КОМИТЕТ СТАНДАРТОВ, МЕР И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ
им. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ
за 40 лет

ТРУДЫ ВНИИМ

ВЫПУСК 33 (93)

«СТАНДАРТГИЗ»
МОСКВА — ЛЕНИНГРАД
1958

КОМИТЕТ СТАНДАРТОВ, МЕР И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ
при СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СОЮЗА ССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИИ имени Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ
за 40 лет

ТРУДЫ ВНИИМ

ВЫПУСК 33 (93)

Под редакцией
проф. В. О. АРУТЮНОВА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
«СТАНДАРТГИЗ»

МОСКВА — ЛЕНИНГРАД
1958

ПРЕДИСЛОВИЕ

Трудно переоценить роль измерений в народном хозяйстве. Всякое научное исследование в любой области знаний, связанное с необходимостью установления количественных соотношений между величинами, характеризующими изучаемые явления, неизбежно опирается на процесс измерения, который является одним из главных способов познания природы, поэтому совершенствование техники измерений и измерительных средств способствует новым открытиям в науке. Можно привести много примеров, подтверждающих это положение.

Не меньшее значение имеет измерение в технике и промышленности. Оценка качества изделия, соответствия изготовленной машины проекту или оценка прочности всякого рода сооружений может быть выполнена лишь путем соответствующих испытаний, т. е. путем измерения определенной совокупности технических показателей; механизация и автоматизация технологических процессов также неизбежно связаны с измерением и измерительной аппаратурой. Взаимозаменяемость изделий, имеющая огромное значение в современной технической практике, может быть обеспечена только при условии единства в измерениях, выполняемых в различных стадиях производства и на различных предприятиях. Современная авиация, как и мореплавание, не могут обойтись без измерительных приборов, точность которых определяет безопасность и точность движения по заданному курсу.

Измерения играют важную роль в торговле, в учете материальных и энергетических ресурсов, в их рациональном использовании, в освоении новой техники, в рациональном ведении производственных процессов, в создании безопасных условий труда и т. д.

Однако для того, чтобы обеспечить правильность процесса измерения и требуемую точность показаний измерительных приборов, необходимо так организовать измерительное дело в стране, чтобы было обеспечено единообразие измерений, т. е. совпадение результатов измерений, производимых в разных местах различными приборами. Для этого прежде всего нужно иметь единую систему единиц измерений и эталоны, т. е. изготовленные с наивысшей возможной точностью образцы, воспроизводящие единицы измерения. Нужно также иметь систему образцовых мер, получающих значение от эталонов и служащих для дальнейшей передачи верных значений единиц. При этом передача должна сопровождаться минимальным накоплением погрешностей, так как применяемые в науке и промышленности приборы зачастую должны удовлетворять высоким требованиям к точности.

Метрология и является наукой о точных измерениях, приводимых к эталонам. В ее задачу входит создание и хранение эталонов и разработка методов передачи значений этих единиц к образцовым и далее к рабочим приборам. Другими словами, метрология — это наука о способах поддержания единства измерений.

Главнейшим практическим приложением метрологии является так называемое поверочное дело, или прикладная метрология, в задачу которой входит поверка и испытание рабочих мер и измерительных приборов для оценки их точности и надежности действия. Система законода-

тельных и административных мероприятий, а также совокупность научно-технических учреждений, ведущих поверочное дело, определяют собой государственную службу мер, обеспечивающую государственный надзор за состоянием и развитием измерительного хозяйства в стране.

Роль и значение метрологии и поверочного дела уже давно были оценены как учеными, так и административными деятелями различных стран, в том числе и России. Первые указы по вопросам, связанным с мерами и весом, относятся к X веку, когда надзор за правильностью мер был передан духовенству. С тех пор вопросы единства мер и измерений неоднократно были предметом рассмотрения и по этому поводу были изданы многочисленные законоположения. Несмотря на это, единство мер не было достигнуто до второй половины прошлого века. Лишь в 1842 г., в результате 40-летней подготовительной работы, было издано «Положение о мерах и весах», содержавшее основные элементы государственной службы мер и весов в России. Однако подлинно научные основы метрологии были заложены лишь спустя еще 50 лет в результате создания в 1893 г. великим русским ученым Д. И. Менделеевым Главной Палаты мер и весов (ныне ВНИИМ — Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева в Ленинграде).

Придавая исключительно большое значение метрологии, Д. И. Менделеев разработал и осуществил широкую программу мероприятий для обеспечения единства мер в стране. Им были возобновлены прототипы русских мер и созданы условия для разработки методов точных измерений. Проведенные им и его ближайшими сотрудниками большие работы в области метрологии повлекли за собой и установление международных связей с иностранными метрологическими учреждениями. В 1895 г. Д. И. Менделеев был избран членом Международного Комитета мер и весов. С этого времени представители России неизменно принимают участие в деятельности Международного Комитета и его подразделений.

В 1899 г. была принята новая система русских мер, причем аршин и фунт были связаны с метрической системой — метром и килограммом, что соответствовало обязательствам, принятым Россией по факультативному введению метрической системы мер согласно Метрической конвенции 1875 г. При этом впервые было разрешено применение наряду с русскими мерами также метрических мер.

Д. И. Менделеев предпринял также шаги по организации сети поверочных лабораторий в стране, так называемых палаток. Число этих палаток к 1917 г. достигло 22.

Несмотря на огромную энергию Д. И. Менделеева и его последователей, проф. Н. Г. Егорова и других, состояние измерительного хозяйства России к моменту Великой Октябрьской революции нельзя было считать удовлетворительным. Это усугублялось также тяжелыми потрясениями всего народного хозяйства, обусловленными войной 1914—1918 гг.

Поэтому перед Советской властью с первых же дней встала задача создания государственного аппарата, в том числе и аппарата государственной службы мер и весов. Уже в 1918 г., в самый разгар гражданской войны, по указанию В. И. Ленина Советом Народных Комиссаров был принят декрет о введении международной метрической системы мер. Большая роль в этом принадлежит управляющему Главной Палатой мер и весов профессору Н. Г. Егорову, подготовившему проект декрета. Сотрудники Главной Палаты играли ведущую роль во всех работах по внедрению и пропаганде метрической системы.

По мере восстановления народного хозяйства страны после гражданской войны обнаруживалось крайне неудовлетворительное состояние измерительного дела в стране. В 1921 г. В. И. Ленин подписал постановление о всероссийской поверке мер и весов. В 1922 г. Совет Труда и Обороны утвердил положение о Главной Палате мер и весов и тем по-

ложил начало большим работам как по созданию, хранению и пополнению основных эталонов, так и по организации поверочного дела на всей территории Советского Союза. Развитию этих работ способствовало то благоприятное обстоятельство, что Д. И. Менделеев воспитал и оставил после себя большую группу выдающихся метрологов, как Ф. П. Завадский, А. Н. Доброхотов, А. Н. Георгиевский, Ф. И. Блумбах и др.

В первые годы после Октябрьской революции в Главной Палате мер и весов уже работали такие выдающиеся советские метрологи, как заслуженный деятель науки и техники проф. М. Ф. Маликов, проф. П. М. Тиходеев, проф. А. К. Колосов, проф. М. Ф. Романова, проф. Е. Г. Шрамков, проф. Н. А. Маренин, проф. Л. В. Залуцкий и др.

Благодаря неустанному вниманию партии и правительства к делу развития метрологии в нашей стране и усилиям большого числа ученых-метрологов и инженеров-измерителей, в настоящее время в СССР, кроме головного метрологического института — ВНИИМ, созданы научно-исследовательские институты в Москве, Харькове, Свердловске и Новосибирске. Под Москвой в Крюково с 1955 г. начал работать институт физико-технических измерений, причем строительство его продолжается, и в недалеком будущем он станет одним из крупнейших институтов в области измерений. Новосибирский институт строится и оснащается с таким расчетом, чтобы стать второй метрологической базой Советского Союза. Кроме того, на территории СССР действуют 136 государственных контрольных лабораторий по измерительной технике, расположенных в крупных промышленных городах Советского Союза. Вся метрологическая и поверочная деятельность в Советском Союзе возглавляется Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР.

1 октября 1955 г. Совет Министров принял постановление, предоставляющее Комитету большие права и возможности для дальнейшего укрепления измерительного хозяйства нашей страны.

За 40 лет советская метрология проделала огромный путь и добилась значительных успехов. Основные метрологические работы Советского Союза находятся на одном уровне с зарубежной метрологической наукой, а в некоторых случаях и опережают ее. Неоднократно Советский Союз выступал с предложениями международного характера, способствовавшими обеспечению единства измерений во всем мире.

Настоящий сборник посвящен 40-летию Великой Октябрьской социалистической революции и охватывает главнейшие метрологические работы советского периода. Он составлен сотрудниками ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, однако отражает также работы и других институтов Комитета.

МЕЖДУНАРОДНЫЕ РАБОТЫ СОВЕТСКИХ МЕТРОЛОГОВ

Проф. Г. Д. БУРДУН, заместитель Председателя Комитета стандартов, мер и измерительных приборов

Русские ученые сыграли большую роль в установлении международного единства мер и принимали активное участие в международных метрологических работах. Уже в 1856 г. ученый хранитель Депо образцовых мер и весов акад. А. Я. Купфер участвовал в работах международного совещания по введению единообразия в системах мер, весов и монет, состоявшегося в Англии. В 1867 г. в Париже при Международной выставке был образован Комитет весов, мер и монет. Председателем комиссии по введению единообразия в измерениях длин и весов этого Комитета был русский физик академик Б. Я. Якоби. В 1870 г. по предложению Российской Академии наук в Париже было созвано совещание, которое должно было «принять меры для привлечения внимания правительств разных стран к необходимости установления прототипов мер». Наша Академия предложила организовать международную комиссию, которой было бы поручено изготовить прототипы мер массы, длины и объема (емкости).

После того, как 20 мая 1875 г. в результате работы дипломатической метрической конференции была подписана Метрическая конвенция, согласно которой были установлены международные прототипы метра и килограмма, и был учрежден Международный комитет мер и весов, русские ученые приняли активное участие в его работе. Членами Международного комитета мер и весов от России в разное время были: акад. Г. И. Вильд, проф. Д. И. Менделеев, проф. Н. Г. Егоров.

С 1921 г. стали возобновляться международные метрологические связи, прерванные первой мировой войной. В 1925 г. было принято постановление правительства СССР «О признании заключенной в Париже 20 мая 1875 г. Международной конвенции для обеспечения международного единства и усовершенствования метрической системы, имеющей силу для СССР».

В 1926 г. членом Международного комитета мер и весов от СССР был избран Президент Главной Палаты мер и весов академик Д. П. Коновалов.

На VII Генеральной конференции по мерам и весам 1927 г., впервые после 1913 г., присутствовала делегация Главной Палаты мер и весов в составе Д. П. Коновалова, М. А. Шателена, А. Н. Доброхотова. На этой конференции был принят ряд важных решений, а именно, установлены международная шкала температур, значение метра в длинах световых волн красной линии кадмия и образован Консультативный комитет по электричеству. Член советской делегации проф. А. Н. Доброхотов зачитал два обширных доклада — «Введение метрической системы в СССР» и «Законодательство о мерах и весах в СССР за время 1921—1927 гг.». Успехи СССР по внедрению метрической системы в очень короткий срок вызвали большой интерес участников конференции.

В 1930 г. членом Международного комитета мер и весов был избран чл.-корр. АН СССР М. А. Шателен, который с 1929 г. был Президентом Главной Палаты мер и весов.

С именем М. А. Шателена, состоявшего членом Международного комитета мер и весов до 1948 г. (а с 1948 по 1957 гг.— почетным членом Международного комитета), связан период особенно активной деятельности советских метрологов в международных метрологических организациях. М. А. Шателен принимал деятельное участие в VII и VIII Генеральных конференциях по мерам и весам и в ряде заседаний Международного комитета мер и весов и его консультативных комитетов. Он был инициатором организации работ по фотометрии в Международном бюро

Д. И. Менделеев (1834—1907).

мер и весов, а также инициатором создания Консультативного комитета по фотометрии. Им был выполнен ряд работ по международным сличениям электрических эталонов, переходу на абсолютные электрические единицы, разработке практической системы единиц.

В 1933 г. состоялась VIII Генеральная конференция по мерам и весам, на которой был санкционирован принцип замены международных электрических единиц абсолютными электрическими единицами и принято решение о создании Консультативного комитета по фотометрии. В конференции участвовали представители СССР — М. А. Шателен и Л. В. Залуцкий. Советская делегация внесла предложение о создании Консультативного комитета по прикладной метрологии. По этому вопросу конференция приняла следующее решение: «В связи с поступившим от делегации СССР предложением относительно создания Консультативного комитета по прикладной метрологии при Международном комитете мер и весов, конференция поручает Международному комитету изучение этого вопроса».

Из-за второй мировой войны следующая IX Генеральная конференция по мерам и весам состоялась только через 15 лет, в 1948 г. Конфе-

ренция приняла решения об установлении Международной шкалы температур 1948 г., о проведении опроса по международной практической системе единиц и ряд резолюций по другим метрологическим вопросам. С советской стороны в конференции участвовали А. П. Кузнецов, В. Д. Алесин, А. К. Колосов, А. И. Ченчиков и П. Я. Альянаки. Советская делегация внесла ряд предложений, в том числе предложения о пересмотре Метрической конвенции, о переходе на определение метра в длинах световых волн, о работах по абсолютному измерению ускорения силы тяжести. Международный комитет мер и весов создал Комиссию для подготовки предложений по изменению Метрической конвенции, а также на своей сессии в 1952 г. создал Консультативный комитет по определению метра.

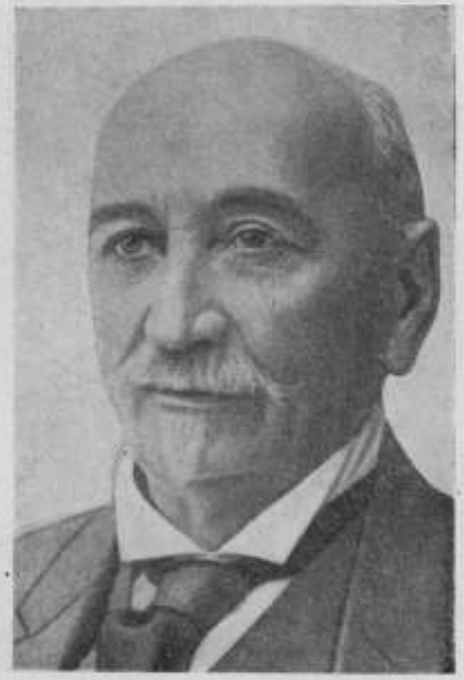
Н. Г. Егоров (1849—1919).

X Генеральная конференция по мерам и весам 1954 г. обсудила ряд важных вопросов — о работах по переходу на новое определение метра, о новом определении секунды, об установлении основных единиц международной практической системы единиц и приняла решение об установлении абсолютной температурной шкалы с одной реперной точкой. Советская делегация в составе В. Д. Алесина, Г. Д. Бурдуна, А. К. Колосова и Б. М. Яновского активно участвовала в рассмотрении указанных вопросов и представила предложения ВНИИМ о принятии в качестве основной — длину волны красной линии изотопа кадмия 114.

Советские метрологи, начиная с 1926 г., участвовали в международных работах по сличению эталонов длины (метра и концевых эталонов), массы, электрических (электродвижущей силы и сопротивления), световых (силы света и светового потока), платиновых термометров сопротивления, проводимых Международным бюро мер и весов.

Кроме того, советские метрологи представили Международному комитету мер и весов и его консультативным комитетам ряд докладов и предложений по метрологическим работам, имеющим международное значение.

В области линейных измерений эти работы, преимущественно, относились к определению метра в длинах световых волн. Работы по данному вопросу были начаты в Главной Палате мер и весов в 1915 г., затем проводились в 1930—1931 гг., и с 1939 г.— по настоящее время. По точности эти работы занимают одно из первых мест среди работ, проведенных в других странах. В 1935 г. Международному комитету мер и весов был представлен доклад В. Е. Мурашкинского «Длина световой волны в качестве основной единицы длины». На VIII Генеральной конференции по мерам и весам Л. В. Залуцкий передал сообщение М. Ф. Романовой и А. А. Ферхмин, в котором говорится, что все линии, предложенные до сих пор в качестве основных при измерениях длины, а именно, красная линия кадмия и желто-зеленая и зеленая линии криптона, имеют сателлитов. В 1952 г. сотрудниками ВНИИМ М. Ф. Романовой, Н. Р. Батарчуковой и А. И. Карташевым Международному комитету мер и весов передан ряд докладов о применении стабильного изотопа кадмия 114 в качестве источника излучения для воспроизведения единицы длины. Представители ВНИИМ приняли активное участие в работах первой сессии Консультативного комитета по новому определению метра, состоявшейся в 1953 г.



Д. П. Коновалов (1856—1929).

В области международных температурных измерений ряд предложений был внесен проф. Л. В. Залуцким на VIII Генеральной конференции по мерам и весам в 1933 г. и на сессии Международного комитета мер и весов в 1935 г. (об определении калории, обмене платиновыми термометрами сопротивления и платино-платинородиевыми термопарами между национальными метрологическими лабораториями, о созыве международной конференции по термометрии). По инициативе ВНИИМ в Международном комитете мер и весов был возбужден вопрос об организации Консультативного комитета по термометрии. В 1937 г. Международный комитет мер и весов организовал этот Консультативный комитет.

На сессию Консультативного комитета по термометрии 1939 г. был представлен доклад С. В. Липина «Калория 20°С и ее отношение к абсолютной единице». На сессии Комитета 1948 г. ВНИИМ представил предложения по проекту определения единицы количества теплоты и международной шкалы температур. Проф. А. К. Колосовым было внесено предложение о принятии точки затвердевания цинка в качестве основной реперной точки международной шкалы температур. На сессии Консультативного комитета в 1952 г. были представлены предложения метрологических учреждений СССР о принятии числового значения температуры кипения водорода и сообщение П. Г. Стрелкова и А. С. Боровик-Романова «Новый газовый термометр и определение температуры кипения водорода». На сессии Консультативного комитета 1954 г. де-

М. А. Шателен (1866—1957).

легат ВНИИМ проф. Г. М. Кондратьев принял активное участие в обсуждении вопроса о принятии абсолютной шкалы температур с одной реперной точкой, метрологические преимущества которой были обоснованы еще Д. И. Менделеевым во второй половине прошлого века. На этой же сессии были представлены предложения ВНИИМ о методах осуществления международной шкалы температур от 400 до 1063°С, предложения Московского государственного института мер и измерительных приборов о расширении международной шкалы температур ниже точки кипения кислорода и сообщение Б. И. Пилипчука «Платиновый термометр сопротивления от 0 до 1063°С».

С 1926 г. эталонная электрическая лаборатория Главной Палаты включилась в активную международную метрологическую работу. В этом году Главная Палата начала сравнение своих электрических эталонов с эталонами Англии, Германии, Соединенных Штатов Америки, Франции и Японии. В 1927 г. на VII Генеральной конференции по мерам и весам был создан Консультативный комитет по электричеству. В 1929 г. Консультативному комитету был представлен доклад М. Ф. Маликова «Новый образец нормального элемента Вестона». На сессии Консультатив-

ного комитета 1931 г. был представлен доклад М. Ф. Маликова, М. А. Шателена и А. К. Колосова о сличениях электрических эталонов СССР с эталонами других стран, имеющих национальные метрологические научные учреждения. В 1933 г. Консультативному комитету были представлены работы: М. Ф. Маликова «Эталонные катушки электрического сопротивления нового типа», А. К. Колосова «Нормальные элементы Вестона», Б. М. Яновского «Катушка Гельмгольца в качестве эталона напряженности магнитного поля и магнитного потока» и «Об установлении в абсолютных единицах эталонов магнитного момента». На сессии Консультативного комитета 1939 г., принявшего важные решения по электрическим единицам, были представлены доклады М. Ф. Маликова «Об определении электрических и магнитных единиц в абсолютной элек-

А. Н. Доброхотов (1868—1942).

тромагнитной системе» и Е. Г. Шрамкова «Об установлении эталонов магнитных единиц».

Работы по осуществлению эталонов абсолютных электрических единиц были начаты во ВНИИМ в 1937 г. и завершились созданием эталонов генри, ампера (токовые весы) и ома. Это дало возможность ВНИИМ представить на сессию Консультативного комитета по электричеству 1957 г. специальный сборник трудов института с докладами Е. Г. Шрамкова, Б. М. Яновского, С. В. Горбацевича, И. Н. Кроткова, П. Н. Лукьянова, З. И. Зеликовского и В. В. Мюллер о работах, выполненных ВНИИМ по эталонам электрических единиц в абсолютной мере. На этой сессии было принято предложение советской делегации об организации взаимных сличений эталонных конденсаторов стран—участниц Международного комитета мер и весов.

В области международной метрологии по электрическим измерениям следует особо отметить большую роль проф. М. Ф. Маликова и проф. А. К. Колосова в проведении сличений электрических эталонов СССР с эталонами других стран.

В 1929 г. Главная Палата мер и весов выдвинула вопрос об организации работ по фотометрии в Международном бюро мер и весов. В результате обращения СССР в Международный комитет мер и весов при нем был создан самостоятельный Консультативный комитет по фотометрии, выделенный из Консультативного комитета по электричеству в 1937 г. В 1931 г. в Международный комитет мер и весов были представлены доклады проф. П. М. Тиходеева «О сличении фотометрических эталонов СССР с эталонами Германии и Франции» и «Установление эталона люмена в СССР». Доклады П. М. Тиходеева и Е. Д. Девятковой по сличениям фотометрических эталонов и световому эталону СССР были представлены в 1933 г. В 1939 г. участник сессии Консультативного комитета по фотометрии П. М. Тиходеев представил комитету доклад

Л. В. Залуцкий (1877—1942).

«Об определении основной световой единицы с целью принятия нового эталона света». П. М. Тиходеев выполнил также большие работы по сличениям световых эталонов СССР (силы света и светового потока) с эталонами Международного бюро мер и весов и с эталонами других стран.

В 1927 г. лаборатория времени Главной Палаты включилась в международную службу времени и установила связь с Международным бюро времени (Париж). Участие СССР в международной службе времени, в настоящее время осуществляемое Всесоюзным научно-исследовательским институтом физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ), дало возможность решить ряд вопросов, связанных с точными определениями поправок астрономических и кварцевых часов и с рациональным обеспечением точными моментами радиосигналов времени астрономов, геодезистов, гидрографов и др. В 1954 г. состоялся первый Международный конгресс по хронометрии, в котором приняла участие советская делегация. На конгрессе были сделаны доклады: В. Ф. Лубенцова «Служба времени Советского Союза», Д. Ю. Белоцерковского «Определение эталонного времени в средние моменты передач

радиосигналов службы времени СССР» и П. Н. Агалецкого «О повышении точности абсолютных определений ускорения силы тяжести». Решением Международного комитета мер и весов в 1956 г. создан Консультативный комитет по определению секунды, членом которого является ВНИИФТРИ. На первой сессии Комитета в 1957 г. обсуждались вопросы о молекулярных и атомных эталонах частоты и времени.

Во ВНИИМ закончены продолжавшиеся с 1951 по 1956 гг. работы по абсолютному определению ускорения силы тяжести, выполнявшиеся П. Н. Агалецким, К. Н. Егоровым и А. И. Марциняком. Результаты их измерений изложены в докладе, представленном ВНИИМ на Международный геофизический конгресс 1957 г.

Представители СССР принимали активное участие в решении вопроса об установлении Международной системы единиц. Председателем комиссии по системе единиц, созданной Международным комитетом мер и весов в 1954 г., был избран представитель СССР в Международном комитете. Советский Союз внес свой проект Международной системы единиц, которая была принята Международным комитетом мер и весов в 1956 г.

Советские метрологи были одними из инициаторов создания международной организации по прикладной метрологии, которая имеет большое значение в расширении торговых и промышленных связей между разными странами. На состоявшейся в 1937 г. Международной конференции по практической метрологии представителями от СССР были М. А. Шателен и Л. В. Залуцкий. Представители СССР активно участвовали в деятельности временного Международного комитета по законодательной метрологии и в разработке конвенции, учреждающей международную организацию законодательной метрологии. В 1955 г. Советский Союз подписал эту конвенцию, а в 1956 г. делегация в составе Г. Д. Бурдуна и А. И. Карташева участвовала в Первой Международной конференции по законодательной метрологии. На этой конференции представитель СССР был избран вице-председателем Международного комитета законодательной метрологии. Советские метрологические учреждения возглавили четыре секретариата по отдельным типам измерительных приборов и приняли активное участие в девятнадцати других технических комитетах организации.

