 приводятся наблюдения над некоторыми весами заводов „Госметр“, „Техновес“ и „Эталон“, находившимися в течение всего времени наблюдения в особо благоприятных (постоянных) температурных условиях.

Устранение этого дефекта и конструирование аналитических и микровесов с постоянной чувствительностью, выражаемой при этом круглыми, а не случайными цифрами, и возможно малым временем колебания, должно составить ближайшую очередную задачу наших заводов, занимающихся изготовлением точных аналитических весов.

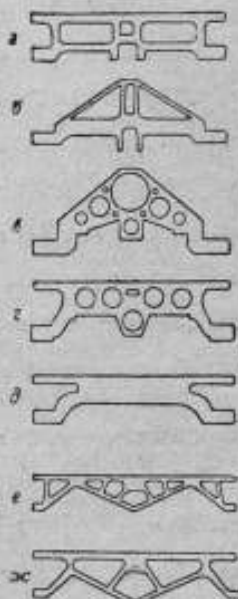


Рис. 2.

Таблица 1

Фирма и наибольшая нагрузка	Форма коромысла и материала	Масса в г		Длина в мм			Цена одного деления шкалы в мг		Полупериод колебания в сек			Момент инерции коромысла в г·см <sup>2</sup>	Разнос в см	Расстояние от оси опорной призмы в микронах		Неравноплечность $\frac{l_{прис.}}{l_{лев.}}$	
		коромысла	чашек с серьгами	коромысла	стрелки	одного деления шкалы	свободного коромысла	коромысла с чашками	при полной нагрузке	центра тяжести коромысла	линии, проходящей через ось опорной призмы						
<b>Аналитические весы</b>																	
Зав. „Метрон“ до 200 г № 1036 . . .	Алюминий, рис. 2а	62,48	107,38	150	263	0,75	0,52	1,15	4,6	7,7	10,0	2080	5,8	14,9	40	1,000008	
Зав. „Метрон“ до 200 г № 1019 . . .	Алюминий, рис. 2а	59,91	97,01	150	262	0,75	0,52	1,05	4,5	7,7	10,3	1915	5,7	15,4	34	1,000006	
Зав. „Метрон“ до 200 г № 1838 . . .	Латунь, рис. 2б	131,56	106,11	150	261	0,75	0,22	0,45	9,4	12,9	16,5	3895	5,4	33,7	13	0,999953	
Зав. „Эталон“ до 200 г № 234 . . .	Латунь, рис. 2б	98,40	118,40	140	254	1	0,10	0,12	11,8	20,0	30,0	2126	4,6	15,6	4	1,000002	
Зав. „Эталон“ до 200 г № 228 . . .	Латунь, рис. 2б	99,30	113,10	140	253	1	0,15	0,21	10,8	11,5	26,0	2230	4,4	19,9	3,5	0,999990	
Зав. „Эталон“ до 1 кг . . . . .	Алюминий, рис. 2г	243,10	458,50	219,4	366,5	1	0,64	1,02	8,6	16,4	27,2	16410	8,2	88,5	9,7	1,000008	
Зав. „Эталон“ до 200 г № 4 с микрошкалой и микроскопом . . .	Алюминий, рис. 2г	59,74	96,04	140	222,5	0,1	0,04	0,08	5,4	8,7	15,3	1807	5,5	104,3	25	1,000003	
Зав. „Госметр“ до 20 г . . . . .	Латунь, рис. 2г	43,79	35,12	120	243	0,8	0,03	0,04	14,8	19,4	23,4	1180	5,2	11,3	2,4	0,999998	
Зав. „Госметр“ до 200 г . . . . .	Латунь, рис. 2г	135,22	95,54	140	275,5	1	0,23	0,25	10,5	14,3	24,6	4880	6,0	32,6	0,1	—	
Зав. „Госметр“ до 1 кг . . . . .	Латунь, рис. 2г	420,7	244,6	220	350	1	0,25	1,22	21,8	22,4	24,4	29400	8,4	12,7	17,6	1,000004	
Зав. „Эталон“ до 200 г № 357 . . .	Алюминий, рис. 2г	36,98	136,05	140	252	1	0,13	0,45	14,5	18,3	18,5	1005	5,2	13,0	13,5	—	
Артель „Техновес“ до 200 г № 1902 .	Латунь, рис. 2а	137,69	94,88	140	262	1	0,15	0,23	11,4	15,6	25,1	3532	5,1	20,4	6,0	1,000009	
Артель „Техновес“ до 200 г № 2044 .	Латунь, рис. 2а	135,74	94,45	140	273	1	0,19	0,27	10,6	15,0	22,8	3333	4,4	21,9	2,1	1,000026	
„Сарториус“ до 200 г, Геттинген № 33120 . . . . .	Алюминий, рис. 2б	57,63	114,5	140	280	0,75	0,21	0,29	6,8	11,8	17,5	1994	5,9	75,2	10,1	1,000007	
Рупрехт до 200 г, Вена . . . . .	Алюминий, рис. 2г	84,74	126,5	160	277	1	0,27	0,48	9,6	13,7	17,6	3577	6,5	46,0	18,6	—	
Фирма неизвестна, до 200 г № 0102 .	Латунь, рис. 2г	144,23	113,03	150	276	0,8	0,10	0,13	16,5	20,5	30,0	5704	6,3	14,6	6,3	0,999997	
<b>Микровесы</b>																	
Артель „Техновес“ до 20 г № 65 . . .	Латунь, рис. 2г	32,42	25,22	81	147,5	0,3	0,018	0,021	10,15	12,25	15,7	322	3,1	9,7	7,1	1,000001	
Артель „Техновес“ до 200 г № 67 . . .	Латунь, рис. 2г	32,27	27,02	80,5	143	0,2	0,023	0,022	7,7	11,45	15,0	388	3,5	19,8	0,0	0,999978	
Завод „Эталон“ до 20 г . . . . .	Латунь, рис. 2ж	24,14	14,75	170	170,5	0,1	0,004	0,007	10,55	16,65	21,7	705	5,4	26	1,0	1,000025	
Завод „Эталон“ до 20 г № 5 . . . . .	Алюминий, рис. 2д	24,80	16,18	130	149	0,1	0,006	0,005	8,4	13,6	23,2	407	4,0	23,4	0,8	1,000000	

Таблица 2

№ весов и материал коромысла	Фирма	Дата наблюдения	Положение равновесия ненагруженных весов (нулевая точка)
E 90 Латунь	„Госметр“	3/XII-33 г.	8,99; 9,05
		19/XII-33 г.	10,52
		21/XII-33 г.	11,30; 11,28; 11,44;
		8/I-34 г.	11,99; 12,03; 12,04;
			чувствительность 0,2 мг
1902 Латунь	„Техновес“	1/XII-32 г.	9,76
		5/I-33 г.	17,45
			чувствительность 0,2 мг
1405 Алюминий	„Эталон“	7/I-34 г.	9,79
		3/II-34 г.	10,46
		8/III-34 г.	10,62
		28/III-34 г.	10,88
			чувствительность 0,2 мг
1353 Алюминий	„Эталон“	28/I-34 г.	9,99
		15/II-34 г.	10,09
		2/III-34 г.	10,13
		16/III-34 г.	9,86
		28/III-34 г.	9,80
			чувствительность 0,1 мг

V. A. Müller

## EXAMEN DES BALANCES ANALYTIQUES ET DES MICROBALANCES DE PRODUCTION SOVIÉTIQUE

### Résumé

L'auteur expose les principes de la construction des balances et les données expérimentales de la détermination des constantes fondamentales caractérisant les qualités gravimétriques des balances analytiques et des microbalances fabriquées dans l'URSS, ainsi qu'à l'étranger.

C. Д. Гудаснов

### НЕКОТОРЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ТОЧНЫХ ВЕСОВ

Основные константы, характеризующие работу точных весов, связываются между собой двумя следующими, наиболее важными формулами:

$$\eta = \frac{(Rc + 2Pm) l}{aL}, \quad (1)$$

$$T = \pi \sqrt{\frac{Rc^2 + 2Pa^2}{(Rc + 2Pm)g}}. \quad (2)$$

Первая из этих формул дает выражение для чувствительности (цены одного деления), т. е. массы того груза, который отклоняет стрелку весов на одно деление шкалы. В этой формуле  $\eta$  — чувствительность весов,  $R$  — масса коромысла,  $c$  — расстояние от центра тяжести до линии опоры,  $2P$  — нагрузка на оба плеча (вместе с чашками),  $m$  — „просвет между призмами“, т. е. расстояние по вертикали от вершины опорной призмы до прямой, соединяющей вершины грузоприемных призм,  $l$  —

длина одного деления шкалы (расстояние между двумя штрихами),  $a$  — длина плеча и  $L$  — длина стрелки.

Вторая формула выражает период колебания весов  $T$ , причем  $e$  — радиус инерции коромысла и  $g$  — ускорение силы тяжести.

Для ненагруженного коромысла формулы (1) и (2) принимают вид:

$$\eta = \frac{Rcl}{aL}; \quad T = \pi \sqrt{\frac{e^2}{cg}}$$

Из всех величин, входящих в эти формулы, наиболее трудно определяются  $c$  и  $m$ , так как эти величины (измеряемые обычно сотыми долями миллиметра) не могут быть найдены непосредственным измерением.

Однако знание этих величин при изучении точных весов совершенно необходимо.

Так например, неизменность  $m$  (т. е. „просвета между призмами“) при всех нагрузках показывает, что коромысло не имеет заметного прогиба и, наоборот, увеличение  $m$  под нагрузкой показывает, что имеет место или прогиб коромысла, или „сползание“ одной из кареток грузоприемных призм.

Между тем величины  $c$  и  $m$  могут быть найдены вычислением либо из формулы (1), либо из формулы (2), для этого необходимо определить либо чувствительность, либо период колебания ненагруженного коромысла и весов при некоторой нагрузке.

Но найти  $c$  и  $m$  по чувствительности достаточно точно нельзя, так как сама чувствительность, определяемая по величине отклонения стрелки под влиянием некоторого груза, в силу всегда имеющего места непостоянства показаний весов, в большей или меньшей мере непостоянна.

Формула (2) дает возможность найти  $c$  и  $m$  с значительно большей степенью точности, так как период колебания весов  $T$  отличается большим постоянством и, кроме того, определение его с большой точностью не представляет труда.<sup>1</sup>

Эти соображения и легли в основу тех методов исследования точных весов по периоду их качания, которые введены мною в Лаборатории весовых приборов ВНИИМа.

Но для того чтобы можно было оперировать формулой (2), необходимо уметь определять момент инерции коромысла  $K = Rg^2$  с большой степенью точности. Очевидно, что для тел столь неправильной формы, какими являются коромысла, определять момент инерции расчетом чрезвычайно трудно даже при небольшой степени точности. Поэтому мною был предложен и введен в практику Лаборатории весовых приборов ВНИИМа прием определения момента инерции коромысла крутильным маятником.

#### Определение момента инерции коромысла крутильным маятником

Работами Coulomb'a установлено, что для крутильных колебаний справедливо следующее соотношение:

$$p = \frac{Fgr^2}{I}, \quad (3)$$

<sup>1</sup> Сама чувствительность может быть определена наиболее точно наблюдением периода качания  $T$ .



где  $p$  — момент закручивающей пары,  $\varphi$  — угол закручивания проволоки (закрепленной в верхнем конце),  $l$  — длина проволоки,  $r$  — радиус сечения проволоки, а  $F$  — постоянная, зависящая от материала проволоки.

Если обозначить  $\frac{Fr^4}{l} = j$ , то предыдущее равенство примет вид:

$$p = j\varphi,$$

где  $j$  — модуль кручения проволоки.

Пропорциональность между  $p$  и  $\varphi$  для тонких проволок оказывается удовлетворительной для весьма больших углов  $\varphi$ , в силу чего крутильные колебания тела, подвешенного к концу тонкой проволоки, будут в высокой мере изохронными (время колебания не зависит от амплитуды).

Как видно из формулы (3), угол закручивания зависит только от момента закручивающей пары и от постоянных элементов проволоки  $r$ ,  $l$  и  $F$  и не зависит от натяжения проволоки, т. е. от массы груза, подвешенного к проволоке. Это справедливо до тех пор, пока не перейден предел упругости проволоки.

Период крутильного колебания определяется по формуле:

$$T = \pi \sqrt{\frac{K}{j}},$$

где  $K$  — момент инерции тела, откуда:

$$K = \frac{T^2 j}{\pi^2}.$$

Если зафиксировать определенную проволоку определенной длины, то тогда:

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{T_2^2}{T_1^2},$$

откуда

$$K_2 = K_1 \frac{T_1^2}{T_2^2}. \quad (4)$$

Из этой формулы видно, что, зная момент инерции какого-нибудь тела и наблюдая периоды крутильных колебаний этого тела и второго тела на той же проволоке, можно определить момент инерции второго тела.

Так как  $T_1$  и  $T_2$  могут быть определены чрезвычайно точно (наблюдая большое число колебаний), то и момент инерции может быть определен с большой степенью точности.

Для определения момента инерции коромысла мною сконструирован прибор (рис. 1), состоящий из двух зажимов — верхнего и нижнего и небольшого легкого треугольника, к вершинам которого припаяны три проволоки, концы которых входят в отверстия нижнего зажима и закрепляются винтами. Верхний зажим укрепляется неподвижно (привинчивается к кронштейну).

Если положить коромысло весов на треугольник так, чтобы коромысло и стрелка находились в горизонтальной плоскости, и наблюдать

крутильные колебания, то мы определим момент инерции  $K_0$  коромысла относительно оси, проходящей через его центр тяжести.

Для нашей задачи нам надо определять момент инерции  $K$  коромысла относительно оси, проходящей через рабочее ребро опорной призмы. Но, как известно из механики:

$$K = K_0 + Rc^2,$$

где  $R$  — масса коромысла, а  $c$  — расстояние от центра тяжести коромысла до линии опоры.

Так как это расстояние по сравнению с радиусом инерции коромысла чрезвычайно мало (например — для весов до 200 г радиус инерции измеряется целыми сантиметрами, а  $c$  — сотыми долями миллиметра), то можно без сколько-нибудь значительной погрешности считать  $K = K_0$ .

Для проверки точности определения момента инерции крутильным маятником мною неоднократно производились определения моментов инерции коромысел с помощью двух разных тел правильной формы (прямоугольные параллелепипеды). Сравнение обоих результатов показало, что ошибка при определении  $K$  не превосходит 0,05%.

Определим момент инерции коромысла этим способом.

Вычислением определяем момент инерции стальной линейки, имеющей форму прямоугольного параллелепипеда:

$$K_1 = \frac{1}{3} m\sigma^2 = \frac{151,68 \cdot 17,69^2}{3} = 15\,815 \text{ г/см}^2,$$

где  $m$  — масса линейки а  $\sigma$  — половина диагонали основания.

Сравнение времен крутильных колебаний линейки и коромысла на моем приборе дало:

$$T_1 = 22,57'' \text{ и } T_2 = 30,76'',$$

причем каждое из  $T$  определено последовательным наблюдением десяти периодов колебаний.

Далее, по формуле (4) имеем:

$$K_2 + 26 = (15\,815 + 26) \frac{946,18}{509,41} = 29\,423,$$

откуда

$$K_2 = 29\,423 - 26 \approx 29\,400 \text{ г/см}^2,$$

где 26 есть определенный ранее момент инерции самого прибора.

Определение момента инерции того же коромысла с помощью другого стального бруска дало следующий результат:

$$K_2 = 29\,410 \text{ г/см}^2.$$

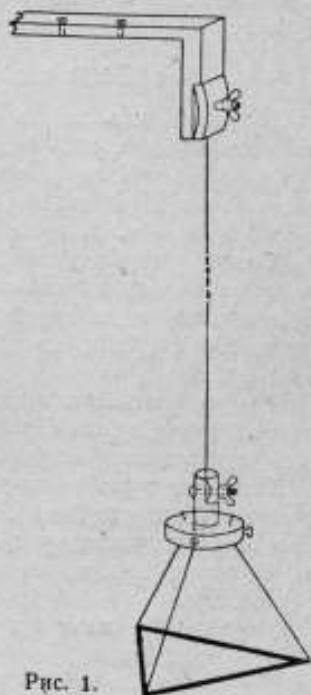


Рис. 1.

Сравнение обоих полученных результатов показывает, что указанный способ дает большую точность определения момента инерции.<sup>1</sup>

В дальнейшем будет показано, как можно, наблюдая периоды колебания весов при разных нагрузках, достичь таких свойств весов, которые иными способами или совсем недостижимы, или достижимы с большим трудом.

### Весы с постоянной чувствительностью

Очевидно, что работа на точных и аналитических весах будет чрезвычайно удобной, если весы будут иметь постоянную при всех нагрузках чувствительность, причем это будет особенно удобным, если чувствительность будет выражаться „круглыми числами“, как например: 0,1; 0,2; 0,4; 0,5 мг и т. д.

Такие весы дадут большую экономию во времени работы, так как не будет необходимости определять чувствительность весов при каждом взвешивании и, кроме того, упростятся все вычисления, связанные со взвешиванием, так как цена одного деления выразится „круглым числом“.<sup>2</sup>

Но до настоящего времени как среди весов советского производства, так и весов лучших иностранных фирм редко приходится наблюдать весы с чувствительностью, постоянной при всех нагрузках.

Причина этого заключается в том, что при существующих способах окончательной регулировки весов (весовым способом) достичь постоянной при всех нагрузках чувствительности чрезвычайно трудно.

Покажем теперь, как можно получить весы с постоянной чувствительностью.

Рассмотрим сначала этот вопрос теоретически.

Из формулы

$$\eta = \frac{(Rc + 2Pm) l}{aL}$$

видно, что чувствительность весов не будет зависеть от нагрузки, если  $m = 0$ .<sup>3</sup>

Тогда формула (1) принимает вид:

$$\eta = \frac{Rcl}{aL}$$

Задаваясь определенной чувствительностью и определив  $R$ ,  $l$ ,  $a$  и  $L$  из полученной формулы, найдем  $c$ .

<sup>1</sup> Существует другой способ определения момента инерции (коромысла, когда момент инерции вычисляется по формуле (2), в которой  $c$  и  $m$  заранее определены из формулы (1). Но этот способ определения момента инерции является во много раз менее точным, чем предлагаемый мною способ, так как чувствительность весов, определение которой необходимо для вычисления  $c$  и  $m$ , не может быть определена с большой точностью в силу всегда имеющего места непостоянства показаний весов.

<sup>2</sup> Эти указания не относятся, конечно, к таким метрологическим работам, при которых время, потраченное на взвешивание, не имеет особого значения.

<sup>3</sup>  $m$ , т. е. „просвет между призмами“, должен быть чрезвычайно малым, чтобы он не влиял заметно на чувствительность. Так например, в аналитических весах до 200 г просвет, равный 0,1 микрона, уже оказывает заметное влияние на чувствительность.

При  $m = 0$  формула (2) принимает следующий вид:

$$T = \pi \sqrt{\frac{R\theta^2 + 2Pa^2}{Rcg}}. \quad (5)$$

Ненагруженное коромысло, т. е. при  $2P = 0$ , имеет время колебания

$$T_0 = \pi \sqrt{\frac{\theta^2}{cg}}. \quad (6)$$

Найденное из предыдущего уравнения  $c$  подставляем в формулу (5) и определяем период колебания весов  $T_{2P}$  при полной нагрузке, а по формуле (6) находим  $T_0$ .

Из сказанного ясно, что если удастся регулировкой привести весы к такому состоянию, что ненагруженное коромысло и весы при полной нагрузке будут иметь периоды колебания  $T_0$  и  $T_{2P}$ , то такие весы будут иметь постоянную чувствительность.

Покажем, как это осуществить практически.

Мастер, закончив грубую подгонку чувствительности и неравноплечности весов, должен при помощи регулировочной гайки на стрелке коромысла добиться того, чтобы ненагруженное коромысло колебалось  $T_0$  секунд. Выполнить это, имея секундомер, чрезвычайно просто. Этим будет достигнуто  $c$  требуемых по расчету размеров.

После этого, уже не трогая регулировочной гайки, а немного подавая вверх или вниз винтом одну из кареток грузоприемных призм, мастер должен добиться того, чтобы при полной нагрузке весы колебались заданное число  $T_{2P}$  секунд (выполнить это уже значительно труднее, однако, опыт показал, что мастер завода „Эталон“ т. Афанасьев смог за один рабочий день привести к такому состоянию двое весов).

Выполнив это, мы практически достигаем того, что  $m = 0$ , т. е. что весы будут иметь постоянную при всех нагрузках чувствительность.<sup>1</sup>

Из сказанного видно, что регулировка по времени колебания дает возможность придать весам такие свойства, которые при иных способах регулировки чрезвычайно трудно достижимы.

Основным недостатком этого метода является то, что для осуществления его требуется заранее определить все основные элементы, как-то: массы коромысла, момента его инерции, массы чашек и сержек, длины плеч, длины стрелки и длины деления шкалы, и кроме того, произвести расчет для определения  $T_0$  и  $T_{2P}$ , что требует значительного времени и достаточной квалификации работника.

Но, оказывается, что при современных условиях массового выпуска точных весов одинаковой нагрузки можно все вышеуказанные измерения

<sup>1</sup> При поднимании и опускании каретки грузоприемной призмы несколько смещается положение центра тяжести, и, следовательно, изменяется  $c$ . Но, принимая во внимание, во-первых, небольшую по сравнению с коромыслом массу каретки и, во-вторых, незначительность самого  $m$ , нетрудно понять, что изменение  $c$  будет столь малым, что им можно пренебречь. (Следует помнить, что регулировка по времени колебания есть регулировка окончательная и что грубая регулировка уже была выполнена ранее.)

Если при работе с весами окажется необходимым иметь не ту чувствительность, которая получена при регулировке, то достичь этого чрезвычайно легко с помощью гайки регулятора на стрелке коромысла.



произвести лишь для нескольких экземпляров данной серии и все расчеты произвести по средним данным.

Чтобы убедиться в том, что для каждого отдельного экземпляра можно применить средние результаты и при этом получится достаточная точность регулировки, я проделал следующую работу.

Взяв 10 экземпляров аналитических весов до 200 г типа Сарториус с алюминиевым коромыслом, я измерил все их основные элементы.

Результаты измерения привожу в следующей таблице:

№ весов	Масса коромысла в г	Момент инерции коромысла в г.см <sup>2</sup>	Масса чашек и серёжек в г	Длина двух плеч в см	Длина отрезка в см
833	50,09	1645	110,24	13,94	25,35
839	50,12	1640	113,69	13,95	25,30
814	49,65	1635	111,00	14,00	25,27
770	50,14	1605	110,47	14,00	25,25
755	49,64	1596	114,77	13,96	25,26
854	49,60	1621	110,60	13,92	25,28
747	49,95	1628	112,05	13,96	25,28
782	49,52	1628	111,84	13,98	25,25
786	49,75	1625	111,70	13,95	25,28
756	49,70	1598	113,22	13,94	25,29
Средние:	49,82	1625	112,00	13,96	25,28

Длина  $l$  одного деления шкалы для всех весов одинакова и равна 1 мм.

По этим средним данным я произвел расчеты для двух весов. Для первых весов беру чувствительность, равную 0,2 мг, для вторых весов — 0,5 мг.

Для весов чувствительностью 0,2 мг:

$$0,0002 = \frac{49,82 \cdot c \cdot 0,1}{6,98 \cdot 25,28},$$

откуда

$$c = 0,00708 \text{ см.}$$

Далее:

$$T_0 = 3,142 \sqrt{\frac{1625}{49,82 \cdot 0,00708 \cdot 981}} = 6,81''$$

$$T_{\text{зр}} = 3,142 \sqrt{\frac{1625 + 512 \cdot 6,98^2}{49,82 \cdot 0,00708 \cdot 981}} = 27,53''.$$

Для весов чувствительностью 0,5 мг:

$$0,0005 = \frac{49,82 \cdot c \cdot 0,1}{6,98 \cdot 25,28},$$

откуда

$$c = 0,0177 \text{ см.}$$

Тогда

$$T_0 = 3,142 \sqrt{\frac{1625}{49,82 \cdot 0,0177 \cdot 981}} = 4,31''.$$

$$T_{2P} = 3,142 \sqrt{\frac{1625 + 512 \cdot 6,98^2}{49,82 \cdot 0,0177 \cdot 981}} = 17,41''.$$

По этим данным были отрегулированы двое весов № 780 и № 837, причем получились при проверке следующие результаты:

Аналитические весы № 780 до 200 г

Заданная чувствительность 0,2 мг

Нагрузка	Отсчеты колебаний					Среднее
0-0	{ 12,3	6,8	12	7,2	9,49	} 9,50
	{ 16,7	2,7	16	3,3	9,51	
0+1 мг	{ 19,2	10,6	18,8	11,3	14,83	} 14,80
	{ 19,0	10,8	18,5	11,4	14,78	
200 г	{ 17	3,5	15,8	4,7	9,95	} 10,10
A-B	{ 12,8	7,8	12,5	8,3	10,25	
B-A	{ 16,3	2,1	15,2	3,2	8,92	} 8,89
	{ 15,6	2,7	14,5	3,7	8,86	
B-A+1 мг	{ 17	11,2	16,3	11,4	13,88	} 13,87
	{ 17,2	10,9	16,6	11,2	13,86	

Чувствительность ненагруженных весов =  $\frac{1}{5,29} = 0,19$  мг.

Чувствительность весов при нагрузке в 200 г =  $\frac{1}{5,02} = 0,20$  мг.

Аналитические весы № 837 до 200 г

Заданная чувствительность 0,5 мг

Нагрузка	Отсчеты колебаний					Среднее
0-0	{ 12,5	7,6	12,4	7,7	9,98	} 10,01
	{ 12	7,2	12,8	7,4	10,05	
0+1 мг	{ 17	7,1	16,8	7,3	12,00	} 11,97
	{ 16,1	7,8	16	8	11,94	
200 г	{ 13,1	9,5	13	9,7	11,29	} 11,33
A-B	{ 13,7	9,2	13,5	9,3	11,37	
B-A	{ 12,1	7	12	7,1	9,53	} 9,49
	{ 12,8	6,2	12,6	6,4	9,45	
B-A+1 мг	{ 15,9	7,3	15,8	7,5	11,59	} 11,62
	{ 16,2	7,2	16	7,4	11,65	

Чувствительность ненагруженных весов =  $\frac{1}{1,96} = 0,51$  мг.

Чувствительность при нагрузке в 200 г =  $\frac{1}{2,13} = 0,47$  мг.

Чтобы оценить полученные результаты, заметим следующее.

Очевидно, что получить определенную наперед заданную чувствительность точно не можем. Весь вопрос будет в том, какое отклонение полученной чувствительности от заданной можно считать допустимым.

Я считаю, что указанное отклонение вполне допустимо, если оно не превосходит 0,1 заданной чувствительности, так как в этом случае при определении массы груза, соответствующей пяти делениям шкалы, ошибка не превзойдет половины чувствительности.

Тогда для весов с заданной чувствительностью в 0,2 мг и 0,5 мг получим следующие границы для чувствительности:

$$0,18 \ll \eta \ll 0,22 \quad \text{и} \quad 0,45 \ll \eta \ll 0,55.$$

Как видно из приведенных ранее результатов, полученная в обоих случаях чувствительность не выходит за пределы этих границ.<sup>1</sup>

### Изохронные весы

Изохронными называются весы, у которых период колебания не зависит от нагрузки.

Для того чтобы выяснить, каким образом можно на практике получить изохронные весы, рассмотрим сначала вопрос теоретически.

Из формулы периода колебания весов

$$T = \pi \sqrt{\frac{R\varrho^2 + 2Pa^2}{(Rc + 2Pm)g}}$$

видно, что время качания не будет зависеть от  $P$ , если подкоренное выражение будет оставаться постоянным при переменном  $P$ , т. е.

$$\frac{R\varrho^2 + 2Pa^2}{Rc + 2Pm} = \text{const}$$

( $g$  — постоянная величина).

Но тогда производная от этой дроби, взятая по переменной  $P$ , должна равняться 0:

$$\left( \frac{R\varrho^2 + 2Pa^2}{Rc + 2Pm} \right)_P = 0$$

или

$$\frac{2a^2(Rc + 2Pm) - 2m(R\varrho^2 + 2Pa^2)}{(Rc + 2Pm)^2} = 0,$$

откуда

$$2a^2(Rc + 2Pm) - 2m(R\varrho^2 + 2Pa^2) = 0,$$

или

$$2a^2Rc + 4Pma^2 - 2mR\varrho^2 - 4Pma^2 = 0$$

$$2R(ca^2 - m\varrho^2) = 0.$$

Но

$$2R \neq 0,$$

следовательно

$$ca^2 = m\varrho^2$$

или

$$\frac{c}{m} = \frac{\varrho^2}{a^2}. \quad (7)$$

Это и есть условие изохронности весов.

<sup>1</sup> Если произвести расчеты для данного экземпляра по его действительным размерам, то весы могут быть отрегулированы еще точнее.

Если  $c$ ,  $m$ ,  $g$  и  $a$  будут отвечать требованиям формулы (7), то период колебания весов будет при всех нагрузках одинаковым.

Действительно, подставляя полученное выражение для  $m$  в формулу (2), получим:

$$T = \pi \sqrt{\frac{Rg^2 + 2Pa^2}{\left(Rc + 2Pc \frac{a^2}{g^2}\right) g}} = \pi \sqrt{\frac{(Rg^2 + 2Pa^2) g^2}{(Rg^2 + 2Pa^2) cg}}$$

и после сокращения:

$$T = \pi \sqrt{\frac{g^2}{cg}}$$

Как видно, в результате получилась формула для периода колебания ненагруженного коромысла, т. е., следовательно, нагруженные весы будут иметь тот же период колебания, что и ненагруженное коромысло.

Покажем теперь, как практически сделать весы изохронными.

Из формулы (6) видно, что при неизменных  $m$ ,  $g$  и  $a$  можно достичь этого соотношения изменением  $c$ . Осуществить это чрезвычайно просто при помощи гайки-регулятора положения центра тяжести. Поднимая или опуская ее, надо добиться того, чтобы при всех нагрузках весы колебались одинаковое число секунд. Но при таком способе получения изохронных весов чувствительность их может быть не такую, какая необходима.

Покажем, как это можно сделать иначе. Пусть, например, задано изготовить изохронные весы, которые при некоторой нагрузке  $2P$  должны иметь определенную чувствительность.

Формула чувствительности весов (1) для изохронных весов имеет вид:

$$\eta = \frac{\left(Rc + 2Pc \frac{a^2}{g^2}\right) l}{aL}$$

или

$$\eta = \frac{(Rg^2 + 2Pa^2) c \cdot l}{aLg^2}$$

Отсюда, задаваясь определенной чувствительностью при нагрузке  $2P$ , определяем  $c$  и, подставляя его в формулу периода колебания коромысла  $T = \pi \sqrt{\frac{g^2}{cg}}$ , найдем из нее  $T$ , которое и будет отвечать заданным условиям.

Практически это может быть осуществлено следующим образом. После окончания грубой регулировки мастер с помощью регулировочной гайки должен заставить ненагруженное коромысло колебаться вычисленное число  $T$  секунд (осуществить это чрезвычайно просто). Этим практически будет найдено нужное  $c$ .

Затем, уже не трогая регулировочной гайки, а немного подавая винтом одну из кареток грузоприемных призм, мастер должен заставить нагруженные весы колебаться то же число секунд. Достигнуть этого уже значительно труднее, однако, это потребует такого же количества времени, которое необходимо для отрегулировки весов под постоянную чувствительность.



Таким образом будут получены изохронные весы, отвечающие наперед заданным условиям.

Нетрудно показать, что, пользуясь тем же методом регулировки, можно изготовить весы и по другим, наперед заданным условиям чувствительности и времени колебания весов, лишь бы только эти условия не были противоречивыми. Так например, нельзя наперед задать при некоторой нагрузке определенную чувствительность и определенный период колебания, так как обе эти величины зависят друг от друга.

Подробно на этом останавливаться не буду.<sup>1</sup>

### Проверка чувствительности весов наблюдением периода колебания весов

Из формул для периода колебания ненагруженного коромысла и весов под нагрузкой

$$T = \pi \sqrt{\frac{e^2}{cg}}$$
$$T = \pi \sqrt{\frac{Rg^2 + 2Pa^2}{(Rc + 2Pm)g}}$$

видно, что этот период находится в зависимости от чувствительности весов при данной нагрузке, т. е. что определенной чувствительности при данной нагрузке соответствует вполне определенный период колебания весов. Отсюда очевидно, что и обратно—по найденному периоду колебания весов при данной нагрузке может быть вычислена чувствительность весов.

Для того чтобы не производить вычисления, можно для весов массового выпуска составить таблицу периодов колебаний и соответствующих им чувствительностей при 0,1 полной нагрузки и при полной нагрузке, тогда чувствительность весов может определяться наблюдением периода колебания весов при указанных нагрузках.

Если к этому добавить, что при наличии у поверителя хорошо подогнанных по весу гирь (что осуществимо сравнительно легко) неравноплечность весов может проверяться непосредственным отклонением стрелки весов в ту или иную сторону от положения равновесия ненагруженных весов (без переноса гирь с чашки на чашку), то станет очевидным, насколько может быть упрощена проверка аналитических весов.

Применяя этот метод, можно сократить время, необходимое для проверки точных весов существующими методами в два, в два с половиной раза, причем главная часть времени проверки должна быть уделена определению постоянства показаний весов, так как это качество весов является для характеристики весов наиболее важным. Время же, необходимое для проверки неравноплечности и особенно чувствительности, будет совсем незначительным.

Как показал опыт Лаборатории весовых приборов ВНИИМа, чувствительность весов определяется при этом точнее, чем при непосредственном определении чувствительности весовым способом.

<sup>1</sup> См. А. Н. Доброхотов, Рычажные весы, Стандартгиз, 1936, стр. 62.  
Ред.

## QUELQUES RECHERCHES DANS LE DOMAINE DES BALANCES DE PRÉCISION

### Résumé

L'auteur propose de se servir de la méthode du pendule de torsion pour déterminer les moments d'inertie du fléau et il confirme l'applicabilité de cette méthode par les recherches expérimentales. Outre cela il indique des procédés à l'aide desquels on peut obtenir une constance de la sensibilité de la balance indépendamment de la charge, ainsi qu'une constance de la période d'oscillation.

C. Д. Гидаспон

### НОВЫЙ ПРИЕМ ТОЧНОГО ВЗВЕШИВАНИЯ

Существуют два классических способа точного взвешивания: способ Борда и способ Гаусса. Есть много описаний этих способов точного взвешивания, и потому я остановлюсь на них лишь вкратце.

Сущность способа Борда заключается в следующем:

Каждое взвешивание состоит из трех определений положения равновесия при следующих условиях:

груз на левой чашке:	тара	тара	тара
" " правой "	взвешиваемая	образцовые	образцовые
	масса $P$	гири $Q$	гири + гири ( $r$ )
			для определения чувствительности. <sup>1</sup>

При этом масса груза  $P$  определится следующим образом:

$$P = Q + r \frac{L_1 - L_2}{L_3 - L_2}. \quad (1)$$

Как видно, взвешивание по способу Борда производится на одном плече и тем самым устраняется влияние неравноплечности.

Взвешивание по способу Гаусса состоит также из трех определений положения равновесия при следующих условиях:

груз на левой чашке:	взвешиваемая	$Q + q$	$Q + q$
" " правой "	масса $P$	$P$	$P + r$
	образцовые		
	гири $Q$		

Здесь  $q$  — масса того груза, который приходится добавить для восстановления равновесия, если оно нарушено при переносе с чашки на чашку. Если  $q$  будет добавлено к  $P$ , то его будем условно считать отрицательным.

<sup>1</sup> Груз для определения чувствительности может быть положен и на другую чашку, но в этом случае его будем считать отрицательным.

Масса груза  $P$  определяется следующим образом:

$$P = Q + \frac{1}{2}q + r \frac{L_1 - L_2}{2(L_3 - L_2)} \quad (2)$$

Как видно из приведенной схемы, при взвешиваниях по способу Гаусса производится перенос с чашки на чашку взвешиваемого груза и образцовых гирь, чем учитывается возможная неравноплечность весов.

Оба изложенных способа дают возможность наиболее точно определять массу тел, в особенности если произвести наблюдение каждого из положений равновесия несколько раз.

Однако способ Гаусса является все же более точным, так как случайная ошибка при определении  $L_1$  и  $L_2$ , или  $L_3$  сказывается в способе Гаусса в два раза менее, чем в способе Борда, что непосредственно видно из сопоставления формул (1) и (2).<sup>1</sup>

В практике работы лабораторий, производящих поверку аналитических и образцовых разновесов, оба описанных способа часто оказываются неудобными (или просто неприемлемыми), так как требуют большой затраты времени, ибо определение массы каждой гири требует трех наблюдений.

В таких случаях применяется способ Д. И. Менделеева, который по существу является видоизменением способа Борда для последовательного определения массы нескольких тел (например, целого разновеса) при постоянной нагрузке.

Взвешивание по способу Менделеева производится следующим образом. На одну чашку весов (например на правую) ставят сумму гирь образцового разновеса, по одной гире каждого наименования, а на левую чашку — тару, уравновешивающую эти гири, и определяют среднюю точку положения равновесия  $L_n$ .

Разность  $L_n - L_0$  и характеризует разность массы соответствующих взвешиваемой и образцовой гирь.

Чувствительность обычно определяется два раза — в начале взвешивания и в конце.

Запись производится по следующей схеме:

Наименование гири	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$L$	$R_n$	$R_0$	$q_n$	Поправка	
									образцовой гири в мг	взвешиваемой гири в мг

В этой схеме  $R_n = L_n - L_0$ ,  $g$  — чувствительность весов (берется среднее из двух определений в начале и в конце взвешивания),  $q_n$  — масса груза, добавляемого для восстановления равновесия, если оно на-

<sup>1</sup> Я совершенно не затрагиваю вопроса о поправках на разность объемов, так как эти поправки вводятся одинаково, независимо от способов взвешивания.

рушено при перемене гирь ( $q$  — условно считается положительным, если добавляется к таре, и отрицательным, если добавляется к гилям).

Тогда масса каждой гири  $P_n$  определяется через массу соответствующей образцовой гири  $Q_n$  следующим образом:

$$P_n = Q_n + R_n g + q. \quad (3)$$

Взвешивание по способу Менделеева требует  $n + 3$  строки, например, для разновеса в 12 гирь — 15 строк. Следовательно, на каждую гирю приходится 1,25 строки.

Предлагаемый мною способ точного взвешивания является видоизменением способа Гаусса для последовательного определения массы нескольких гирь (поверка целого разновеса).

По отношению к способу Гаусса он занимает то же место, что и способ Д. И. Менделеева по отношению к способу Борда.

Сущность способа заключается в следующем.

На одну чашку весов (например, на левую) кладем все гири приемного разновеса, а на другую — все гири образцового разновеса.

Для приведения весов к равновесию добавляем (обычно рейтером) некоторый тарировочный груз, который, как будет видно из дальнейшего, при расчете не учитывается, и наблюдаем среднюю точку положения равновесия —  $L_0$ .

Затем переносим с чашки на чашку две гири одного наименования, оставляя все остальные гири на прежних местах. Такую же операцию переноса с чашки на чашку производим и со всеми другими гилями, причем после каждого переноса наблюдаем среднюю точку положения равновесия. Тогда разность между средними точками положения равновесия двух рядом наблюдаемых колебаний  $L_n - L_{n-1}$ , возникшая от переноса с чашки на чашку гирь  $P_n$  и  $Q_n$ , и будет характеризовать разность массы этих гирь (взвешиваемой и образцовой).

Таким образом к концу взвешивания все образцовые гири окажутся на левой чашке, а взвешиваемые — на правой.

Чувствительность так же, как и при способе Менделеева, определяется в начале взвешивания и в конце.

Запись производится по следующей схеме:

Наименование гири	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$L$	$R_n$	$\frac{Q_n}{2}g$	$q_n$	Поправка	
									образцов. гири в мг	взвешиваемой гири в мг

В этой схеме  $R_n = L_n - L_{n-1}$ ,  $g$  — чувствительность (берется среднее из двух определений),  $q_n$  — масса груза, который приходится добавлять для восстановления равновесия, если оно при переносе гирь нарушится (причем  $q_n$  следует условно считать положительным, если он добавляется к образцовой гире, и отрицательным — если добавляется к взвешиваемой гире).

Взвешивание миллиграммового разновеса № 28 по способу Менделеева

Наименование гири	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$L$	$R_n$	$R_n g$	$q_n$	$P_n - Q_n$	Погрешность	
										образцовых гири в мг	взвешиваемых гири в мг
$r = 0,2 \text{ мг}$	13,4	9,8	13,2	10	11,64	-0,16	-0,006	-0,2	-0,206	+0,030	-0,176
500 "	9,7	2,6	9,3	2,9	6,06	-0,79	-0,028	-0,2	-0,228	-0,650	-0,274
200 "	12,3	9,3	12,1	9,5	10,75	+0,10	+0,004	+0,2	+0,2,4	-0,011	+0,193
200 "	12,6	10,8	12,4	10,9	11,64	+1,05	-0,038	-0,1	-0,078	-0,016	-0,054
100 "	13,6	7,5	13,3	7,9	10,49	+1,24	+0,045	+0,1	+0,145	-0,001	+0,144
50 "	15,5	10,2	15,2	10,5	12,78	+0,40	+0,015	+0,1	+0,115	-0,005	+0,110
20 "	12,7	10,7	12,6	10,8	11,94	+1,25	+0,046	-0,1	+0,046	-0,013	+0,033
20 "	14,4	11,2	14,3	11,4	12,79	+0,27	+0,010	-0,1	-0,090	+0,139	+0,049
10 "	13,6	10,2	13,3	10,4	11,81	+0,33	+0,012	-0,1	+0,012	-0,001	+0,011
5 "	15	8,8	14,8	9,2	11,87	-0,34	-0,012	-0,1	-0,012	+0,021	+0,009
2 "	14,7	7,9	14,3	8,3	11,20	-0,39	-0,014	-0,1	-0,014	+0,023	+0,009
2 "	12,7	9,6	12,6	9,9	11,15	+0,67	+0,025	-0,1	+0,025	-0,002	+0,023
1 "	14,4	10,1	14,2	10,4	12,21						
$r = 0,2 \text{ мг}$	10,2	3,3	10	3,6	6,69						

$$g = \frac{0,2}{5,5} = 0,0364.$$

Взвешивание миллиграммового разновеса № 28 по предлагаемому автором способу

Наименование гири	$t_1$ $t_2$ $t_3$ $t_4$					$L$	$R_n$	$\frac{1}{2} R_n g$	$q_n$	$P_n - Q_n$	Погрешность	
	образцовых гири в мг	взвешиваемых гири в мг										
$\Sigma_{\text{взв}} - \Sigma_{\text{обр}}$	12,1	9,3	11,8	9,5	10,61							
$r = 0,2 \text{ мг}$	8,8	1,8	8,4	2,3	5,21	-0,27	-0,005	-0,4	-0,205	+0,030	-0,175	
500 "	12,1	8,8	11,7	9,1	10,34	+1,67	+0,031	-0,5	-0,219	-0,050	-0,269	
200 "	13,1	11	12,9	11,3	12,01	+2,64	+0,050	+0,3	+0,200	-0,011	+0,189	
200 "	17,1	12,4	16,7	12,8	14,65	+0,44	-0,008	-0,1	-0,042	-0,016	-0,058	
100 "	17,5	12,8	17,2	13,2	15,09	-0,49	-0,009	+0,3	+0,141	-0,001	+0,140	
50 "	18	11,4	17,6	11,8	14,60	+0,29	+0,005	+0,2	+0,105	-0,005	+0,100	
20 "	18	11,9	17,7	12,3	14,89	-0,77	-0,015	+0,1	+0,036	-0,013	+0,023	
20 "	16,7	11,7	16,4	12	14,12	-2,22	-0,042	-0,1	-0,092	+0,139	+0,147	
10 "	13,4	10,5	13,2	10,7	11,90	+0,71	+0,013	+0,1	+0,013	-0,001	+0,012	
5 "	14,4	10,9	14,2	11,2	12,61	-0,397	-0,007	-0,007	-0,007	+0,021	+0,014	
2 "	14,4	10,3	14	10,5	12,22	-0,78	-0,015	-0,015	-0,015	+0,023	+0,008	
2 "	13,2	9,7	13,1	9,9	11,44	+1,08	+0,020	+0,020	+0,020	-0,002	+0,018	
1 "	13,4	11,7	13,3	11,8	12,52							
$r = 0,2 \text{ мг}$	9,7	5,1	9,3	5,5	7,32							

$$g = \frac{0,2}{10,6} = 0,01886$$

Масса каждой взвешиваемой гири  $P_n$  определяется через массу соответствующей образцовой гири  $Q_n$  следующим образом:

$$P_n = Q_n + \frac{1}{2} R_n g + \frac{1}{2} q_n \quad (4)$$

Всего на 12 гирь приходится  $n + 3$  строки наблюдений, что для разновеса в 12 гирь составит 15 строк, т. е. на каждую гирю придется 1,25 строки.