В 1955—1957 гг. советские представители начали участвовать в работе ряда технических комитетов Международной организации по стандартизации (ИСО) и Международной электротехнической комиссии (МЭК) по единицам измерений и измерительным приборам (ИСО/ТК-12 «Единицы измерений», ИСО/ТК-30 «Измерение потоков жидкости», ИСО/ТК-43 «Акустика», МЭК ТК-21 «Электроакустика» и МЭК ТК-13 «Электрические счетчики»).

Участие советских ученых в выше описанных работах является важным вкладом в дело обеспечения международного единства мер и повышения точности измерений и способствует развитию научно-технического сотрудничества между различными странами мира в области метрологии.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭТАЛОННЫХ РАБОТ В ОБЛАСТЯХ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ, МАССЫ И ВРЕМЕНИ

М. Ф. РОМАНОВА (руководитель отдела основных единиц), М. Д. ИППИЦ, Л. К. КАЯК, Н. М. РУДО, С. С. ТОВЧИГРЕЧКО

Лаборатории эталонов длины, эталонов массы и лаборатория времени являются старейшими лабораториями ВНИИМ и существуют с момента организации Главной Палаты мер и весов. Выполнив под руководством и при непосредственном участии Д. И. Менделеева огромную работу по возобновлению прототипов русских мер, эти лаборатории к 1917 г. уже смогли накопить некоторое основное оборудование и опыт в проведении точных измерений длины, массы, времени. В то время в Главной Палате мер и весов работали виднейшие метрологи Ф. И. Блумбах, Ф. П. Завадский, А. Н. Доброхотов.

В первое десятилетие после Великой Октябрьской социалистической революции лаборатории полностью восстановили свою деятельность и наряду с выполнением работ, связанных с поддержанием единства измерений в стране, приняли активное участие в проведении метрической реформы и значительно расширили свою деятельность.

Были созданы и новые лаборатории. Так в 1924 г. во ВНИИМ организуется лаборатория калибров (ныне лаборатория линейных и угловых измерений), сыгравшая большую организующую роль в промышленности в связи с развитием отечественного машиностроения и станкостроения, служившая образцом для заводских контрольно-измерительных лабораторий. В 1922 г. В. Е. Мурашкинским организуется оптическая лаборатория, которая уже с 1925 г., помимо работ в области геометрической оптики, начинает вести работы по интерференционным измерениям длины.

I. ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ

1. Эталоны длины и их исследование.

Основным государственным эталоном длины по декрету СНК РСФСР от 14 сентября 1918 г. был узаконен платино-иридиевый метр № 28, являющийся копией международного прототипа метра. Уравнение метра № 28 устанавливается на основании результатов сличений его с эталонами Международного бюро мер и весов. В 1889 г. для метра № 28 было принято уравнение:

$$№\ 28 = 1\ м + 0{,}5\ мк + (8{,}650 + 0{,}00100t)\,t\ мк.$$

Пересчет этого уравнения по новой температурной формуле несколько изменил значение длины метра № 28:

$$№\ 28 = 1\ м + 0{,}47\ мк + (8{,}62 + 0{,}0018t)\,t\ мк.$$

После очередного сличения в Международном бюро в 1935—1936 гг. для метра № 28 принимается новое уравнение:

$$№\ 28 = 1\ м + 0{,}71\ мк + (8{,}621 + 0{,}0018t)\,t\ мк$$ (сертификат Международного бюро № 17 от 21/X 1948 г.).

Кроме метра № 28 лаборатория имела еще две платино-иридиевые меры: метр № 11 X-образного сечения и специальную меру П4. В 1933 г.

лабораторией (механик-метролог И. И. Кварнберг) создается новый эталон-копия: платино-иридиевая мера Х-образного сечения М 20° [1], воспроизводящая длину метра при нормальной температуре +20°С. По всей длине нейтральной плоскости метра М 20° нанесена шкала миллиметровых делений.

В 1950 г. лаборатория приступила к созданию еще одного нового эталона-копии, который будет служить эталоном сравнения при измерении штриховых эталонов длины в длинах световых волн. Для этого на платино-иридиевом концевом метре № 2, приобретенном еще в 1895 г., были нанесены штрихи. Штрихи, нанесенные на нем, хорошего качества, шириной около 3—4 *мк*, располагаются на зеркально отполированных площадках нейтральной плоскости у концов стержня. Оптическая лаборатория произвела работы по доводке плоскостности и плоскопараллельности концевых измерительных поверхностей метра № 2. Метр № 2 стал штрихоконцевой мерой длины.

Метр № 2, как штриховая мера, уже сличен с государственным эталоном-метром № 28. Произведено также исследование температурных коэффициентов нового эталона. Определена разность между длиной метра № 2, как штриховой меры, и длиной его, как концевой меры. Измерение длины метра № 2, как концевой меры, будет произведено на эталонной интерференционной установке оптической лаборатории.

В настоящее время ВНИИМ обладает большой группой платино-иридиевых эталонов длины, как ни одно другое национальное метрологическое учреждение. Наличие же штрихо-концевого платино-иридиевого эталона-копии метра № 2 позволяет снизить погрешности компараторных сличений штриховых мер с концевыми, а также погрешности измерения штриховых эталонов длины в длинах световых волн.

Для выполнения текущих метрологических и поверочных работ ВНИИМ и остальные государственные институты мер и измерительных приборов имеют большую группу рабочих эталонов, изготовленных из никелевых сплавов: платинитовый метр R116, метр R86, инварные метры М318, № 598, № 68901 и № 68902, четырехметровую инварную меру М4, трехметровый платинитовый жезл Н15 и дециметры Д36, Д76 и Д40.

В настоящее время во ВНИИМ ведутся работы по улучшению состава группы рабочих эталонов длины. Уже изготовлены три новых рабочих эталона со штрихами хорошего качества, шириной около 3,5 *мк*.

За годы Советской власти пополняется также оборудование лаборатории эталонов длины. Так, в 1924 г. лаборатория обогатилась первоклассным, лучшим в мире четырехметровым компаратором [2]. Компаратор, в проектировании которого принимал участие Ф. И. Блумбах, был изготовлен Женевским обществом физических приборов и обеспечивает сличение эталонов длины и образцовых трехметровых геодезических жезлов с высокой степенью точности. В 1939 г. приобретена высокоточная делительная машина. В 1949 г. лаборатория получила и исследовала изготовленный Ленинградским союзным заводом стереокомпаратор СКС-1 для сличения шкал длиной до 200 *мм* [3, 4].

Основной задачей метрологической службы в области линейных измерений является обеспечение передачи верного значения единицы длины от основного государственного эталона метра до образцовых и рабочих мер. Поэтому работы по исследованию, хранению и поддержанию эталонов и образцовых мер ведутся в лаборатории непрерывно. Особо следует отметить исследования платино-иридиевых мер в 1931—1937 гг., когда лаборатория, принимая участие в международных работах, произвела весьма тщательное определение температурных коэффициентов удлинения метров № 28, № 11, П4 и М20° [5, 6, 7]. В 1930 г. было закончено изучение также и рабочих эталонов длины ВНИИМ. Большая работа выполнена в лаборатории по обобщению накопленных экспери-

ментальных данных по исследованию эталонов длины и по методике измерений длины [8]. В результате весьма обстоятельного анализа погрешностей компараторных измерений были определены предельные погрешности отдельных ступеней передачи единицы длины от основного эталона до рабочих мер. Интересные выводы сделаны также и относительно изменения длины мер, изготовленных из никелевых сплавов. Была получена эмпирическая формула, определяющая характер изменений длины инварных мер во времени. Эти исследования явились основным содержанием монографии проф. В. А. Баринова [8].

Сличения эталонов-копий с метром № 28 производились регулярно как в довоенное, так и в послевоенное время. Результаты этих сличений свидетельствуют о том, что изменения длины платино-иридиевых мер не выходят за пределы точности измерений. Эвакуация и реэвакуация эталонов, а также изменение условий хранения их во время войны не сказались на состоянии эталонов длины.

Сличения рабочих эталонов длины с эталонами-копиями, как правило, производятся ежегодно. С целью уточнения уравнений рабочих эталонов длины лаборатория в послевоенные годы произвела полное исследование рабочих эталонов — метров R116, R86, M318, трехметрового жезла H15 и четырехметрового жезла M4. Произведено было определение температурных коэффициентов удлинения и калибровка подразделений указанных мер. Сопоставление результатов температурных исследований 1948—1949 гг. с результатами подобных же исследований 1909—1928 гг. [9] показывает, что изменения температурных коэффициентов α и β метров R116 и R86 практически не превосходят погрешностей самих определений. При этом средний температурный коэффициент удлинения метров R116 и R86 для интервала температуры от 0 до 20°C совсем не изменился, так как коэффициенты α и β изменились в противоположные стороны. У метра M318 средний температурный коэффициент удлинения изменился по сравнению с определениями 1909 г. на $+0{,}05 \cdot 10^{-6}$. Температурный коэффициент удлинения жезла H15 изменился на величину $+0{,}14 \cdot 10^{-6}$, значительно превышающую погрешность определений.

На рис. 1 показано изменение длины однометровых рабочих эталонов за все время их изучения. Как видно, значительные систематического характера изменения длины рабочих эталонов, в особенности изготовленных из инвара, наблюдались до 1940—1945 гг. В последующие годы эти изменения по своей величине стали малы, а по своему характеру — случайны. Длина платинитового метра R116 и метра R86 в течение последних лет остается (в пределах точности компараторных измерений) неизменной. Более значительные изменения длины продолжают наблюдаться у инварных мер, хотя период естественного старения этих мер можно было бы считать уже закончившимся.

Более подробное изучение результатов сличений за последние годы показало, что по своему характеру годичные изменения длины для различных рабочих эталонов примерно одинаковы. Это могло быть результатом влияния инструментальной погрешности систематического характера. Появление такой погрешности вполне возможно, так как юстировка компараторов сейчас производится ежегодно.

Предположение подтверждалось также и тем, что вычисленные нами коэффициенты корреляции, характеризующие степень связи между рядами результатов сличений рабочих эталонов, за последние десять лет оказались больше 0,5. Однако, подсчеты показали, что эта инструментальная погрешность, изменяющаяся по знаку после каждой юстировки компараторов, по своей величине не превышает случайных погрешностей измерений. Последнее подтверждено экспериментально — сличением одной и той же пары мер на различных компараторах и под различными микроскопами.

Сопоставление результатов калибровки дециметровых подразделений рабочих эталонов R116, R86 и эталона-копии метра M20° в 1953—1954 гг. с результатами предыдущей их калибровки в 1928—1935 гг. показало, что изменение длины вдоль меры происходит не только не пропорционально длине, но и неравномерно. До сих пор было принято считать, что если длина эталона изменилась, то и длины промежуточных подразделений изменились пропорционально их величине. Правило пропорционального распределения изменения общей длины меры опро-

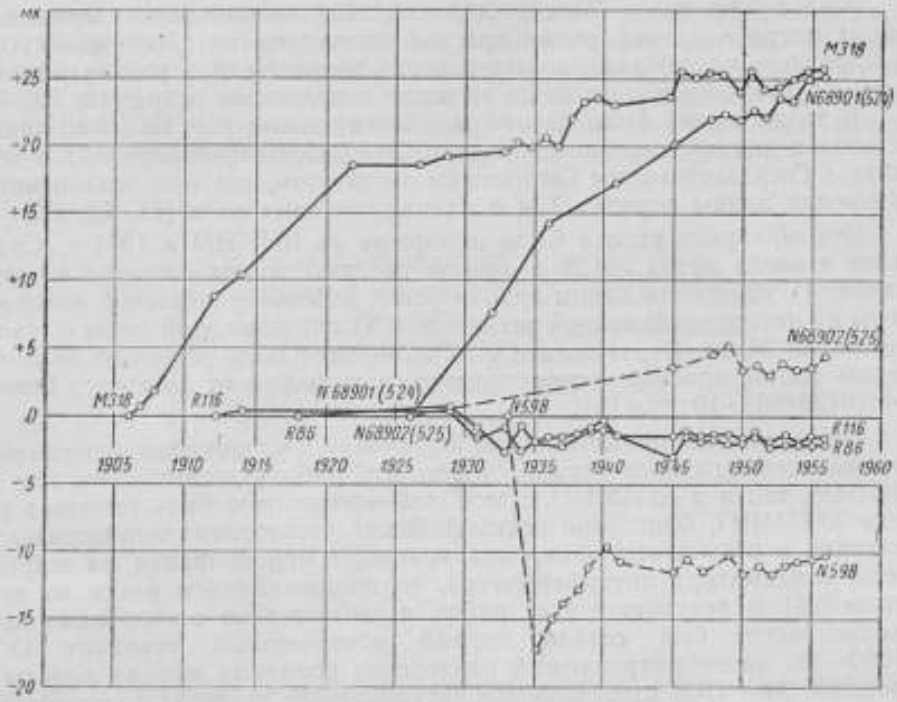


Рис. 1. Изменение длины рабочих эталонов.

Начальные уравнения:

M $318_0°$	$=1$ *м* — 4,5 *мк* 1906 г.
R $116_0°$	$=1$ *м* + 3,7 *мк* 1912 г.
R $86_0°$	$=1$ *м* + 13,2 *мк* 1918 г.
N $598_{20°}$	$=1$ *м* + 5,5 *мк* 1933 г.
N $68901(524)_{20°}$	$=1$ *м* + 7,0 *мк* 1926 г.
N $68902(525)_{20°}$	$=1$ *м* + 6,2 *мк* 1926 г.

вергается результатами наших исследований. Поэтому поправки подразделений рабочих эталонов, общая длина которых изменилась, должны определяться только при помощи повторной калибровки этих подразделений.

2. Интерференционные методы измерения длины. Развитие интерференционных методов измерения длины в нашей стране началось уже в первые годы после Великой Октябрьской революции по инициативе академиков Д. С. Рождественского и А. А. Лебедева.

Во ВНИИМ работы по интерференционным измерениям длины велись с 1925 г. В начале эти работы были направлены на освоение интерференционных методов измерений концевых мер и организацию поверок концевых мер длиною до 100 *мм* [10, 11]. В связи с запросами промышленности (необходимостью высокоточной аттестации концевых мер длины различных разрядов) и развитием международной работы по переходу на новое определение метра в длинах световых волн

исследования в области оптических измерений длины делаются основными работами оптической лаборатории ВНИИМ, целью которых становится разработка новых методов интерференционных измерений длины, создание новых установок и внедрение их в промышленность и геодезию, а также повышение точности этих измерений [12, 13, 14, 15]. Позже к этим задачам прибавились исследования различных источников света, применяемых для интерференционных измерений, а также исследования излучений со спектральными линиями, не имеющими сверхтонкой структуры с целью выбора новой основной длины световой волны [16, 17, 18].

Уже в 30-х годах была поставлена задача проведения сравнений длины метра с длиной волны красной линии кадмия с помощью государственного платино-иридиевого эталона метра № 28 и рассматривался вопрос о возможности перехода на новое определение метра [19, 20].

В то же время были начаты подготовительные работы по созданию установки для предстоящего сличения. Эти работы производились в контакте с Государственным Оптическим институтом, где был создан метод измерения длины порядка 1 *м* в длинах световых волн [21, 22, 23].

Эта обширная работа была закончена во ВНИИМ в 1941 г. Сравнение эталона метра № 28 с длиной световой волны состояло из двух этапов: 1) измерение длины однометровой плоскопараллельной концевой меры на интерференционной установке и 2) сличение этой меры с эталоном метра № 28. В результате этих измерений было получено значение длины волны красной линии кадмия (в нормальном воздухе), равное $\lambda = 0{,}64384687 \cdot 10^{-6}$ *м* [24].

Одновременно производились подробные исследования интерференционных компараторов типа Кёстерса. Эти работы выполнялись как во ВНИИМ, так и в ХГИМИП. Здесь особенно должна быть отмечена работа ХГИМИП, благодаря которой была установлена необходимость внесения в результаты измерений концевых мер поправки на ширину щели коллиматора интерферометра, не принимавшейся ранее во внимание [25]. В результате этих работ, в соответствии с запросами промышленности, был создан первый общесоюзный стандарт ОСТ 85000—39, предусматривавший разделение концевых мер на классы и разряды. Этот ОСТ имел большое организующее значение и способствовал обеспечению высокой точности измерений длины в советской машиностроительной промышленности.

Быстрое развитие машиностроения требовало расширения пределов измерения концевых мер. Появилась необходимость аттестации по 1-му разряду мер длиною больше, чем 100 *мм*. Однако предел видимости интерференции в спектральных линиях кадмиевых, гелиевых и криптоновых источников не позволял применить для этой цели абсолютный интерференционный метод. Для решения такой задачи лаборатория пошла по совершенно оригинальному пути соединения двух интерферометров — многолучевого эталона Фабри и Перо длиною 100 *мм* и двухлучевого интерференционного компаратора Кёстерса. Так была создана в 1938—1939 гг. установка для измерения концевых мер 1-го разряда длиной до 500 *мм* [26]. Эта же оптическая схема с некоторыми изменениями впоследствии была использована в конструкции большого горизонтального интерферометра ВНИИМ для мер длиной до 1 *м* (рис. 2) [27].

Измерение концевой меры на интерферометре производится путем сравнения длины меры с длиной трубчатого эталона типа Фабри и Перо, увеличенной в *n* раз. Равенство длины концевой меры длине трубчатого эталона, увеличенной в *n* раз, устанавливается при наблюдении в белом свете интерференционных полос переналожения. Длина трубчатого эталона определяется по кольцам равного наклона в монохроматическом свете. В настоящее время на этом приборе аттестуются образцовые меры 1-го разряда от 200 *мм* до 1 *м* для всего Советского Союза.

Следует подчеркнуть, что точность аттестации мер на приборе зависит от качества изготовления трубчатых эталонов. В оптической лаборатории разработана технология изготовления стальных и кварцевых трубчатых эталонов с высокой степенью параллельности (до 0,1 интерференционной полосы) и высоким качеством плоскости торцовых поверхностей [28].

В послевоенные годы был создан второй, более универсальный интерферометр для измерения стальных плоскопараллельных концевых мер длиной до 1 *м* и кварцевых жезлов для геодезических интерференционных компараторов длиной в 1,2 *м* [29]. На новых интерферометрах могут измеряться плоскопараллельные концевые меры, кратные 100 *мм*, что вполне удовлетворяет запросы промышленности. Относительная погрешность измерения длины плоскопараллельных концевых мер на интерферометрах ВНИИМ равна $(4 \div 5) \cdot 10^{-8}$ (здесь имеется в виду средняя квадратичная погрешность результата из 10—15 измерений).

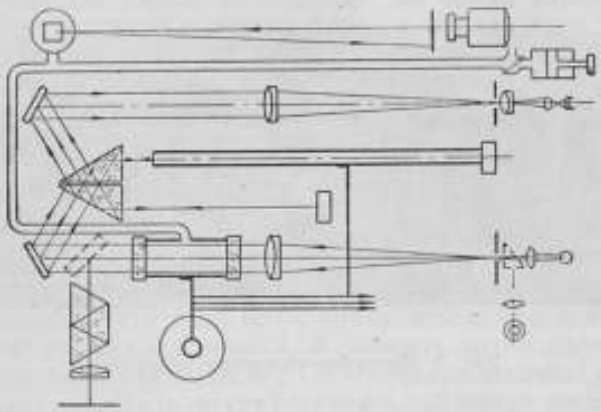


Рис. 2. Оптическая схема большого горизонтального интерферометра ВНИИМ

Сравнение государственного эталона метра с длиной волны красной линии естественного кадмия в нормальном воздухе было повторено в 1949 г., причем измерение длины стальной метровой концевой меры производилось на большом горизонтальном интерферометре ВНИИМ [30].

Из измерений 1940 и 1949 гг. вытекало, что значение длины метра № 28, полученное при сравнении с длиной волны красной линии кадмия, совпадает с указанным в сертификате и полученным при сравнении метра № 28 с длиной международного прототипа метра. На основании интерференционных измерений для метра № 28 можно было написать следующие уравнения:

в 1940 г. № 28 = 1 *м* + 0,85 *мк*;
в 1949 г. № 28 = 1 *м* + 0,79 *мк*,

тогда как по сертификату длина метра № 28 = 1 *м* + 0,71 *мк*. Это свидетельствует как об удовлетворительном состоянии измерительных установок, так и о том, что длина государственного эталона метра практически остается неизменной. Следующее сравнение метра № 28 с длиной волны красной линии кадмия намечено выполнить с помощью штрихо-концевого метра № 2.

Таким образом, в настоящее время возможно достаточно простым методом определять длину государственного эталона метра в длинах световых волн и следить за ее возможными изменениями. В этих условиях наши концевые и штриховые эталоны длины можно считать вос-

производимыми. Такое положение соответствует фактическому переходу в нашей стране на «световой метр», определяемый длиной волны красной линии естественного кадмия.

Поддержание единства измерений плоскопараллельных концевых мер длиной до 100 *мм* производится путем ежегодного сличения интерференционных установок четырех институтов системы Комитета стандартов, мер и измерительных приборов с установками ВНИИМ. Эти сличения осуществляются путем сравнения результатов измерения 2—4 концевых мер длиной до 100 *мм* во ВНИИМ и ГИМИП.

В соответствии с ОСТ 85000—39 необходимо, чтобы средняя квадратичная погрешность метода при поверке мер 1-го разряда не превышала 0,033 *мк* для меры длиной в 100 *мм*. Если расхождение между измерениями в ГИМИП и во ВНИИМ не превышает 0,067 *мк* на 100 *мм*, установка считается исправной. В последние годы расхождения между измерениями делаются меньше и не превышают в среднем 0,05 *мк* на 100 *мм* [31].

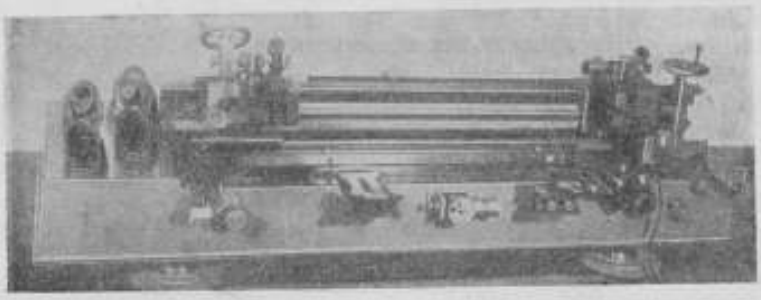


Рис. 3. Интерференционная установка

Для увеличения точности измерения штриховых мер в световых волнах во ВНИИМ была создана опытная интерференционная установка, позволяющая сравнить общую длину штриховой меры и ее отдельные подразделения с концевой мерой или трубчатым эталоном, измеренными непосредственно в длинах световых волн, а также выполнять сличения двух концевых или двух штриховых мер [32]. Установка (рис. 3) представляет собой двухлучевой интерферометр с разделяющей пластиной, в одну из ветвей которого помещается концевая мера с притертой к ней пластиной. В другой ветви помещено зеркало, жестко связанное с тубусом микроскопа, под которым расположена штриховая мера. Для точной установки штриха меры предусмотрены отсчетные приспособления высокой чувствительности: в правой стороне — бесконтактный интерференционный индикатор в виде обычного двухлучевого интерферометра, в левой — контактный автоколлимационный индикатор для более грубых отсчетов и больших перемещений. Этот интерферометр можно применить и для измерения длины концевых мер по принципу большого горизонтального интерферометра ВНИИМ.

Для сравнения двух концевых мер длиной до 1 *м* относительным методом во ВНИИМ был разработан и изготовлен один из наиболее совершенных интерферометров [33, 34].

Развитие отечественного тяжелого машиностроения и крупного станкостроения в годы первых пятилеток поставило перед измерительной техникой новую задачу по измерениям больших длин. ВНИИМ и ХГИМИП приняли активное участие в решении этой проблемы, ведя работы как по созданию больших длиноизмерительных машин, так и по исследованию и разработке методов и средств измерений.

Во ВНИИМ была создана уникальная 12-метровая образцовая измерительная машина, в конструкции которой впервые применена автоколлимационная система, исключающая погрешности, возникающие из-за непрямолинейности направляющих [35]. За последние годы в работу по измерениям больших длин активно включился и Свердловский филиал ВНИИМ.

Для поверки ленточных и проволочных мер большой длины во ВНИИМ создается 30-метровый интерференционный компаратор, оптическая схема которого основана на схемах, разрабатывавшихся во ВНИИМ еще в довоенные годы [15, 36].

Коллиматор и зрительная труба компаратора имеют поворотные устройства для изменения кратности отражений от зеркал, что дает возможность производить поверку мер различной номинальной длины, в том числе меры длиной 3, 4, 20, 24, 25 и 30 *м*.

Благодаря специальному устройству зеркал наблюдение интерференционной картины в зрительную трубу компаратора и поверка проволок на компараторе могут производиться одновременно. Это позволяет следить за постоянством длины компаратора во время измерений. Значительно упрощена юстировка компаратора, а перемещение зеркал вдоль компаратора производится при помощи специальных двигателей, пульт управления которых находится у зрительной трубы.

В 1934—1940 гг. во ВНИИМ было положено начало работам по установлению единообразия в области измерения чистоты поверхности [37], которые в дальнейшем развивались как во ВНИИМ [38], так и во ВНИИК [39].

3. Работы, связанные с переходом на единое определение метра, основанное на длине световой волны. Для определения точности интерференционных измерений мер длины необходимо было произвести ряд исследований воспроизводимости длин волн, применяемых при измерениях спектральных линий кадмия и криптона, и сравнить друг с другом излучения различных источников света [14, 16, 17]. Эти исследования, а также исследования по сверхтонкой структуре спектральных линий показали, что длины волн естественных элементов не пригодны для нового эталона длины. Особенно важным оказалось открытие структуры красной линии кадмия, считавшейся до тех пор простой [40]. Линии со сверхтонкой структурой не могут быть сужены так, чтобы воспроизводимость их «эффективной длины волны» была достаточно высокой [41, 42, 43]. В 1939 г. были начаты работы по получению спектральных линий без сверхтонкой структуры, сначала оптическим методом, закончившиеся в 1947 г. созданием интерференционного монохроматора [44, 45]. Схема интерференционного монохроматора сейчас широко применяется при фотоэлектрической записи контура спектральных линий при исследовании различных излучений как в метрологии, так и спектроскопии.

Большая работа была выполнена при исследовании излучения четно-четных изотопов кадмия (Cd^{112}, Cd^{114}, Cd^{116}), что позволило предложить на рассмотрение Международного Консультативного Комитета по определению метра для выбора в качестве основной длины волны красную линию Cd^{114} в безэлектродном разряде [46, 47].

Красная линия Cd^{114} была предложена ВНИИМ на основе следующих соображений. Красная линия естественного кадмия, принадлежащая к серии одиночек и соответствующая переходу с двухквантовой орбиты на трехквантовую, изучалась в течение более полувека и показала весьма высокую воспроизводимость длины волны [18, 48, 49]. Наличие в видимой области спектра кадмия еще трех широко расставленных линий делает кадмиевые источники света чрезвычайно удобными при интерференционных измерениях. Кроме того, сравнение длин волн двух близко расположенных спектральных линий может быть сделано с наивысшей точностью,

что имеет существенное значение для сохранения преемственности эталона. В лаборатории ВНИИМ были изготовлены безэлектродные кадмиевые лампы, заполненные изотопами Cd^{114} и Kr^{86} и возбуждаемые токами высокой частоты, а также лампы с накаленными электродами [50]. После тщательного исследования и многократных измерений длин волн красных линий излучений этих изотопов путем сравнения с длиной волны красной линии естественного кадмия, было решено предложить в качестве основной длину волны красной линии изотопа Cd^{114}, равную в нормальном воздухе (сухой воздух, $t=15°C$, $p=760$ *мм* рт. ст., содержание CO_2—0,03%) $\lambda=0{,}64384678\cdot10^{-6}$ *м* с средней квадратичной погрешностью результата измерения порядка 0,0001 А. Были измерены также длины волн трех других линий видимого спектра Cd^{114}[51].

Учеными других стран были предложены в качестве основных длины волн спектральных линий изотопов ртути (Hg^{198}) и криптона (Kr^{86}). В настоящее время перед Консультативным комитетом по определению метра стоит решение вопроса, как о новом эталоне длин волн[1], так и о переходе на единое определение метра через длину световой волны.

Согласно решениям Консультативного комитета по определению метра 1953 г. предполагается значение нового эталона длин волн дать в вакууме и взять за исходное установленное значение длины волны красной линии естественного кадмия в нормальном воздухе. В этом случае необходимо установить значение длины волны красной линии естественного кадмия в пустоте. Для выяснения последнего вопроса во ВНИИМ была проверена дисперсионная формула для воздуха в видимой области методом непосредственного наблюдения интерференционных полос равного хроматического порядка [52]. Эти исследования показывают, что формула Эдлена, пригодная для видимой, инфракрасной и ультрафиолетовой областей спектра, по-видимому, не дает возможности подсчитать показатель преломления нормального воздуха для красной линии кадмия с необходимой точностью.

4. Повышение точности измерения длины. В связи со значительным техническим прогрессом отечественного машиностроения и приборостроения требования, предъявляемые к точности измерений, значительно возросли. Для их удовлетворения прежде всего необходимо уменьшить погрешности передачи единицы длины от государственного эталона к образцовым и рабочим мерам. Это в особенности относится к штриховым мерам длины высокой точности, так как область их применения в народном хозяйстве все время значительно расширяется. Например, штриховые меры длиной иногда до 2 *м*, служащие в качестве исходных мер на станках и приборах высокой точности, должны поверяться с погрешностью порядка ±0,5 *мк* и менее. Для обеспечения таких запросов народного хозяйства необходимо также повысить точность измерения длины эталонных штриховых мер не менее чем в 2—3 раза. Подобного же рода требования следует уже сейчас поставить и в отношении точности измерения концевых мер интерференционными методами.

Повышение точности измерений длины зависит от:

1) точности воспроизведения значения длины государственного эталона и длины основной световой волны;

2) ширины и качества штрихов штриховых мер, плоскопараллельности и качества измерительных поверхностей концевых мер;

3) методов наведения на штрих и методов определения дробной части числа длин волн в длине концевой меры;

---

[1] В сентябре 1957 г. на Консультативном комитете по определению метра было решено рекомендовать Генеральной Конференции по мерам и весам принять в качестве основной длины световой волны оранжевую линию излучения криптона 86 (соответствующую переходам $2P_{10}$ и $5d_5$) при охлаждении источника света жидким азотом при температуре 63°К.

4) точности измерения температуры и особенно соблюдения постоянства температуры вдоль всей меры в процессе измерения;

5) стабильности меры во времени.

Точность определения длины платино-иридиевых эталонов метра в настоящее время ограничивается несовершенством их штрихов, которые были нанесены еще в конце XIX в. Современная техника дает возможность получить штрихи более узкие и значительно более совершенные. С этой целью Международное бюро мер и весов предприняло работы по нанесению новых более совершенных штрихов на национальных эталонах метра. Такие новые штрихи будут нанесены и на метре № 11, принадлежащем нашей стране. Работы по повышению качества штрихов на эталонах-копиях и на рабочих эталонах метра в настоящее время с успехом ведутся во ВНИИМ. Стабильность штриховых платино-иридиевых эталонов метра, по-видимому, очень высока.

Для своих работ и для работ институтов системы Комитета стандартов, мер и измерительных приборов ВНИИМ с 1937 г. применяет набор плоскопараллельных концевых мер из кристаллического кварца [31, 53]; два года тому назад во ВНИИМ были созданы меры из плавленого кварца. Меры из кристаллического кварца отличаются высокой стабильностью. Меры из плавленого кварца пока еще недостаточно изучены, однако уже установлено, что их длина за истекшие 2 года не изменилась. Благодаря малому коэффициенту расширения мер из плавленого кварца удается получить наименьшее расхождение результатов измерения при межлабораторных сличениях интерферометров. Меры из кристаллического и плавленого кварца утверждены в качестве эталонов, предназначенных для наблюдения за правильностью интерференционных установок при абсолютных интерференционных измерениях длины концевых мер до 100 *мм* [31]. Точность измерения концевых мер, изготавливаемых нашими заводами из стали, значительно ограничивается их нестабильностью. Вопрос о выборе достаточно стабильного материала для изготовления как штриховых, так и концевых мер является весьма важным для точных технических измерений и должен быть в ближайшее время разрешен нашей промышленностью.

С целью повышения точности сравнения двух штриховых мер лаборатория эталонов длины провела в 1948—1950 гг. усовершенствование компараторов. Применение объективного метода контроля правильности положения микроскопов и исключение погрешностей, вызываемых неправильным положением осветителей, повысили достоверность результатов сличений и правильность определения действительной длины сличаемых эталонов.

В настоящее время лаборатория эталонов длины ведет экспериментальные работы по созданию нового объективного метода измерения разности длин двух сличаемых на компараторе штриховых мер с применением фотоэлектрического способа наведения на штрихи. Мы полагаем, что завершение этих работ одновременно с уменьшением температурных погрешностей измерений даст возможность уменьшить погрешность измерения на компараторе (равную в настоящее время 0,08—0,10 *мк*) до 0,02—0,03 *мк*.

Фотоэлектрические микроскопы предполагается применить и в упоминавшемся универсальном интерференционном компараторе для измерения штриховых и концевых мер длины. Оригинальный вариант фотоэлектрического метода наведения на штрихи уже был успешно применен для измерения положения интерференционных полос на фотопластинке [54].

В настоящее время для сравнения двух штриховых или концевых мер применяются только оптико-механические методы.

Но несмотря на достигнутые уже на этом пути успехи, желательно применить при относительных измерениях длин и другие принципы и в первую очередь те, которые были разработаны во ВНИИМ еще до Вели-

кой Отечественной войны — емкостной [55] и пневматический [56] — и дали хорошие результаты при исследовании.

Недостаточная точность измерения температуры, и особенно неравномерность температурного поля, в настоящее время в значительной мере ограничивают точность измерения концевых и штриховых мер. Имеющиеся исследования температурного режима существующих установок пока еще недостаточны. Поэтому задача более точного и правильного определения температуры меры во время измерения является весьма важной и должна разрешиться в ближайшее время.

Сейчас нам необходимо перейти от измерения температуры меры с погрешностью от 0,01 до 0,005°С к измерениям с погрешностью не более 0,001°С.

По мере совершенствования качества мер длины и увеличения точности их измерения интерференционные измерения длины будут находить все более широкое применение. Их большим преимуществом является возможность сокращения цепи передачи правильного размера от эталона до измеряемой меры. Поэтому интерференционные измерения длины будут применяться как для измерения длины наиболее точных плоскопараллельных концевых мер, так и для измерения точных исходных штриховых шкал и мер. Начало этим работам уже положено во ВНИИМ. В лаборатории линейных и угловых измерений ведутся исследования интерференционных установок для измерения штриховых мер в световых волнах и работы по усовершенствованию измерительной машины для сравнения мер длиной до 1 *м* с концевыми мерами, измеренными в длинах световых волн [57].

II. ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ И ПЛОТНОСТИ

1. Эталоны массы и их исследование. После введения в СССР метрической системы мер в качестве основного эталона единицы массы был утвержден платино-иридиевый килограмм № 12, полученный в 1889 г. Россией, участвовавшей в Международной метрической конвенции. Являясь основой всех измерений в области массы и представляя в то же время невоспроизводимую единицу, килограмм № 12 подлежит тщательному хранению; применение его сопровождается соблюдением всех мер предосторожности с целью сохранения неизменности его массы.

Основное внимание лаборатории мер массы Главной Палаты мер и весов всегда было обращено на усовершенствование весов и приемов взвешивания, обеспечивающих высокую точность определения массы эталонов. Уже во времена Д. И. Менделеева его сотрудники, и особенно его преемник проф. А. Н. Доброхотов, добились столь точных результатов взвешивания, которых не наблюдалось до того времени ни в одной стране и даже в Международном бюро мер и весов. А. Н. Доброхотов внес ряд усовершенствований в основные весы ВНИИМ. Продолжив работы Ледюка, Морлея, Рейли и др., он уточнил значение веса одного литра воздуха, что позволило повысить точность определения массы эталонов [58, 59]. А. Н. Доброхотов уделял много внимания изысканию новых и вместе с тем более дешевых, чем платина материалов, из которых возможно изготовление эталонных гирь. Для этой цели в лаборатории технологии материалов ВНИИМ Б. В. Блиновым были изготовлены образцы гирь из двух сплавов — контрасида и иллия. А. Н. Доброхотов остановил свой выбор на иллии и до последнего времени две килограммовые гири, изготовленные из этого сплава, применялись во ВНИИМ и ХГИМИП в качестве рабочих эталонов.

О состоянии основного эталона единицы массы можно судить по результатам сличений его с международным прототипом, выполненных в 1889 и 1948 гг.

Год сличения	Масса эталона
1889	1 *кг* + 6,8 · 10⁻⁸ *кг*
1948	1 *кг* + 8,5 · 10⁻⁸ *кг*

Таким образом, за 59 лет применения килограмма № 12 масса его изменилась на 0,017 *мг*. Такое незначительное изменение массы (в сторону ее увеличения) может быть отнесено за счет несовершенства методов очистки поверхности эталонов перед сличением.

Одновременно с килограммом № 12 от Международного бюро был получен второй платино-иридиевый килограмм № 26, который является эталоном-свидетелем.

Для передачи значения единицы массы от основного государственного эталона-килограмма № 12 к рабочим эталонам и далее к образцовым и рабочим мерам массы служит вторая копия основного эталона — также платино-иридиевая гиря (обозначаемая R_1), изготовленная в 1876 г.

Кроме государственного эталона и двух его копий, до 1941 г. имелось четыре рабочих эталона: два принадлежали ВНИИМ, один — МГИМИП (ныне ВНИИК) и один — ХГИМИП. В послевоенные годы, в связи с повысившимися требованиями к точности взвешивания и увеличением числа поверяемых весов и гирь, явилась необходимость в увеличении числа рабочих эталонов. И уже к 1947 г. в институтах Комитета находилось 8, а к 1951 г. — 9 рабочих эталонов. В качестве этих рабочих эталонов были выбраны лучшие из имевшихся килограммовых гирь: шесть из них изготовлены из бронзы, две из сплава «иллий» и одна из нержавеющей стали марки ЭЯ1Т.

Наличие большого числа рабочих эталонов и постоянное их применение в поверочной практике, естественно, требуют ежегодного сличения их со второй копией государственного эталона. Если до второй мировой войны килограмм R_1 применялся 1-2 раза в год, то для контроля его сохранности можно было ограничиться сличением его с основным эталоном (килограммом № 12) один раз в пять лет и даже реже. С увеличением же числа рабочих эталонов число сличений, в которых участвует килограмм R_1, значительно возросло. Частое же применение этого килограмма привело к систематическому уменьшению его массы. Отсюда, как следствие, вытекает необходимость более частого его сличения с килограммом № 12. В этих условиях возникает угроза, что и основной государственный эталон может подвергнуться износу. Для того, чтобы этого не случилось, необходимо ограничить применение основного эталона и его копии и пополнить группу эталонов эталонами, изготовленными из более стойких в отношении механического износа материалов.

Вместо одной копии государственного эталона (килограмма R_1) создана система из трех килограммов: платино-иридиевого килограмма R_1, бронзового и стального килограмма. Каждый из этих килограммов может быть применен для сличения с ним рабочих эталонов. В основном будут применяться бронзовый и стальной килограммы, как более близкие по объему к объемам рабочих эталонов. Благодаря близости объемов сличаемых гирь поправка на приведение взвешивания к пустоте, которая всегда вводится при сличении гирь разных объемов, сделается небольшой и не будет существенно влиять на точность измерения массы рабочих эталонов, а нестабильность плотности воздуха не будет вызывать непостоянства весов. Это позволяет сократить число сличений: вместо 16 серий взвешиваний, которые производятся теперь при сличении рабочих эталонов, можно будет применить 6—8 серий, получая ту же точность сличений.

Бронзовый и стальной эталоны-копии будут сличаться с килограммом R_1 через каждые два года и ежегодно друг с другом. Таким образом, килограмм R_1 будет участвовать в сличениях один раз в год; с государственным эталоном килограмм R_1 можно будет сличать теперь не чаще, чем один раз в 20 лет.

Эти мероприятия вполне обеспечивают сохранность государственного эталона и его копий и в то же время сокращают объем работ по сличению эталонов.

Рабочие эталоны единицы массы институтов Комитета, являющиеся исходными мерами, по которым производится поверка образцовых гирь, принадлежащих контрольным лабораториям по измерительной технике, участвуют в сличениях значительно чаще, чем эталоны массы ВНИИМ и поэтому претерпевают значительный износ. Изменение их массы (рис. 4) только в течение одного года иногда достигало 0,7 *мг*. Такое изменение недопустимо, так как приводит к систематической погрешности такой же величины при определении массы образцовых гирь 1-го разряда, в то время как наибольшая погрешность определения массы гири в 1 *кг* не должна превышать 0,5 *мг*.

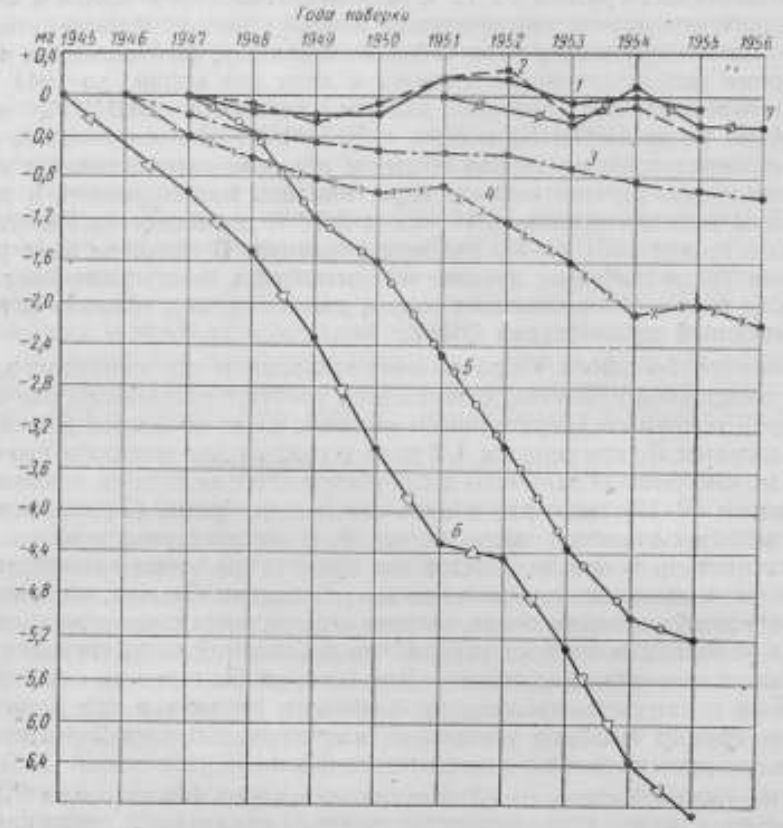


Рис. 4. Изменение массы рабочих эталонов за 1945—1956 гг.

1—У $\frac{\text{Ила}}{1\ кг}$, 2—Л $\frac{\text{Ила}}{1\ кг}$, 3—У $\frac{\text{CuSn}}{1\ кг}$, 4—М $\frac{\text{CuSn}}{1\ кг}$, 5—С $\frac{\text{CuSn}}{1\ кг}$, 6—Н $\frac{\text{CuSn}}{1\ кг}$ № 5, 7—Р $\frac{\text{ст}}{1\ кг}$ № 10

По заказу ВНИИМ Рижский завод «Эталон» изготовил из нержавеющей стали одной плавки 15 гирь, которые после подгонки в лаборатории мер массы и определения их объемов были утверждены Советом ВНИИМ в качестве рабочих эталонов для институтов Комитета. Таким образом, в настоящее время в системе Комитета применяются рабочие эталоны, изготовленные из одного материала.

Благодаря тому, что и образцовые гири 1-го разряда изготовляются из той же нержавеющей стали, в институтах и базовых контрольных лабораториях при поверке образцовых гирь также отпала необходимость введения поправок для приведения взвешивания к пустоте. Вследствие

этого повысилась и точность определения массы образцовых гирь. Например, масса гири в 1 *кг* теперь может быть определена с точностью 0,2 *мг*.

Более стойкие по своим механическим качествам и не нуждающиеся в антикоррозийных покрытиях гири из нержавеющей стали уже хорошо зарекомендовали себя. Исследования лаборатории мер массы ВНИИМ показали, что они чрезвычайно стойки, даже в условиях 100% влажности воздуха, чего нельзя сказать о гирях из других металлов (за исключением гирь из платины и ее сплавов или гирь с толстым золотым покрытием).

При проведении калибровки миллиграммовых гирь в настоящее время применяется в качестве исходной гиря в 1 *г* из бронзы или нержавеющей стали. Обычно все миллиграммовые гири делаются из алюминия, а поэтому объем этих гирь, общей массой в 1 *г*, в 3 раза больше объема исходной гири. При такой разности в объемах необходимо внесение поправки на приведение взвешивания к пустоте.

Имеется, однако, возможность и здесь избавить поверочные органы Комитета от необходимости вводить указанную поправку, для чего нужно снабдить их эталонными гирями массой в 1 *г* из кварца, имеющего такую же плотность, как и алюминий. Это мероприятие уменьшит объем работы при поверке миллиграммовых гирь и повысит точность их сличения.

Среди работ в области весостроения и изучения весов необходимо отметить предложенный в 1932—1933 гг. И. Д. Менделеевым (сыном Д. И. Менделеева) новый тип одноплечих весов, предназначенных для взвешивания по способу Д. И. Менделеева [60]. Новые весы нашли всеобщее признание и в настоящее время все больше и больше внедряются в весовые лаборатории не только у нас, но и за рубежом. Американские, германские, чехословацкие и швейцарские весовые фирмы сокращают производство обычных аналитических весов и выпускают все новые и новые модели весов, основанные на принципе И. Д. Менделеева.

Для исследования точных весов была предложена фотографическая запись их колебаний и изготовлен фоторегистр, который затем нашел широкое применение в работах лаборатории мер массы ВНИИМ для регистрации колебаний весов [61].

2. Расширение пределов измерений массы. Измерения массы можно разделить условно на три области: 1) измерение малых масс (2 *г* и менее), 2) измерение средних масс (от 2 *г* до 20 *кг*) и 3) измерение больших масс (20 *кг* и больше).

Наиболее благополучной в отношении точности измерений является область средних масс, хорошо обеспеченная весами и гирями; к этой области принадлежат и основные эталоны массы. Для сличения эталонов во ВНИИМ в 1954 г. были закончены работы по созданию новых весов, позволяющих определять массу эталонов с погрешностью, не превышающей 0,001 *мг* (рис. 5) [62]. Менее благополучно обстоит дело в области больших и малых масс.

Измерение массы имеет большое значение для народного хозяйства. Большое количество товаров перевозится железнодорожным и автомобильным транспортом; однако ни вагонные, ни автомобильные весы, на которых производится перевеска этих товаров за отсутствием надлежащих поверочных средств, не поверяются при наибольшей их нагрузке. Развитие крупного машиностроения вызывает повышение мощности и точности испытательных машин, соответственно растут требования к поверочным установкам, контролирующим испытательные машины. В связи с этим возникает вопрос о создании образцовых грузов большой массы и образцовых весов для их поверки. В продолжение последних четырех лет над созданием образцового оборудования и методики поверки вагонных и автомобильных весов работает Всесоюзный научно-исследовательский институт Комитета (ВНИИК). К настоящему времени уже изготовлены об-

разцовые гири массой в 500 *кг*, в 1 и 2 *т*, образцовые весы для их поверки. Разработана новая методика поверки вагонных и автомобильных весов, предусматривающая нагружение помоста весов в любом его месте на полную подъемную их силу. Для поверки грузов испытательных машин создаются образцовые весы грузоподъемностью в 1 *т*, которые дадут возможность определять массу грузов от 100 до 1000 *кг* с относительной погрешностью 0,001%. Для определения малых масс в 1955 г. во ВНИИМ были созданы весы, позволяющие определять массу в 2 *г* и менее с погрешностью, не превышающей 0,004 *мг*.

Для измерения очень малых масс применяются крутильные весы, которые лишь в исключительных случаях позволяют определять массы в 1—2 *мг* с точностью до 0,002 *мг*. В настоящее время лаборатория мер массы ВНИИМ работает над повышением точности взвешивания малых масс до стотысячных долей микрограмма.