Таким образом при взвешивании по способу Менделеева и по предлагаемому мною способу приходится затрачивать время, по крайней мере в  $2\frac{1}{2}$  раза меньшее, чем при взвешивании по способу Борда или по способу Гаусса.

Рассмотрим теперь недостатки обоих способов (Менделеева и моего) вместе и каждого из них в отдельности.

Основным недостатком обоих способов является то, что взвешивание производится при большой нагрузке весов, а при этом, как правило, чувствительность весов бывает меньше. Иногда эти соображения не играют особой роли. Во всяком случае для миллиграммовых разновесов эти соображения отпадают совсем.

Чтобы оценить сравнительные достоинства и недостатки обоих способов в отдельности, необходимо принять во внимание следующее.

Ошибки, которые неизбежно возникают при всяком измерении, а, следовательно, и при взвешивании, бывают двух родов:

Ошибки случайные, происходящие при взвешивании от тех случайных толчков, которые получает коромысло при арретировании и опускании. Устранить эти ошибки невозможно. Их можно только уменьшить, выполняя взвешивание как можно осторожнее.

Ошибки систематические, происходящие при взвешивании, например, от температурных влияний на коромысло (это влияние сказывается даже при самых хороших условиях работы), в силу чего всякие весы обладают некоторой долей непостоянства.

Всякая ошибка первого рода, т. е. случайная ошибка при определении каждого из  $L$ , будет сказываться в предлагаемом мною способе в два раза меньше, чем в способе Менделеева, что непосредственно видно из сопоставления формул (3) и (4).

Предлагаемый же мною способ дает ту же точность, что и способ Гаусса.

Основным недостатком предлагаемого мною способа является несколько более сложная схема рассуждений, которая, однако, не сказывается на усложнении выкладок, и потому уже при знакомстве с моим способом работа по нему не труднее, чем работа по способу Менделеева.

В заключение привожу развернутую запись взвешивания разновеса по способу Менделеева и по предлагаемому мною (стр. 26 и 27).

*S. D. Guidaspov*

## NOUVEAU PROCÉDÉ POUR LE PESAGE DE PRÉCISION

### Résumé

L'auteur démontre la possibilité de se servir de la méthode de Gauss pour calibrer les poids, la charge sur les plateaux de la balance étant constante.

## КОРОМЫСЛО ВЕСОВ И МАЯТНИК

Колеблющееся коромысло весов обычно уподобляют физическому маятнику. Д. И. Менделеев в статье „Опытное исследование колебаний весов“<sup>1</sup> говорит, что „весы представляют в сущности тоже своего рода маятник с теми особенностями, что в них центр тяжести лежит очень близко под точкой опоры, а центр качания — очень далеко под центром тяжести“. В другой своей статье „Подготовка к определению абсолютного напряжения тяжести в Главной палате мер и весов“<sup>2</sup> он пишет: „Конечно, весы и маятники колеблются в очень неодинаковых условиях: у весов центр тяжести лежит близко под точкой опоры, а у маятников взаимное их расстояние велико, но причина и ряд явлений совершенно одни и те же, а потому заключение от весов к маятнику нельзя считать неосновательным. Мне кажется вообще, что связь между весами и маятниками заслуживает большего внимания, чем то, которое ныне замечается в этом отношении“.

Таким образом признается, что между коромыслами весов и маятниками существует очень близкая аналогия. Разница между ними лишь в расположении центров тяжести: у коромысла весов он находится очень близко под точкой опоры, а у маятника — очень далеко. Более подробного развития и пояснения этой аналогии, сколько мне известно, в литературе не встречается.

Но вышеуказанного весьма краткого указания на сходство и отличие между коромыслами весов и маятниками — недостаточно. Остаются совершенно необъясненными, например, следующие неясности: а) на каком расстоянии от точки опоры должен находиться центр тяжести данного прибора, чтобы его считать либо коромыслом, либо маятником; б) почему при уменьшении расстояния от центра тяжести до точки опоры время колебания маятника укорачивается, а время колебания коромысла при таких же условиях возрастает. Существует ли зависимость времени колебания физического маятника и коромысла весов от их массы, и если существует, то какая.

Настоящая статья и является попыткой дать ответы на вышеуказанные вопросы.

Схема физического маятника изображена на рис. 1. Он состоит из стержня  $OE$ , на конце которого прикреплена масса  $AB$ . Точка  $O$  — есть точка опоры и качания маятника, а точки  $C$  и  $D$  — центры тяжести каждой половины массы  $AB$ . Линии  $OC$  и  $OD$ , т. е. расстояния между точкой опоры и центрами тяжести обеих половин массы  $AB$ , суть радиусы инерции  $\rho$  этих половин. В общем случае радиусы инерции обеих половин массы  $AB$  могут быть неравны вследствие несимметричности

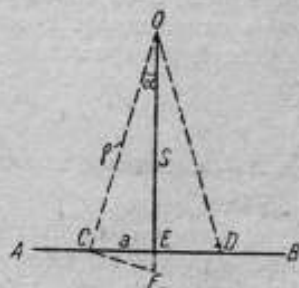


Рис. 1.

<sup>1</sup> Написана в 1899 г. и появилась в печати в издании Главной палаты мер и весов, Ленинград, 1931, стр. 1—2.

<sup>2</sup> Временник Главной палаты мер и весов, 1905, ч. VIII, стр. 8.



массы  $AB$ , но для упрощения исследования задачи рассмотрим частный случай, когда величина  $\rho$  и связанные с ней другие величины: угол  $\alpha$  и расстояние  $CE = a$  равны соответствующим величинам, находящимся по другую сторону стержня  $OE$ . Такое симметричное устройство колеблющейся массы маятника или коромысла обычно на практике и применяется.

Так как величины углов  $\alpha$ , радиусов инерции  $\rho$  и расстояний  $a$  находятся в зависимости от положения центров  $C$  и  $D$ , ближе или дальше от общего центра тяжести  $E$  массы маятника, то при изменении этих положений в ту или другую сторону можно отметить следующие случаи:

а) Расстояния  $a$  и вместе с ними углы  $\alpha$  равны нулю, а радиусы инерции  $\rho$  сливаются с длиной стержня  $OE = s$ . В таком случае получается общеизвестный математический маятник, длина которого равна расстоянию  $s$  от точки опоры до центра тяжести массы, сосредоточенной в одной точке. Время колебания такого маятника определяется по известной формуле

$$t^2 = \frac{\pi^2}{g} \cdot s = ks, \quad (1)$$

где  $k$  — постоянная величина, равная  $\frac{\pi^2}{g}$  ( $g$  — ускорение силы тяжести в данном месте).

б) Радиусы инерции  $\rho$  больше  $s$ , а величины  $a$  и  $\alpha$  больше нуля. В этом случае мы имеем дело с обычным физическим маятником. Приведенная длина его, т. е. длина синхронного с ним математического маятника, увеличивается по мере увеличения угла  $\alpha$ , а следовательно и время его колебания также возрастает. Длина эта равна расстоянию от точки опоры  $O$  до точки пересечения с направлением линии  $OE$  перпендикуляра, опущенного из точек  $C$  или  $D$  на это направление. Как видно на рис. 1, приведенная длина физического маятника  $OEAB$  равна линии  $OF$ . Так как треугольник  $OCF$  прямоугольный, а линия  $a$  является перпендикуляром, опущенным из вершины прямого угла на гипотенузу, то по известной геометрической теореме получим пропорцию:

$$OF : \rho = \rho : s. \quad (2)^1$$

Подставив вместо  $s$  в формулу (1) полученное значение приведенной длины, получим время колебания физического маятника:

$$t^2 = k \cdot \frac{\rho^2}{s}. \quad (3)$$

Из прямоугольного треугольника  $OCE$  значение  $\rho$  определяется по двум катетам:

$$\rho^2 = a^2 + s^2. \quad (4)$$

<sup>1</sup> В курсах физики приведенная длина маятника определяется как отношение момента инерции маятника к его статическому моменту, т. е.  $\frac{m\rho^2}{ms}$ , что после сокращения в числителе и знаменателе  $m$  дает то же значение, которое выведено в уравнении (2).

Подставив значение  $\rho^2$  в уравнение (3), получим время колебания физического маятника:

$$t^2 = k \frac{a^2 + s^2}{s}. \quad (5)$$

Уравнение (5) указывает на зависимость времени колебания маятника от двух величин:  $a$  и  $s$ , с изменением которых меняется и время колебания.

Для выяснения закона изменения  $t$  в зависимости от  $a$  и  $s$  предположим сперва, что величина  $a$ , т. е. расстояние от центра тяжести всей массы маятника до центра тяжести половины этой массы, остается постоянной, а изменяется лишь длина  $s$  маятника. Это — случай обыкновенного часового маятника, по стержню которого может передвигаться вверх и вниз соответствующая гиря или чечевица. На рис. 2 изображена схема маятников, у которых расстояния  $CE$ ,  $C_1E_1$ ,  $C_2E_2$ ,  $C_3E_3$  остаются постоянными, равными  $a$ , а длина  $OE$  изменяется, уменьшаясь:  $OE$ ,  $OE_1$ ,  $OE_2$ ,  $OE_3$ . Обозначим эти изменяющиеся расстояния буквой  $s_1$ . Подставив это значение  $s_1$  в уравнение (5), получим:

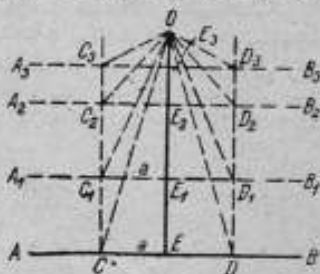


Рис. 2.

$$t^2 = k \frac{a^2 + s_1^2}{s_1}. \quad (6)$$

Значение  $s_1$  в процессе своего изменения может стать равным значению  $a$ . Это произойдет тогда, когда масса  $AB$  маятника примет положение  $A_2B_2$ , при котором угол  $a$  равен  $45^\circ$ . В таком случае формула (6) примет вид:

$$t^2 = k \frac{a^2 + a^2}{a} = k \cdot 2a. \quad (7)$$

В таком положении время колебания данного маятника становится наименьшим, и изменение его длины после этого как в смысле уменьшения, так и в смысле увеличения сопровождается увеличением времени его колебания. В самом деле, предположим, что длина маятника взята  $(a-c)$ , т. е. уменьшенная по сравнению с  $a$  на некоторую величину  $c$ . Подставив это значение в формулу (6), получим:

$$t^2 = k \frac{a^2 + (a-c)^2}{a-c} = k \cdot 2a + k \frac{c^2}{a-c}. \quad (8)$$

Из сравнения с формулой (7) видно, что уменьшение длины маятника вызвало увеличение времени колебания на величину  $k \cdot \frac{c^2}{a-c}$ .

Такой же вывод получается при предположении увеличения длины маятника за пределы значения  $a$ , т. е. когда  $s_1 = a + c$ :

$$t^2 = k \frac{a^2 + (a+c)^2}{a+c} = k \cdot 2a + k \frac{c^2}{a+c}. \quad (9)$$

Очевидно, в каждом физическом маятнике следует различать две области, разделяемые его центром тяжести, находящимся на одинаковом

расстоянии как от точки опоры, так и от центра тяжести половины его массы. При таких условиях время колебания маятника наименьшее. Уменьшение и увеличение этого расстояния связаны с увеличением времени колебания. Область, находящаяся выше указанной (критической) точки, есть область коромысла весов, а находящаяся ниже — область обыкновенных маятников.

Сделаем теперь другое предположение, именно: длина маятника остается постоянной, а величина  $a$  изменяется вследствие изменения массы маятника, или распределения этой массы. На рис. 3 изображена схема такого маятника. Так как величина  $a$  может изменяться от 0 до бесконечности, то время его колебания будет изменяться от минимального,

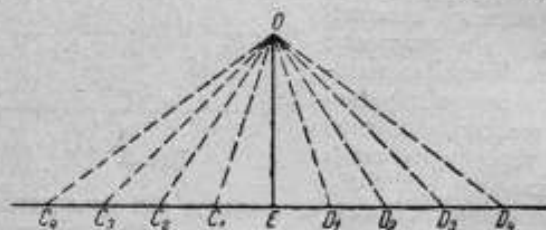


Рис. 3.

когда  $a = 0$  и физический маятник превращается в математический, длиной равный стержню  $OE$ , — до бесконечно большого, когда  $a = \infty$ . Время колебания в первом случае, когда  $a = 0$ , определяется по формуле  $t^2 = ks$ , а во втором по формуле  $t^2 = k \cdot \infty = \infty$ .

В промежутке между этими крайними значениями  $t^2$  встретится обязательно случай [формула (7)], когда  $a = s$  и время колебания  $t^2 = k \cdot 2s$ . На рис. 3 этот случай указан маятником  $OC_3D_3$ . Подобно предыдущему, все маятники, величина  $a$  коих меньше  $s$ , относятся к области обыкновенных маятников, а имеющие величины  $a$  больше  $s$  — к области коромысла.

В нижеследующей таблице, для наглядности, приводится пример хода изменения времени колебания маятников, у которых постоянной величиной является либо  $a$  либо  $s = 100$  мм.

$a = 100$ мм	Область коромысла					Область маятников									
$s$ в мм	1	5	10	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	
$t$ в сек	3,2	1,4	1,0	0,5	0,45	0,50	0,57	0,65	0,70	0,78	0,84	0,90	0,95	1,0	

$s = 100$ мм	Область маятников			Область коромысел									
$a$ в мм	1	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	
$t$ в сек	0,32	0,35	0,45	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	

Как видно из этой таблицы, задачу о построении маятника с заданным временем колебания можно разрешать различными способами. Если, например, при указанных в таблице размерах требуется маятник, время колебания которого равно 1 сек, то можно:

- а) построить коромысло, у которого  $a = 100$  мм, а  $s = 10$  мм;
- б) построить маятник, у которого  $a = 100$  мм, а  $s = 1000$  мм;
- в) построить коромысло, у которого  $a = 300$  мм, а  $s = 100$  мм.

Обычно секундный маятник строится так, что длина его берется равной приблизительно 1 м, т. е. отвечающей случаю б), но очевидно, что эта задача может разрешаться и путем устройства соответственного коромысла.

Коромысла и обыкновенные маятники использованы в науке и технике для разрешения разнообразных задач, преимущественно для устройства часов, для определения напряжения силы тяжести, для устройства весов. Первые две задачи разрешаются обычно при помощи обыкновенного маятника, у которого длина  $s$  больше величины  $a$ , а последняя задача — при помощи маятника-коромысла, у которого, наоборот,

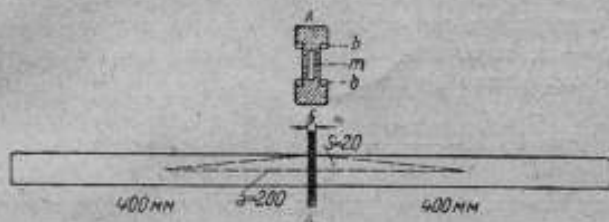


Рис. 4.

длина  $s$  меньше  $a$ . Но не исключается возможность использования маятника-коромысла не только для изготовления весов, но и приборов для определения времени и силы тяжести. Придадим массе маятника форму (рис. 4) правильной линейки, размеры которой могут быть определены с высокой степенью точности. Приспособим к этой линейке муфту  $A$ , показанную в разрезе на том же чертеже и снабженную двумя направленными друг к другу острями призм  $b, b$ , прилегающими с обеих сторон к узким граням линейки. Таким образом расстояние между острями призм равно ширине линейки. Муфта должна быть совершенно симметрична, чтобы при посадке ее на середину линейки центр тяжести линейки оставался без изменения. Если, как отмечено выше, линейка имеет правильную форму, то все размеры, необходимые для определения времени колебания такого маятника, вычисляются с большой точностью из линейных размеров. Так, необходимая нам величина  $a$  равна 0,25 всей длины линейки, а величина  $s$  равна 0,5 ее ширины.

Если, как указано на рис. 4, размеры линейки таковы, что ее длина равна 800 мм, а ширина 40 мм, то  $a = 0,25 \cdot 800 = 200$  мм. При таких размерах время колебания маятника-коромысла определится по формуле:

$$t^2 = \frac{\pi^2}{g} \cdot \frac{a^2 + s^2}{s}$$

Подставив значения букв  $g = 9819,3$  мм/сек<sup>2</sup> (для Ленинграда),  $a = 200$  мм,  $s = 20$  мм, получим:

$$t^2 = 0,001005 \frac{40400}{20} = 2,0301,$$

откуда

$$t = 1,425 \text{ сек.}$$

На модели такого маятника, изготовленного из деревянной линейки, этот вывод на опыте вполне подтвердился. Поэтому представляется возможным, при тщательном изготовлении линейки и измерении ее длины и ширины, получить прибор для решения обратной задачи определения значения  $g$  по времени колебания.

Прибор в форме коромысла-маятника имеет по своему габариту гораздо меньшие размеры, чем синхронный с ним обыкновенный маятник. Если для определения величины  $g$  при помощи маятника взять длину его порядка 4 м (время колебания такого маятника — около 2 сек, что для точных наблюдений представляется достаточным), то вышеописанное коромысло-маятник, имеющее размеры: полную длину линейки 800 мм, ширину — 20 мм, т. е. значение  $a = 200$  мм,  $s = 10$  мм, будет иметь время колебания также около 2 сек:

$$t^2 = 0,001 \frac{40000 + 100}{10} = 4,01; \quad t = 2,002 \text{ сек.}$$

Такой сравнительно негромоздкий прибор может быть помещен в специальный футляр, без особого труда перемещаться с места на место и применяться для определения абсолютного напряжения силы тяжести.

При вышеописанном рассмотрении теоретической стороны маятника получают совершенную ясность те недоуменные вопросы, которые упомянуты в начале. Время колебания обыкновенного часового маятника при подъеме чечевицы укорачивается до тех пор, пока расстояние его центра тяжести от точки опоры не достигнет критической величины, когда это расстояние равно величине  $a$ . Если бы приближение чечевицы к опоре было возможно производить дальше, то мы перешли бы в область коромысла, и время колебания стало бы возрастать. Поэтому не приходится говорить о том, на каком расстоянии должен находиться центр тяжести маятника, чтобы отнести его к разряду коромысел. Все будет зависеть от формы массы коромысла. Если форма эта такова, что центры тяжести половины массы находятся далеко от центра тяжести всей массы, то и расстояние от точки опоры, на котором надлежит поместить центр тяжести маятника, чтобы его можно было отнести к области коромысла, должно быть не больше этого расстояния.

Так как форма массы может изменяться, то и это расстояние соответственно меняется. Следовательно обычно выставляемый признак коромысла — близость центра тяжести к точке опоры — имеет относительное, а не абсолютное значение. Точно так же вопрос о влиянии массы на время колебания коромысла или маятника разрешается различно, в зависимости от распределения этой массы в маятнике. Если

это распределение таково, что величины  $a$  и  $s$  остаются неизменными, то общая масса маятника теоретически не влияет на время колебания. Если увеличение массы отражается на увеличении величин  $a$  или  $s$ , то время колебания возрастает, в противном случае — уменьшается.

*A. N. Dobrokhotov*

## LE FLÉAU ET LE PENDULE

### Résumé

L'article est dédié à l'analyse de la question concernant la différence entre un fléau et un pendule ordinaire. La cause de cette différence est expliquée et la limite qui sépare les domaines des fléaux et des pendules ordinaires établie.

*A. K. Семенов*

## ЦИФЕРБЛАТНЫЕ ВЕСЫ С ПРИБЛИЖЕННО РАВНОМЕРНОЙ ШКАЛОЙ

Циферблатные весы, круговая шкала которых имеет равномерные подразделения, отвечающие равномерным приращениям груза на чашке, требуют изготовления точно обработанных кривых поверхностей, из которых наиболее простой является развертка круга. Изготовление таких поверхностей значительно усложняет и удорожает процедуру конструирования весов. Так как к применяемым в торговле и промышленности циферблатным весам предъявляются сравнительно невысокие требования точности, порядка даже до 0,5%, взвешиваемого груза, то для упрощения и удешевления производства таких весов можно, путем некоторого переконструирования обыкновенных квадратных циферблатных весов (тангенс-весов), нанести на шкале этих весов равномерные подразделения и получать результаты взвешивания точными в пределах допускаемой погрешности. Один из таких типов весов, предлагаемый автором, ниже и описывается.

На диске 1 (рис. 1, слева) закреплен круглый металлический диск 2, диаметр которого в два раза меньше диска 1. Ось вращения 3, проходящая через центр диска 1, либо соприкасается с периферией диска, либо заходит в проделанное в диске 2 углубление, по своим размерам соответствующее диаметру оси. Ось может погружаться в диск 2 или сплошн или наполовину. По другую сторону оси 3 закреплен наглухо второй такого же диаметра и толщины диск 6; диаметры дисков 2 и 6 располагаются на одном и том же горизонтальном диаметре диска 1, что необходимо для симметричного устройства весов. С диском 1 связывается второй одинакового с ним диаметра диск 7' (рис. 1, справа), сквозь центр которого проходит та же ось вращения 3; вверху и внизу в диске 7' имеются небольшие выступающие сегменты 7 и 7' того же радиуса, что и диски 1, 1', и такой же толщины, как диски 2 и 6. На диске 7, вблизи его периферии, в равных расстояниях от центра проделаны дугообразные прорезы 8 и 8' для стопорных винтов 9 и 9'.

заходящих в сегменты. Прорезы  $\delta$  и  $\delta'$  имеют длину, позволяющую поворачивать кружок  $1$  вместе с дисками  $2$  и  $6$  на  $30^\circ$  относительно кружка  $1'$  (вправо и влево). В середину нижнего сегмента, в направлении вертикального диаметра, плотно заходит нарезной конец жесткого стержня  $4$  с насаженным на нем цилиндрической формы противовесом  $5$  соответствующего веса для предельной нагрузки квадранта. Противовес прикреплен к стержню и перемещается по нем помощью гайки  $10$ , навинчиваемой на нарезной свободный конец стержня  $4$ . На диске  $2$  вблизи оси вращения  $3$  и под ней при помощи винтиков закрепляется один конец гибкой ленты, охватывающей верхнюю половину диска  $2$ ; другой конец гибкой ленты связывается с чашкой  $11$  для нагрузки.

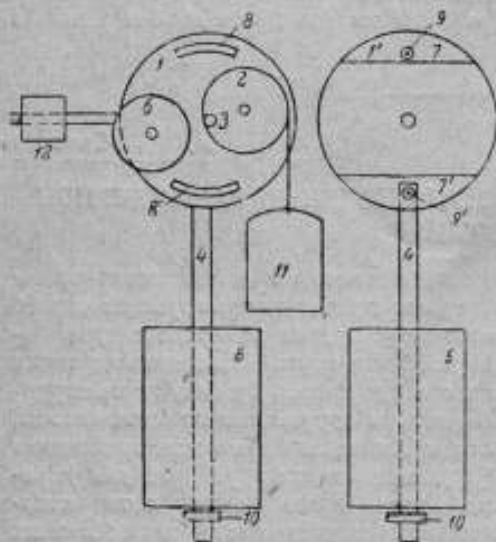


Рис. 1.

Для уравнивания ненагруженной чашки служит регулятор тары  $12$ , скрепленный либо с диском  $1'$  в направлении горизонтального диаметра, либо со специальным дополнительным кружком, скрепленным с диском  $1'$  и насаженным на общую ось  $3$ . Диск  $1'$  снабжается указательной стрелкой, устанавливаемой либо вертикально, либо горизонтально (при исследовании квадранта на отклонения от  $0$  до  $170^\circ$ ).

Таким образом сконструированный квадрант устанавливается на соответствующем станке.

Исследовательская работа с таким квадрантом обнимает три серии наблюдений в зависимости от положения оси вращения

относительно диска  $2$ . В серии I ось вращения  $3$ , расположенная вне диска  $2$ , касается его периферии; в серии II ось вращения на половину своего диаметра погружена в периферию диска  $2$ ; в серии III ось вращения  $3$  погружена в диск  $2$  на глубину своего диаметра. В каждой серии, кроме того, исследовалась зависимость показаний квадранта от угла, образуемого горизонтальным диаметром диска  $2$  при его повороте с горизонтальным диаметром диска  $1$ . Наконец, в каждой серии опытов нагрузка для чашек бралась такая, чтобы стрелка отклонялась на  $10^\circ$ , начиная от  $10^\circ$  до возможного максимума, доходящего почти до  $180^\circ$ .

Из данных нижеприводимой таблицы не трудно убедиться, что наблюдается расхождение между действительной нагрузкой, необходимой для отклонения стрелки на  $10^\circ$ , и теоретически вычисленной, исходя из первоначальной нагрузки для отклонения стрелки от ее положения при  $0^\circ$  на  $10^\circ$ . Это расхождение в каждой серии наблюдений тем меньше: а) чем больше ось вращения приближается к своему крайнему положению, к полному заходу в диск  $2$  на глубину своего диаметра

(серия III); б) чем больше угол поворота вверх горизонтального диаметра диска 2 относительно горизонтального диаметра диска 1. Расхождение не наблюдается только в серии III при повороте диаметра диска 2 на  $15^\circ$  относительно горизонтального диаметра диска 1. Во всех сериях, при любом повороте горизонтального диаметра диска 2 относительно горизонтального диаметра кружка 1, необходимая нагрузка для отклонения стрелки на  $10^\circ$  после  $90^\circ$  непомерно нарастает.

Таким образом, руководствуясь результатами исследовательской работы автора, приведенными в таблице, можно будет изготавливать

циферблатные весы с приблизительно равномерной круговой шкалой. Внеся в конструкцию прибора еще и передачу (зубчатую или фрикционную) движения, можно будет изготавливать циферблатные весы весьма упрощенной в обращении весами для любых нагрузок, так как при значительном числе оборотов стрелки, отмечаемых второй вспомогательной стрелкой, получится полная возможность и при больших нагрузках, например при тоннах, улавливать их тысячные доли.



Рис. 2.

На рис. 2 дан схематический чертеж торговых весов, представляющих циферблатные весы смешанного типа, — сочетание квадранта системы автора с подплатформенными рычагами неравноплечных весов с весовой площадкой.

*Примечание редакции.* Предлагаемый автором тип квадранта с равномерной шкалой для приблизительного точного взвешивания товара подобен применяемым в настоящее время квадрантам с лентой, охватывающей круглый диск, ось вращения которого помещается эксцентрично.<sup>1</sup>

Вес  $Q$  груза, определяемый на обычных квадратных тангенс-весам, вычисляется по формуле

$$Q = \frac{Ps}{a} \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha},$$

где  $P$  — вес квадранта,  $s$  — расстояние точки опоры от центра тяжести квадранта,  $a$  — длина грузового плеча. Так как в этой формуле  $\frac{Ps}{a}$  есть

<sup>1</sup> См., например, Поверочное дело, № 3 (7), 1926, стр. 15, фиг. 34, весы Беркеля.



Действительная нагрузка *P* и расход

Сторона	Углы отклонения горизонтального диаметра диска $\alpha$	Нагрузка в граммах для															
		10°		20°		30°		40°		50°		60°		70°		80°	
		<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>D</i>
I II III	0°	185	—	380	10	575	30	770	30	1020	85	1270	160	1560	265	1880	400
		195	—	400	10	610	35	820	40	1050	75	1300	130	1570	208	1880	330
		200	—	410	10	630	30	855	55	1090	80	1330	130	1610	310	1910	310
I II III	5°	180	—	365	5	555	15	755	35	970	70	1185	185	1450	190	1740	300
		190	—	380	10	600	30	800	40	1030	70	1230	110	1490	160	1760	340
		200	—	410	10	620	20	840	40	1080	60	1280	90	1540	140	1800	250
I II III	7,5°	180	—	365	5	550	10	745	25	945	45	1165	85	1400	140	1670	230
		190	—	390	10	590	20	790	30	1000	50	1220	80	1400	130	1720	200
		200	—	405	5	615	15	830	30	1040	40	1270	70	1510	110	1765	165
I II III	10°	180	—	360	—	545	5	730	10	930	30	1140	60	1365	105	1615	175
		190	—	390	10	590	20	790	30	990	40	1200	60	1430	90	1660	140
		200	—	405	5	610	10	820	20	1025	25	1245	45	1465	65	1710	110
I II III	12,5°	180	—	365	5	545	5	725	5	920	20	1120	40	1345	85	1585	145
		190	—	385	5	580	10	775	15	970	20	1175	35	1390	60	1615	95
		200	—	405	5	605	5	810	10	1010	10	1220	20	1485	35	1670	70
I II III	15°	170	—	355	15	535	25	710	30	900	50	1190	120	1295	105	1525	155
		180	—	385	5	580	10	785	5	960	10	1255	15	1360	30	1575	55
		200	—	400	—	600	—	800	—	1000	—	1200	—	1400	—	1600	—
I II III	17,5°	170	—	350	10	530	20	700	30	880	30	1070	50	1270	80	1480	130
		195	—	390	—	530	5	760	20	950	25	1140	30	1335	30	1535	25
		200	—	400	—	600	—	795	5	965	15	1185	15	1380	20	1580	30
I II III	20°	175	—	355	5	530	5	700	—	875	—	1055	5	1240	15	1445	45
		190	—	380	—	570	—	750	10	930	20	1110	30	1295	35	1485	35
		200	—	400	—	590	10	780	20	970	30	1160	40	1350	50	1535	65

<sup>1</sup> Дальнейшая нагрузка непереносима и превышает грузоподъемность прибора.  
<sup>2</sup> При дальнейшей пропорциональной нагрузке наступило неустойчивое равновесие.

величина постоянная *k*, то вес *Q* пропорционален отношению  $\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha$ .

Например, при отклонении горизонтального грузового плеча квадранта на угол 10°, вес груза *Q*<sub>1</sub>, этому отклонению отвечающий, определится по формуле:

$$Q_1 = k \cdot \frac{\sin 10^\circ}{\cos 10^\circ} = 0,17633 k.$$

При отклонении на 20° груза

$$Q_2 = k \cdot \frac{\sin 20^\circ}{\cos 20^\circ} = 0,36397 k.$$

дене теоретически вычисленной *D*

отклонения стрелки на:																			
30°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°										
<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>									
1950	615	2790	680	3380	1255	4310	2300	5210	2400 <sup>1</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2220	485	3050	700	3160	1015	3810	1470	4670	2135 <sup>1</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2250	450	2880	620	3060	890	3610	1210	4390	1600	4900	2160	5600	2620	6030	2830 <sup>1</sup>	—	—	—	—
3075	455	3480	660	2980	1000	3610	1450	4810	2490 <sup>1</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2860	350	2420	520	2850	760	3360	1060	4030	1590	4860	2130	6190	3590 <sup>1</sup>	—	—	—	—	—	—
2110	810	2440	440	2820	630	3260	680	3780	1160	4290	1480	4780	1780	5000	1800 <sup>2</sup>	—	—	—	—
1990	370	2370	570	2860	880	3330	1370	4580	2340 <sup>1</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2000	290	2320	320	2710	620	3170	890	3770	1700	4530	1870	5690	2810 <sup>1</sup>	—	—	—	—	—	—
2645	245	2350	350	2700	500	3100	700	3540	940	4020	1230	4420	1420	4550	1350 <sup>2</sup>	—	—	—	—
1910	260	2255	425	2700	730	3290	1130	4160	1820 <sup>1</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1930	230	2230	330	2550	420	2990	710	3480	1010	4180	1520	4600	2110 <sup>1</sup>	—	—	—	—	—	—
1970	170	2220	250	2580	360	2900	500	3280	680	3830	850	3980	680	4080	740 <sup>2</sup>	—	—	—	—
1890	340	2185	385	2590	610	3110	950	3890	1550	5310	2900 <sup>1</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
1840	150	2140	340	2480	370	2920	540	3390	790	3880	1220	4400	1580	5180	2140	5700	2480 <sup>1</sup>	—	—
1910	110	2170	170	2460	260	2770	370	3100	500	3410	610	3655	685	3715	515 <sup>2</sup>	—	—	—	—
2780	250	2005	395	2420	550	2865	925	3485	1275	4290	1900	5400	2880 <sup>1</sup>	—	—	—	—	—	—
2510	100	2080	180	2350	260	2670	390	3050	580	3490	830	3950	1130	4310	1470	4650	1420 <sup>1</sup>	—	—
1875	25	2060	60	2310	90	2570	170	2830	230	3070	270	3245	245	3270	70 <sup>2</sup>	—	—	—	—
1730	190	1960	280	2310	440	2690	650	3230	1020	4040	1690	5540	3310 <sup>1</sup>	—	—	—	—	—	—
1750	5	1990	40	2245	100	2585	190	2980	335	3230	500	3610	685	3930	810	3980	605 <sup>2</sup>	—	—
1790	10	2015	15	2250	50	2500	100	2740	140	2955	165	3100	100	3120	50 <sup>2</sup>	—	—	—	—
1680	85	1900	160	2790	325	2525	430	2980	705	3620	1170	4790	3075 <sup>1</sup>	—	—	—	—	—	—
1685	25	1885	5	2130	40	2375	95	2645	175	2830	270	3030	230	3265	345	3405	175 <sup>2</sup>	—	—
1790	70	1930	70	2145	55	2350	45	2565	85	2740	60	2940	180	3050	300 <sup>2</sup>	—	—	—	—

При отклонении на 30° груз

$$Q_3 = k \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\cos 30^\circ} = 0,57735 k.$$

Отсюда видно, что:

$$Q_2 : Q_1 = 0,36397 : 0,17633 = 2,064$$

$$Q_3 : Q_1 = 0,57735 : 0,17633 = 3,274.$$

Следовательно, равномерная круговая шкала у обыкновенных тангенс-весов будет давать показания веса, значительно расходящиеся с

истинным. Если, например, для отклонения на  $10^\circ$  требуется груз 200 г, то для отклонения на  $20^\circ$  потребуется не 400 г, а  $200 \times 2,064 = 412$  г, для отклонения на  $30^\circ$  — не 600 г, а 655 г и т. п. В предлагаемом автором типе квадранта нетрудно вывести, что вес груза, отклоняющий стрелку циферблата на угол  $\alpha$ , выражается формулой

$$Q = \frac{P \cdot s}{r} \cdot \frac{\sin \alpha}{n + \cos \alpha},$$

где  $r$  — радиус диска 2, а  $n$  — величина, зависящая от расположения диска 2 по отношению к оси квадранта. Если ось квадранта находится на периферии диска, то  $n = 1$ ; при других положениях  $n$  может быть больше и меньше единицы. Если  $n = 1$ , то при отклонении квадранта на угол  $10^\circ$  вес

$$Q_1 = k \cdot \frac{\sin 10^\circ}{1 + \cos 10^\circ} = 0,0875 k,$$

при отклонении на угол  $20^\circ$

$$Q_2 = k \cdot \frac{\sin 20^\circ}{1 + \cos 20^\circ} = 0,1763 k,$$

при отклонении на угол  $30^\circ$

$$Q_3 = k \cdot \frac{\sin 30^\circ}{1 + \cos 30^\circ} = 0,2679 k.$$

Отношения  $Q_2 : Q_1$  и  $Q_3 : Q_1$  в этом случае равны:

$$Q_2 : Q_1 = 2,015$$

$$Q_3 : Q_1 = 3,062,$$

а следовательно ошибки в определении веса заметно меньше. Так, в предыдущем примере:

вместо 400 г получим  $200 \times 2,015 = 403$  г, вместо 412 г  
 „ 600 г „  $200 \times 3,062 = 612$  г, вместо 655 г.

Подобрав соответственные значения  $n$ , можно еще ближе подойти к тому, что вес груза будет изменяться почти пропорционально углу отклонения квадранта.

*A. K. Semenov*

## UNE BALANCE À CADRAN AVEC UNE ÉCHELLE APPROXIMATIVEMENT UNIFORME

### Résumé

En résumant la recherche d'une méthode de fabriquer les balances à cadran avec une échelle autant que possible uniforme, l'auteur propose de faire le quadrant en forme de demi-cercle contourné par une bande flexible et tournant autour d'un axe excentriquement disposé. Les hypothèses de l'auteur se sont confirmées sur un modèle.

## КАМЕННЫЕ ГИРИ

В весовом хозяйстве СССР в настоящее время появились в обращении так называемые стеатито-каменные гири вместо металлических. Идея изготовления этих гирь и разработка технической стороны вопроса принадлежат А. М. Разварину (ЛСПО) и инж. Н. Е. Колюн (Росфарфор). При поддержке заинтересованных организаций эта идея была осуществлена. Пробные гири, после изготовления их на заводе „Коминтерн“, были испытаны в соответствующих лабораториях (ВНИИМ, Керамиковый институт, заводская лаборатория), и результат испытания оказался удовлетворительным. Механическая прочность гирь, согласно данным испытания, превосходит прочность металлов. Так:

Временное сопротивление сжатию до . . . . .	8 500 кг/см <sup>2</sup>
„ „ разрыву „ . . . . .	2 500 „
„ „ излому „ . . . . .	800 „

Стираемость каменной массы (на карборундовом кругу) в 5 раз меньше чугуна и в 20 раз меньше латуни.

К достоинствам гирь еще нужно отнести то, что при падениях они не бьются, легко поддерживаются в чистоте, вследствие химической стойкости массы, не гигроскопичны.

Материал для гирь. Для изготовления гириной массы после предварительных опытов была взята следующая смесь:

Тальк . . . . .	25%
Черепок (бой этих же изделий) . . . . .	30%
Корунд (отход на корундо-дробильных фабриках) . . . . .	10%
Глина часовъярская . . . . .	35%

Ниже приводятся результаты анализа указанных составных частей по данным лаборатории завода „Коминтерн“.

	Карельский тальк, %	Уральский тальк, %	Глина часовъярская, %
Кремнекислота SiO <sub>2</sub> . . . . .	36,8	59,0	53,5
Глинозем Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	15,4	3,0	31,0
Окись железа Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	7,9	6,42	1,3
Известь CaO . . . . .	4,5	0,3	1,0
Магnezия MgO . . . . .	15,0	27,8	0,2
Щелочные основания . . . . .	2,8	—	3,0

Для покрытия поверхности гирь глазурию применялась смесь:

Черепок . . . . .	40%
Опоки . . . . .	10%
Шпат . . . . .	16%
Кварц или песок . . . . .	22%
Глина часовъярская . . . . .	12%

К этому количеству для коричневой окраски добавляется окиси железа 6%.

Процесс изготовления каменных гирь, как он производится в настоящее время, состоит в следующем.

Перемешанная гириная масса пропускается через сита с отверстиями от 3 600—10 000 на см<sup>2</sup> и замачивается. В таком виде подготовленное тесто вылеживается в течение 7 дней, обезвоживается при помощи фильтр-пресса и затем формируется в виде цилиндров соответствующего диаметра. Цилиндры эти разрезаются на болванки определенной длины и обрабатываются в разъемных гипсовых матрицах для придания им формы гирь с соответствующими обозначениями.

После этого гири покрываются глазурью, подгоняются в весе и поступают в обжиг.

Температура обжига колеблется от 800 до 1400° в зависимости от качества применяемого сырья. Излишек веса гири снимается стачиванием дна на карборундовом кругу.



Рис. 1.

Гири изготавливаются весом от 1 мг до 5 г. Комплект таких гирь от 500 до 5 г изображен на рис. 1, причем рядом с каменной гирей изображена для сравнения такого же веса гири металлическая.<sup>1</sup>

У древних народов камни и минералы в различной форме широко применялись в качестве весовых гирь, как то обнаруживается при археологических раскопках.

Форма применявшихся в древности гирь чрезвычайно разнообразна, начиная с геометрических фигур и кончая сложными фигурами животных.

Опишем несколько образцов древних каменных гирь.

Наиболее древние гири в Ассиро-Вавилонии — яйцевидные и конусовидные — изготовлялись из минералов и обожженной глины. Такова гири в форме конуса из обожженной глины царя Урукагина (около 3000 л. до н. э.). Гири представляет собою весовую единицу мину, вес ее 173,7 г (рис. 2).

<sup>1</sup> В настоящее время форма каменных гирь упрощена: они изготовляются в форме прямых цилиндров, без головки.

На рис. 3 изображена ги́ря, в форме яйцевидного валуна из диорита, вес ее 82,517 г.

Гири обычно имеют надписи, обозначающие вес, имя царя. Гири рис. 2 и 3 хранятся в Британском музее. Государственный Эрмитаж СССР имеет экземпляр, изображающий утку, выточенную из белого



Рис. 2.



Рис. 3.

мрамора (рис. 4,  $\frac{1}{2}$  в.). Ги́ря эта имеет полость и таким образом могла служить одновременно мерой вместимости; вес ее 2371 г.