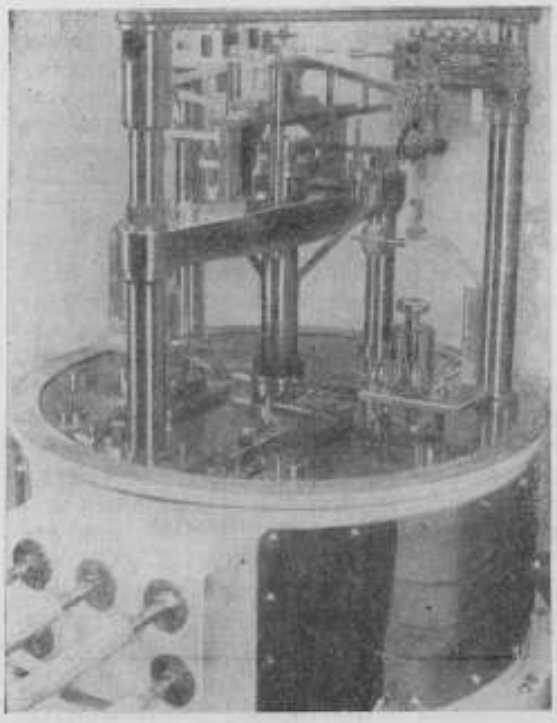


Рис. 5. Весы для сличения эталонов массы

В опытах Милликена, а затем в работах советских ученых: академика А. Ф. Иоффе и профессора Н. И. Добронравова при определении заряда электрона оценивались массы в $10^{-8} \div 10^{-9}$ *г*, $10^{-11} \div 10^{-12}$ *г*. Очевидно, гравитационный метод, который применялся в этих случаях, ограничен сейчас возможностью измерения массы до 10^{-12} *г*. Для измерения массы отдельных атомов (от $1{,}67 \cdot 10^{-24}$ до $4 \cdot 10^{-22}$ *г*) и измерения массы электрона (что является в настоящее время пределом измерения очень малых масс) был использован инерционный метод.

В промежутке от 10^{-12} до $4 \cdot 10^{-22}$ *г* (в области десяти порядков) масса в настоящее время не измеряется. Такой разрыв в области измерения массы при переходе от макромасс к микромассам требует особого внимания, так как может случиться, что для этих двух областей будут установлены различные исходные единицы измерения.

Для обеспечения единообразия и единства измерений массы необходимо применение одной исходной единицы, так как только в этом случае результаты измерений могут сравниваться между собой.

Как известно, применяя метод калибровки, можно от эталонного килограмма перейти как к кратным, так и к дольным мерам массы. Этот метод дает возможность аттестовать в качестве эталонов наименьшей массы гири в 0,5 *мг* и, наконец, в виде рейтеров — гири в 0,05 *мг*. Передача значения единицы массы в область микромасс этим способом невозможна, а поэтому в области атомных масс установлен свой эталон—масса атома кислорода, которая принята равной 16,0000 атомным единицам массы. Следовательно, $^1/_{16}$ атомной массы изотопа $_8O^{16}$ является единицей мас-

сы в области микромасс. Эта единица эквивалентна, как известно, $1 \cdot 67 \cdot 10^{-24}$ *г*.

В качестве метода, устанавливающего единство единиц измерения массы в области макро- и микромасс, может быть предложен метод, основанный на экспериментальном определении плотности гелия. Гелий для этих измерений удобен тем, что он практически состоит из одного изотопа $_2He^4$, так как второй естественный изотоп содержится обычно в количестве 0,0001%, чем можно пренебречь. Сравнение полученного результата измерения массы атома $_2He^4$ с результатами масс-спектрометрических измерений даст возможность установить рабочий эталон в области микромасс, имеющей ту же исходную величину, которая принята в основу при измерении макромасс. Для точных измерений плотности газа может быть использован метод, предложенный в свое время Д. И. Менделеевым — определение массы газа, вытесненного телом, хорошо известного объема.

Из изложенного следует, что одной из задач масс-спектральных измерений является установление единства исходной меры в области макро- и микромасс.

Следующей задачей ВНИИМ в области масс-спектрометрии явятся работы по аттестации образцов изотопических отношений, что будет иметь большое значение для установления стандартов в этой области. Весьма существенным будет при этом создание образцов определенного изотопического состава, что будет способствовать прежде всего установлению единства шкал приборов масс-спектрального анализа путем их градуировки стандартными образцами.

Методы масс-спектрального анализа могут быть также широко использованы для исследования чистоты различных материалов, применяемых для метрологических целей (ртути, воды, цинка, серы, кадмия и многих других). Наконец, большое значение имеет использование масс-спектрографов при газовом анализе. ВНИИМ в создаваемой лаборатории масс-спектрометрии предполагает уделить всем перечисленным работам достаточное внимание.

3. Исследования в области ареометрии. Для обслуживания запросов спиртовой, нефтяной, сахарной и других видов промышленности в Главной палате мер и весов в 1919 г. была организована ареометрическая лаборатория.

Перед этой лабораторией встала задача — упорядочить измерение плотности и концентрации жидкости, унифицировать единицы измерений, устранить многообразие нормальных температур и многообразие шкал ареометров. Свою деятельность ареометрическая лаборатория начинает с оснащения эталонными приборами. Взамен устаревших, неудобных ареометрических «норм», т. е. наборов ареометров с одной чертой, были созданы более совершенные наборы эталонных ареометров со шкалами для интервала плотностей наиболее употребительных жидкостей, т. е. от 0,650 до 2,000 *г/см*^{3}. Сначала были созданы наборы для температуры 15°С, принятой в то время в качестве нормальной, а затем, после перевода всех измерений на новую нормальную температуру, для 20°С. Так были созданы наборы денсиметров, состоявшие из 19 ареометров с различными пределами шкал, охватывающие весь указанный диапазон измерения плотности, с ценой деления в 0,0005 *г/см*^{3}; наборы эталонных спиртомеров из 10 ареометров для всей шкалы концентраций спирта от 0 до 100%, с ценой деления в 0,1%; наборы эталонных сахаромеров, состоящие из 5 ареометров с ценой деления в 0,1%; наборы денсиметров для морской воды с ценой деления в 0,0001—0,0002 ед. плотности и др.

Для калибровки этих приборов с наивысшей точностью, возможной в то время, была создана специальная установка для гидростатического взвешивания. Калибровка ареометров производилась на всех основных делениях шкалы, т. е. через 0,01 *г/см*^{3} по денсиметрам и через 1% по арео-

метрам для определения концентрации, с погрешностью порядка $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ *г/см*^{3} [63].

Одновременно с работой по созданию эталонных наборов ареометров для осуществления поверки ареометров на предприятиях и в местных поверочных организациях были разработаны и изготовлены сначала в мастерских Главной Палаты мер и весов для нормальной температуры 15°С, а затем, позднее, на заводе «Эталон» для новой нормальной температуры 20°С образцовые ареометры различных типов, которые после сличения с эталонными ареометрами были переданы на места. Ареометры с различными условными шкалами, затруднявшими измерение плотности и требовавшими применения переводных таблиц, были заменены денсиметрами, градуированными в стандартных единицах плотности — в граммах на кубический сантиметр. В результате проведенной работы были созданы различные типы ареометров, применение которых давало возможность получать сравнимые результаты измерений плотности и концентрации, исключало, таким образом, необходимость перехода от одних шкал к другим и значительно упрощало измерения.

Эта работа нашла свое завершение в организации производства ареометров в нашей стране, в издании ряда стандартов на ареометры, таблиц к показаниям приборов, а также инструкций для поверки.

Начиная с 1924 по 1929 гг., в ареометрической лаборатории проводится работа, имеющая большое народнохозяйственное значение в области измерения и учета спирта в спиртосодержащих жидкостях, в результате выполнения которой была проведена Всесоюзная реформа спиртометрии [64]. Была составлена таблица плотностей водноспиртовых растворов от 0 до 100%, построенная по весовым и объемным процентам спирта при 15°С для температур от —25 до +30°С. Основаниями для таблицы послужили исследования Д. И. Менделеева «О соединении спирта с водою», работы по выбору экспериментального материала, необходимого для получения основных изотерм водноспиртовых растворов, по их математической обработке и по приведению всех данных к установленной тогда международной водородной шкале температур.

Эта первая наша таблица плотностей водноспиртовых растворов послужила основанием для организации учета спирта в стране. На основании этой таблицы были рассчитаны стеклянные и металлические спиртомеры и таблицы к их показаниям для всех концентраций спирта в промежутке температур от —25 до +30°С, а также таблицы множителей для определения объема этилового спирта в водноспиртовых растворах при разных температурах. Эти таблицы просуществовали до 1951 г., когда в связи с переводом спиртометрии на новую нормальную температуру (20°С) были введены в действие новые таблицы, подготовка которых началась в предвоенные годы и была продолжена после окончания Великой Отечественной войны [65].

Для обеспечения одновременного перехода спиртометрии на новую нормальную температуру были созданы эталонные и образцовые наборы спиртомеров для объемных процентов спирта при температуре 20°С, а также подготовлены и переделаны рабочие спиртомеры [66, 67]. Результатом этой работы явилось составление и издание стандарта «Растворы водноспиртовые», в котором изложена методика определения крепости и объема спирта и приложены 20 различных таблиц с описаниями, необходимых для учета качества и количества спирта в спиртосодержащих жидкостях. Так как охваченный этими таблицами промежуток температур до +30°С для правильного учета спирта оказался недостаточным, работа по определению плотностей водноспиртовых растворов позднее была продолжена и к 1957 г. были получены новые данные о плотностях этих растворов уже до +40°С [68].

В послевоенные годы были созданы новые наборы эталонных денсиметров повышенной точности (рис. 6), охвытывающие промежуток измерения плотности от 0,650 до 2,000 *г/см*³, в количестве 69 ареометров с ценой деления в 0,0001 и 0,0002 *г/см*³, т. е. в несколько раз точнее прежних эталонных наборов [66]. Отличительной особенностью новых эталонных денсиметров является то обстоятельство, что по ним могут быть поверены все существующие типы образцовых ареометров, следовательно, становится возможной передача значений плотности от одного набора, а не от нескольких, как это было раньше, чем достигается большее единообразие измерений.

Для обеспечения правильного применения денсиметров повышенной точности при передаче значений плотности, а также для повышения точности измерений плотности, потребовалось изучить влияние изменений поверхностного натяжения некоторых жидкостей, часто наблюдаемых при ареометрических измерениях, и разработать приемы измерений, исключающие это влияние.

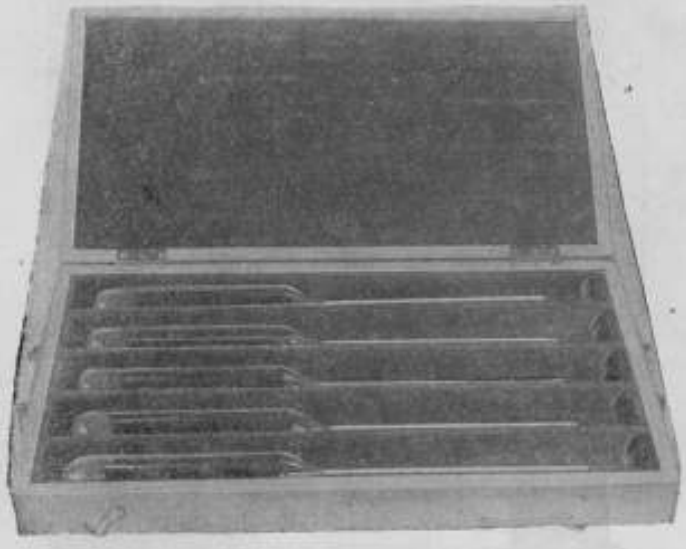


Рис. 6. Эталонные денсиметры

Большое место в работах лаборатории занимает изучение плотности жидкостей оптическим методом. Этот метод был применен к изучению свойств водноспиртовых растворов и была определена зависимость между плотностью и показателем преломления этих жидкостей для всей шкалы концентраций спирта при различных температурах. Применение оптического метода имеет ряд практически важных преимуществ при определении плотности.

С целью дальнейшего повышения точности измерения ареометрическая лаборатория приступила к разработке методов получения воды заданной чистоты и изучению ее плотности при различных температурах.

Лаборатория приступила также к изучению новых методов измерения плотности, применяемых в настоящее время в промышленности, и особенно автоматизированных методов непрерывного контроля плотности в процессе производства.

III. ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ

1. Службы времени. Развитие точных измерительных работ потребовало от Главной Палаты в самом начале ее деятельности организации метрологических работ по измерению времени и хранению его единицы —

средней солнечной секунды. Следует отметить, что в то время только в России работы по точному измерению и хранению времени были поручены метрологическому учреждению, в других странах они выполнялись астрономическими обсерваториями.

Эталонная группа часов Главной Палаты тогда состояла из первоклассных астрономических часов Рифлера №№ 67, 68, 81 и 86. 1 декабря 1920 г. Пулковская обсерватория совместно с лабораторией времени Главной Палаты приступила к ежедневным передачам сигналов точного времени через радиостанцию «Новая Голландия» и тем самым было положено начало советской службы времени.

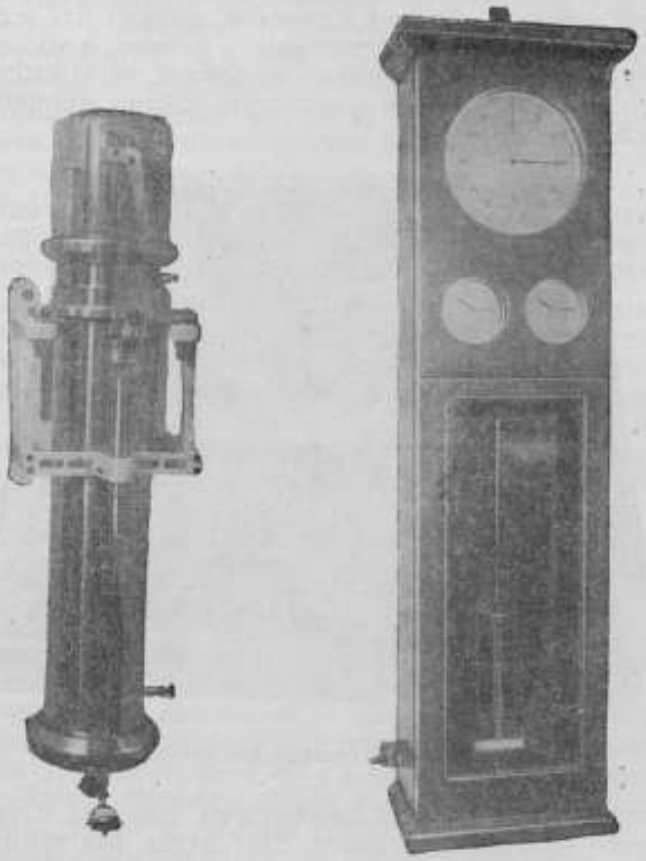


Рис. 7. Часы типа АЧЭ со «свободным» и «рабочим» маятниками

В 1924 г. лаборатория времени, руководителем которой был Н. Х. Прейнич, первой из советских служб времени включается в международную службу времени. Под названием «Ленинград» она вошла в группу девяти обсерваторий мира, которые в течение ряда лет занимали ведущую роль в международной службе времени. В дальнейшем в международную службу времени включились и другие советские службы времени.

Лаборатория времени Главной Палаты наряду с участием в международной службе времени занималась усовершенствованием действующей аппаратуры и проводила теоретические исследования, относящиеся к измерению времени.

Особо следует отметить разработку широко распространенного в довоенный период метода Кука-Прейнича приема ритмических сигналов [69] и метода составления сводных моментов [70], которые долгое

время применялись как в СССР, так и за границей, а также большую метрологическую работу по исследованию всей группы эталонных и образцовых часов Главной Палаты [71].

Для дальнейшего повышения точности хранения времени во ВНИИМ в 1934 г. были начаты (И. И. Кварнбергом) работы по созданию высокоточных астрономических часов. Вторая мировая война помешала успешному окончанию работ, и они были закончены уже в послевоенное время. К настоящему времени завод «Эталон» при активном творческом участии лаборатории времени изготовил для ВНИИМ и других советских служб времени около 30 часов типа АЧЭ (астрономические часы завода «Эталон»), отличающихся высоким качеством (рис. 7). В создании этих часов активное участие приняло также Центральное научно-исследовательское бюро единой службы времени (ЦНИБ).

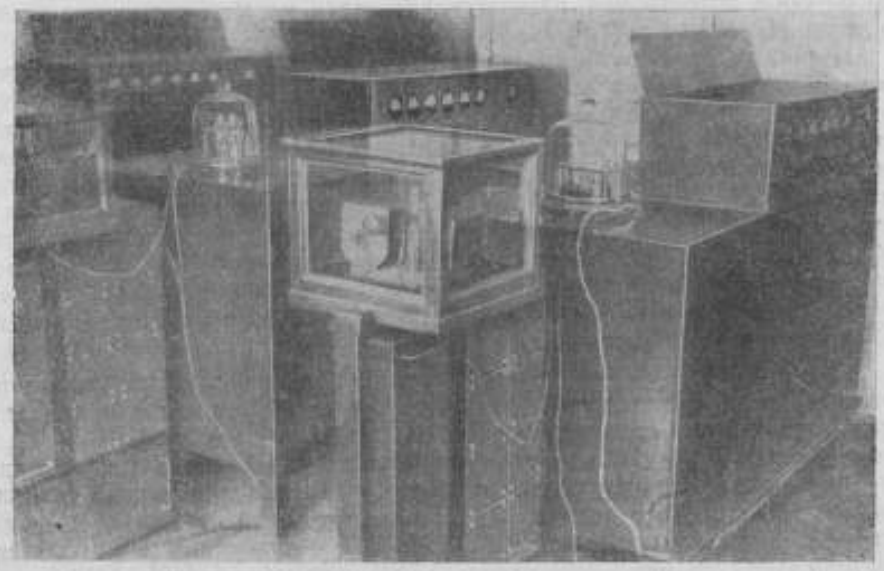


Рис. 8. Кварцевые часы эталонной группы ВНИИМ.

К 1951 г. лаборатория времени закончила исследование и ввела в действие пять кварцевых часов, изготовленных заводом «Эталон» по разработке лаборатории токов высокой частоты ВНИИМ (рис. 8). В 1951 г. ученый совет ВНИИМ утвердил новую эталонную группу часов, в которую были включены три экземпляра кварцевых часов и одни маятниковые часы типа АЧЭ. Одновременно из состава эталонной группы были выведены все часы Рифлера, как не удовлетворяющие современным требованиям.

Наличие в лаборатории хороших кварцевых часов позволило расширить метрологические работы по измерению времени за пределы обычной работы службы времени, а именно: ежедневно от четырех лучших кварцевых часов стали транслировать в Москву во Всесоюзный научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ) секундные импульсы, используемые для более надежного предвычисления моментов передачи секундных и ритмических сигналов через станцию РОР и РВМ. Кроме того, лаборатория транслирует по проводам секундные импульсы в службы времени Главной астрономической (Пулковской) обсерватории (ГАО) и Ленинградского государственного университета (ЛГУ), это даст возможность проводить важные и интересные исследования.

Наблюдения звездных прохождений, с целью определения поправок ведущих часов службы времени, производятся на двух пассажных инструментах. В 1954 г. было произведено тщательное исследование пассажного инструмента *А* и его капитальный ремонт с перешлифовкой цапф [72]. Это мероприятие сразу же привело к заметному повышению точности астрономических определений поправок часов. Инструмент *В* в 1956 г. также подвергся капитальному ремонту с перешлифовкой цапф, а в 1957 г., при участии службы времени ГАО, инструмент переведен на фотоэлектрическую регистрацию звездных прохождений, что способствует дальнейшему повышению точности астрономических наблюдений.

В 1956 г. в лаборатории разработан и изготовлен преобразователь частоты 1 *Мгц* в 1002,738 *гц*, рассчитанный на длительное включение. Запущенный от данной частоты, синхронный двигатель кварцевых часов дает секундные импульсы среднего звездного времени, т. е. фактически лаборатория пополнилась одними кварцевыми часами, регулированными по звездному времени [73].

В работах лаборатории уделяется внимание повышению надежности приема по радио ритмических сигналов времени. Так, был разработан метод приема ритмических сигналов на хроноскоп, синхронный двигатель которого питается от источника частоты 1016,(6) *гц*, благодаря чему все отсчеты от ритмических сигналов по диску хроноскопа имели почти постоянное значение [74], для чего разработан и изготовлен преобразователь частоты 1 *Мгц* в 1016,(6) *гц* [75]. Кроме того, был разработан способ блокировки поступления помех на хроноскоп. Изготовленное для этой цели устройство — регулируемый собственный контакт хроноскопа — практически позволяет сокращать время возможного поступления помех на хроноскоп приблизительно на 99,5%.

Следует отметить большую работу по созданию высокоточных маятниковых часов, простых кварцевых часов, а также аппаратуры для регистрации времени, проводящуюся во ВНИИФТРИ и ХГИМИП. Так, например, во ВНИИФТРИ ведутся работы по созданию антисейсмичных маятниковых часов, изготовлена опытная установка для подачи сигналов точного времени, изготовлены печатающие хронографы, синхронные двигатели с фотоконтактом и др.; в ХГИМИП разработаны и находятся в опытной эксплуатации высокоточные маятниковые часы типа АЧФ, разработаны и изготовлены простые кварцевые часы (камертонные) [76], разработан и находится в эксплуатации двухшкальный искровой хроноскоп [77] и др.

Лаборатория времени ВНИИМ вела также работы в области создания методов и аппаратуры для поверки приборов, измеряющих время. В 1956 г. был разработан и изготовлен датчик миллисекунд в диапазоне от 0,1 *мсек* до нескольких десятков секунд с допустимой погрешностью ±10 *мксек* (рис. 9) [78]. В настоящее время разработан и изготовляется датчик микросекунд в диапазоне от 1 *мксек* до нескольких секунд.

Успешное завершение всех упомянутых работ значительно повысило точность измерения времени во ВНИИМ и дало возможность службе времени принять активное участие в работах начавшегося Международного геофизического года.

2. **Служба частоты.** Метрологические работы в области измерения частоты в Главной Палате начали развиваться на базе организованного в 1910 г. «радиотелеграфного отделения», из которого в дальнейшем при Советской власти выросла лаборатория токов высокой частоты. Эта лаборатория должна была поставить метрологические работы в области радиопередач и радиоприема для помощи советским радиостанциям в определении их рабочих волн и настройке станций на точные волны путем периодических измерений их длин. Результаты этих работ публиковались в радиожурналах [79]. Основной своей метрологической задачей лабора-

тория токов высокой частоты ставила создание эталона частоты, так как воспроизведение с высокой точностью единицы частоты — герца — приобретало, в связи с развитием радиотехники, все более актуальное значение. С целью выполнения поставленной задачи лаборатория проводила большую научно-исследовательскую работу в области создания высокостабильных генераторов [80, 81, 82, 83]. Одновременно проводилась большая научно-исследовательская работа и в ХГИМИП [84].

В 1936 г. были приобретены ВНИИМ кварцевые часы № 12, а в 1939 г.— установка № 25, состоящая из трех пьезокварцевых генераторов электрических колебаний. Как часы № 12, так и установка № 25 были изготовлены на заводе им. Коминтерна. Пьезокварцевые генераторы часов № 12 и установка № 25 с момента их приобретения до начала войны выполняли роль рабочего эталона частоты ВНИИМ, для чего были разработаны методы преобразования частоты и ее трансляции по проводам [85]. Несовершенство кварцевых стабилизаторов, термостатов и источников питания не позволило получить от этой аппаратуры необходимую

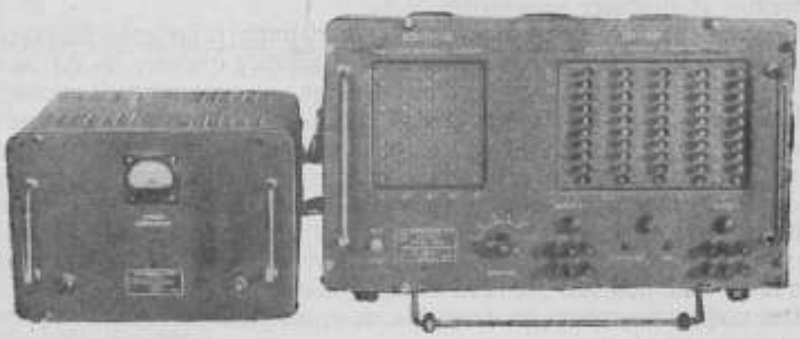


Рис. 9. Датчик малых промежутков времени.