На рис. 5 изображена египетская ги́ря из серпантина (коллекция Гарриса), имеющая надпись: „пять кет из сокровищницы Она“, вес около 45 г.

В музеях СССР имеется довольно большое количество каменных ги́рей Египта, особенно в музее изящных искусств в Москве. Наиболее характерными и хорошо сохранившимися ги́рями, хранящимися в ГМИИ, являются: ги́ря из гематита (рис. 6) 10 кет, вес 89 г; ги́ря из желто-серого камня (рис. 7), 54 кет, вес



Рис. 4.



Рис. 5.

491,2 г; маленькая ги́ря почти правильной кубической формы из яшмы (рис. 8) имеет надпись: кет-половина, вес ее 9,03 г. Ги́ря шарообразная из известняка (рис. 9) с надписью „кет 11“, вес 126,61 г. Ги́ря из серпантина (рис. 10) имеет знак кольца (шекель и 6 черточек), вес ее 128,86 г. Ги́ря из порфира — мина (рис. 11), вес 507,65 г.

В Азиатском музее Академии наук СССР имеется древняя персидская гири из твердого зеленовато-черного камня (плотность 2,9), так называемый „керманский камень“. Он имеет форму четырехугольной усеченной пирамиды, высотой 10,5 см, площадью основания  $10,9 \times 10,7$  см (рис. 12).



Рис. 6.



Рис. 7.

На трех боковых сторонах гири имеются надписи одного содержания на древних языках: древнеперсидском, эламском и вавилонском. В переводе надписи гласят: „Я Дарий, великий царь, царь царей, царь провинций, царь этой земли, сын Гистаспа, Ахеменид“. Вес гири 2222,425 г, что составляет  $4\frac{1}{3}$  мины.



Рис. 8.

Любопытна история этой гири: в шестидесятых годах прошлого столетия она находилась в часовне на могиле святого Нитмат-Уллах в Махуне близ Кермана и служила предметом культа. В 1905 г. получена Россией в подарок от персидского инспектора почт. В 1906 г. камень был послан в Тегеран, по просьбе больного шаха Муззафер-Элдина, но

камень шаха не излечил, шах умер, и камень в 1908 г. был возвращен обратно и находится в Азиатском музее Академии наук в Ленинграде.

В Государственном эрмитаже имеются две мраморные гири (рис. 13), найденные при раскопке Помпеи; обе в форме шара со скошенными плоскостями. Одна из них — половина либры — имеет пунктирный знак



Рис. 9.



Рис. 10.

„S“ (Semis — половина), вес 161,03 г, а другая в 5 либр имеет знак „V“ и вес 1612,12 г. Обе гири сохранились хорошо и имеют только небольшие выбоины.

Все эти гири, просуществовавшие около 4000 лет, изменили в весе весьма незначительно. Наибольшая потеря в весе не более 2%, как это

оказалось возможным установить по историческим записям. Этого нельзя сказать относительно металлических гирь, которые, подвергаясь окислению и быстрому изнашиванию, естественно не могут служить столь продолжительное время.

Таким образом введение в практику гирь, изготовляемых из весьма прочных искусственных каменных материалов, для чего современная техника дает все возмож-



Рис. 11.



Рис. 12.

ности, является не только экономически выгодным мероприятием, но и весьма рациональным, подтверждаемым тысячелетней практикой. Надо думать, что и с минованием вопроса о дефицитности металлов вопрос

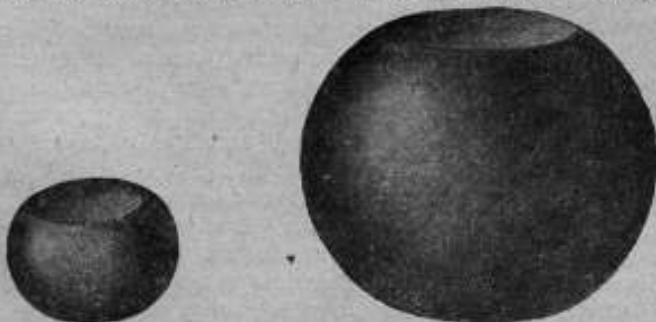


Рис. 13.

о каменных гирях не заглохнет, и производство их будет существовать до тех пор, пока новые типы весов циферблатного типа не вытеснят из обихода ныне распространенных весов, требующих для отвешивания применения гирь.

*N. P. Tarassov*

## POIDS EN MATIÈRE PIERREUSE

### Résumé

L'auteur dénote l'apparition dans l'usage du commerce soviétique des poids fabriqués en masse de céramique ou en porcelaine et il cite des exemples des temps de haute antiquité, quand les poids „de pierre“ de ce genre avaient été très répandus et, grâce à la solidité des matériaux, se sont conservés presque intacts jusqu'à nos temps.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАЛОННЫХ АРЕОМЕТРОВ ДЛЯ ШКАЛЫ ПЛОТНОСТЕЙ 0,650—2,000

Быстрое развитие промышленности в СССР стало предъявлять более строгие требования ко всякого рода измерительным приборам. После того, как многие отрасли химической промышленности, где ареометрические измерения имеют существенное значение, стали нуждаться в приборах, отличающихся большой точностью, перед Ареометрической лабораторией встала важная задача — установление основных эталонных ареометров для всей шкалы плотностей жидкостей, применяющихся в технике, т. е. от 0,650 до 2,000, для нормальной температуры 20°.

С этой целью в 1930 г. стеклодувным цехом ВИМС были изготовлены по заданиям Лаборатории три тождественных набора образцовых ареометров. Каждый набор состоит из 19 приборов и обнимает всю шкалу плотностей.

После изготовления приборы были выдержаны в течение нескольких месяцев, и только после этого было приступлено к их эталонированию, которое было окончено в 1934 г.

### Описание эталонов

Ареометрические эталоны представляют собой стеклянные ареометры с постоянным весом, имеющие цилиндрической формы стержень со вложенной в него бумажной шкалой и такой же формы большего диаметра корпус, в нижней части которого находится балласт в виде дробы, скрепленной смолкой (рис. 1).

Шкала каждого эталона соответствует разности плотностей в 0,070 и разделена на 140 неравномерных частей, причем одно наименьшее деление шкалы соответствует 0,0005 единицы плотности. На каждом эталоне нижняя точка шкалы, отмеченная цифрами, повторяется на верхнем конце следующего по пределам шкалы эталона и кроме того над цифрованным делением верхней части шкалы повторяется шесть наименьших делений, а под цифрованным делением нижней части шкалы — четыре таких же деления (дополнительные деления шкалы). На верхнем конце стержня каждого эталона вытравлена тонкая черта, которая своими концами сливается с концами штриха верхнего цифрованного деления шкалы и, являясь контрольной чертой, свидетельствует о том, что бумажная шкала остается на строго установленном месте. На свободной от делений части шкалы каждого эталона находится надпись: „Образцовый ареометр для определения плотности. Нормальная температура 20°/4° С. Мастерская Гл. палаты мер и весов № ...“. В корпусах эталонов для шкалы плотностей от 0,860 до 1,840 прикреплены ярлычки с надписью: „Градуирован для серно-винных смесей, а для шкалы плотностей от 1,840 до 2,000: „Гра-



Рис. 1.

ду из ри на дл ст О, из пр са ав и пл ва В п ун ан пл ии др н р д л В л ш С х (с ва тн т. ва пр К



дуирован для растворов азотно-ртутной соли<sup>11</sup>. Все эталоны изготовлены из иенского нормального стекла № XVI<sup>III</sup>, о чем свидетельствует фабричная марка в виде продольной цветной полоски. Каждый эталонный набор размещен в 4 шкастудках со специальными гнездами.

### Приборы и материалы, употреблявшиеся для эталонирования

Для точного определения плотности растворов, употреблявшихся для установления ареометрических эталонов, применялся способ гидростатического взвешивания, а на верхних участках шкалы плотностей от 0,650 до 0,860, в целях контроля, кроме того, способ пикнометрический, изложенный в статье М. Д. Иппиц (стр. 56).

Описание всех применявшихся приборов, а также весов, на которых производилось гидростатическое взвешивание, необходимых установок и самого процесса взвешивания приведено достаточно подробно в статье автора, помещенной в № 3/15 Временника Главной палаты мер и весов 1929 г.: „Установление эталонных наборов ареометров для плотностей меньших единицы“.

Некоторые из приборов, применявшихся в настоящей работе, предварительно были вторично поверены в соответствующих лабораториях ВНИИМ.

Для гидростатического взвешивания употреблялись стеклянные поплавки № 2, 8 и 10. Спецификация поплавка № 2 приведена в вышеупомянутой статье. Спецификация поплавка № 10 дана в статье автора, помещенной в вып. 6 (22) Трудов ВИС 1934 г.: „Установление эталонных наборов стеклянных спиртомеров“.

Поплавок № 8, построенный для гидростатического взвешивания из расчета больших плотностей жидкостей, представляет собой цилиндрическое полое тело со сферическим основанием, на противоположном конце снабженное стеклянным крючком. Балластной массой служит ртуть, налитая в поплавок. Длина поплавка без крючка около 150 мм, диаметр 25,8 мм, истинный вес 177,98 г и объем 72,84 мл при 20°. Внутри поплавка прикреплен ярлычок с надписью: „Мастерская Гл. палаты мер и весов № 8. Иенское стекло № 16<sup>III</sup>. Изг. 3/1 1928 г.“

Для определения объема поплавков методом гидростатического взвешивания употреблялась свежеперегнанная вода.

Для проверки градуировки ареометрических эталонов употреблялись следующие материалы:

- а) для шкалы плотностей 0,650—0,850 нефтяные продукты;
- б) „ „ „ 0,850—1,840 серно-винные растворы;
- в) „ „ „ 1,840—2,000 растворы ртутной соли.

Все материалы употреблялись исключительно отечественного происхождения. Из нефтяных материалов применялись петролейные эфиры (0,650—0,700) и абсолютный (сухой) бензол (0,880), из которых составлялись растворы требуемой плотности до 0,850. Для растворов более тяжелых — от 0,850 до 1,840 — употреблялись серно-винные растворы, т. е. растворы химически чистой серной кислоты (1,840) в ректифицированном винном спирте крепостью в 85%. Для плотностей 1,840—2,000 применялся раствор иодистой ртути  $Hg_2I_2$  в растворе иодистого калия KJ. При исследовании означенного раствора выяснилось, что концен-

трация в 45—50% весовых необходима для того, чтобы  $HgJ_2$  в количестве приблизительно 40% по весу сравнительно быстро растворялась в КЖ при нагревании до 50—60%. При таких условиях получается после фильтрации прозрачный раствор, окрашенный в интенсивно-желтый цвет, плотностью несколько больше 2,000. Все манипуляции, связанные с приготовлением этого раствора, производились в вытяжном шкафу. Раствор, как реагирующий на свет, требует хранения в темноте. Для постепенного понижения плотности раствора прибавлялась дистиллированная вода.

Приготовленный таким способом раствор вполне удовлетворительно смачивает стержень ареометра, образуя правильный мениск, и дает возможность производить отсчет по нижнему краю мениска.

### Эталонирование ареометров

Установление ареометрических эталонов сводится к следующим пяти операциям:

- 1) приготовление раствора требуемой плотности;
- 2) определение плотности этого раствора ареометрическим способом;
- 3) определение истинной плотности этого же раствора гидростатическим взвешиванием;
- 4) взвешивание поплавка в воздухе и в воде для определения его истинного веса и объема при 20° и
- 5) обработка результатов наблюдений и вывод поправок к эталонам.

Все указанные стадии эталонирования здесь будут приведены в самых кратких чертах, так как аналогичная работа подробно описана в вышеупомянутой статье того же автора.<sup>1</sup>

Раствор для исследуемой точки шкалы эталона всегда приготавливался накануне дня, когда производилось гидростатическое взвешивание, с той целью, чтобы исходные материалы возможно лучше перемешались. Истинная плотность раствора устанавливалась ареометрическим способом для нормальной температуры 20°, причем отклонение от этой температуры во всем процессе работы допускалось не больше  $\pm 0,01$ .

На следующий день, перед гидростатическим взвешиванием, производилось поочередно погружение тщательно подготовленных эталонов и определялась истинная плотность раствора с точностью до 0,00005, так как при отсчете принимались во внимание и десятые доли наименьшего подразделения шкалы.

По окончании погружения эталонируемых ареометров после тщательного перемешивания раствора и точного установления нормальной температуры, цилиндр с раствором тотчас же перемещался с помощью рельсовой установки в шкаф, на котором находились точные весы для гидростатического взвешивания. Гидростатическое взвешивание производилось по способу тарирования (Борда), причем для каждой исследуемой точки шкалы эталонируемого ареометра производилось два взвешивания; а в некоторых случаях, вызывавших сомнение, было произведено и третье.

<sup>1</sup> Временник, № 3 (15), 1929 г.

Определение истинного веса поплавков и их объемов при 20° — величин, имеющих существеннейшее значение для определения плотности раствора, производилось также по способу Борда, причем взвешивание в воздухе и в воде производилось в тот же день, с той лишь разницей, что взвешивание в воде производилось как при температуре 20°, так и при той, какая была в помещении.

За время с 23/VII 1931 г. по 21/I 1933 г. поплавок № 2 взвешивался как в воздухе, так и в воде 20 раз. Из результатов всех наблюдений, очень близких между собою, были получены средние величины: истинный вес  $G = 100,5071$  г и объем  $V_{20} = 71,0276$  мл.

За время с 1/III 1929 г. по 23/VI 1931 г. поплавок № 10 взвешивался 22 раза, и из результатов всех наблюдений были получены средние величины: истинный вес  $G = 98,9143$  г и объем  $V_{20} = 67,6637$  мл.

За время с 7/IV 1931 г. по 20/V 1934 г. поплавок № 8 взвешивался 29 раз, и из результатов всех наблюдений были получены средние величины: истинный вес  $G = 177,9813$  г и объем  $V_{20} = 72,8403$  мл.

Обработка результатов 302 наблюдений для вывода поправок к эталонам и 71 наблюдений для вывода средних величин истинного веса и объема поплавков за № 2, 8 и 10 при температуре 20° производилась параллельно двумя сотрудниками Лаборатории.

Все формулы, по которым производилась обработка наблюдений, приведены в вышеупомянутой статье.<sup>1</sup>

Вывод окончательных поправок к эталонам произведен путем определения разности между плотностями, полученными ареометрическим способом и способом гидростатического взвешивания при температуре 20°. Так как отсчеты по шкале эталонов производились с точностью до 0,1 наименьшего деления шкалы, т. е. с точностью до 0,00005, то и выведенные поправки даны с этой же точностью.

В таблицах 1, 2 и 3 приведены поправки для каждого ареометрического эталона всех трех наборов, полученные как из основных наблюдений, так и из контрольных.

Как видно из таблиц 1—3, полученные поправки ареометрических эталонов по своей величине в громадном большинстве случаев не превышают половины наименьшего подразделения, т. е.  $\pm 0,00025$ , и только в нескольких ареометрах доходят до целого подразделения, даже иногда незначительно превышая его. Что же касается трех эталонных ареометров для плотностей больших плотности серной кислоты, то здесь на участке шкалы 1,850—1,900 величины поправок доходят до 3,5 наименьшего подразделения. О причинах, вызвавших столь значительные поправки на указанном участке шкалы, будет произведено дополнительное исследование.

После окончания работы по исследованию ареометрических эталонов один из наборов был отправлен в Германию для сличения с эталонами Physikalisch-Technische Reichsanstalt в целях установления международного единства ареометрических измерений.

В половине 1932 г. был отправлен набор № 1, состоящий из 12 эталонов для плотностей 1,000—1,840.

По сообщению PTR два ареометра за № 11778 и 11790 с пределами шкалы 1,490—1,560 и 1,5,0—1,630 оказались поврежденными в пути.

<sup>1</sup> Временник, № 3 (15), 1929 г.



## Первый эталонный набор ареометров

№№ ареометров	Отсчет по шкале ареометра	Поправки	№№ ареометров	Отсчет по шкале ареометра		
11840	0,65085	+ 0,00006	11900	0,98010	+ 0,00026	
	0,65080	+14		0,99025	+34	
	0,65075	+15		0,99995	+37	
	0,65915	+77	11685	1,00010	+22	
	0,65950	+20		1,01000	+19	
	0,65985	+21		1,01950	+18	
	0,66945	+13		1,03020	+15	
	0,66985	+16		1,04010	+16	
	0,67980	+21		1,05040	+06	
	0,68000	+22		1,06050	+04	
	0,68965	+37		1,07020	+04	
	0,68990	+25		11673	1,07020	+04
	0,69000	+26			1,08030	+06
	0,69980	+28	1,08950		+10	
	0,69990	+27	1,10000		+10	
	0,71015	+21	1,11015		+11	
	0,70990	+15	1,11955		+20	
0,71995	+02	1,12970	+21			
0,72000	+07	1,14015	+32			
11865	0,72020	-19	11698	1,14005	+42	
	0,72985	-16		1,15015	+31	
	0,74030	-16		1,16025	+27	
	0,75000	-14		1,17025	+28	
	0,75990	-11		1,17985	+32	
	0,77000	-10		1,18990	+32	
	0,78015	-10		1,20040	+22	
	0,79010	0		1,20980	+27	
	0,79010	0		11717	1,20970	+55
	0,79995	+13			1,21975	+55
0,80985	+27	1,22970	+52			
0,82010	+13	1,24000	+51			
0,83085	+18	1,25050	+47			
11873	0,83970	+16	11732	1,25990	+43	
	0,85040	+17		1,27035	+34	
	0,85985	+16		1,28035	+37	
	0,86095	+12		11748	1,28025	+42
	0,86960	+12			1,29035	+38
0,87965	+27	1,30000	+33			
0,89015	+08	1,30975	+44			
0,90020	+08	1,32005	+40			
11884	0,90970	+18	11732	1,32970	+28	
	0,92010	+27		1,34005	+13	
	0,93040	+14		1,35025	+26	
	0,93045	+09		11748	1,35085	+16
	0,94075	+13			1,35985	+18
0,94990	+17	1,37010	-01			
0,96035	+20					
0,97040	+19					

№№ ареометров	Отсчет по шкале ареометра	Поправки	№№ ареометров	Отсчет по шкале ареометра	Поправки			
26	1,38020	- 0,00002	11748	1,69980	+ 0,00028			
34	1,39000	- 02		11824	1,70965	+ 21		
37	1,40000	- 01			1,72000	+ 14		
22	1,40970	+ 08			1,72990	+ 18		
19	1,41995	+ 01			1,74015	+ 16		
18					1,74955	+ 21		
15			1,75965		+ 38			
16			1,76910	+ 63				
06	1,41935	+ 61	11763	1,76955	+ 18			
06	1,42945	+ 52				1,78035	+ 21	
04	1,44015	+ 38				1,78945	+ 21	
04	1,44975	+ 55				1,79985	+ 05	
04	1,45940	+ 58				1,80940	+ 14	
04	1,46970	+ 50				1,82060	+ 04	
06	1,48000	+ 50				1,82960	+ 08	
10	1,49005	+ 37				1,83420	+ 02	
10						11836	1,84000	+ 25
11	1,48995	+ 47						
20	1,50030	+ 49	1,86010	+ 170				
21	1,50985	+ 37	1,86905	+ 178				
32	1,50985	+ 37	1,88005	+ 172				
42	1,51965	+ 27	1,89065	+ 133				
31	1,52990	+ 24	1,90025	+ 73				
27	1,53960	+ 16	1,91020	+ 06				
28	1,54980	+ 04	1,91990	- 64				
32	1,55960	- 08	12196	1,91940	- 52			
22						1,93035	- 36	
21						1,94060	- 36	
- 55	1,55950	+ 31				1,95050	- 36	
- 55	1,56990	+ 22				1,96035	- 40	
- 52	1,57995	+ 23				1,97020	- 44	
- 51	1,58995	+ 31				1,98005	- 46	
- 47	1,59090	+ 32				1,98990	- 53	
+ 43	1,61000	+ 36				2,00000	- 67	
+ 34	1,61970	+ 37				11790	1,91940	- 52
+ 37	1,62980	+ 36	1,93035	- 36				
+ 42			1,94060	- 36				
+ 38	1,63020	- 04	1,95050	- 36				
+ 33	1,63985	- 06	1,96035	- 40				
+ 44	1,65015	- 05	1,97020	- 44				
+ 40	1,65970	- 05	1,98005	- 46				
+ 28	1,67020	- 08	1,98990	- 53				
+ 13	1,68030	- 14	2,00000	- 67				
+ 26	1,69020	- 11	11809	1,91940	- 52			
+ 16	1,70005	- 09				1,93035	- 36	
+ 18						1,94060	- 36	
- 07						1,95050	- 36	
						1,96035	- 40	
						1,97020	- 44	
						1,98005	- 46	
						1,98990	- 53	
						2,00000	- 67	
						2208	1,91940	- 52
			1,93035	- 36				
			1,94060	- 36				
			1,95050	- 36				
			1,96035	- 40				
			1,97020	- 44				
			1,98005	- 46				
			1,98990	- 53				
			2,00000	- 67				

## Второй эталонный набор ареометров

№№ ареометров	Отсчет по шкале ареометра	Поправки	№№ ареометров	Отсчет по шкале ареометра	Поправки
11841	0,65090	+ 0,00000	11683	1,06055	- 0,00001
	0,66000	+06		1,07010	+02
	0,66990	+11	11672	1,07020	+04
	0,68005	+17		1,8030	+06
	0,69000	+26		1,08955	+08
	0,69995	+22		1,10000	+10
	0,71020	+16		1,11015	+12
	0,71985	+12		1,11960	+22
0,72025	-28	1,12960		+27	
0,72985	-16	1,14015		+32	
11867	0,74025	-11	11695	1,14005	+55
	0,74995	-09		1,15000	+54
	0,75985	-06		1,16005	+47
	0,76995	-05		1,17015	+38
	0,78010	-05		1,17980	+37
	0,78995	-03		1,18985	+37
11874	0,78995	+15	11715	1,20025	+23
	0,80005	+03		1,21005	+20
	0,80995	+17		1,20965	+60
	0,81995	+28		1,21980	+56
	0,83005	+29		1,22965	+53
	0,83980	+37		1,24000	+59
	0,85020	+37		1,25030	+67
11885	0,85955	+24	11726	1,25975	+58
	0,86100	0		1,27025	+44
	0,86975	-07		1,28015	+52
	0,87980	+05		1,28020	+43
	0,89015	+08		1,28935	+45
	0,90025	+10		1,29985	+48
	0,90985	+03		1,30965	+51
	0,92030	+16		1,31995	+50
11901	0,93030	+18	11740	1,32945	+53
	0,93040	+08		1,33980	+38
	0,94060	+15		1,35025	+26
	0,94990	+17		1,35040	+11
	0,95210	+21		1,35995	+08
11683	0,97015	+28	11760	1,37010	-01
	0,98000	+36		1,38020	-01
	0,99045	+36		1,39000	-02
	0,99985	+47		1,40010	-09
	0,99995	+52		1,40990	-12
11683	1,00980	+26	11760	1,42010	-14
	1,01970	+08		1,41935	+64
	1,0320	+04		1,42935	+62
	1,04025	+01		1,44000	+51
11683	1,05045	+01			

№№ ареометров	Отсчет по шкале ареометра	Поправки	№№ ареометров	Отсчет по шкале ареометра	Поправки	
11760	1,44975	+ 0,00055	11820	1,75960	+ 0,00043	
	1,45940	+58		1,76915	+51	
	1,46965	+55		11832	1,76955	+18
	1,47995	+55			1,78030	+26
	1,48985	+53			1,78940	+26
		1,79975	+15			
11774	1,49010	+28	2197	0,80940	+14	
	1,49995	+29		1,82065	-01	
	1,50990	+28		1,82970	+02	
	1,51960	+31		1,83425	-03	
	1,52975	+36		2212	1,84010	+ 15
	1,53950	+26			1,85055	+ 93
	1,54960	+24			1,86020	+160
	1,55965	+16			1,86900	+172
11800	1,63040	-27	1,87995		+172	
	1,64005	-26	1,89045		+141	
	1,65035	-25	1,90015		+ 83	
	1,65995	-30	1,91030		- 04	
	1,67045	-33	1,91990	- 84		
	1,68040	-27	11820	1,91915	-27	
	1,69035	-26		1,93010	-29	
	1,70020	-28		1,94030	-32	
11820	1,69995	+08		1,95050	-36	
	1,70980	+08		1,96015	-38	
	1,72015	-01		1,97015	-39	
	1,73005	+03		1,98000	-41	
	1,74020	+08		1,98985	-48	
	1,74950	+26	1,99990	-57		

Они были заменены новыми, изготовленными фирмой В. Клейн, в Берлине.