стабильность частоты, однако метрологические работы по исследованию и усовершенствованию рабочего эталона частоты помогли созданию во ВНИИМ в 1948 г. эталона частоты, включающего три пьезокварцевых генератора № 1, 2 и 3 (рис. 9) [86].

Одновременно с работами над созданием эталона частоты лаборатория вела исследования и поверку резонансных и гетеродинных волномеров коротковолнового диапазона [87], производила прием по радио, поверку частот радиовещательных станций и передачу частот эталонных генераторов [79].

В настоящее время лаборатория ведет работы по дальнейшему усовершенствованию эталона частоты, кварцевых часов, созданию новых высокостабильных генераторов, а также занимается частотными поверками в диапазоне до 30 *Мгц*. Лаборатория провела большую работу по организации трансляции по проводам высокостабильных частот 1 и 10 *кгц* лабораториям и производственным цехам ВНИИМ, ленинградской радиотехнической промышленности и научным учреждениям. По разработкам лаборатории изготовлены частотоизмерительные установки типа УЧ-1 и УЧ-2, четыре малогабаритных образцовых генератора 1-го разряда, из которых генератор № 6 по стабильности частоты можно отнести к эталонным генераторам.

В службу частоты ВНИИМ с марта 1955 г. дополнительно включен еще один генератор № 8, являющийся задающим генератором эталонных часов КЛ1. По стабильности частоты данный генератор не уступает другим эталонным генераторам ВНИИМ.

Непрерывно возрастающие потребности народного хозяйства страны и научных учреждений в высокостабильных частотах привели к созданию и в других институтах системы Комитета (в ХГИМИП и во ВНИИФТРИ) высокостабильных генераторов, а также к организации Государственной службы частоты, состоящей из трех групп эталонных генераторов, находящихся во ВНИИМ, ВНИИФТРИ и ХГИМИП.

С целью лучшего учета изменений частоты производятся сличения по проводам и по радио частот генераторов ВНИИФТРИ с частотами генераторов ВНИИМ и ХГИМИП. Как во ВНИИФТРИ, так и в ХГИМИП ведутся большие работы в направлении дальнейшего усовершенствования высокостабильных генераторов, а также аппаратуры для их сличения. Так, например, во ВНИИФТРИ освоено изготовление высокодобротных кварцевых элементов, изготовлена установка для интегральных сличений частот с печатающим приспособлением [88], а также ведутся работы по созданию молекулярного генератора частоты; в ХГИМИП пущены в эксплуатацию высокостабильные генераторы на кристаллических триодах с подземным термостатированием [89], а также изготовлен молекулярный генератор частоты. Кроме того, в ХГИМИП освоено изготовление высокодобротных кварцевых элементов.

В дальнейшем необходимо продолжить работы по доведению точности регистрации моментов времени по однократному отсчету до 0,1 *мсек*. Для этой цели уже сейчас разработан и изготовлен синхронный хроноскоп типа ПСХ-1 с ценой деления отсчетной шкалы до 0,1 *мсек* и с рядом других усовершенствований [90], а также произведена замена в ответственных узлах аппаратуры электромагнитных реле на электронные. Закончена разработка и конструирование синхрочасов для служб времени. Эти часы будут иметь ряд преимуществ перед используемыми до настоящего времени образцовыми маятниковыми часами. Будут вестись работы по усовершенствованию синхронных двигателей кварцевых часов и по разработке так называемой «электронной» секунды, т. е. секунды, получаемой путем деления частот до 1 *гц*.

Намечается работа по внедрению счетных электронных устройств для регистрации и одновременной частичной обработки астрономических определений времени и для сличений часов.

Будут продолжаться работы в направлении дальнейшего совершенствования и повышения стабильности эталонных генераторов, а также автоматизации различных операций, связанных с измерениями частот.

Выполнение этих работ позволит повысить точность измерения времени и частоты во ВНИИМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кварнберг И. И., Афанасьев М. А., Баринов В. А., Труды ВНИИМ, вып. 22(38), 1939.
2. Адамович Н. И., Труды ВИМС, вып. 5, 1934.
3. Дубинский М. К., Труды ВНИИМ, 12(72), 1951.
4. Каяк Л. К. и Королева А. Н., Труды ВНИИМ, 18(78), 1952.
5. Афанасьев М. А., Труды ВНИИМ, 22(38), 1939.
6. Баринов В. А., Афанасьев М. А., Материалы к IX Генеральной конференции мер и весов, 1939.
7. Afanassiev M. A., Barinov V. A. et Preipitch N. C., Determination des mètres prototypes № 28 et № 11 en platine iridié et de la règle en platine iridié, désigneé par П 4, Leningrad, 1933.
8. Баринов В. А., Современное состояние эталонов длины и методы точного измерения длины, 1941.
9. Каяк Л. К., Труды ВНИИМ, вып. 20(80), 1953.
10. Варлих Г. В., «Техника и производство» № 3, 1923, стр. 11—22.
11. Варлих Г. В., Э. Т. И., вып. 5, 1935, стр. 133—135.
12. Варлих Г. В. и Карташев А. И., «Оптико-механическая промышленность», № 5, 1938, стр. 3—8.
13. Kartachov A. I., Revue d'Optique, v. 14, pp. 328—331.
14. Карташев А. И., «Оптико-механическая промышленность», № 6, 1935, стр. 20.

15. Варлих Г. В. и Шварц У. О., Труды ЦНИИГА и К, вып. 22, 1937, стр. 20.
16. Варлих Г. В. и Карташев А. И., Труды ВНИИМ, вып. 4(49), 1941, стр. 9—16.
17. Батарчукова Н. Р., Труды ВНИИМ, вып. 4(49), 1941, стр. 17—22.
18. Варлих Г. В., Карташев А. И. и Романова М. Ф., «Метрология и поверочное дело», № 6, 1939, стр. 40.
19. Мурашкинский В. Е., «Природа», № 10, 1929.
20. Мурашкинский В. Е., Э. Т. И., вып. 5, 1935, стр. 132.
21. Мурашкинский В. Е., Сборник работ комиссии по единицам мер, АН СССР, 1938, стр. 57.
22. Лебедев А. А., Сборник работ комиссии по единицам мер, АН СССР, 1938, стр. 67.
23. Романова М. Ф. и Гудрис И. М., Сборник работ комиссии по единицам мер, АН СССР, 1938, стр. 77.
24. Романова М. Ф., Варлих Г. В., Карташев А. И. и Батарчукова Н. Р., ДАН СССР, т. XXXVII, № 2, 1954, стр. 54.
25. Дыбский Р. В., Сборник работ по измерительной технике, ОНТИ, Харьков, 1936.
26. Романова М. Ф. и Карташев А. И., «Оптико-механическая промышленность», № 7—8, 1939.
27. Романова М. Ф. и Карташев А. И., Труды ВНИИМ, вып. 7(67), 1949, стр. 23.
28. Батарчукова Н. Р. и Владимиров И. П., Труды ВНИИМ, вып. 26(86), 1955, стр. 66
29. Волкова Е. А., Карташев А. И., Романова М. Ф. и Степанов В. С., Труды ВНИИМ вып. 26(86), 1955, стр. 43.
30. Романова М. Ф., Волкова Е. А. и Каяк Л. К., Труды ВНИИМ, вып. 16(76), 1951.
31. Шошина О. Ю. и Алексеева Е. П., Научная сессия ВНИИМ по итогам работ за 1955 г. (краткое содержание докладов), Л., 1956.
32. Бржезинский М. Л., Труды ВНИИМ, вып. 26(86), 1955, стр. 37.
33. Карташев А. И., Труды ВНИИМ, вып. 4(49), 1941, стр. 23.
34. Карташев А. И. и Коронкевич В. П., «Измерительная техника», № 5, 1957.
35. Бржезинский М. Л., Труды ВНИИМ, вып. 20(80), 1953.
36. Варлих Г. В. и Шварц У. О., Исследования по геодезии, Сборник № 5, 1939, стр. 35—121.
37. Махровский В. Г., «Измерительная техника», № 2, 1940, Труды ВНИИМ, вып. 12(72), 1951, стр. 102.
38. Карташев А. И., Труды ВНИИМ, вып. 26(86), 1955, стр. 57.
39. Егоров В. А., «Измерительная техника», № 5, 1957, стр. 15.
40. Романова М. Ф. и Верхмин А. А., ДАН СССР, № 2, 1933, стр. 60.
41. Романова М. Ф., «Успехи физических наук», т. XLVII, вып. 2, 1952, стр. 161.
42. Батарчукова Н. Р., «Успехи физических наук», т. LVI, вып. 2, 1955, стр. 265.
43. Романова М. Ф., «Успехи физических наук», т. LVI, вып. 2, 1955, стр. 259.
44. Батарчукова Н. Р., ДАН СССР, т. LXIII, вып. 6, 1947, стр. 1013.
45. Батарчукова Н. Р., Труды ВНИИМ, вып. 7(67), 1949, стр. 30.
46. Батарчукова Н. Р., Карташев А. И., Романова М. Ф., ДАН СССР, т. XC, № 2, 1953, стр. 153.
47. Батарчукова Н. Р., Карташев А. И., Романова М. Ф., Труды ВНИИМ, вып. 26(86), 1955, стр. 5.
48. Варлих Г. В., Карташев А. И. и Романова М. Ф., Интерференционные измерения длины, Лениздат, 1939.
49. Батарчукова Н. Р., Дубровский Г. Б., «Оптика и спектроскопия», т. I, вып. 3, 1956, стр. 330.
50. Батарчукова Н. Р., «Измерительная техника», № 6, 1956.
51. Батарчукова Н. Р., Карташев А. И., Романова М. Ф., Измерение длин волн излучения Cd^{114} в видимой области спектра, Машгиз, 1954.
52. Коронкевич В. П., «Оптика и спектроскопия», т. I, вып. 1, 1956.
53. Варлих Г. В., Карташев А. И., Оптико-механическая промышленность, № 9, 1939.
54. Карташев А. И., Труды ВНИИМ, вып. 26(86), 1955, стр. 30.
55. Бесценный Н. Я., Труды ВНИИМ, вып. 22(38), 1939.
56. Бржезинский М. Л., Труды ВНИИМ, вып. 12(72), 1951.
57. Трофимова Н. В., Научная сессия ВНИИМ по итогам работы за 1955 г. (краткое содержание докладов), Л., 1956.
58. Доброхотов А. Н., Временник ГПМиВ, вып. 2(14), 1928.
59. Доброхотов А. Н., Временник ГПМиВ, вып. 1(13), 1925.
60. Менделеев И. Д., Сборник «Весы точные, автоматические, пурка», 1934.
61. Кокош Г. Д., Труды ВНИИМ, вып. 2(57), 1947.
62. Рудо Н. М., «Измерительная техника», № 3, 1956.

63. Кузнецов И. И., Труды ВНИИМ, вып. 19(35), 1939.
64. Работы Главной Палаты мер и весов по установлению удельных весов водно-спиртовых растворов, 1924—1928 гг.; к реформе всесоюзной спиртометрии, 1929.
65. Михельсон Н. С., Труды ВНИИМ, вып. 22(82), 1954.
66. Михельсон Н. С., Труды ВНИИМ, вып. 11(71), 1950.
67. Иппиц М. Д., Труды ВНИИМ, вып. 22(82), 1954.
68. Налимов П. А., Научная сессия ВНИИМ по итогам работ за 1956 г. (краткое содержание докладов), 1957.
69. Прейпич Н. Х., Известия РАО, т. XXV, вып. 5—9, 1924, стр. 26.
70. Прейпич Н. Х., Труды ВИМС, вып. 3(19), 1933, стр. 64.
71. Прейпич Н. Х., Временник Главной Палаты мер и весов, вып. 1(13), 1925, стр. 41.
72. Алексеев С. И., Научная сессия ВНИИМ по итогам работ за 1955 г. (краткое содержание докладов), 1956, стр. 15.
73. Потехин В. К., Научная сессия ВНИИМ по итогам работ за 1956 г. (краткое содержание докладов), 1957, стр. 14.
74. Товчигречко С. С., Научная сессия ВНИИМ по итогам работ за 1955 г. (краткое содержание докладов), 1956, стр. 13.
75. Вейсбрут А. Д., То же, стр. 14.
76. Брызжев Л. Д. и Титов В. Н., Ж. Т. Ф., т. XXIV, вып. 5, 1954, стр. 879.
77. Брызжев Л. Д. и Титов В. Н., «Измерительная техника», № 2, 1957, стр. 52.
78. Вейсбрут А. Д., Научная сессия ВНИИМ по итогам работ за 1956 г. (краткое содержание докладов), 1957, стр. 13.
79. Кьяндский Г. А., «Поверочное дело», № 4(17), 1928, стр. 44.
80. Габель В. С., Временник Главной Палаты мер и весов, № 67, 1929, стр. 12.
81. Кьяндский Г. А., докт. дисс., ЛЭТИ, 1939.
82. Габель В. С., Труды ВНИИМ, вып. 12(28), 1936, стр. 5.
83. Агалецкий П. Н., Труды ВНИИМ, вып. 3(45), 1940, стр. 53.
84. Брызжев Л. Д., «Метрология и поверочное дело», № 2—3, 1939, стр. 29.
85. Кшимовский В. В., Рабинович Б. Е., Труды ВНИИМ, вып. 3(45), 1940, стр. 72.
86. Шембель Б. К., докт. дисс., ВНИИМ, 1949.
87. Кьяндский Г. А., Труды ВИМС, № 137, 1934, стр. 3.
88. Артемьева Е. В., «Измерительная техника», № 3, 1957, стр. 88.
89. Брызжев Л. Д. и Титов В. Н., «Измерительная техника», № 1, 1956, стр. 23.
90. Товчигречко С. С., Научная сессия ВНИИМ по итогам работ за 1955 г. (краткое содержание докладов), 1956, стр. 15.

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Е. Ф. ДОЛИНСКИЙ (руководитель отдела механических измерений), П. Н. АГАЛЕЦКИЙ, Н. А. ГАЕВСКИЙ, В. Л. ЛАССАН, Б. А. ОСТРОУМОВ, С. А. СМОЛИЧ, Л. П. СТЕПАНОВ, Б. М. ЯНОВСКИЙ

Механическими измерениями в дореволюционной России занимались две лаборатории Главной Палаты мер и весов: манометрическая и водогазомерная, созданные Д. И. Менделеевым в период 1902—1906 гг. Первая из них осуществляла поверки манометров до 4000 *кгс/см*^{2}, вторая — поверки водомеров калибром до 50 *мм* и газосчетчиков с верхним пределом расхода в 20 *м*^{3}/*час*.

В настоящее время отдел механических измерений ВНИИМ представлен пятью лабораториями: механической, измерений давления, измерений вакуума, аэрогидрометрической и лабораторней скоростей и ускорений.

Общей задачей лабораторий механических измерений является поддержание единства измерений силы, давления, скорости и ускорения и реологических констант. Для решения упомянутой общей задачи ведутся работы по созданию и хранению эталонов, осуществлению исходных методов воспроизведения единиц, созданию образцовой измерительной аппаратуры, разработке методов поверки приборов, определению важнейших физических констант, сопровождаемые необходимыми теоретическими и экспериментальными метрологическими исследованиями.

I. ЭТАЛОНЫ

Воспроизведение единиц измерения может осуществляться путем создания эталонов, постоянно хранящих установленные единицы измерений, или же разработкой и регламентацией исходных методов измерения. Последние позволяют воспроизводить необходимую единицу измерения и передавать ее образцовому прибору. В области механических измерений созданы эталоны по единицам силы, давления и вязкости; по остальным единицам применяются исходные методы измерений.

1. Эталоны силы. Практика технических измерений силы, связанная главным образом с испытанием механических свойств материалов и прочностью конструкций, встречается с большими величинами усилий, что привело к необходимости создания эталона силы в виде набора машин непосредственного нагружения, воспроизводящих усилия в пределах до 100 000 *кгс*.

Работы по созданию таких установок начаты в 1950 г. Первая такая установка имеет пределы измерений $2 \cdot 10^2 \div 1 \cdot 10^4$ *кгс*. Основную часть установки представляет пакет из десяти гирь, весом 1000 *кгс* каждая, изготовленных из чугуна с антикоррозийным покрытием. Определение их массы производится на специально созданных для этой цели неравноплечих весах с верхним пределом измерений 1000 *кгс*. Обработка многократных взвешиваний позволила определить массу каждой гири с погрешностью не более 0,005%. Исследование установки показало, что она воспроизводит усилия с погрешностью, не превосходящей 0,012%.

Вторая установка, создаваемая в настоящее время, имеет пределы измерений 10 000 ÷ 100 000 *кгс* при допускаемой погрешности измерения в 0,01%. Ее отличительной особенностью является возможность широкого регулирования ступеней нагружения и разгрузки.

2. Эталоны давления. Задачи техники измерения давлений, охватывающей манометрию, барометрию, микроманометрию и вакуумметрию, приводят к необходимости создания набора эталонов, отличающихся как по пределам измерения, так и по принципу действия.

а) Эталон избыточного давления, впервые созданный еще Д. И. Менделеевым, представлял собой многоколенный ртутный манометр с верхним пределом измерений 100 *кгс/см*². Точность его была недостаточной и в начале 30-х годов он был заменен более совершенным ртутным манометром до 1,5 *кгс/см*², погрешность которого не превышала 0,005%. Однако передача единицы давления от этого эталона к образцовым приборам, представленным грузопоршневыми манометрами, сопровождалась значительной потерей точности. Погрешность метода сличения эталона с образцовым манометром составляла около 0,015%. Уменьшение этой погрешности, обусловленной сравнением разнородных по принципу действия и по пределам измерений приборов, было если не невозможно, то во всяком случае крайне затруднительно.

Приведенные соображения указали на неприемлемость ртутного прибора в качестве эталона давления в области манометрии. Подробный анализ различных возможных решений задачи привел к созданию первичного эталона в виде группы из пяти грузопоршневых манометров с верхним пределом 60 *кгс/см*² и номинальной приведенной площадью поршня 1 *см*².

Основными параметрами, по которым производился отбор манометров для эталонной группы, являлись постоянство диаметра поршня, величина зазора между поршнем и цилиндром и длительность вращения поршня. Для пяти приборов, составляющих групповой эталон, как показали результаты опытных исследований, среднее квадратичное отклонение от среднего значения диаметра поршня составляло 0,1 ÷ 0,4 *мк*, величина зазора была 1 ÷ 3,5 *мк*, длительность вращения на трансформаторном масле — 12 ÷ 25 мин. Приведенные площади поршней определялись двумя различными независимыми методами. Средняя квадратичная погрешность найденных площадей составила $6 \cdot 10^{-4}$ % [1]. Эталон введен в действие в 1954 г. Очередные сличения приборов эталонной группы, выполненные в 1956 г., показали неизменность величин приведенных площадей поршней.

б) Вторичный (рабочий) эталон давления создан в 1955—1956 гг. и представляет собой набор грузопоршневых манометров с верхними пределами измерений 6, 60 и 600 *кгс/см*².

Приборы до 6 *кгс/см*², вошедшие в рабочий эталон, разработаны в двух конструктивных формах. Первая, предложенная П. В. Индриком, имеет номинальную приведенную площадь поршня, равную 5 *см*², в ней центр тяжести грузов расположен на уровне средней части поршня. Средняя квадратичная погрешность приведенной площади поршня составляет 0,002%. Вторая конструкция была предложена В. Н. Граменицким. Особенность ее заключается в уменьшенной до 10 *мм* длине рабочей части зазора между поршнем и цилиндром. Кроме того, кольцевидные грузы создают относительно большой маховой момент и таким образом достигается необходимая продолжительность вращения при малых нагрузках и, соответственно, малых давлениях. Средняя квадратичная погрешность приведенной площади этого прибора составляет 0,003%.

Рабочий эталон давления до 60 *кгс/см*² по своей конструкции аналогичен первичному эталону, средняя квадратичная погрешность приведенной площади поршня его составляет 0,002%.

Рабочий эталон до 600 *кгс/см²* конструкции П. В. Индрика отличается малой величиной номинальной приведенной площади поршня, равной 0,2 *см²*. Нагрузка на поршень осуществляется через опорный шток, благодаря чему устраняется возможность перекосов, особенно опасных вследствие малого диаметра поршня и относительно больших нагрузок.

в) Эталонный барометр представлен двумя приборами одинаковой конструкции, но с разными пределами измерений: № 1—725÷790 *мм* рт. ст., № 2—700÷770 *мм* рт. ст. (рис. 1). Барометрическая колонка прибора, изготовленная из нержавеющей стали, имеет в верхней и нижней частях цилиндрические полости диаметром 50 *мм*, соединенные между собой каналом. Верхняя полость соединена с устройством для откачки воздуха, нижняя — может соединяться с атмосферой. Отсчетное устройство основано на явлении интерференции света. Процесс измерения сводится к нахождению разности высот уровней ртути путем сравнения ее с длиной концевой меры. Последнюю можно перемещать в вертикальном направлении. Перемещением меры достигают совпадения плоскости боковичка, притертого к мере, с плоскостью зеркал ртути, сначала для нижнего мениска ртути, затем — для верхнего и снова для нижнего (каждое измерение требует трех отсчетов вследствие непостоянства атмосферного давления). При совпадении упомянутых плоскостей наблюдатель видит в окуляр интерференционную картину. Длина концевой меры в сумме с перемещением меры, определяемым по штриховой мере при помощи микроскопа с ценой деления 0,6 *мк*, дает разность высот уровней ртути. Подробное изучение обоих приборов показало, что средняя квадратичная погрешность измеряемого атмосферного давления составляет в среднем около 0,005 *мм* рт. ст., однако погрешность измерения в значительной степени зависит от постоянства атмосферного давления во время измерений.

Рис. 1. Эталонный барометр.

Барометр аналогичной конструкции создан в 1957 г. также для эталонных работ в области средних температур.

г) Первым исходным микроманометром являлся микроманометр типа NPL (усовершенствованый «Chattock») с пределами измерений 0,5÷25 *мм* вод. ст. и погрешностью порядка 0,3%. Конструкция прибора заимствована. Исследование прибора проведено в 1930—1931 гг. [2].

Ряд существенных недостатков этого прибора, в особенности случайные смещения нуля, недостаточность определения коэффициента прибора только по одному измерению его деталей, как установлено рядом исследований [3], привели к необходимости создания надежного набора эталонных микроманометров, охватывающих пределы измерений 0 ÷ 500 *мм* вод. ст. Анализ возможных типов позволил остановиться на весовых микроманометрах для малых разностей давления (до 100 *мм* вод. ст.) и на компенсационном приборе U-образного типа для больших разностей давления (до 500 *мм* вод. ст.).

Измеряемая разность давлений определяется отношением веса уравновешивающих гирь к площади внутреннего поперечного сечения стаканчика, к которому подводится избыточное давление. Эта величина корректируется поправочным множителем, учитывающим влияние разности площадей кольцевых сечений стаканчиков, площади ванны и площади внутреннего сечения стаканчика. Погрешность измерения разности давлений определяется в основном погрешностью весов и погрешностью определения площади поперечного сечения стаканчиков. Чувствительность весового микроманометра зависит от вязкости жидкости (повышается с уменьшением вязкости), поэтому целесообразно применение водноспиртовых растворов.

Изготовлены и исследованы два весовых микроманометра. Микроманометр № 1 состоит из аналитических весов [4] для нагрузок до 200 *г*. Оба цилиндрических стаканчика изготовлены из латуни и позолочены. Внутренний диаметр их равен 66,75 *мм*, высота—40 *мм*. Оба они погружаются в общую ванну. Пределы измерений прибора составляют: 0 ÷ 10 *мм* вод. ст. Погрешность прибора для пределов 0,1 ÷ 10 *мм* вод. ст. составляет соответственно 0,4 ÷ 0,07%, цена деления при работе на спирте равна 1 *мг* на 0,2 деления шкалы микроскопа, что соответствует 0,3 *мк* вод. ст.

Микроманометр № 2 включает образцовые [5] весы, изготовленные мастерскими Главмервеса для нагрузок до 5 *кг*. Колокола прибора изготовлены из нержавеющей стали и погружаются в общую ванну. С целью уменьшения погрешности, зависящей от толщины стенок колоколов, последним придана особая форма. Прибор рассчитан на измерение разностей давления в пределах 10÷100 *мм* вод. ст. с погрешностью 0,08 ÷ 0,02%.

Микроманометр компенсационного типа с концевыми мерами длины [6] представляет собой два сообщающихся сосуда, соединенных резиновой трубкой. Один из сосудов неподвижен, второй — может перемещаться вдоль вертикальных направляющих.

Приспособление для контроля уровня жидкости состоит из металлической нити, установленной в неподвижном сосуде, и оптической системы. В нулевом положении оптическая система настраивается так, чтобы изображение отраженной нити находилось в середине биссектора микроскопа. Когда к прибору подводится разность давлений, причем к неподвижному сосуду подается повышенное давление, то уровень жидкости в неподвижном сосуде понижается, а в подвижном — повышается. Тогда поднятием подвижного сосуда приводят уровень жидкости в неподвижном сосуде в первоначальное положение. Столб жидкости, равный разности высот уровней жидкости в сосудах, и является мерой приложенной к прибору разности давления. Разность уровней сравнивается с длиной установленной в приборе концевой меры или блока из мер. Прибор позволяет измерять разность давлений в пределах 10 ÷ 400 *мм* вод. ст. Погрешность прибора на нижнем пределе составляет 0,01 *мм* вод. ст., на верхнем — 0,04 *мм* вод. ст.

Два описанных весовых микроманометра и компенсационный прибор U-образного типа с концевыми мерами длины в настоящее время представляют эталонный набор микроманометров.

д) Эталонная вакуумметрическая установка. Работы по созданию эталонного набора манометров для малых остаточных давлений начаты в 1950 г. с момента организации во ВНИИМ лаборатории измерений вакуума.

Первым прибором, применявшимся в качестве исходного, явился оригинальный групповой абсолютный компрессионный манометр с тремя независимыми измерителями, имеющий пределы измерений $5 \cdot 10^{-1} \div 5 \cdot 10^{-4}$ *мм* рт. ст. Предельная погрешность в пределах $5 \cdot 10^{-1} \div 5 \cdot 10^{-3}$ *мм* рт. ст. оказалась равной 2%, а в пределах $5 \cdot 10^{-3} \div 5 \cdot 10^{-4}$ *мм* рт. ст. возрастала до 5%. Поэтому в 1955—1957 гг. была создана вторая модель подобного же манометра, в которой, благодаря ликвидации некоторых недостатков первой, точность измерений была повышена в 2 раза.

Для дальнейшего уменьшения погрешности потребовалось подразделить весь диапазон на более узкие области измерений и расширить общие пределы измерений в сторону более высоких давлений.

Расширение предела измерений в сторону более высоких разрежений с помощью компрессионных манометров оказалось принципиально невозможным и в лаборатории в течение 1954—1957 гг. был разработан абсолютный тепловой манометр оригинальной конструкции, основанной на кинетической теории газов [7—10]. Пределы измерений этого манометра $1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-6}$ *мм* рт. ст. с погрешностями в интервале $1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-5}$ *мм* рт. ст. не более 10%. Таким образом, этот прибор является естественным продолжением набора таких приборов в сторону более высоких разрежений.

е) Эталон вязкости. В 1944 г. в аэрогидрометрической лаборатории ВНИИМ была проведена работа по изучению различных систем вискозиметров. В результате этой работы была выбрана конструкция, дающая наименьшие погрешности. В 1946 г. этой же лабораторией разработана поверочная схема, основанием которой является эталонный метод воспроизведения единицы вязкости. За эталонное вещество принята вода [11]. Значения вязкости от 0,01 до 100 ст. воспроизводят четыре группы эталонных (исходных) капиллярных вискозиметров одной и той же конструкции, имеющих одинаковую длину (300 *мм*), но разные диаметры капилляров. Каждая группа состоит из трех приборов. В первую группу входят вискозиметры с диаметрами капилляров 0,55 *мм*, во вторую — 0,95 *мм*, в третью—1,75 *мм* и в четвертую—с диаметрами 3,5 ÷ 4,0 *мм* [12].

Для определения постоянных вискозиметров применяется метод ступенчатой калибровки. Постоянные первой группы определяются по вязкости воды. Постоянные второй, третьей и четвертой групп — по жидкостям с вязкостью соответственно 10, 100 и 1500 сст. Вязкости этих жидкостей измеряются на вискозиметрах первой, второй и третьей групп. Определения постоянных вискозиметров и вязкости жидкостей производятся при температуре 20±0,01°С. Вычисления постоянной вискозиметра и вязкости жидкостей производят по формуле Пуазейля с поправкой на кинетическую энергию. Поправочный коэффициент, входящий в формулу, определен специально проведенными исследованиями и принят равным 0,58. Средняя квадратичная погрешность определения постоянных приборов вследствие ступенчатой калибровки различна для разных групп и составляет для приборов 1-й группы — 0,018%, 2-й группы — 0,023%, 3-й группы — 0,030%, 4-й группы — 0,040%.

ж) Определение вязкости воды при 20°С. Вода, как указывалось выше, является эталонным веществом, поэтому от точности определения ее вязкости зависит точность вискозиметрических измерений. В аэрогидрометрической лаборатории ВНИИМ в 1954—1956 гг. была выполнена работа по определению значения основной константы — вязкости воды при 20°С с метрологической точностью [13]. Измерения производились

на абсолютном капиллярном вискозиметре, созданном в лаборатории, методом пропускания исследуемой жидкости через два последовательно включенных капилляра различной длины, насколько возможно одинаковых по диаметру. Этот метод измерения выгодно отличается от других тем, что позволяет исключить из формулы определения вязкости поправки на концевые эффекты, достаточно точное определение которых едва ли возможно.

Измерение вязкости воды проведено при 20°С на двух парах капилляров. В каждой паре длина капилляров была различна (240 и 100 *мм*), а диаметр почти одинаков. Диаметр одной пары был равен 0,4981, второй — 0,7029 *мм*. Полученное значение вязкости воды составило 0,01003, пуаз при предельной погрешности результата, не превышающей 0,1%.

з) Методика сличения эталонных вискозиметров ВНИИМ. Постоянные эталонных вискозиметров ВНИИМ, составлявших три группы капиллярных вискозиметров одинаковой конструкции и размеров (за исключением диаметра капилляра), до 1956 г. определялись ступенчатой градуировкой, описанной выше. Такая ступенчатая градуировка вискозиметров приводит к накоплению погрешностей, уменьшение которых составляет главную задачу градуировки.

Основной погрешностью при градуировке вискозиметров является температурная погрешность. Для уменьшения ее в 1956 г. была предложена новая методика сличений, состоящая в том, что определение постоянной одного прибора производится одновременно с определением вязкости калибровочного масла на другом вискозиметре, причем оба вискозиметра находятся в одной и той же термостатированной ванне. Такая методика исключает температурную погрешность определения постоянных вискозиметров, обусловленную изменениями вязкости калибровочной жидкости вследствие колебаний температуры. Расчеты показывают, что температурная погрешность определения постоянных эталонных вискозиметров третьей группы, которая при прежней методике достигала 0,1%, снижена до 0,025%. Уменьшение температурной погрешности может быть достигнуто также заменой калибровочных жидкостей, обычно приготовляемых из нефтепродуктов, другими жидкостями. Испытаны четыре жидкости (кремнийорганические соединения), вязкость которых при 20°С составляет 0,0588, 0,0786, 2,63 и 5,33 ст. Вязкость этих жидкостей изменяется на 2% при изменении температуры на 1°С, в то время как нефтепродукты той же вязкости имеют температурный коэффициент от 4 до 10% на 1°С. Измерения поверхностного натяжения указанных четырех жидкостей дали значения несколько меньшие, чем для нефтепродуктов. Эти исследования показали целесообразность замены нефтепродуктов кремнийорганическими жидкостями, особенно для приготовления калибровочных жидкостей с вязкостью более 5 ст.

Одновременное применение новой методики сличения вискозиметров и калибровочных жидкостей из кремнийорганических соединений позволит снизить температурную погрешность определения констант и упростит поверку за счет снижения требований к поддержанию температуры в термостате. Колебания температуры могут быть допущены в пределах ±0,05 вместо 0,01°С (кроме случая определения констант 1-й группы вискозиметров).

В связи с необходимостью измерять более вязкие жидкости была поставлена также задача увеличить верхний предел измерений с 10 до 100 ст.; соответствующие работы ведутся в настоящее время.

II. ОБРАЗЦОВАЯ АППАРАТУРА И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

В разработке отечественной образцовой аппаратуры для механических измерений, начатой еще при Д. И. Менделееве, в настоящее время достигнуты большие успехи для всех видов измерений.

1. **Измерение силы.** Образцовая аппаратура для измерения силы в виде рычажной образцовой силоизмерительной машины до 50 *тс* появилась в лаборатории уже в первые годы ее существования, т. е. в начале 30-х годов. Эта единственная в СССР машина обеспечивала в то время поверку динамометров для всей промышленности с погрешностью не более 0,2%.

Дальнейшее развитие эта область измерений получила уже в послевоенные годы. Работы, проведенные Горьковским экспериментально-конструкторским бюро (ЭКБ), привели к созданию серии оригинальных образцовых динамометров 3-го разряда на различные нагрузки от 10^2 до $2 \cdot 10^3$ *тс*, которыми в настоящее время оснащено большинство государственных контрольных и заводских лабораторий. Вариация показаний этих динамометров не превышает 0,5%. Силами Горьковского ЭКБ созданы также две рычажные образцовые силоизмерительные машины до 50 *тс* (установленные в городах Риге и Горьком), в конструкцию которых внесены значительные усовершенствования, дающие повышение точности измерения силы и улучшающие условия работы на них. Как показали неоднократные поверки этих машин, погрешность измерения на них не превосходит 0,1%.

В 1950 г. Свердловским филиалом ВНИИМ была выполнена работа по исследованию рычажной машины до 50 *тс*. Произведена теоретическая оценка погрешностей машины, а также влияние прогиба рычага и перекосов на результаты измерения.

В 1951—1953 гг. в Московском государственном институте мер и измерительных приборов была создана гидравлическая образцовая силоизмеритлеьная машина до 50 *тс*, основанная на применении принципа неуплотненных поршней. Погрешность измерения на этой машине не превышает 0,2%. Такими машинами были оснащены также Харьковский и Новосибирский институты [14].

К этому же времени относится приобретение для ВНИИМ гидравлической машины до 50 *тс* на растяжение и 100 *тс* на сжатие.

Таким образом, в настоящее время, помимо ВНИИМ, все государственные институты мер и измерительных приборов, а также некоторые государственные контрольные лаборатории оснащены образцовыми силоизмерительными машинами 2-го разряда и в состоянии обеспечить поверку динамометров для всей промышленности.

Работа [15] дает систематизированный материал, необходимый для проектирования упругих динамометров, в ней предложен и проверен экспериментально прием расчета замкнутых упругих скоб, предложен метод объективной оценки конструкции пружин динамометров с помощью коэффициента формы. На основе этой работы Горьковским ЭКБ созданы образцовые динамометры оригинальной конструкции.

Исследования, проведенные во ВНИИМ и выполненные в 1955 г., посвященные выбору наиболее рациональной формы упругого элемента и отсчетного устройства, а также учету влияния температуры на показания динамометра, привели к созданию образцовых динамометров 1-го разряда до 10 *тс*.

Проведены также экспериментальные исследования методов поверки машин и градуировки динамометров методом параллельного включения нескольких образцовых динамометров, свидетельствующие о допустимости такого способа и позволившие разработать методику измерений.

За последние годы во ВНИИМ созданы образцовые переносные динамометры 1-го разряда до 10^4 *кгс*, предназначенные для передачи значений силы от эталонных силовых установок образцовым силоизмерительным машинам 2-го разряда. Устройство этих динамометров характеризуется применением оптической системы, позволяющей производить измерение деформации упругого тела при увеличении в 1800 раз. Погрешность

измерения этими динамометрами не превышает 0,1% от измеряемого усилия.

Дальнейшее повышение верхнего предела промышленных измерений силы привело к необходимости создания образцовой гидравлической силоизмерительной машины до $3 \cdot 10^6$ *кгс*, проектирование которой ведется в настоящее время. Выполнение этих работ даст возможность градуировать динамометры и поверять машины с верхним пределом измерения до $3 \cdot 10^6$ *кгс*.

Для измерения крутящих моментов в Свердловском филиале ВНИИМ создается образцовая установка до 2000 *кгс · см* и соответствующие моментомеры.

2. Измерение давления. Образцовую аппаратуру в области измерения давления, в соответствии с особенностями измерений, можно разделить на четыре категории: приборы для измерения избыточного давления, атмосферного давления, малых разностей давления и высокого вакуума.

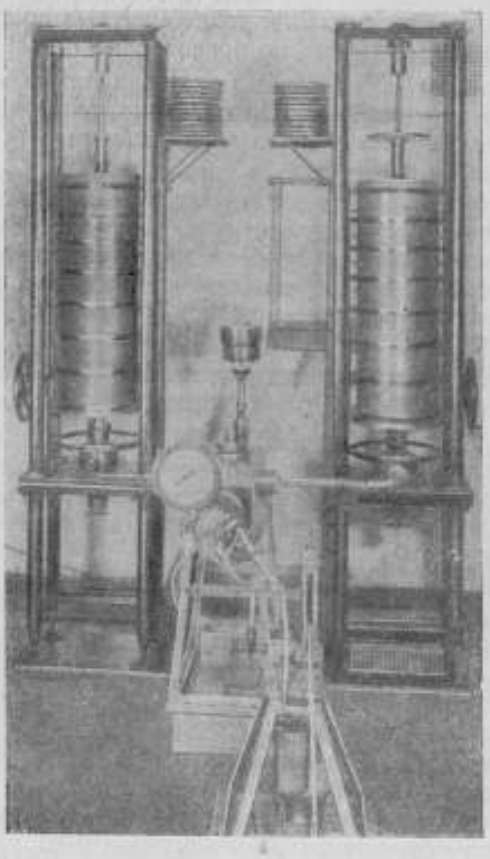


Рис. 2. Сдвоенная установка для измерения давлений до 10 000 *кгс/см²*.

а) Образцовые грузопоршневые манометры. В 30-х годах во ВНИИМ были разработаны и созданы грузопоршневые приборы конструкции П. В. Индрика типов И-500 и И-2000 с пределами измерений соответственно до 500 и 2000 *кгс/см²*. Эти приборы впоследствии были модернизированы и в настоящее время применяются как грузопоршневые манометры типов И-600 (до 600 *кгс/см²*) и И-2500 (до 2500 *кгс/см²*).

Конструктивно образцовые манометры И-600 выполнены подобно рабочему эталону давления до 600 *кгс/см²* (приведенная площадь поршня приборов равна 0,05 *см²*). Эти манометры аттестуют в соответствии с поверочной схемой по классам: 0,02 — 1-й разряд; 0,05—2-й разряд и 0,2—3-й разряд.

Конструктивная схема образцового манометра И-2500 аналогична схеме манометра И-600. Приведенная площадь поршня прибора равна 0,05 *см²*. Эти манометры аттестуются также в соответствии с поверочной схемой по классам 0,02; 0,05 и 0,2.

Как прибор И-600, так и прибор И-2500 получили весьма широкое распространение в поверочных учреждениях СССР и промышленности. В процессе разработки они тщательно исследованы во ВНИИМ и последующее многолетнее применение этих приборов в самых различных условиях эксплуатации подтвердило их высокие метрологические качества.

В последнее время во ВНИИМ осуществлена установка, допускающая одновременное параллельное включение двух измерительных ком-

плектов (поршень—цилиндр). Максимальная возможная нагрузка на поршень каждого комплекта составляет 1000 *кгс*. Установка, помимо поверочных работ, позволяет производить широкие исследования манометров с различными верхними пределами давления от 200 до 10000 *кгс/см²* (рис. 2).

Одновременно с ВНИИМ работы по разработке образцовой аппаратуры велись во ВНИИК, где создан целый ряд образцовых приборов с высокими метрологическими качествами для различных пределов измерений. Среди них в первую очередь следует отметить образцовые грузопоршневые манометры до 2000 и до 10000 *кгс/см²* конструкции М. К. Жоховского. В этих манометрах применена система трех поршней различных диаметров, из которых нижний воспринимает измеряемое давление, а два других — являются гидравлическим мультипликатором (рис. 3).

Там же созданы образцовые грузопоршневые манометры до 6 *кгс/см²* (конструкция В. Н. Граменицкого), которые, как упоминалось, вошли также в состав рабочего эталона. Образцовые мановакуумметры с уравновешенным поршнем (того же автора) отличаются высокой точностью. Мановакуумметр с двумя уравновешенными поршнями позволяет устранить необходимость применения ртути в поверочных работах.

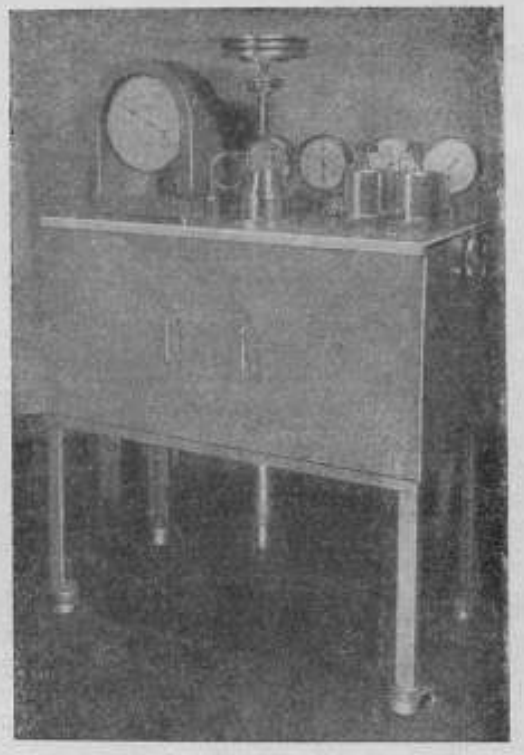


Рис. 3. Установка типа Ж-10 000.

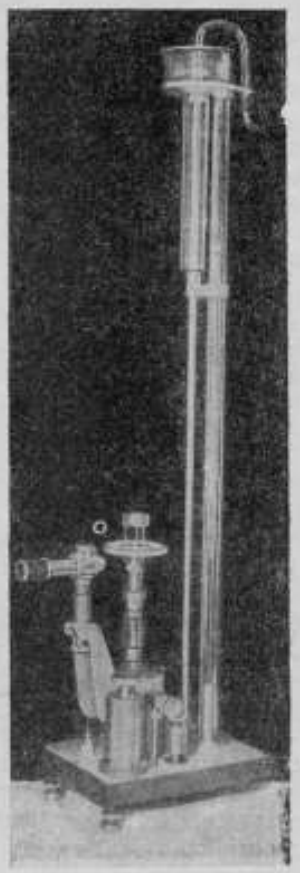


Рис. 4. Образцовый грузопоршневой барометр.

б) **Барометры.** В процессе разработки и создания эталонного барометра естественно возникла вторая задача — передача единицы барометрического давления от этой стационарной установки стационарному барометру Главной геофизической обсерватории при условии, что транспортировка ни того, ни другого барометра невозможна. Только при реше-

нии этой второй задачи можно было бы осуществить единство измерений барометрического давления как в системе Гидрометслужбы, так и в системе Комитета стандартов, мер и измерительных приборов.

Анализ возможных принципиальных схем барометрических приборов позволил остановить выбор на двух различных конструкциях. Одной из них является грузопоршневой барометр с уравновешенным поршнем (рис. 4). Метрологические характеристики нескольких приборов этой конструкции были изучены путем многократных сличений их с эталонным ртутным барометром № 2. Средняя квадратичная погрешность измерений этими приборами составляет 0,01—0,03 *мм* рт. ст. Работа по созданию и исследованию этого барометра, проводимая совместно ВНИИМ и ВНИИК, закончена в 1956 г.

Вторая конструкция переносного барометра (разработанная во ВНИИМ) представляет собой безжидкостный грузопоршневой прибор, в котором измеряемое атмосферное давление уравновешивается грузами, наложенными на измерительный поршень. Предварительные исследования показали, что средняя квадратичная погрешность измерений этим прибором меньше 0,01 *мм* рт. ст.

Окончательное сопоставление результатов исследований указанных двух конструкций в самое ближайшее время даст возможность остановить выбор на том или ином приборе и тем самым осуществить передачу единицы барометрического давления от эталонного барометра ВНИИМ как в систему Гидрометслужбы, так и в систему Комитета стандартов, мер и измерительных приборов.

в) Специальные метрологические исследования. Работы по созданию образцовых грузопоршневых приборов сопровождались метрологическими исследованиями в этой области. Они преследовали цель — развить теорию поршневых приборов как в самом общем виде, так и в частных вопросах, касающихся наиболее важных метрологических характеристик и параметров этих приборов.

Одной из главных работ указанной области является разработка теории манометров с неуплотненным поршнем [17]. В этом теоретическом исследовании даны общие дифференциальные уравнения движения системы поршень—рабочая жидкость и их решение как для общего, так и для всех частных случаев, имеющих прикладное значение. Анализ этих решений позволил автору установить основные параметры рассматриваемых приборов и дать методику расчета и исследования их. Особое значение имеют выводы, относящиеся к нормам: допустимых зазоров между поршнем и цилиндром, допустимых скоростей опускания и длительности вращения поршней.

Второй работой в этом направлении является теоретическое и экспериментальное исследование изменений приведенных (рабочих) площадей различных типов грузопоршневых манометров, вызываемых деформациями при высоких давлениях [18]. В этой работе использован большой экспериментальный материал по сравнению показаний различных типов грузопоршневых манометров при давлениях до 2000 *кгс/см*^{2}.

Для решения теоретических и практических задач грузопоршневой манометрии большое значение имели исследования ряда характерных физических свойств жидкостей, находящихся под высоким давлением. Наиболее важные из них изучены в пределах, необходимых для удовлетворения современных требований метрологии.

Среди этих работ следует отметить экспериментальное исследование, проведенное с целью получения кривой плавления ртути при давлениях от 4000 до 10000 *кгс/см*^{2} [19]. В этой работе рассматривается аппаратура и метод определения фазовых равновесий ртути в указанном диапазоне давлений. Разработанная для этой цели аппаратура и метод предназначены для градуировки и поверки манометров до 10000 *кгс/см*^{2}, в тех случаях, когда не имеется соответствующих грузопоршневых манометров.

В результате другого исследования в этом направлении получен новый гидростатический метод измерения плотности жидкостей при высоких давлениях [20] со средней квадратичной погрешностью в 0,05%. Верхний предел давления ограничивается только прочностью камеры высокого давления и вязкостью жидкости, которая должна не превосходить 250 пуаз. В исследовании получены значения плотности воды до давления в 4100 *кгс/см*².

На работу и точность показаний грузопоршневых приборов среди многих других факторов большое влияние оказывает вязкость применяемой в приборах жидкости. Этому вопросу было уделено необходимое внимание со стороны исследователей. Вязкость трансформаторного масла, касторового масла и глицерина определена для давлений до 5000 *кгс/см*² и для температур 14 ÷ 30°С [21]. В этой работе проведен также анализ погрешностей вискозиметра высокого давления.

г) Работы в области микроманометрии. Специфика приборов, измеряющих малые избыточные давления или разрежения, естественным путем выделила изучение приборов и аппаратуры этой части измерений в отдельную область — микроманометрию. С целью удовлетворения потребностей развивающейся промышленности, науки и техники в точности измерения малых разностей давлений, аэрогидрометрическая лаборатория ВНИИМ с 1930 г. проводила работу по созданию образцовых микроманометров. Как указано выше, начиная с этого времени разрабатывались исходные микроманометры, вместе с ними разрабатывались и образцовые приборы.

В 1936—1937 гг. был разработан и освоен выпуском на заводе «Эталон» микроманометр типа ММ, представляющий собой компенсационный прибор, подвижный сосуд которого перемещается вдоль микрометрического винта. Пределы измерений составляют 0 ÷ 120 *мм* вод. ст., средняя квадратичная погрешность не превышает 0,02 *мм* вод. ст.

Микроманометры типа ММ нашли широкое применение в государственных контрольных лабораториях как образцовые приборы.