В половине 1934 г. означенный набор эталонов был возвращен в ВНИИМ, причем в своем извещении PTR сообщал, что эталон № 11732 с пределами шкалы 1,280—1,350 при клеймении получил повреждение, которое было там исправлено и притом настолько хорошо, что невозможно определить место повреждения.

Поправки, полученные в PTR для трех делений шкалы каждого ареометра, почти тождественны с поправками, полученными в 1932 г. в Ареометрической лаборатории: разница в большинстве случаев колеблется в пределах 0,1—0,2 деления шкалы, т. е. не выходит из пределов ошибки наблюдения. Для четырех делений шкалы разных ареометров разница в поправках доходит до 0,3 деления и только для двух поправок — до 0,4—0,5 деления.

Для выяснения вышеприведенного расхождения в поправках в Ареометрической лаборатории были произведены дополнительные исследования эталонных ареометров на тех делениях шкалы, где разница в по-

## Третий эталонный набор ареометров

№№ ареометров	Отсчет по шкале ареометра	Поправки	№№ ареометров	Отсчет по шкале ареометра	Поправки
11846	0,65085	+ 0,00009	11668	1,07010	+ 0,00002
	0,65995	+ 11		1,08030	+ 06
	0,66985	+ 16		1,08950	+ 10
	0,68005	+ 17		1,10000	+ 10
	0,68995	+ 31		1,11010	+ 16
	0,69980	+ 37		1,11955	+ 20
	0,71010	+ 26		1,12970	+ 17
	0,71985	+ 12		1,14020	+ 27
	0,72000	+ 01		1,14005	+ 42
	0,72945	- 04		1,15025	+ 21
11868	0,75015	- 01	11691	1,16005	+ 23
	0,75000	- 07		1,17020	+ 33
	0,75990	- 11		1,17985	+ 32
	0,77000	- 04		1,18995	+ 27
	0,78005	+ 07		1,20025	+ 23
	0,78985	+ 07		1,21000	+ 25
	0,79000	- 08		1,20960	+ 65
	0,80020	- 12		1,21980	+ 50
11875	0,81100	- 07	11708	1,22975	+ 47
	0,82015	+ 08		1,24005	+ 46
	0,83085	+ 18		1,25050	+ 47
	0,84005	+ 12		1,25980	+ 46
	0,85040	+ 17		1,27035	+ 34
	0,85965	+ 14		1,28035	+ 32
	0,86095	+ 05		1,28020	+ 47
	0,86965	+ 03		1,28925	+ 55
11886	0,87990	+ 02	11721	1,29980	+ 53
	0,89015	+ 15		1,30980	+ 36
	0,90015	+ 20		1,32010	+ 35
	0,90965	+ 12		1,32955	+ 44
	0,92020	+ 26		1,33965	+ 49
	0,93035	+ 19		1,35010	+ 41
	0,93045	+ 17		1,35045	+ 06
	0,94060	+ 15		1,36010	- 06
11907	0,94975	+ 21	11738	1,37015	- 06
	0,16010	+ 31		1,38020	- 02
	0,97005	+ 38		1,38995	- 01
	0,97995	+ 41		1,40000	+ 01
	0,99015	+ 44		1,40995	- 17
	1,00000	+ 47		1,42015	- 19
	1,00015	+ 17		1,41950	+ 49
	1,01005	+ 14		1,42945	+ 54
11676	1,01955	+ 13	11757	1,44000	+ 53
	1,03010	+ 14		1,44980	+ 47
	1,04005	+ 21		1,45955	+ 48
	1,05025	+ 21		1,46980	+ 40
	1,06035	+ 13		1,48010	+ 40
	1,07000	+ 12		1,49000	+ 38



№№ ареометров	Отсчет по шкале ареометра	Поправки	№№ ареометров	Отсчет по шкале ареометра	Поправки	
11770	1,49020	+0,00022	11812	1,74945	+0,00031	
	1,50060	+19		1,75965	+41	
	1,51005	+17		1,76905	+67	
	1,51965	+26		11827	1,76940	+33
	1,52985	+29			1,78025	+37
	1,53990	+22			1,78935	+37
	1,54965	+19			1,79960	+33
1,55965	+16	1,80895	+36			
11787	1,55960	+27	1,82035	+29		
	1,56985	+28	1,82945	+23		
	1,58000	+20	1,83390	+37		
	1,59015	+15	2204	1,84020	+05	
	1,60005	+15		1,85070	+78	
	1,61005	+37		1,86030	+150	
	1,61985	+22		1,86920	+152	
1,62985	+37	1,88015		+152		
1,63025	-12	1,89070		+116		
1,63980	-02	1,90040		+58		
11795	1,65015	-05	1,91040	-14		
	1,65970	-05	1,92010	-84		
	1,67015	-03	2213	1,91860	+10	
	1,68020	-04		1,92970	+11	
	1,69015	-06		1,93985	+13	
	1,70010	-18		1,95005	+09	
	1,69970	+38		1,95995	-18	
1,70950	+38	1,96990		-14		
1,71990	+29	1,97975		-16		
11812	1,72985	+23	1,98965	-28		
	1,74005	+26	2,00000	-67		

правках составляла 0,2 наименьшего деления и выше. Три эталонных ареометра, из которых один (№ 11732) был отремонтирован в PTR и два (№ 3493 и 3494), изготовленные взамен поврежденных в пути, были исследованы по всей шкале.

Для дополнительного исследования эталонных ареометров применялся тот же метод гидростатического взвешивания, что и при первоначальном исследовании в 1931/32 г. Этот же метод применялся в PTR.

Для гидростатического взвешивания употреблялся тот же стеклянный поплавок № 8, но некоторые наблюдения были проведены с поплавком № 10, также тщательно исследованным в отношении объема при температуре 20° и истинного веса. Чтобы убедиться в правильности установленных для поплавков № 8 и 10 величин  $V_{20}$  и  $G$ , были произведены дополнительные гидростатические взвешивания в свежеперегнанной воде. Полученные результаты взвешиваний вполне подтвердили правильность принятых величин.

На всех исследуемых делениях шкалы наблюдения как погружение ареометров, так и гидростатическое взвешивание производилось дважды, а в некоторых случаях по три и по четыре раза.

После определения плотности серно-винного раствора с помощью эталонного ареометра и последующего определения методом гидростатического взвешивания на целом ряде растворов производилось вторичное погружение ареометров после взвешивания, причем показания ареометров были тождественны с первоначальными, отличаясь от последних не более как на 0,1—0,2 наименьшего подразделения.

Обработка результатов всех наблюдений для вывода окончательных поправок к эталонам параллельно производилась двумя сотрудниками Лаборатории.

Сравнивая данные результатов наблюдений ВНИИМ в 1931/32 г. и 1935 г. и PTR, можно видеть, что в большинстве случаев отсчеты по шкале ареометров всех трех наблюдений были очень близки.

Разница в поправках для всех дополнительно исследованных делений шкалы сохраняется, колеблясь от 0,1 до 0,4 наименьшего подразделения и доходя на одном делении эталонного ареометра № 11809 до 0,5 деления.

На делении 1,490 ареометра № 11763 Лаборатория признала возможным изменить ранее установленную поправку на основании данных наблюдения 1935 г. с +0,00038 на +0,00047, приблизив величину этой поправки к поправке PTR.

Одновременно с дополнительным исследованием эталонных ареометров набора № 1 в тех же растворах производилось в целях контроля вторичное исследование эталонных ареометров двух других наборов № 2 и 3. Результаты повторного исследования означенных ареометров полностью подтвердили результаты, полученные в 1931/32 г.

*I. I. Kouznetsov*

## L'ÉTUDE DES ARÉOMÈTRES-ÉTALONS

### Résumé

L'article contient un exposé détaillé du travail effectué par l'auteur dans le domaine du calibrage des aréomètres-étalons, auxquels on doit comparer tous les aréomètres de référence employés dans les laboratoires des Bureaux des poids et mesures locaux et dans d'autres établissements.

*M. D. Иллиц*

## ПИКНОМЕТРИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОВЕРКИ ЭТАЛОННЫХ АРЕОМЕТРОВ

В виду большой летучести нефтяных растворов, на которых производилось установление ареометрических эталонов гидростатическим взвешиванием, было произведено контрольное исследование пикнометрическим способом части шкалы для плотностей легче воды на некоторых делениях шкалы.

Из имеющихся в лаборатории пикнометров были выбраны для работы два пикнометра. Пикнометр № 8 (рис. 1), вместимостью ок. 50 мл, имеет цилиндрическую форму, в верхней части которой припаяна капиллярная трубка диаметром 4 мм с чертой и шарообразным

расширением под ней, кончающимся трубкой; последняя закрывается притертой пробкой.

Другой пикнометр № 2 (рис. 2), вместимостью 100 мл, сферической формы с капиллярной трубкой, диаметром в 4 мм, оканчивающейся расширением с притертой пробкой.

Кроме пикнометров, для означенной работы употреблялись описываемые ниже приборы. Взвешивание производилось на точных весах до 200 г, чувствительность которых равна 0,2 мг. Весы помещаются в дубовом шкафу с зеркальными стенками со всех четырех сторон; самый шкаф установлен на железных балках, вделанных в капитальную стену. Для того чтобы ослабить температурное влияние наблюдателя, весы защищены картонным футляром, оклеенным листами никелированной красной меди и имеющим ряд открывающихся отверстий.

При наблюдениях применялись разновесы, термометры, барометр и психрометр, проверенные в соответствующих лабораториях ВНИИМ и снабженные свидетельствами.

Для составления растворов требуемой плотности применялись петролейный эфир (0,650—0,700 г/мл) и бензол (0,880 г/мл).

#### Определение истинного веса, объема стекла и вместимости пикнометров

Прежде чем приступить к исследованию ареометрических эталонов, было произведено определение истинного веса пикнометров, вместимости их при 20° и объема стекла.

Оба пикнометра тщательно были промыты несколько раз химически чистой серной кислотой, затем дистиллированной водой и безводным спиртом. Вливание в пикнометр промывных жидкостей производилось при помощи пипетки и воронки с капиллярной сточной трубкой. Высушивание пикнометров производилось около часа просасыванием при помощи водоструйного насоса сухого воздуха, прошедшего через хлор-кальциевый аппарат (рис. 3). Для этого оба пикнометра поочередно присоединялись к насосу посредством небольшой воронки, широкий конец которой (около 3 см) закрывался резиновой пробкой с двумя отверстиями; в одно отверстие в центре пробки вставлялась длинная капиллярная трубка, проходящая до дна пикнометра и соединенная с хлор-кальциевым аппаратом; в другое отверстие вставлялась короткая, изогнутая трубка, один конец которой присоединялся к насосу, а другой оканчивался внутри воронки. Узкий конец воронки соединялся с пикнометром либо при помощи каучуковой пробки, которой закрывался пикнометр, либо при помощи кусочка каучуковой трубки, один конец



Рис. 1.

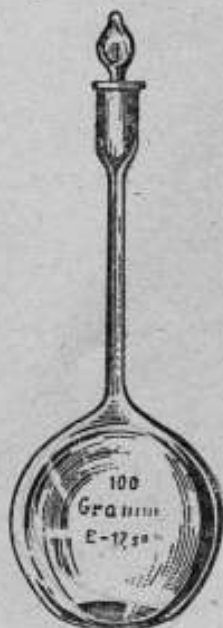


Рис. 2.

которой надевался на узкую часть воронки, а другой — на трубку пикнометра. Воздух, пройдя через ряд U-образных трубок с хлористым кальцием, попадал в пикнометр через капиллярную трубку и выгонялся через изогнутую трубку, вставленную в воронку и присоединенную к насосу. Вымытые и осушенные пикнометры взвешивались в воздухе. Чтобы иметь уверенность в том, что пикнометры просушены вполне, после взвешивания каждый из них опять просушивался в течение часа и затем снова взвешивался.

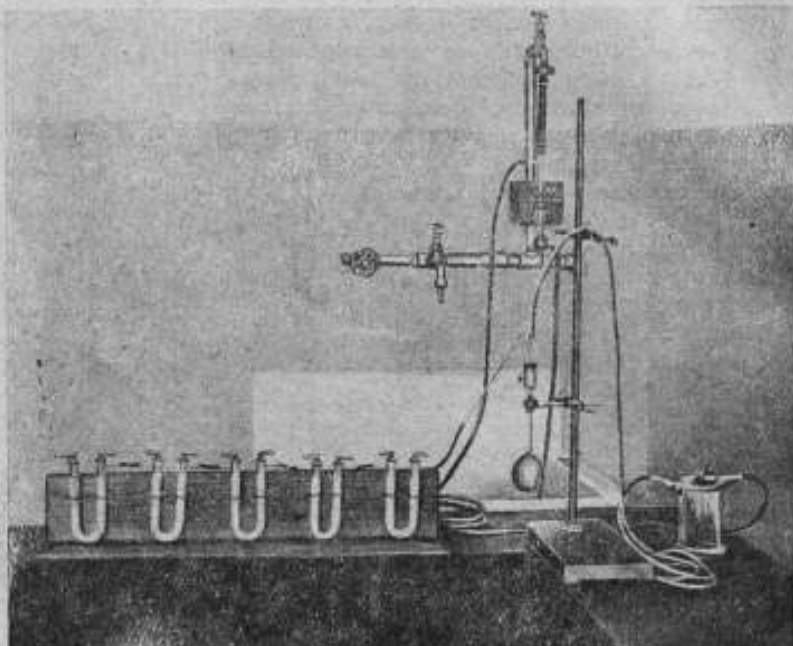


Рис. 3.

После промывки и высушивания пикнометра следовало определение веса пикнометра, наполненного до определенной черты дистиллированной водой, предварительно прокипяченной для удаления растворенного воздуха. Наполнение производилось по той же схеме, как и просушивание, с той лишь разницей, что вместо капиллярной трубки, соединяющей при просушивании пикнометр с хлор-кальциевым аппаратом, служила изогнутая в виде сифона трубка с длинным капилляром на одном конце, который опускался в пикнометр, а широкий конец сифона погружался в колбу с дистиллированной водой. Пикнометр, наполненный водой несколько выше черты, помещался в водяную ванну, наполненную дистиллированной водой, в которой поддерживалась температура  $20^{\circ}$  с помощью слабого электрического подогревателя и льда. Ванна, вместимостью свыше 20 л, находилась в помещении, температура которого была близка к  $20^{\circ}$ , так что температуру в  $20^{\circ}$  было нетрудно поддерживать. Оба пикнометра удерживались в середине ванны при помощи

зажимов, укрепленных на ее краю. В ванне пикнометры выдерживались около 2 часов. Для полной уверенности в том, что вода, наполняющая пикнометр, приняла требуемую температуру, в ванну рядом с пикнометром помещалась стеклянная колба приблизительно того же объема, что пикнометр, с дистиллированной водой, в которую был вставлен термометр.

После того как вода пикнометра приняла температуру 20°, производилось установление уровня жидкости в пикнометре. Излишек воды осторожно отбирался фильтровальной бумагой так, чтобы нижний край мениска устанавливался на черте; затем трубка пикнометра тщательно осушалась бумагой, после чего пикнометр вынимался из ванны, вытирался, выдерживался в витрине весов не менее часа и взвешивался.

### Исследование эталонных ареометров

Исследование ареометров заключалось в следующем. В раствор, приготовленный накануне в объеме около 5 1/2 л, тщательно перемешанный и имеющий температуру 20°, погружался ареометр, выдерживался 5 минут, и производился отсчет по шкале, по нижнему краю мениска. Температура раствора поддерживалась с помощью водяной ванны. Эталон перед погружением промывался крепким спиртом, вытирался тонким полотноным полотенцем, затем промывался нефтяным эфиром, после которого просушивался на стойке в течение 15—20 минут. Тотчас же после погружения эталона этим раствором наполнялись оба пикнометра, предварительно промытые и осушенные. Наполнение производилось вышеуказанным способом, причем количество жидкости вливалось в пикнометр несколько большее, чем нужно (выше черты на пикнометре). Затем пикнометры, закрытые пробками, помещались в ванну, где поддерживалась температура 20°. Для контроля за температурой жидкости в пикнометре в ванну помещалась колба, наполненная той же жидкостью; внутри колбы находится термометр. Через 1 1/2—2 часа устанавливался мениск жидкости на черту, пикнометры вынимались из ванны, вытирались и приблизительно через час, в течение которого они выдерживались в витрине весов, взвешивались. Плотность раствора определялась по формуле

$$D_{20} = \frac{(G_2 - G_0)(E - e)}{G_1 - G_0} + e,$$

где  $G_0$  — истинный вес гирь, уравновешивающих пустой пикнометр;  $G_1$  — истинный вес гирь, уравновешивающих пикнометр с дистиллированной водой, наполненный до черты при 20°;  $G_2$  — истинный вес гирь, уравновешивающих пикнометр с раствором;  $E$  — плотность воды при 20°;  $e$  — плотность воздуха, равная 0,0012 г/мл.

Поправки к эталонам выводились путем сравнения плотности, определенной пикнометрическим способом, с отсчетом по шкале ареометра.

В нижепомещенной таблице приведены результаты произведенных наблюдений для трех ареометрических эталонов. Так как отсчет по шкале ареометра производился с точностью до 0,1 деления, т. е. до 0,00005 единицы плотности, то и приведенные в таблице поправки следует принимать с той же точностью.

Из этой таблицы видно, что поправки к ареометрам, полученные при помощи пикнометра № 2, совпадают с поправками, полученными при

№ ареометра	Пределы шкалы	Отсчет по шкале	Истинная плотность		Полученные поправки к ареометрам		
			по пикнометру № 2	по пикнометру № 8	при работе с пикнометром № 2	при работе с пикнометром № 8	гидростатическим способом
11841	0,650—0,720	0,65115	0,65113	0,65114	-0,00002	-0,00001	-0,00001
		0,67995	0,68007	0,68009	+0,00012	+0,00014	+0,00011
		0,69540	0,69562	0,69563	+0,00022	+0,00023	+0,00025
		0,71995	0,72008	0,72009	+0,00013	+0,00014	+0,00011
11867	0,720—0,790	0,72035	0,72008	0,72009	-0,00027	-0,00026	-0,00029
		0,74995	0,74987	0,74986	-0,00008	-0,00009	-0,00009
		0,79000	0,79000	0,78994	0	-0,00006	-0,00010
11874	0,790—0,860	0,78985	0,79003	0,79003	+0,00018	+0,00018	+0,00015
		0,82000	0,82023	—	+0,00023	—	+0,00028
		0,85535	0,85562	0,85559	+0,00027	+0,00024	+0,00028
		0,85965	0,85989	—	+0,00024	—	+0,00024

помощи пикнометра № 8. Сравнивая результаты, приведенные в таблице, можно сказать, что поправки к эталонным ареометрам, полученные двумя различными способами и различными наблюдателями, тождественны.

*M. D. Ippitz*

## MÉTHODE PICNOMÉTRIQUE DE VÉRIFIER LES ARÉOMÈTRES-ÉTALONS

### Résumé

On cite dans cet article les résultats de la vérification parallèle des aréomètres à l'aide de la détermination de la densité effective du liquide par la méthode hydrostatique usuelle et par la méthode picnométrique. Les résultats de la recherche font conclure que les deux méthodes peuvent être considérées comme étant identiques d'après leur précision.

*E. E. Шпилева*

## ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ГРАДУИРОВКИ СТЕКЛЯННОЙ МЕРНОЙ ПОСУДЫ ВЗВЕШИВАНИЕМ НАПОЛНЯЮЩЕЙ ВОДЫ

Приводимые ниже таблицы назначены для облегчения расчетов, связанных с определением вместимости при нормальной температуре 20° стеклянных измерительных приборов (колб, бюреток, пипеток и пр.).

Таблицы дают истинный вес бронзовых или латунных гирь, уравновешивающих в воздухе дистиллированную воду, наполняющую при температуре от 10 до 40° измеряемый сосуд. Вес этот рассчитан по формуле:

$$X = 0,998943 \cdot 1000 E, [1 + 0,000026 (t - 20^\circ)],$$

где  $X$  — истинный вес бронзовых или латунных гирь, уравновешивающих дистиллированную воду в объеме 1 л, заключенного в стеклянный сосуд при температуре воды  $t$ ; 0,998943 — постоянный множитель;  $E_t$  — плотность дистиллированной воды при температуре  $t$  (по ОСТ 7283) и 0,000026 — коэффициент кубического расширения стекла.

Формула эта выведена на основании следующих соображений: вес 1000 мл дистиллированной воды в безвоздушном пространстве при  $20^\circ$  равен 998,229 г, следовательно в воздухе этот объем воды будет весить  $998,229 - 0,0012 \cdot 1000$ , где 0,0012 — вес в граммах миллилитра воздуха. Вес бронзовых или латунных гирь, уравновешивающих эту воду в воздухе, равен  $X - \frac{X}{8,4} \cdot 0,0012$ , где  $X$  — истинный вес бронзовых или латунных гирь, 8,4 — плотность материала гирь.

Следовательно, мы имеем:

$$X - \frac{X}{8,4} \cdot 0,0012 = 998,229 - 0,0012 \cdot 1000$$

$$X \left( \frac{8,4 - 0,0012}{8,4} \right) = 998,229 \left( 1 - \frac{1,2}{998,229} \right),$$

откуда

$$X = 998,229 \cdot \frac{8,4 - 0,9988}{8,3988}.$$

или

$$X = 998,229 \cdot 0,998943$$

при температуре воды  $20^\circ$ ; при любой температуре воды  $t$  будем иметь:

$$X = 0,998943 \cdot E_t \cdot 1000.$$

Если этот литр помещен в стеклянный сосуд, коэффициент кубического расширения которого 0,000026, то получится вышеприведенная формула

$$X = 0,998943 \cdot 1000 \cdot E_t [1 + 0,000026 (t - 20^\circ)].$$

Таблицами пользуются в двух случаях: 1) когда требуется определить поправку вместимости меры, т. е. верно ли нанесена черта, и во 2) когда требуется определить эту вместимость, т. е. нанести эту черту.

Для примера разберем оба эти случая:

1. Дана бюретка с обозначением 50 мл. Ставим эту бюретку и 51 г из бронзовых гирь на одну чашку весов, а на другую тару. Отметив положение стрелки весов на шкале, наполняем бюретку до черточки дистиллированной водой, которая, например, имеет температуру  $21^\circ,5$ . Для восстановления равновесия взамен 51 г приходится поместить на чашку 1,058 г, следовательно вода уравновешена  $51 - 1,058 = 49,942$  г. Таблица же указывает, что 0,05 л воды при  $t = 21^\circ,5$  должны быть уравновешены 49,844 г, следовательно разность  $49,942 - 49,844 = 0,098$  г показывает, что мера велика на 0,098 г воды, или, переводя на объем, вместимость бюретки равна 50,098 мл.

2. Требуется нанести черту на колбу в 0,2 л, имея в распоряжении воду  $19^\circ,9$ . По таблицам 0,2 л воды при температуре  $19^\circ,9$  должны уравновешиваться 199,44 г бронзовых гирь, поэтому мы тарируем пустую колбу + 199,44 г и замечаем положение стрелки весов, а затем, сняв все гири, наполним колбу водою в таком количестве, чтобы стрелка весов показала то же деление шкалы. Тогда на уровне воды в горлышке наносим черту.

Таблица для определения вместимости при нормальной температуре 20° стеклянной гири

Температура в °С	Вместимос							
	10	5	2	1	0,5	0,25	0,2	0,1
10,0	9984,1	4992,1	1996,8	998,41	499,21	249,60	199,68	99,841
1	0	0	8	998,40	20	60	68	841
2	0	0	8	40	20	60	68	840
3	9983,9	0	8	40	20	60	68	839
4	9	4991,9	8	39	20	60	68	839
5	8	9	8	38	19	60	68	838
6	7	9	7	37	19	59	67	837
7	6	8	7	36	18	59	67	836
8	6	8	7	36	18	59	67	836
9	5	8	7	35	18	59	67	835
11,0	9983,4	4991,7	1996,7	998,34	499,17	249,59	199,67	99,834
1	4	7	7	34	17	58	67	834
2	3	6	7	33	16	58	67	833
3	2	6	6	32	16	58	66	832
4	1	6	6	31	16	58	66	831
5	0	5	6	30	15	58	66	830
6	0	5	6	30	15	57	66	830
7	9982,9	4	6	29	14	57	66	829
8	8	4	6	28	14	57	66	828
9	7	3	5	27	13	57	65	827
12,0	9982,6	4991,3	1996,5	998,26	499,13	249,56	199,65	99,826
1	5	3	5	25	13	56	65	825
2	4	2	5	24	12	56	65	824
3	3	2	5	23	12	56	65	823
4	2	1	4	22	11	56	64	822
5	1	0	4	21	10	55	64	821
6	0	0	4	20	10	55	64	820
7	0	0	4	20	10	55	64	820
8	9981,9	4990,9	4	19	09	55	64	819
9	8	9	4	18	09	54	64	818
13,0	9981,7	4990,8	1996,3	998,17	499,08	249,54	199,63	99,817
1	6	8	3	16	08	54	63	816
2	5	7	3	15	07	54	63	814
3	4	7	3	14	07	53	63	814
4	2	6	2	12	06	53	62	812
5	1	6	2	11	06	53	62	811
6	0	5	2	10	05	53	62	810
7	9980,9	5	2	09	05	52	62	809
8	8	4	2	08	04	52	62	808
9	7	4	1	07	04	52	61	807
14,0	9980,6	4990,3	1996,1	998,06	499,03	249,52	199,61	99,806
1	5	2	1	05	02	51	61	805
2	4	2	1	04	02	51	61	804
3	2	1	0	02	01	51	60	802

ерной посуды путем уравновешивания в воздухе латунными или бронзовыми гири.

ст в литрах								Температура в °С
0,05	0,02	0,01	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	
49,921	19,968	9,984	4,9921	3,9936	2,9952	1,9968	0,9984	10,0
920	968	984	9920	9936	9952	9968	9984	1
920	968	984	9920	9936	9952	9968	9984	2
920	968	984	9920	9936	9952	9968	9984	3
919	968	984	9919	9935	9952	9968	9984	4
919	968	984	9919	9935	9951	9968	9984	5
919	967	984	9919	9935	9951	9967	9984	6
918	967	984	9918	9935	9951	9967	9984	7
918	967	984	9918	9634	9951	9967	9984	8
918	967	984	9918	9934	9950	9967	9984	9
49,917	19,967	9,983	4,9917	3,9934	2,9950	1,9967	0,9983	11,0
917	967	983	9917	9933	9950	9967	9983	1
916	967	983	9916	9933	9950	9967	9983	2
916	966	983	9916	9933	9950	9966	9983	3
916	966	983	9916	9932	9949	9966	9983	4
915	966	983	9915	9932	9949	9966	9983	5
915	966	983	9915	9932	9949	9966	9983	6
914	966	983	9914	9931	9949	9966	9983	7
914	966	983	9914	9931	9948	9966	9983	8
913	965	983	9913	9931	9948	9965	9983	9
49,913	19,965	9,983	4,9913	3,9930	2,9948	1,9965	0,9983	12,0
913	965	983	9913	9930	9948	9965	9983	1
912	965	982	9912	9930	9947	9965	9982	2
912	965	982	9912	9929	9947	9965	9982	3
911	964	982	9911	9929	9947	9964	9982	4
910	964	982	9910	9928	9946	9964	9982	5
910	964	982	9910	9928	9946	9964	9982	6
910	964	982	9910	9928	9946	9964	9982	7
909	964	982	9909	9927	9946	9964	9982	8
909	964	982	9909	9927	9945	9964	9982	9
49,908	19,963	9,982	4,9908	3,9927	2,9945	1,9963	0,9982	13,0
908	963	982	9908	9926	9945	9963	9982	1
907	963	981	9907	9926	9944	9963	9981	2
907	963	981	9907	9925	9944	9963	9981	3
906	962	981	9906	9925	9944	9962	9981	4
906	962	981	9906	9925	9943	9962	9981	5
905	962	981	9905	9924	9943	9962	9981	6
905	962	981	9905	9924	9943	9962	9981	7
904	962	981	9904	9923	9942	9962	9981	8
904	961	981	9904	9923	9942	9961	9981	9
49,903	19,961	9,981	4,9903	3,9922	2,9942	1,9961	0,9981	14,0
902	961	980	9902	9922	9941	9961	9980	1
902	961	980	9902	9921	9941	9961	9980	2
901	960	980	9901	9921	9941	9960	9980	3



Температура в °С	В м е с т н м							
	10	5	2	1	0,5	0,25	0,2	0,1
14,4	9980,1	4990,1	1996,0	998,01	499,01	249,50	199,60	99,801
5	0	0	0	00	00	5	60	800
6	9979,9	0	0	997,99	498,99	50	60	799
7	8	4989,9	0	98	99	49	60	798
8	6	8	1995,9	96	98	49	59	796
9	5	8	9	95	98	49	59	795
15,0	9979,4	4989,7	1995,9	997,94	498,97	249,48	199,59	99,794
1	3	6	9	93	96	48	58	793
2	1	5	8	91	96	48	58	791
3	0	5	8	90	95	48	58	790
4	9978,9	4	8	89	94	47	58	789
5	8	4	8	88	94	47	58	788
6	6	3	7	86	93	46	57	786
7	5	2	7	85	92	46	57	785
8	4	2	7	84	92	46	57	784
9	2	1	6	82	91	46	56	782
16,0	9978,1	4989,0	1995,6	997,81	498,90	249,45	199,56	99,781
1	0	0	6	80	90	45	56	780
2	9977,8	4988,9	6	78	89	45	56	778
3	7	8	5	77	88	44	55	777
4	6	8	5	76	88	44	55	776
5	4	7	5	74	87	44	55	774
6	3	6	5	73	86	43	54	773
7	1	6	4	71	86	43	54	771
8	0	5	4	70	85	42	54	770
9	9976,8	4	4	68	84	42	54	768
17,0	9976,7	4988,3	1995,3	997,67	498,83	249,42	199,53	99,767
1	5	3	3	65	83	41	53	765
2	4	2	3	64	82	41	53	764
3	2	1	2	62	81	41	52	762
4	1	0	2	61	80	40	52	761
5	9975,9	4987,9	2	59	80	40	52	759
6	8	9	2	58	79	40	52	758
7	6	8	1	56	78	39	51	756
8	4	7	1	54	77	38	51	754
9	3	6	1	53	77	38	51	753
18,0	9975,1	4987,6	1995,0	997,51	498,76	249,38	199,50	99,751
1	0	5	0	50	75	38	50	750
2	9974,8	4	0	48	74	37	50	748
3	7	4	1994,9	47	74	37	49	747
4	5	3	9	45	73	36	49	744
5	3	2	9	43	72	36	49	743
6	2	1	8	42	71	36	48	742
7	0	0	8	40	70	35	48	740
8	9973,8	4986,9	8	38	69	35	48	738
9	7	8	7	37	68	34	47	737

с т ь в л и т р а х								Температура в °С
0,05	0,02	0,01	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	
49,901	19,960	9,980	4,9901	3,9921	2,9940	1,9960	0,9980	14,4
900	960	980	9900	9920	9940	9960	9980	5
900	960	980	9900	9920	9940	9960	9980	6
899	960	980	9899	9919	9939	9960	9980	7
898	959	980	9898	9919	9939	9959	9980	8
898	959	980	9898	9918	9939	9959	9980	9
49,897	19,959	9,979	4,9897	3,9918	2,9938	1,9959	0,9979	15,0
896	959	979	9896	9918	9938	9959	9979	1
896	959	979	9896	9916	9937	9959	9979	2
895	958	979	9895	9916	9937	9958	9979	3
894	958	979	9894	9916	9937	9958	9979	4
894	958	979	9894	9915	9936	9958	9979	5
893	957	979	9893	9915	9936	9957	9979	6
892	957	978	9892	9914	9936	9957	9978	7
892	957	978	9892	9914	9935	9957	9978	8
891	956	978	9891	9913	9935	9956	9978	9
49,890	19,956	9,978	4,9890	3,9912	2,9934	1,9956	0,9978	16,0
890	956	978	9890	9912	9934	9956	9978	1
889	956	978	9889	9911	9933	9956	9978	2
888	955	978	9888	9911	9933	9955	9978	3
888	955	978	9888	9910	9933	9955	9978	4
887	955	977	9887	9910	9932	9955	9977	5
886	955	977	9886	9909	9932	9955	9977	6
886	954	977	9886	9908	9931	9954	9977	7
885	954	977	9885	9908	9931	9954	9977	8
884	954	977	9884	9908	9930	9954	9977	9
49,883	19,953	9,977	4,9883	3,9907	2,9930	1,9953	0,9977	17,0
883	953	977	9883	9906	9930	9953	9976	1
882	953	976	9882	9906	9929	9953	9976	2
881	952	976	9881	9905	9929	9952	9976	3
880	952	976	9880	9904	9928	9952	9976	4
880	952	976	9880	9904	9928	9952	9976	5
879	952	976	9879	9903	9927	9952	9976	6
878	951	976	9878	9903	9927	9951	9976	7
877	951	975	9877	9902	9926	9951	9975	8
876	951	975	9876	9901	9926	9951	9975	9
49,876	19,950	9,975	4,9876	3,9901	2,9926	1,9950	0,9975	18,0
875	950	975	9875	9900	9925	9950	9975	1
874	950	975	9874	9899	9925	9950	9975	2
874	949	975	9874	9899	9924	9949	9975	3
872	949	974	9873	9898	9924	9949	9974	4
872	949	974	9872	9897	9923	9949	9974	5
871	948	974	9871	9897	9923	9948	9974	6
870	948	974	9870	9896	9922	9948	9974	7
869	948	974	9869	9895	9921	9948	9974	8
868	947	974	9868	9895	9921	9947	9974	9

Температура в °С	В м е с т н м о								с т ь в л и т р а х								Температура в °С
	10	5	2	1	0,5	0,25	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	
19,0	9973,5	4986,8	1994,7	997,35	498,68	249,34	199,47	99,735	49,868	19,947	9,974	4,9868	3,9894	2,9921	1,9947	0,9974	19,0
1	4	7	7	33	67	33	47	734	866	947	973	9867	9893	9920	9947	9973	1
2	2	6	6	32	66	33	46	732	866	946	973	9866	9893	9920	9946	9973	2
3	0	5	6	30	65	33	46	730	865	946	973	9865	9892	9919	9946	9973	3
4	9972,8	4	6	28	64	32	46	728	864	946	973	9864	9891	9919	9946	9973	4
5	6	3	5	26	63	32	45	727	863	945	973	9863	9890	9918	9945	9973	5
6	5	3	5	25	63	31	45	725	863	945	972	9863	9890	9918	9945	9972	6
7	3	2	5	23	62	31	45	723	862	945	972	9862	9889	9917	9945	9972	7
8	1	0	4	21	60	30	44	721	860	944	972	9860	9888	9916	9944	9972	8
9	9971,9	0	4	19	60	30	44	719	860	944	972	9860	9888	9916	9944	9972	9
20,0	9971,7	4985,8	1994,3	997,17	498,58	249,29	199,43	99,717	49,858	19,943	9,972	4,9858	3,9887	2,9915	1,9943	0,9972	20,0
1	6	8	3	16	58	29	43	716	858	943	972	9858	9886	9915	9943	9972	1
2	4	7	3	14	57	29	43	714	857	943	971	9857	9886	9914	9943	9971	2
3	2	6	2	12	56	28	42	712	856	942	971	9856	9885	9914	9942	9971	3
4	0	5	2	10	55	28	42	710	855	942	971	9855	9884	9913	9942	9971	4
5	9970,8	4	2	08	54	27	42	708	854	942	971	9855	9883	9912	9942	9971	5
6	6	3	1	06	53	26	41	706	853	941	971	9853	9882	9912	9941	9971	6
7	4	2	1	04	52	26	41	704	852	941	970	9852	9882	9911	9941	9970	7
8	3	2	1	03	52	26	41	703	852	941	970	9852	9881	9911	9941	9970	8
9	1	1	0	01	51	25	40	701	851	940	970	9851	9880	9910	9940	9970	9
21,0	9969,9	4985,0	1994,0	996,99	498,50	249,25	199,40	99,699	49,850	19,940	9,970	4,9850	3,9880	2,9910	1,9940	0,9970	21,0
1	8	4984,9	0	97	49	24	40	698	849	940	970	9849	9879	9909	9940	9970	1
2	5	8	1993,9	95	48	24	39	695	848	939	970	9848	9878	9908	9939	9970	2
3	3	6	9	93	46	23	39	693	846	939	969	9846	9877	9908	9939	9969	3
4	1	6	8	91	46	23	38	691	846	938	969	9846	9876	9907	9938	9969	4
5	9968,9	4	8	89	44	22	38	689	844	938	969	9844	9876	9907	9938	9969	5
6	7	4	7	87	44	22	37	687	844	937	969	9844	9875	9906	9937	9969	6
7	5	2	7	85	42	21	37	685	842	937	969	9843	9874	9906	9937	9969	7
8	3	2	7	83	42	21	37	683	842	937	968	9842	9873	9905	9937	9968	8
9	1	0	6	81	41	20	36	681	841	936	968	9841	9872	9904	9936	9968	9
22,0	9967,9	4984,0	1993,6	996,79	498,40	249,20	199,36	99,679	49,840	19,936	9,968	4,9840	3,9872	2,9904	1,9936	0,9968	22,0
1	7	4983,9	5	77	39	19	35	677	839	935	968	9839	9871	9903	9935	9968	1
2	5	8	5	75	38	19	35	675	838	935	968	9838	9870	9903	9935	9968	2
3	3	6	5	73	36	18	35	673	836	935	967	9836	9869	9902	9935	9967	3
4	1	6	4	71	36	18	34	671	836	934	967	9836	9868	9901	9934	9967	4
5	9966,9	4	4	69	34	17	34	669	834	934	967	9834	9868	9901	9934	9967	5
6	7	4	3	67	34	17	33	667	834	933	967	9834	9867	9900	9933	9967	6
7	5	2	3	65	32	16	33	665	832	933	966	9832	9866	9900	9933	9966	7
8	3	2	3	63	32	16	33	663	832	933	966	9832	9865	9899	9933	9966	8
9	1	1	2	61	31	15	32	661	831	932	966	9831	9865	9898	9932	9966	9
23,0	9965,9	4983,0	1993,2	996,59	498,30	249,15	199,32	99,659	48,830	19,932	9,966	4,9830	3,9864	2,9898	1,9932	0,9966	23,0
1	7	4982,9	1	57	29	14	32	657	829	931	966	9829	9863	9897	9931	9966	1
2	4	7	1	54	27	14	31	654	827	931	965	9827	9862	9896	9931	9965	2
3	2	6	0	52	26	13	30	652	826	930	965	9826	9861	9896	9930	9965	3
4	0	5	0	50	25	12	30	650	825	930	965	9825	9860	9895	9930	9965	4
5	9964,8	4	0	48	24	12	30	648	824	930	965	9824	9859	9894	9930	9965	5