В 1937—1938 гг. был разработан микроманометр типа Прандтля [22] видоизмененной конструкции. Прибор представляет собой два сообщающихся сосуда — металлический резервуар и стеклянную трубку,— соединенные между собой посредством особого крана-переключателя. Для наблюдения за мениском спирта в стеклянной трубке служит оптическая система, состоящая из лупы и зеркальца. Оптическая система жестко присоединена к каретке, которую можно перемещать с помощью кремальеры вдоль вертикальной колонки. Пределы измеряемых прибором разностей давления — 0 ÷ 400 *мм* вод. ст., средняя квадратичная погрешность прибора не превышает 0,12 *мм* вод. ст.

Прибор нашел применение в качестве образцового в институтах системы Комитета.

В 1938—1939 гг. разработан и освоен на заводе «Эталон» микроманометр типа АЛД [23]. Принцип действия его аналогичен прибору типа Прандтля. Отличается он тем, что оптическая система, состоящая из лупы и зеркальца, укреплена на общей каретке — гайке микрометрического винта. Измерение разности давлений сводится к определению разности высот уровня мениска в первоначальном и соответствующем измеряемой разности давлений положениях. Пределы измеряемых прибором разностей давления — 0 ÷ 160 *мм* вод. ст., средняя квадратичная погрешность не превышает 0,05 *мм* вод. ст.

Прибор нашел широкое применение в качестве образцового в государственных контрольных лабораториях.

В 1955—1956 гг. разработан и исследован микроманометр типа ЧЛ-1. Принцип действия его такой же, как и у прибора типа ММ, с той лишь разницей, что неподвижный и подвижный сосуды связаны не резиновой

трубкой, как в приборе ММ, а шарнирно соединенными металлическими трубками. Кроме того, в приборе применена более совершенная система контроля уровня жидкости в неподвижном сосуде. Эта система аналогична системе, примененной в компенсационном приборе с концевыми мерами длины. Пределы измеряемых прибором разностей давлений — 0÷250 *мм* вод. ст. Исследования прибора показали, что его средняя квадратичная погрешность не выходит за пределы 0,01 *мм* вод. ст.

д) Измерение вязкости. Для передачи единиц вязкости от эталонных вискозиметров к рабочим были созданы образцовые капиллярные приборы «с висячим уровнем». В этом типе приборов исключена погрешность от неправильного наполнения и сводится к минимуму погрешность от влияния поверхностного натяжения. Приборы были изготовлены для институтов Комитета и тщательно исследованы. При исследовании образцовых приборов (совместно с эталонными) были установлены поправки на кинетическую энергию и прилипание жидкости к стенкам прибора. Набор вискозиметров 1-го разряда состоит из трех приборов и охватывает диапазон измерений от 0,01 до 10 ст.; набор вискозиметров 2-го разряда состоит из девяти приборов, диапазон измерений составляет от 0,01 до 100 ст; среднеквадратичная погрешность определения вязкости на вискозиметрах 1-го разряда не превышает 0,07%, для 2-го разряда — 0,1%.

Задача измерений больших значений вязкости привела к созданию в 1949 г. крутильного вискозиметра [24]. Он предназначен для измерений вязкости жидкостей в диапазоне от 10 до 10^4 пуазов. Основными частями прибора являются два соосных вертикально расположенных цилиндра, из которых наружный равномерно вращается синхронным двигателем, питаемым током частоты 1000 *гц* от эталонного генератора, а внутренний — подвешен на упругой стальной проволоке. Испытуемая жидкость находится в зазоре между цилиндрами. Вычисление вязкости по показаниям прибора производят по заданным размерам цилиндров, скорости вращения наружного цилиндра и моменту, приложенному к упругому подвесу. Исключение влияния концевых эффектов достигается применением «охранных» цилиндров.

Номинальные размеры цилиндров: наружный имеет диаметр 100 *мм*, высоту 300 *мм*. С помощью вставки диаметр может быть уменьшен до 80 *мм*. Внутренний цилиндр — сменный. В комплекте их три штуки диаметром 60, 80 и 90 *мм* и высотой 100 *мм*. «Охранные» цилиндры имеют высоту 80 *мм*. Цилиндр с испытуемой жидкостью помещен в масляный термостат с температурой 20±0,01°С, а подвес находится в воздушном термостате, где поддерживается та же температура с точностью ±0,05°С.

Прибор оснащен приспособлениями, позволившими выяснить влияние на измерения горизонтальных зазоров между внутренним «рабочим» и «охранными» цилиндрами, возможного эксцентриситета цилиндров и влияние конечной длины цилиндров. Цель исследования прибора состояла в установлении эмпирических поправок к формулам, определяющим величину измеряемой вязкости, полученную теоретическим расчетом. Главное внимание было обращено на исключение «концевых» эффектов. Основная измерительная часть — упругие подвесы — исследовалась двумя методами: динамическим — по периоду крутильных колебаний и статическим — путем определения зависимости угла закручивания от приложенного крутящего момента. Эти исследования показали довольно значительное расхождение между результатами обоих методов, достигающее 1,5%. Для определения постоянной прибора приняты результаты статических измерений. Исследования показали, что 1) высота «охранных» цилиндров должна быть не менее величины двух радиальных зазоров между цилиндрами и 2) влияние горизонтальных зазоров между цилиндрами эквивалентно увеличению длины внутреннего цилиндра на 0,4 суммарной длины верхнего и нижнего зазоров. Эксцентриситет цилиндров увеличивает пока-

зания прибора на относительную величину $1{,}6\,\varepsilon^2$ где ε — отношение расстояния между осями цилиндров к радиальному зазору между ними. Исследования прибора производились на нефтепродуктах и растворах сахара и глицерина. Точность измерений на приборе составляет 0,5%. Диапазон измерений — $10 \div 10\,000$ пуазов.

По измерению вязкости при низких температурах выполнены две работы. В первой из них [25] даны кривые зависимости вязкости от температуры для масла трансформаторного и масла марки «140» до температур —45°С. Вторая работа привела к созданию вискозиметра со сменными капиллярами для измерения вязкости при температурах до —60°С.

3. Определение ускорения силы тяжести. Одной из фундаментальных работ ВНИИМ, выполненной в послевоенный период, является работа по абсолютным определениям ускорения силы тяжести g. До последних лет наиболее точными были определения, произведенные в Потсдаме и законченные в 1906 г., к которым приводились гравиметрические измерения во всех странах. Эта система значений ускорения силы тяжести для различных пунктов земного шара получила название потсдамской.

Величина ускорения силы тяжести играет большую роль в метрологии в связи с тем, что в определения многих единиц измерения входит g; примером могут служить единицы силы, давления, тока и др. Поэтому для всех абсолютных измерений имеет большое значение достоверное знание величины g.

Работы, начатые в этом направлении Д. И. Менделеевым, были продолжены проф. А. А. Ивановым в 1904—1915 гг. [26]. Однако значение g, полученное им, содержало большую погрешность и отличалось от Потсдамского значения на несколько сотых сантиметра на секунду в квадрате.

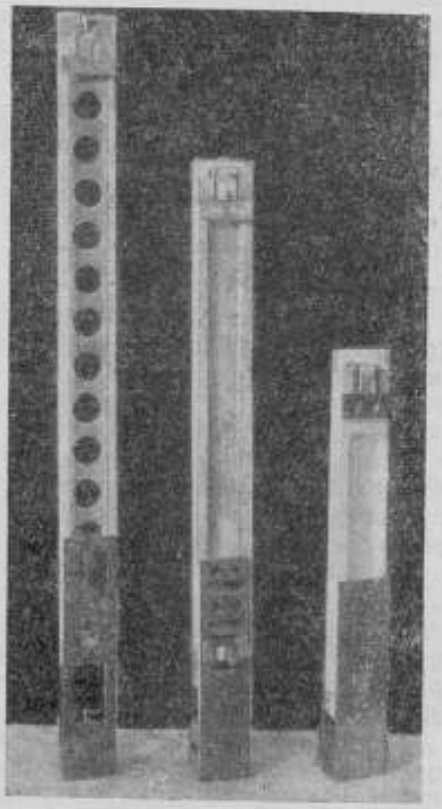


Рис. 5. Кварцевые оборотные маятники для определения g.

В послевоенный период во ВНИИМ были поставлены большие работы по абсолютным определениям g тремя независимыми методами: с помощью оборотных маятников и методом свободного падения тела, осуществленного в двух вариантах [27, 28]. В одном из них, предложенном П. Н. Агалецким, была использована падающая с высоты 12 *м* пустотелая камера, внутри которой одновременно происходило падение пластинки, покрытой фотоэмульсией. Так как скорость движения пластинки относительно камеры мала, сопротивление воздуха в камере не оказывает влияния и падение пластинки можно считать свободным.

Во втором варианте, предложенном А. И. Маршняком, кварцевый жезл длиной в 1 *м* падал внутри вакуумной камеры. Длительность падения определялась по отметкам строго постоянной и известной частоты, наносимым фотографическим путем на поверхность пластинки или жезла. Скорость падения камеры с пластинкой измерялась с помощью натянутых

вертикально стальных проволок, на которые наносились магнитные отметки.

В методику определения g с помощью оборотных маятников внесены существенные улучшения, позволившие повысить точность измерений. Были применены три кварцевых маятника различной длины, но одинаковой массы (рис. 5). Конструкция маятников допускала измерение приведенной длины наиболее точным интерференционным методом. Определение периода колебаний маятников производилось с помощью печатающего хроноскопа путем регистрации ряда моментов прохождения маятника через положение равновесия.

В результате определений, законченных в 1956 г., получены значения g для пункта ВНИИМ, приведенные в таблице.

Наименование метода	Число опытов	Полученное значение g, *см/сек*²	Средняя квадратичная погрешность *см/сек*²
Три кварцевых оборотных маятника равной массы, но разной длины	153	981,9187	±0,0004
Метод совмещения свободного и несвободного падения тел	21	981,9215	±0,0016
Метод падения жезла в вакууме	15	981,9233	±0,0022

Сопоставление этих значений со значением g в потсдамской системе ($g_{потсд.}$ =981,9308 *см/сек*²) дает основание сделать вывод, о наличии в потсдамской системе систематической погрешности. Окончательное значение подлежащей внесению поправки будет установлено путем международного соглашения после завершения работ по определению g, которые в настоящее время ведутся в ряде стран (в Аргентине, Канаде, Франции, Федеративной Республике Германии, Германской Демократической Республике, Англии и Италии). Следует отметить, что наиболее широко определения g были поставлены в СССР, так как в других странах они ведутся только одним каким-либо методом.

4. Измерение скорости и расхода жидкостей и газов. Работы в области измерений скорости и расхода жидкостей и газов велись в трех направлениях: по созданию методов измерения скоростей и расхода, по разработке приборов, в том числе образцовых, и по разработке ряда нормативных документов.

а) Образцовые приборы для измерения скорости потока воздуха. В 1936 г. были изготовлены три пневмометрические трубки образца NPL для измерения скорости воздуха. Трубки изготовлены из нержавеющей стали, по возможности одинаковыми. Проведенное в 1938 г. многократное взаимное сличение их между собой установило, что разность коэффициентов не превышала 0,001 [29].

В 1954 г. было проведено исследование этих трубок при скоростях до 50 *м/сек* двумя абсолютными методами — с помощью ротативной машины и в аэродинамической трубе [30].

Для воспроизведения скоростей воздушного потока во ВНИИМ была создана замкнутая аэродинамическая труба с открытой рабочей частью. Диаметр рабочей части — 0,5 *м*. Диапазон изменения скорости — от 3 до 60 *м/сек*.

Для воспроизведения малых скоростей воздуха от 0,02 до 15 *м/сек* была создана ротативная машина, которая состоит из вращающейся вокруг вертикальной оси стрелы длиною 2,5 *м*, электромотора и редуктора. На конце стрелы крепятся испытуемые приборы. Для уменьшения влияния «спутного» потока имеются особые защитные устройства.

Коэффициенты образцовых трубок в аэродинамической трубе были определены абсолютным методом «ионного облачка». Метод заключается в следующем. В потоке устанавливаются электроды искрового разрядника и два приемника. При искровом разряде образуются ионы («ионное облачко»). «Облачко» уносится потоком и в момент прохождения у приемников оказывает на последние электрическое воздействие. Появляются импульсы, которые после усиления фиксируются на ленте магнитоэлектрического осциллографа. Одновременно на ленте наносится сигнал частоты 1000 *гц* от эталонных генераторов ВНИИМ. Общий вид установки для измерения скорости и определения коэффициентов показан на рис. 6. Установка включает следующие элементы: искровой разрядник *1* с электродами *2*, первый и второй приемники *4*, усилители звуковой частоты *6*, магнитоэлектрический *7* и электронный *8* осциллографы, координатник *5* для измерения расстояния между приемниками в потоке, скоростную трубку *3* и микроманометр *9*. Электроды искрового разрядника

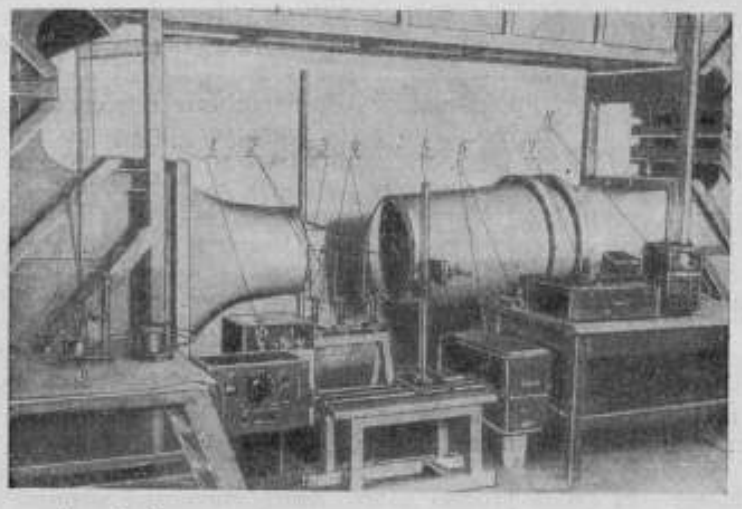


Рис. 6. Установка для измерения скоростей потоков.

и приемника укреплены на обтекаемых стойках и установлены в рабочей части потока аэродинамической трубы. Методом «ионного облачка» проведены измерения скоростей воздушного потока от 15 до 50 *м/сек*. Указанные границы измеряемых скоростей не являются пределом применимости метода и могут быть значительно расширены. Коэффициенты трубок найдены с погрешностью, не превышающей 0,1%.

б) Разработка нормативных документов по измерениям расхода жидкостей и газов. Широкое применение в промышленных измерениях расхода жидкостей, пара и газа получил метод с использованием сужающих устройств — диафрагм, сопел и труб Вентури. Еще в 1938 г. для обеспечения единства этих измерений и расчетов сужающих устройств были разработаны общесоюзные нормативные документы — Правила 169 [31].

В 1950—1951 гг. в МГИМИП были проведены большие теоретические исследования метода измерения расхода с помощью сужающих устройств, в которых использован накопленный опыт работы в промышленности по применению Правил 169 и результаты новейших экспериментальных исследований. В итоге проведенной работы издан проект новой инструкции [32] по измерениям расходов. Материалы, собранные в дальнейшем в виде отзывов различных организаций, и дополнительные исследования позволили разработать и издать в 1955 г. новые правила по измерениям расходов жидкостей и газов [33].

в) Метод прививки. Измерение расхода жидкости или газа по методу прививки основано на измерении концентрации некоторого вещества после его введения в измеряемый поток. Этот метод отличается тем, что может быть применен для практически сколь угодно больших расходов и как для открытых, так и закрытых потоков.

В 1939 г. производились исследования метода применительно к измерению расхода воды [34, 35]. Основные работы по измерениям этим методом сводятся к определению концентраций. Были исследованы химический метод определения концентрации и электрический — потенциометрическое титрование. Измерение расходов воды осуществлялось на лабораторной установке в трубе диаметром 100 *мм*. Расходы воды составляли около 45 $м^3/час$. Результаты измерения методом прививки проверялись объемным методом. Получены расхождения в пределах до 1%. Найдено, что количество вводимой соли должно быть таким, чтобы ее концентрация после перемешивания составляла 0,05 *г/л*. При меньших количествах соли сильно возрастают погрешности измерения от неточного определения концентрации, бо́льшие количества нежелательны из-за засаливания воды. Менее трудоемким и дающим ту же точность является потенциометрический метод титрования.

В 1952—1953 гг. производилось исследование метода прививки для измерения расхода воздуха. В качестве прививаемого вещества была выбрана углекислота. Для расходов до 6 $м^3/час$ метод проверен с помощью газового мерника 2-го разряда, для расходов до 120 $м^3/час$ — с помощью различных косвенных методов. Определение концентрации углекислоты производилось химическими способами. Опыты показали, что концентрация углекислоты в потоке после перемешивания должна быть не ниже 1%, тогда погрешность измерения расхода воздуха не превышает 2%.

г) Автоматический мерный бак ВНИИМ. В 1940 г. был создан автоматический водомерный бак для исследовательских и поверочных работ по измерениям количеств и расходов воды. Модернизация и исследование его были закончены в 1951 г. [36]. Преимуществами автоматического мерного бака являются примерно в четыре раза меньший, чем у обычного бака той же производительности объем и возможность вести измерения сколь угодно долго. Автоматический мерный бак представляет собой цилиндрический вертикально стоящий сосуд, высотой 0,9 *м* и диаметром 0,72 *м*, разделенный плоской перегородкой на две камеры емкостью 0,12 $м^3$ каждая. Автоматическое устройство направляет воду попеременно то в первую, то во вторую камеру.

Автоматический бак установлен над мерным баком емкостью в 2,5 $м^3$, в котором помещается вода, измеренная за 10 циклов работы автоматического бака. Общая погрешность автоматического бака не превосходит 0,2%. Верхний предел измерения по расходу составляет 28,4 $м^3/час$ при общей емкости бака 0,24 $м^3$.

д) Прибор для определения количества жидкости в резервуарах. В 1951—1954 гг. в МГИМИП был разработан и исследован прибор для дистанционного измерения веса нефтепродуктов в стационарных вертикальных резервуарах с погрешностью 0,5% [37].

Действие прибора основано на измерении давления воздуха, необходимого для полного вытеснения жидкости из вертикально опущенной в резервуар трубки. В качестве измерителя давления применен поршневой манометр с неуплотненным поршнем. Прибор прошел испытание на Выхинской нефтебазе. Он может быть применен и для горизонтальных цилиндрических резервуаров и для любых жидкостей. В частности, он был установлен на Мосхладкомбинате для измерения количества молочной смеси.

е) Исследование ротаметров. В 1951—1952 гг. в МГИМИП в содружестве с заводом «Манометр» были произведены широкие теоре-

тические и экспериментальные работы по разработке методов градуировки ротаметров. Разработаны три метода градуировки. Теоретическое решение задачи о градуировке и поверке ротаметров было получено на основании теории подобия для потоков жидкости. Завершением работ является проект инструкции по поверке и градуировке ротаметров [38].

ж) Исследование счетчиков жидкостей объемного типа. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование счетчиков жидкостей объемного типа, позволившее получить зависимости между основными конструктивными параметрами прибора и погрешностями во всем диапазоне измерения [39]. Установлены оптимальные условия для выбора материала рабочих элементов счетчиков и величин зазоров между этими элементами, при которых получаются наименьшие погрешности от изменения температуры измеряемой жидкости.

з) Исследование расходомеров постоянного перепада. В 1952—1954 гг. в ХГИМИП производились исследования расходомеров постоянного перепада. Эти исследования показали, что если поток жидкости в приборе будет симметричным относительно поршня прибора, то почти устраняется трение поршня о направляющие стенки цилиндра и прибор в этом случае обладает высокой чувствительностью и постоянством показаний, причем постоянство его показаний остается одинаковым у верхнего и у нижнего пределов измерений. Отклонение расхода от среднего его значения при постоянном положении поршня не превышает 0,1%.

5. Измерение твердости. Работы по измерению твердости развернуты в лаборатории механических измерений с конца 30-х годов. Первой из них явилось создание исходной образцовой установки с непосредственным нагружением до 3000 *кгс*, для воспроизведения единицы твердости по методу Бринеля. Погрешность измерения твердости с помощью этой установки не превышает 1,5%.

В послевоенные годы были созданы исходные наборы мер твердости, охватывающие шкалы Роквелла. Эти наборы были получены путем экспериментального исследования мер твердости, применяемых на ряде отечественных заводов и поставляемых иностранными фирмами. Создание первых исходных наборов, а также упомянутой образцовой установки сыграло существенную роль в обеспечении единства измерений твердости в стране, несмотря на то, что они охватывали далеко не все шкалы.

К 1954 г. были вторично созданы исходные наборы мер твердости по Роквеллу, а также вновь созданы исходные наборы по Викерсу и Супер-Роквеллу. С этой целью были отобраны и подвергнуты исчерпывающему экспериментальному исследованию несколько технических твердомеров. Кроме того, были изучены геометрические параметры нескольких отобранных алмазных наконечников. Эти приборы и наконечники были затем применены для градуировки мер твердости, вошедших в исходные наборы. Каждый из полученных, таким образом, исходных наборов содержит следующие меры:

а) по Роквеллу — семь мер с диапазонами твердости:

H_{R_C} 66—67; 61—63; 45—48; 27—29;
H_{R_A} 74—75 и 82—83;
H_{R_B} 89—91.

Предельная погрешность мер набора не превышает 0,3 ед. H_R.

б) по Супер-Роквеллу — шесть мер с диапазонами твердости:

$H_{R_{N15}}$ 88—92 и 74—78;
$H_{R_{N30}}$ 79—83; 60—64 и 42—46;
$H_{R_{N45}}$ 44—50.

Предельная погрешность мер не превышает 0,5 ед. H_{R_N}.

в) по Викерсу — шесть мер с твердостью H_D 400—450, градуирован-

ных при нагрузках 5, 10, 20, 30, 50 и 100 *кгс*. Предельная погрешность мер не превышает 2%.

В настоящее время проведены работы по созданию образцовых приборов твердости по Роквеллу (и Супер-Роквеллу) и Викерсу. Конструкция этих образцовых приборов значительно отличается от обычно применяемых технических приборов. Важнейшими особенностями образцовых приборов являются: непосредственное нагружение наконечника; применение достаточно точных современных оптических отсчетных устройств; автоматизация процесса вдавливания, исключающая субъективные ошибки наблюдателя; повышение жесткости отдельных частей прибора и другие менее существенные отличия.

Особое место заняли работы по созданию алмазных пирамид для метода Викерса, имеющих геометрические параметры, возможно близкие к заданным по ГОСТ номинальным значениям, и стандартную чистоту поверхности. В результате получены алмазные пирамиды с погрешностью угла, не превышающей 2′ при полном отсутствии гребня у вершин и при чистоте поверхности граней по 13-му классу. Создаваемые в настоящее время алмазные конусы для метода Роквелла должны будут удовлетворять тем же требованиям.

Измерения, произведенные описанными образцовыми приборами, позволили повысить точность измерения твердости в два раза.

Создание исходных наборов мер твердости и образцовой аппаратуры дало возможность разработать и реально осуществить первую поверочную схему, в соответствии с которой производится передача единиц твердости от исходных наборов в промышленность.

В области измерений твердости проведен ряд метрологических исследований. По вопросам, касающимся методов измерения твердости, выполнена работа, дающая сравнительный метрологический анализ методов, основанных на статическом вдавливании наконечника, позволяющий судить о недостатках и преимуществах каждого из этих методов [40].

Этому же вопросу посвящена другая работа, в которой предложено распространить метод двух нагрузок (Роквелла) на наконечники любой формы [41].

Позднее, в 1952 г. была выполнена работа по воспроизведению и хранению шкал твердости. Было предложено для этой цели установить реперные точки, осуществляемые путем создания групп специальных мер твердости.

Велись работы по исследованию процесса вдавливания шарика и конуса. Одна из этих работ дает анализ процесса деформации металлов при вдавливании шарика [42]. Автор приходит к выводу, что механические свойства металлов вполне определяются пятью независимыми константами — двумя константами упругости, двумя константами пластичности и одной константой прочности. Рассмотрен вопрос установления связи между константами упругости и пластичности, а также возможность установления инвариантов механических свойств металлов, сохраняющих свои значения при изменениях степени наклепа и температуры. Сформулирован закон подобия пластических деформаций геометрически подобных тел, изготовленных из различных металлов.

В другой работе предложен метод определения параметров пластичности металлов путем вдавливания двух конусов с разными телесными углами [43]. Получена формула, связывающая между собой нагрузку, диаметр отпечатка и два параметра пластичности.