Температура в °С	В м е с т и м о								с т ь в л и т р а х								Температура в °С
	10	5	2	1	0,5	0,25	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	
23,6	9964,6	4982,3	1992,9	996,46	498,23	249,12	199,29	99,646	49,823	19,929	9,965	4,9823	3,9859	2,9894	1,9929	0,9965	23,6
7	4	2	9	44	22	11	29	644	822	929	964	9822	9858	9893	9929	9964	7
8	2	1	8	42	21	10	28	642	821	928	964	9821	9857	9893	9928	9964	8
9	9963,9	0	8	39	20	10	28	639	820	928	964	9820	9856	9892	9928	9964	9
24,0	9963,7	4981,9	1992,7	996,37	498,18	249,09	199,27	99,637	49,818	19,927	9,964	4,9818	3,9855	2,9891	1,9927	0,9964	24,0
1	5	8	7	35	18	09	27	635	817	927	964	9817	9854	9891	9927	9964	1
2	3	7	7	33	17	08	27	633	817	927	963	9817	9853	9890	9927	9963	2
3	0	5	6	30	15	08	26	630	815	926	963	9815	9852	9889	9926	9963	3
4	9962,8	4	6	28	14	07	26	628	814	926	963	9814	9851	9889	9926	9963	4
5	6	3	5	26	13	06	25	626	813	925	963	9813	9850	9888	9925	9963	5
6	4	2	5	24	12	06	25	624	812	925	962	9812	9850	9887	9925	9962	6
7	1	0	4	21	10	05	24	621	810	924	962	9810	9848	9886	9924	9962	7
8	9961,9	0	4	19	10	05	24	619	810	924	962	9810	9848	9886	9924	9962	8
9	7	4980,8	4	17	08	04	24	617	808	924	962	9808	9847	9885	9924	9962	9
25,0	9961,4	4980,7	1992,3	996,14	498,07	249,04	199,23	99,614	49,807	19,923	9,961	4,9807	3,9846	2,9884	1,9923	0,9961	25,0
1	2	6	2	12	06	03	22	612	806	922	961	9806	9845	9884	9922	9961	1
2	0	5	2	10	05	02	22	610	805	922	961	9805	9844	9883	9922	9961	2
3	9960,8	4	2	08	04	02	22	608	804	922	961	9804	9843	9883	9922	9961	3
4	5	2	1	05	02	01	21	605	802	921	960	9802	9842	9882	9921	9960	4
5	3	2	1	03	02	01	21	603	802	921	960	9802	9841	9881	9921	9960	5
6	1	1	0	01	01	00	20	601	801	920	960	9801	9841	9880	9920	9960	6
7	9959,9	4979,9	0	995,98	497,99	00	20	598	799	920	960	9799	9840	9880	9920	9960	7
8	6	8	1991,9	96	98	248,99	19	596	798	919	960	9798	9839	9879	9919	9960	8
9	3	6	9	93	96	98	19	593	796	919	959	9796	9837	9878	9919	9959	9
26,0	9959,1	4979,5	1991,8	995,91	497,95	248,98	199,18	99,591	49,795	19,918	9,959	4,9795	3,9836	2,9877	1,9918	0,9959	26,0
1	9958,8	4	7	88	94	97	17	588	794	918	959	9794	9835	9876	9918	9959	1
2	6	3	7	86	93	96	17	586	793	917	959	9793	9834	9876	9917	9959	2
3	4	2	7	84	92	96	17	584	792	917	958	9792	9834	9875	9917	9958	3
4	1	0	6	81	90	95	16	581	790	916	958	9790	9832	9874	9916	9958	4
5	9957,9	0	6	79	90	95	16	579	790	916	958	9790	9832	9874	9916	9958	5
6	6	4978,8	5	76	88	94	15	576	788	915	958	9788	9830	9873	9915	9958	6
7	4	7	5	74	87	94	15	574	787	915	957	9787	9830	9872	9915	9957	7
8	1	6	4	71	86	93	14	571	786	914	957	9786	9828	9871	9914	9957	8
9	9956,9	4	4	69	84	92	14	569	784	914	957	9784	9828	9871	9914	9957	9
27,0	9956,6	4978,3	1991,3	995,66	497,83	248,92	199,13	99,566	49,783	19,913	9,957	4,9783	3,9826	2,9870	1,9913	0,9957	27,0
1	4	2	3	64	82	91	13	564	782	913	956	9782	9826	9869	9913	9956	1
2	2	1	2	62	81	91	12	562	781	912	956	9781	9825	9869	9912	9956	2
3	9955,9	0	2	59	80	90	12	559	780	912	956	9780	9824	9868	9912	9956	3
4	6	4977,8	1	56	78	89	11	556	779	911	956	9779	9822	9867	9911	9956	4
5	4	7	1	54	77	88	11	554	777	911	955	9777	9822	9866	9911	9955	5
6	2	6	0	52	76	88	10	552	776	910	955	9776	9821	9866	9910	9955	6
7	9954,9	4	0	49	74	87	10	549	774	910	955	9774	9820	9865	9910	9955	7
8	6	3	1990,9	46	73	86	09	546	773	909	955	9773	9818	9864	9909	9955	8
9	4	2	9	44	72	86	09	544	772	909	954	9772	9818	9863	9909	9954	9

Температура в °С	В м е с т н о м о							
	10	5	2	1	0,5	0,25	0,2	0,1
28,0	9954,1	4977,0	1990,8	995,41	497,71	248,85	199,08	99,541
1	9953,9	0	8	39	70	85	08	539
2	6	4976,8	7	36	68	84	07	536
3	3	6	7	33	66	83	07	533
4	1	6	6	31	66	83	06	531
5	9952,8	4	6	28	64	82	06	528
6	6	3	5	26	63	82	05	526
7	3	2	5	23	62	81	05	523
8	0	0	4	20	60	80	04	520
9	9951,8	4975,9	4	18	59	80	04	518
29,0	9951,5	4975,8	1990,3	995,15	497,58	248,79	199,03	99,515
1	2	6	3	12	56	78	03	512
2	0	5	2	10	55	78	02	510
3	9950,7	4	1	07	54	77	01	507
4	4	2	1	04	52	76	01	504
5	2	1	0	02	51	76	00	502
6	9949,9	0	0	994,99	50	75	00	499
7	6	4974,8	1989,9	96	48	74	198,99	496
8	3	6	9	93	46	73	99	493
9	0	5	8	90	45	72	98	490
30,0	9948,8	4974,4	1989,8	994,88	497,44	248,72	198,98	99,488
1	5	4974,2	7	85	42	71	97	485
2		1	6	82	41	70	96	482
3	0	0	6	80	40	70	96	480
4	9947,7	4973,9	5	77	39	69	96	477
5	4	7	5	74	37	69	95	474
6	1	6	4	71	36	68	94	471
7	9946,8	4	4	68	34	67	94	468
8	6	3	3	66	33	66	93	466
9	3	2	3	63	32	66	93	463
31,0	9946,0	4973,0	1989,2	994,60	497,30	248,65	198,92	99,460
1	9945,7	4972,8	1	57	28	64	91	457
2	4	7	1	54	27	64	91	454
3	1	6	0	51	26	63	90	451
4	9944,8	4	0	48	24	62	90	448
5	6	3	1988,9	46	23	62	89	446
6	3	2	9	43	22	61	89	443
7	0	0	8	40	20	60	88	440
8	9943,7	4971,9	7	37	19	59	88	437
9	4	7	7	34	17	59	87	434
32,0	9943,1	4971,6	1988,6	994,31	497,16	248,58	198,86	99,431
1	9942,8	4	6	28	14	57	86	428
2	5	2	5	25	12	56	85	425
3	2	1	4	22	11	56	84	422
4	9941,9	0	4	19	10	54	84	419
5	6	4970,8	3	16	08	54	83	416

с т ь в л и т р а х								Температура в °С
0,05	0,02	0,01	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	
49,770	19,908	9,954	4,9770	3,9816	2,9862	1,9908	0,9954	28,0
770	908	954	9770	9816	9862	9908	9954	1
768	907	954	9768	9814	9861	9907	9954	2
766	906	953	9766	9813	9860	9907	9953	3
766	906	953	9766	9813	9859	9906	9953	4
764	906	953	9764	9811	9858	9906	9953	5
763	905	953	9763	9811	9858	9905	9953	6
762	905	952	9762	9809	9857	9905	9952	7
760	904	952	9760	9808	9856	9904	9952	8
759	904	952	9759	9807	9855	9904	9952	9
49,758	19,903	9,952	4,9758	3,9806	2,9854	1,9903	0,9952	29,0
756	902	951	9756	9805	9854	9902	9951	1
755	902	951	9755	9804	9853	9902	9951	2
754	901	951	9754	9803	9852	9901	9951	3
752	901	950	9752	9802	9851	9901	9950	4
751	900	950	9751	9801	9851	9900	9950	5
750	900	950	9750	9800	9850	9900	9950	6
748	899	950	9748	9798	9849	9899	9950	7
746	899	949	9746	9797	9848	9899	9949	8
745	898	949	9745	9796	9847	9898	9949	9
49,744	19,898	9,949	4,9744	3,9796	2,9847	1,9898	0,9949	30,0
742	897	948	9742	9794	9846	9897	9948	1
741	896	948	9741	9793	9845	9896	9948	2
740	896	948	9740	9792	9844	9896	9948	3
739	896	948	9739	9791	9843	9896	9948	4
737	895	947	9737	9790	9842	9895	9947	5
736	894	947	9736	9788	9841	9894	9947	6
734	894	947	9734	9787	9840	9894	9947	7
733	893	947	9733	9786	9840	9893	9947	8
732	893	946	9732	9785	9839	9893	9946	9
49,730	19,892	9,946	4,9730	3,9784	2,9838	1,9892	0,9946	31,0
728	892	946	9728	9783	9837	9891	9946	1
727	891	945	9727	9782	9836	9891	9945	2
726	890	945	9726	9780	9835	9890	9945	3
724	890	945	9724	9779	9834	9890	9945	4
723	889	945	9723	9778	9834	9889	9945	5
722	889	944	9722	9777	9833	9889	9944	6
720	888	944	9720	9776	9832	9888	9944	7
719	888	944	9719	9775	9831	9888	9944	8
717	887	943	9717	9774	9830	9887	9943	9
49,716	19,886	9,943	4,9716	3,9773	2,9829	1,9886	0,9943	32,0
714	886	943	9714	9771	9829	9886	9943	1
712	885	943	9712	9770	9827	9885	9942	2
711	884	942	9711	9769	9825	9885	9942	3
710	884	942	9709	9767	9825	9884	9942	4
708	883	942	9708	9766	9825	9883	9942	5

Температура в °С	В м е с т н м								с т ь в л и т р а х								Температура в °С
	10	5	2	1	0,5	0,25	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	
32,6	9941,3	4970,6	1988,3	994,13	497,06	248,53	198,83	99,413	49,706	19,883	9,941	4,9707	3,9765	2,9824	1,9883	0,9941	32,6
7	0	5	2	10	05	52	82	410	705	882	941	9705	9764	9823	9882	9941	7
8	9940,7	4	1	07	04	52	81	407	704	881	941	9704	9763	9822	9881	9941	8
9	4	2	1	04	02	51	81	404	702	881	940	9702	9762	9821	9881	9940	9
33,0	9940,1	4970,0	1988,0	994,01	497,00	248,50	198,80	99,401	49,700	19,880	9,940	4,9700	3,9761	2,9820	1,9880	0,9940	33,0
1	9939,8	4969,9	0	993,98	496,99	248,50	198,80	99,401	49,700	19,880	9,940	4,9700	3,9761	2,9820	1,9880	0,9940	1
2	5	8	1987,9	95	98	49	79	395	698	878	940	9698	9758	9818	9879	9940	2
3	3	6	8	92	96	48	78	392	696	878	939	9696	9757	9818	9878	9939	3
4	9938,9	4	8	89	94	47	78	389	694	878	939	9694	9756	9817	9878	9939	4
5	6	3	7	86	93	47	77	386	693	877	939	9693	9755	9816	9877	9939	5
6	3	2	7	83	92	46	77	383	692	877	938	9692	9753	9815	9877	9938	6
7	0	0	6	80	90	45	76	380	690	876	938	9690	9752	9814	9876	9938	7
8	9937,7	4968,9	6	77	89	44	76	377	689	876	938	9689	9751	9813	9876	9938	8
9	4	7	5	74	87	44	75	374	687	875	937	9687	9750	9812	9875	9937	9
34,0	9937,1	4968,6	1987,4	993,71	496,86	248,43	198,74	99,371	49,685	19,874	9,937	4,9686	3,9748	2,9811	1,9874	0,9937	34,0
1	9936,8	4	4	68	84	42	74	368	684	874	937	9684	9747	9810	9874	9937	1
2	5	2	3	65	82	41	73	365	682	873	936	9682	9746	9810	9873	9936	2
3	2	1	2	62	81	40	72	362	681	872	936	9681	9745	9809	9872	9936	3
4	9935,8	4967,9	2	58	79	40	72	358	679	872	936	9679	9743	9808	9872	9936	4
5	5	8	1	55	78	39	71	355	678	871	936	9678	9742	9806	9871	9936	5
6	3	6	0	52	76	38	70	352	676	870	935	9676	9741	9806	9870	9935	6
7	9934,9	5	0	49	75	37	70	349	675	870	935	9675	9740	9805	9870	9935	7
8	6	3	1986,9	46	73	37	69	346	673	869	935	9673	9738	9804	9869	9935	8
9	3	1	9	43	71	36	69	343	671	869	934	9671	9737	9803	9869	9934	9
35,0	9934,0	4967,0	1986,8	993,40	496,70	248,35	198,68	99,340	49,670	19,868	9,934	4,9670	3,9736	2,9802	1,9868	0,9934	35,0
1	9933,6	4966,8	7	36	68	34	67	336	668	867	934	9668	9734	9801	9867	9934	1
2	3	7	7	33	67	33	67	334	667	867	933	9667	9733	9800	9867	9933	2
3	0	5	6	30	65	33	66	330	665	866	933	9665	9732	9799	9866	9933	3
4	9932,7	4	5	27	64	32	65	327	664	865	933	9664	9731	9798	9865	9933	4
5	4	2	5	24	62	31	65	324	662	865	932	9662	9730	9797	9865	9932	5
6	0	0	4	20	60	30	64	320	660	864	932	9660	9728	9796	9864	9932	6
7	9931,7	4965,9	3	17	59	29	64	317	659	864	932	9659	9727	9795	9864	9932	7
8	4	7	3	14	57	28	63	314	657	863	931	9657	9726	9794	9863	9931	8
9	1	5	2	11	55	28	62	311	655	862	931	9655	9724	9793	9862	9931	9
36,0	9930,7	4965,4	1986,1	993,07	496,54	248,27	198,61	99,307	49,654	19,861	9,931	4,9654	3,9723	2,9792	1,9861	0,9931	36,0
1	4	2	1	04	52	26	61	304	652	861	930	9652	9722	9791	9861	9930	1
2	1	0	0	01	50	25	60	301	650	860	930	9650	9720	9790	9860	9930	2
3	9929,8	4964,9	0	992,98	49	24	60	298	649	860	930	9649	9719	9789	9860	9930	3
4	4	7	1985,9	94	47	24	59	294	647	859	929	9647	9718	9788	9859	9929	4
5	1	6	8	91	46	23	58	291	646	858	929	9646	9716	9787	9858	9929	5
6	9928,8	4	8	88	44	22	58	288	644	858	929	9644	9715	9786	9858	9929	6
7	4	2	7	84	42	21	57	284	642	857	928	9642	9714	9786	9857	9928	7
8	1	1	6	81	41	20	56	281	641	856	928	9641	9712	9784	9856	9928	8
9	9927,8	4963,9	6	78	39	20	56	278	639	856	928	9639	9711	9783	9855	9928	9

Температура в °С	В м е с т н м о							
	10	5	2	1	0,5	0,25	0,2	0,1
37,0	9927,4	4963,7	1985,5	992,74	496,37	248,18	198,55	99,274
1	1	6	4	71	36	18	54	271
2	9926,8	4	4	68	34	17	54	268
3	4	2	3	64	32	16	53	264
4	1	1	2	61	31	15	52	261
5	9925,8	4962,9	2	58	29	14	52	258
6	4	7	1	54	27	14	51	254
7	1	6	0	51	26	13	50	251
8	9924,8	4	0	48	24	12	50	248
9	4	2	1984,9	44	22	11	49	244
38,0	9921,1	4962,1	1981,8	992,41	496,21	248,10	198,48	99,241
1	9923,7	4961,8	7	37	18	09	47	237
2	4	7	7	34	17	09	47	234
3	0	5	6	30	15	08	46	230
4	9922,7	4	5	27	14	07	46	227
5	4	2	5	24	12	06	45	224
6	0	0	4	20	10	05	44	220
7	9921,7	4960,8	3	17	08	04	43	217
8	3	6	3	13	06	03	43	213
9	0	2	2	10	05	03	42	210
39,0	9920,6	4960,3	1984,1	992,06	496,02	248,02	198,41	99,206
1	3	2	1	03	02	01	41	203
2	9919,9	0	0	991,99	00	00	40	199
3	6	4959,8	1983,9	96	495,98	247,99	39	196
4	2	6	8	92	96	98	38	192
5	9918,9	5	8	89	95	97	38	189
6	5	2		85	92	96	37	185
7	2	1	6	82	91	96	36	182
8	9917,8	4958,9	6	78	89	94	36	178
9	5	8	5	75	88	94	35	175
40,0	9917,1	4958,6	1983,4	991,71	495,86	247,93	198,34	99,171

E. E. Shpileva

TABLES SERVANT À LA GRADUATION DE LA VAISSELLE  
DE VERRE VOLUMÉTRIQUE

## Résumé

Les tables dressées par l'auteur donnent la possibilité de vérifier les appareils de mesure volumétriques à l'aide du pesage de l'eau qui les remplit, des données calculées d'avance servant à établir pour différents volumes et différentes températures la masse des poids de bronze nécessaire à mettre en équilibre un volume donné d'eau.

с т ь в л и т р а х								Темпе- ратура в °С
0,05	0,02	0,01	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	
49,637	19,855	9,927	4,9637	3,9710	2,9782	1,9855	0,9927	37,0
636	854	927	9636	9708	9781	9854	9927	1
634	854	927	9634	9707	9780	9854	9927	2
632	853	926	9632	9706	9779	9853	9926	3
631	852	926	9631	9704	9778	9852	9926	4
629	852	926	9629	9703	9777	9852	9926	5
627	851	925	9627	9702	9776	9851	9925	6
626	850	925	9626	9700	9775	9850	9925	7
624	850	925	9624	9699	9774	9850	9925	8
622	849	924	9622	9698	9773	9849	9924	9
49,621	19,848	9,924	4,9621	3,9696	2,9772	1,9848	0,9924	38,0
618	847	924	9618	9694	9771	9847	9924	1
617	847	923	9617	9694	9770	9847	9923	2
615	846	923	9615	9692	9769	9846	9923	3
614	845	923	9614	9691	9768	9845	9923	4
612	845	922	9612	9690	9767	9845	9922	5
610	844	922	9610	9688	9766	9844	9922	6
608	843	922	9608	9687	9765	9843	9922	7
606	843	921	9606	9685	9764	9843	9921	8
605	842	921	9605	9684	9763	9842	9921	9
49,603	19,841	9,921	4,9603	3,9682	2,9762	1,9841	0,9921	39,0
602	841	920	9602	9681	9761	9841	9920	1
600	840	920	9600	9680	9760	9840	9920	2
598	839	920	9598	9678	9759	9839	9920	3
596	838	919	9596	9677	9758	9838	9919	4
595	838	919	9595	9676	9757	9838	9919	5
592	837	918	9592	9674	9756	9837	9918	6
591	836	918	9591	9673	9755	9836	9918	7
589	836	918	9589	9672	9754	9836	9918	8
588	835	918	9588	9671	9753	9836	9918	9
49,586	19,834	9,917	4,9586	3,9668	2,9751	1,9834	0,9917	40,0



## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

В. А. Мюллер. Исследование аналитических весов и микровесов Советского производства . . . . .	4
С. Д. Гидаспов. Некоторые исследования в области точных весов . . . . .	12
С. Д. Гидаспов. Новый прием точного взвешивания . . . . .	23
А. Н. Доброхотов. Коромысло весов и маятник . . . . .	29
А. К. Семенов. Циферблатные весы с приблизительно равномерной шкалой . . . . .	35
Н. П. Тарасов. Каменные гири . . . . .	41
И. И. Кузнецов. Исследование эталонных ареометров для шкалы плотностей 0,650—2,000 . . . . .	46
М. Д. Иппиц. Пикнометрический способ проверки эталонных ареометров . . . . .	56
Е. Е. Шпилева. Таблицы для градуировки стеклянной мерной посуды взвешиванием наполняющей воды . . . . .	60

## TABLE DES MATIÈRES

V. A. Müller. Examen des balances analytiques et des microbalances de production soviétique . . . . .	12
S. D. Guidaspov. Quelques recherches dans le domaine des balances de précision . . . . .	23
S. D. Guidaspov. Nouveau procédé pour le pesage de précision . . . . .	28
A. N. Dobrokhotov. Le fléau et le pendule . . . . .	35
A. K. Semenov. Une balance à cadran avec une échelle approximativement uniforme . . . . .	40
N. P. Tarassov. Poids en matière pierreuse . . . . .	45
I. I. Kouznetsov. L'étude des aréomètres-étalons . . . . .	56
M. D. Ippitz. Méthode picnométrique de vérifier les aréomètres-étalons . . . . .	60
E. E. Shpilëva. Tables servant à la graduation de la vaisselle de verre volumétrique . . . . .	74

137-5  
 Ответственный редактор проф. А. Н. Доброхотов.  
 Технический редактор М. С. Рулева.  
 Корректор О. Л. Лещенко.

Сдано в набор 4/II 1939 г.  
 Тираж 600 экз. Индекс Т-5-4.  
 Уч.-авт. л. 5,93.  
 Бум. л. 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>.  
 Заказ № 1162.

Подписано к печати 29/IV 1939 г.  
 Формат бумаги 60x92<sup>1</sup>/<sub>16</sub> Камской ф-ки.  
 Пет. л. 4<sup>3</sup>/<sub>4</sub>.  
 Колич. печ. знаков в 1 бум. листе 102400.  
 Леноблаторлит № 1867.