В 1951 г. было теоретически исследовано влияние геометрических параметров конического, шарикового и пирамидального наконечников на получаемые числа твердости и предложены соответствующие формулы зависимости.

В 1955 г. путем изучения геометрических параметров большой группы реальных наконечников были получены экспериментальные данные о влиянии изменений параметров на значения твердости по Роквеллу. В 1957 г. эти материалы метрологически обработаны. Они подтвердили предыдущие исследования, однако полученные величины оказались несколько меньше теоретических.

Предложен метод исследования формы наконечников при помощи тончайших колец из частиц металла, нанесенных на коническую поверхность наконечника и расположенных в плоскостях, перпендикулярных его оси, рассматривая которые можно судить о правильности формы конуса [44].

Были проведены метрологические исследования также в области измерения микротвердости, в которых исследованы существующие приборы, проведена оценка точности метода и разработаны оптимальные условия для измерения микротвердости. Эти исследования в дальнейшем позволили создать образцовый прибор микротвердости [45].

В 1949 г. было выполнено исследование методов измерения твердости резины [46]. В работе дан анализ различий процессов деформации металлов и резины при определении твердости вдавливанием. Исследована зависимость между твердостью и другими механическими характеристиками резины, определены погрешности приборов Шора, стандартизованных в СССР, и сформулированы требования к рациональной методике измерений.

В области организации поверочного дела за последние годы в ряде городов страны открыты 7 градуировочных пунктов, работающих под контролем ВНИИМ. Назначение этих пунктов — градуировка образцовых мер твердости 2-го разряда, применяемых для поверки твердомеров в промышленности.

Дальнейшие исследования должны вестись в направлении совершенствования техники измерений твердости и поддержания единства измерений в СССР. Сюда относятся следующие вопросы:

а) унификация существующих методов измерения твердости;

б) изыскание наиболее совершенных материалов для изготовления наконечников;

в) разработка метода воспроизведения шкал твердости на основе реперных точек;

г) разработка методов поверки твердомеров, не требующих применения мер твердости — брусков.

В области теоретических исследований важнейшую проблему представляет исследование зависимости между условными числами твердости и механическими характеристиками материалов.

6. Измерения линейных и угловых скоростей и ускорений. В 1914 г. в лаборатории времени ВНИИМ впервые была организована поверка тахометров; несколько позже отдельные работы в области виброметрии проводила акустическая лаборатория, определяя частоту собственных колебаний деталей машин. В аэрогидродинамической лаборатории производились исследования по регистрации вибраций.

К 1939 г. задачи в области измерения скоростей и ускорений, в частности как характеристик вибраций, выросли настолько, что потребовалось создание специальной лаборатории скоростей и ускорений, в которой предполагалось объединить, систематизировать и развить накопленный другими лабораториями опыт в этой области измерений. Лаборатория начала свою деятельность с создания образцовых установок для измерения скоростей и ускорений. Начавшаяся в 1941 г. война прервала деятельность этой лаборатории.

Возобновление работ лаборатории относится к 1953 г. К этому моменту в стране появилось много отечественных и иностранных приборов, измеряющих параметры вибраций. Все эти приборы давали разноречивые показания. Поэтому основной задачей лаборатории явилось измерение параметров вибраций. В план лаборатории было включено создание ряда образцовых установок, обеспечивающих поверку виброметров и вибрографов в диапазоне частот от 0 до 10 000 *гц* с пределами максимальных ускорений до 25 *g*.

В 1954 г. были начаты работы по разработке и изготовлению виброплатформы на частоты 10 ÷ 50 *гц*, амплитуды до 2,5 *мм*, грузоподъемностью 75 *кг*, и виброплатформы на частоты 50 ÷ 300 *гц*, грузоподъемностью 500 *г*, с ускорением до 5 *g*. В первой установке вибрации создавались вращающимися в разные стороны неуравновешенными грузами, а во второй — применен электродинамический принцип создания вибрации. В обеих установках отсчетные устройства допускают измерения амплитуд с погрешностью, не превышающей 0,001 *мм*. В данное время изготовление этих установок закончено и на них производится опытная поверка виброметров.

Одновременно лаборатория разработала и изготовила еще три установки: первая установка предназначена для диапазона частот от 300 до 2000 *гц*, ее грузоподъемность достигает 5 *кгс* и максимальное ускорение — 25 *g*, вторая — от 2000 до 10 000 *гц*, грузоподъемность — 5 *кгс* и максимальное ускорение — 25 *g* и третья, поворотная, установка со сменными колебательными системами, имеющая два диапазона частот, а именно, 50 ÷ 300 *гц* и 0 ÷ 10 *гц*; максимальное ускорение на диапазон частот 50÷300 *гц* составляет 25 *g*, грузоподъемность — 5 *кгс*. Во всех этих установках вибрации создаются электродинамическим способом. Низкие частоты колебаний от 0 до 10 *гц* получаются как биения при наложении двух частот — 50 *гц* и близкой к 50 *гц*. От силовой сети ток 50 *гц* подается на систему подмагничивания, а ток частоты, близкой к 50 *гц*,—на обмотки подвижной катушки. Изменение частоты колебаний виброплатформы достигается изменением частоты тока, поданного на подвижную катушку. Отсчет амплитуды высокочастотных виброустановок производится относительным методом с помощью индукционных и титанатобариевых датчиков, предварительно проградуированных асболютным интерференционным методом. В настоящее время эти три установки изготовлены и производится их налаживание и исследование.

Таким образом, к концу 1957 г. лаборатория получит возможность производить поверку виброметрической аппаратуры в широком диапазоне частот от 0 до 10 000 *гц* различных весовых категорий и при различных ускорениях в пределах до 25 *g*.

Вследствие того, что работа вибрационных установок может оказывать мешающее действие на проводимые в институте точные измерения, а также для того, чтобы защититься от сторонних помех и трясок при собственных точных измерениях вибраций, лабораторией был разработан, сконструирован и изготовлен специальный виброгасящий фундамент, представляющий собой железобетонный монолит весом 26 *т*, покоящийся на системе пружин, на поверхности которого расположены виброметрические установки.

В области измерения скоростей лаборатория в настоящее время работает над созданием установки, создающей и измеряющей угловые скорости до 60 000 об/мин. с погрешностью, не превышающей 0,01%. Эта работа будет закончена в 1958 г.

В дальнейшем лаборатория намечает ведение работ в области вибраций в направлении измерения вибраций при больших ускорениях, доходящих до 100 *g*, и освоение поверки различной виброметрической аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Индрик П. В., канд. дисс., ВНИИМ, 1954.
2. Долинский Е. Ф., Ж. Т. Ф., т. 1, вып. 8, 1931.
3. Часовников А. А. и Белик Н. И., Труды ВНИИМ, вып. 20(36), 1939.
4. Белик Н. И., Труды ВНИИМ, вып. 2(44), 1940.
5. Белик Н. И., Микроманометры, Гос. Изд. техн. лит. УССР, 1953.
6. Степанов Л. П., Труды ВНИИМ, вып. 22(82), 1954.
7. Дрига М. И., «Измерительная техника», № 5, 1955.
8. Дрига М. И., Научная сессия, посвященная итогам работ в 1954 г. (тезисы докладов), Л., 1955, стр. 16.
9. Дрига М. И., Научная сессия, посвященная итогам работ за 1955 г. (краткое содержание докладов), Л., 1956, стр. 27.
10. Дрига М. И., Научная сессия, посвященная итогам работ за 1956 г. (краткое содержание докладов), Л., 1957, стр. 56.
11. Халфин Э. П., Труды ВНИИМ, вып. 5(60), 1947.
12. Чесноков Н. А., Труды ВНИИМ, вып. 19(79), 1952.
13. Маляров Г. А., канд. дисс., ВНИИМ, 1955.
14. Труды МГИМИП, вып. 1, Механические измерения, М., 1950.
15. Токарь Н. Г., канд. дисс., ВНИИМ, 1950.
16. Граменицкий В. Н., Информационный листок № 128, ВНИИК, 1957.
17. Жоховский М. К., докт. дисс., ВНИИМ, 1952.
18. Симойлов Н. В., канд. дисс., ВНИИМ, 1952.
19. Жоховский М. К., «Измерительная техника», № 5, 1955.
20. Разумихин В. Н., канд. дисс., ВНИИМ, 1953; «Измерительная техника», № 4, 1956.
21. Золотых Е. В., канд. дисс., 1951; Труды МГИМИП, механические измерения, вып. 1, 1950.
22. Долинский Е. Ф. и Бурневский А. С., Труды ВНИИМ, вып. 20(36), 1939.
23. Долинский Е. Ф., Труды ВНИИМ, вып. 2(44), 1940.
24. Степанов Л. П., канд. дисс., ВНИИМ, 1955.
25. Чесноков Н. А. и Индрик А. Н., Труды ВНИИМ, вып. 22(28), 1954.
26. Иванов А. А., Абсолютные определения напряжения силы тяжести в Главной Палате мер и весов в С.-Петербурге при помощи маятников, Временник Главной Палаты мер и весов, ч. 11, 1915.
27. Агалецкий П. Н. и Егоров К. Н., «Измерительная техника», № 6, 1956, стр. 29.
28. Марцинняк А. М., «Измерительная техника», № 5, 1956, стр. 11.
29. Часовников А. А., Труды ВНИИМ, вып. 1(61), 1948.
30. Педан М. С., канд. дисс., ВНИИМ, 1955.
31. Правила 169 по измерению расхода жидкостей, газов и пара при помощи сопел и диафрагмы и руководящие указания к правилам 169, Изд. Главного Управления мер и весов, НКВД СССР, 1938.
32. Инструкция для поверки дифманометров-расходомеров, работающих в комплекте с диафрагмами и соплами (проект), Изд. Комитета по делам мер и измерительных приборов при СМ СССР, 1952.
33. Правила 27—54 по применению и поверке расходомеров с нормальными диафрагмами, соплами и трубами Вентури, Изд. Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР, 1955.
34. Рубец Л. А., Труды ВНИИМ, вып. 2(44), 1940.
35. Рубец Л. А., Труды ВНИИМ, вып. 1(61), 1948, стр. 62—76, 77—90.
36. Жуков В. И., Степанов Л. П. и Часовников А. А., Труды ВНИИМ, вып. 19(79), 1952, стр. 77.
37. Проект инструкции по поверке и градуировке ротаметров, под редакцией А. И. Петрова, Изд. Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР, 1953.
38. Петров А. И., канд. дисс. ВНИИМ, 1947.
39. Смолич С. А., канд. дисс., ВНИИМ, 1948.
40. Рокицкий В. Е., канд. дисс., ВНИИМ, 1950.
41. Зайцев Г. П., докт. дисс., ВНИИМ, 1949.
42. Зайцев Г. П. и Смолич С. А., «Заводская лаборатория», № 4, 1950.
43. Гидель А. Ю., «Измерительная техника», № 3, 1957.
44. Славина Н. П., канд. дисс., ВНИИМ, 1949.
45. Израэлит Г. Ш. канд. дисс., ВНИИМ, 1949.

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Е. Г. ШРАМКОВ (руководитель отдела электрических и магнитных измерений), С. В. ГОРБАЦЕВИЧ, А. К. КОЛОСОВ, И. Н. КРОТКОВ, Т. Б. РОЖДЕСТВЕНСКАЯ, К. П. ШИРОКОВ, Е. Т. ЧЕРНЫШЕВ, Б. М. ЯНОВСКИЙ

1. Введение. Начало метрологических работ в области электрических измерений в России относится к 1900 г., когда в Главной Палате мер и весов было открыто электрическое отделение. Развитие электротехники в конце XIX столетия привело к широкому практическому применению электрических устройств, что вызвало необходимость контроля за производством и потреблением электрической энергии и потребовало обеспечения правильности электрических измерений. Однако первоначальные задачи электрического отделения ограничивались только поверкой и испытанием счетчиков электрической энергии и частично других электроизмерительных приборов. В этот период Главная Палата не располагала еще собственными электрическими эталонами и в своих работах использовала в качестве образцовых мер катушки электрического сопротивления и нормальные элементы, аттестованные в иностранных метрологических учреждениях.

В 1909 г., после решений Лондонской Международной конференции по электрическим единицам и эталонам (1908 г.) и принятия ею спецификации для осуществления эталонов международных электрических единиц (ома, ампера и вольта), в Главной Палате были начаты работы по созданию ртутных эталонов международного ома. Работы эти были успешно завершены в 1913 г. [1]. К этому времени эталоны ома были изготовлены также в Англии, США и Японии. Проведенные взаимные международные сличения ртутных эталонов вышеуказанных четырех стран с помощью манганиновых катушек сопротивления дали прекрасные результаты. Различие между значениями сопротивления эталонов России и других стран, осуществивших эталоны ома, не превышало $5 \cdot 10^{-4}\%$.

К тому же периоду относятся первые работы по изготовлению нормальных элементов, начатые в специально организованной в 1909 г. лаборатории по изготовлению нормальных элементов, а также работы с серебряным вольтаметром, позволившие при помощи ртутных эталонов ома осуществить эталон международного вольта в виде группы нормальных элементов. Однако достаточного опыта по приготовлению нормальных элементов в Главной Палате тогда еще не было, и эталон вольта был создан в виде группы нормальных элементов, часть которых была приготовлена в Англии, в Национальной физической лаборатории. С этого времени хранение единицы э. д. с. осуществлялось посредством двух эталонных нормальных элементов и группы из 24 элементов. Эта группа служила для взаимного контроля постоянства э. д. с. эталонных элементов и элементов группы. Э. д. с. всех нормальных элементов была определена в Главной Палате с помощью серебряного вольтаметра.

В результате этих работ была создана метрологическая база в России в виде эталонов сопротивления и э. д. с., воспроизводивших принятые в то время международные единицы.

Особенно широкое развитие метрологические работы в нашей стране получили после Великой Октябрьской социалистической революции, когда поддержание единства измерений стало задачей государственной важности. Становление и последующее развитие всего народного хозяйства страны, в том числе энергетики и электропромышленности, создание собственного электроприборостроения, не существовавшего в дореволюционной России, потребовали от метрологических и поверочных органов Советского Союза решения большого числа сложных вопросов, связанных с поддержанием на требуемом уровне единства измерений в стране. Наличие первичных эталонов единиц сопротивления и э. д. с. было еще далеко не достаточным. Требовалось разработать научно обоснованную и удобную для практики систему передачи размеров этих единиц от эталонов рабочим мерам и приборам, располагающую соответствующими материальными средствами в виде рабочих эталонов, образцовых мер и образцовой поверочной аппаратуры.

Предпосылки для решения этих задач были созданы утверждением Советом труда и обороны в 1922 г. первого при советской власти Положения о Главной Палате мер и весов, а затем введением Положения о мерах и весах, утвержденного в 1924 г. постановлением ЦИК и СНК Союза ССР. С 1924 г. лаборатории Главной Палаты пополняются совершенными измерительными установками и приборами. В составе электрического отделения организуются новые лаборатории. Основной лабораторией этого отделения в то время являлась эталонная электрическая лаборатория с отделением нормальных элементов, в задачи которой входило осуществление и хранение эталонов, их международные сличения и передача единиц образцовым мерам. Разработка методов поверки и аппаратуры, необходимой для широкой организации поверочных работ, а также испытание новых типов электроизмерительных приборов были возложены на три другие лаборатории отделения: лаборатории постоянного тока, переменного тока и технологии электроизмерительных приборов. На магнитную лабораторию, созданную в 1918 г., в первый период возлагались разработка методов испытаний и проведение самих испытаний магнитных материалов, применяемых и осваиваемых электротехнической промышленностью (листовой электротехнической стали, постоянных магнитов и т. д.).

Естественно, что с течением времени, в процессе решения одних задач и возникновения новых, тематика и структура лабораторий постепенно видоизменялись.

За период с 1924 по 1941 г. в электрических лабораториях был проведен большой цикл работ, позволивших СССР принять участие в международной метрологической работе наравне с передовыми капиталистическими странами, а также удовлетворить наиболее существенные запросы народного хозяйства в отношении организации поверки и испытания электроизмерительных приборов.

Широта и объем метрологических и поверочных работ обусловили организацию в 1932 г. метрологических институтов в Москве (МГИМИП) и Харькове (ХГИМИП). В этих институтах были созданы электроизмерительные лаборатории, которые по единому плану выполняют метрологические работы.

Начавшаяся в 1941 г. Великая Отечественная война вызвала необходимость эвакуировать основную часть персонала и оборудования ВНИИМ в г. Свердловск, где в 1942 г. был организован филиал ВНИИМ.

В 1943 г. был организован Новосибирский институт мер и измерительных приборов, сыгравший значительную роль в метрологическом обслуживании Сибири, Средней Азии и Дальнего Востока.

Кроме работ общеметрологического характера, связанных с хранением образцовых мер и обеспечением единства измерений на подведомственной

территории, в каждом из институтов Комитета ведутся исследовательские метрологические работы, связанные с развитием промышленности экономического района, обслуживаемого институтом. В частности, например, в Свердловском филиале ВНИИМ, расположенном в центре черной и цветной металлургии, ведутся исследовательские работы по точным измерениям больших постоянных и переменных токов (применяемых на металлургических заводах), а также по методике испытаний магнитных материалов.

В 1945 г. персонал и оборудование лабораторий ВНИИМ были возвращены в Ленинград, и нормальная работа лабораторий быстро восстановилась.

Наибольшее значение имели начатые еще перед войной работы по созданию эталонов электрических единиц в абсолютной мере. До 1948 г. в СССР, так же как и в других странах, применялись международные электрические единицы, воспроизводимые эталонами, осуществленными по принятым спецификациям. В 1946 г. с участием представителей СССР было подписано соглашение о переходе с 1 января 1948 г. от международных электрических единиц к абсолютным практическим единицам, производным от электромагнитной системы СГС. Этот переход, осуществленный и в СССР, представлял не только юридический акт, узаконивающий новые единицы. Необходимо было создать новые эталоны, воспроизводившие электрические единицы, определенные абсолютными методами через длину, массу и время с предельно высокой точностью, достижимой при современном состоянии науки и техники.

Ниже рассмотрены основные результаты научно-исследовательских работ институтов в области электрических и магнитных измерений.

2. Эталоны и образцовые меры единицы электрического сопротивления и методы их сличения. Развитие техники измерения электрического сопротивления и необходимость повышения точности передачи верных значений единицы сопротивления привели к возникновению обширной группы образцовых мер и приборов сопротивления (катушек сопротивления, мостов, магазинов, компенсаторов и др.).

До 1948 г. все электрические измерения производились на основе международной системы единиц, и воспроизведение единицы сопротивления — международного ома — осуществлялось с помощью ртутных образцов. Значение единицы сопротивления передавалось двум одноомным катушкам № 4044 и 4046, которые представляли собой групповой эталон. С 1928 г. (когда были произведены последние сравнения этих катушек с ртутными образцами) и до 1936 г. значение ома СССР определялось по среднему значению сопротивления этих катушек.

Однако по мере накопления результатов сличений выяснилось, что стабильность этих катушек недостаточно высока, в связи с чем в Главной Палате мер и весов были предприняты исследования, которые в 1932 г. завершились созданием одноомных катушек конструкции М. Ф. Маликова [2]. При разработке катушек ставилась задача обеспечить при измерениях наилучший тепловой режим и защитить элемент сопротивления от вредных влияний окружающей среды. Для этого элемент сопротивления помещался в узком зазоре между металлическим (медным или алюминиевым) цилиндром и плотно навинченным на него металлическим кожухом. В центре цилиндра предусмотрено отверстие для помещения термометра. Внешний вид катушки представлен на рис. 1.

Две таких катушки (№ 6 и 8) были включены в состав первичного группового эталона ома СССР, который и по настоящее время состоит из указанных четырех катушек.

Не менее существенным вопросом, чем воспроизведение и хранение ома, является передача его значения мерам с кратными и дольными значениями ома. Для обеспечения требуемой точности этой передачи бы-

ли созданы групповые рабочие эталоны кратных и дольных значений от 0,01 до 100 000 *ом* [3], для определения действительных значений которых потребовалось разработать специальные переходные катушки (для образования суммы и отношения). Общий вид одной из суммирующих переходных катушек показан на рис. 2.

Поддержание единицы сопротивления СССР обеспечивается с высокой точностью, и за период с 1936 г. по настоящее время колебания значения единицы не превысили $3 \cdot 10^{-6}$. Взаимные сличения эталонных катушек производятся с весьма высокой точностью, характеризуемой относительной вероятной погрешностью, не превышающей $4 \cdot 10^{-7}$.

Завершению работ по эталонам сопротивления предшествовало всестороннее изучение переходных катушек и уточнение методики измерений

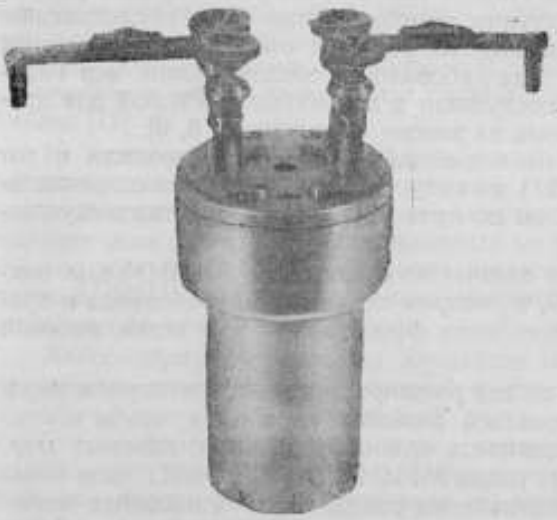


Рис. 1. Общий вид катушки сопротивления в 1 *ом*, конструкции М. Ф. Маликова

Рис. 2. Переходная катушка сопротивления

на мостовых, компенсационных и дифференциальных установках, позволившее обеспечить минимальное накопление погрешностей, которые на самом высшем пределе (для 100 000 *ом*) оцениваются относительной величиной порядка $(2 \div 3) \cdot 10^{-}$ [4, 5].

В дальнейшем рабочие эталоны были пополнены эталоном в 0,001 *ом*, и были разработаны методы передачи его значения образцовой мере 1-го разряда в 0,0001 *ом*.

Расширение диапазона измерения сопротивлений и создание промышленных образцов мер и приборов, пределы измерения которых значительно превышают 10^5 *ом*, потребовали разработки методов передачи значения единицы сопротивления в сторону больших величин. Для этой цели созданы специальные герметизированные переходные меры сопротивления со значениями 10×10^5 *ом* и 10×10^6 *ом* [6].

В табл. 1 приведены сравнительные данные сличений эталонов сопротивления в Международном Бюро мер и весов за период с 1939 по 1955 г., которые свидетельствуют о высокой степени сохранности эталона сопротивления СССР.

Таблица 1

Наименование страны	Величина отклонений в *мком* значений национальных эталонов от международного значения			
	1939 г.	1948 г.	1953 г.	1955 г.
СССР	+0,8	+3,9	+0,8	+2,0
Англия	—6,5	—1,7	—4,1	—3,2
ГДР	—	—	+26,0	+21,1
Канада	—	—	—4,8	—5,2
США	—3,2	—2,3	—0,2	0,0
Франция	+3,7	+4,3	—5,0	—6,3
ФРГ	+9,1	+14	+6,2	+2,0
Япония	—14,4	—21,0	—1,0	—0,2

С 1928—1929 гг. в Главной Палате мер и весов развернулись работы по созданию отечественных катушек сопротивления и по исследованию технологии старения манганина. Первые образцы отечественных катушек были выпущены в 1930 г. в стенах лаборатории электрических мер Главной Палаты мер и весов. Они послужили в дальнейшем основой для производства катушек сопротивления на заводе «Эталон» [7, 8, 9].

Результаты многолетних исследований ВНИИМ позволили в тот же период разработать ОСТ 7271 на катушки электрического сопротивления, что явилось крупным шагом по пути улучшения качества выпускаемых катушек.

По мере накопления новых данных по инициативе ВНИИМ был подготовлен новый ОСТ 85001—39, в котором технические требования и требования к точности мер сопротивления фиксировали уже более высокий уровень.

Задачи ВНИИМ, в связи со все расширявшимся применением мер и приборов сопротивления, становились слишком сложными, чтобы можно было из одного центра поддерживать единообразие применяемых мер. В связи с этим еще в тридцатых годах МГИМИП и ХГИМИП были оснащены изучеными мерами сопротивления различных номинальных значений, которые ежегодно сличаются с эталоном ома ВНИИМ. В дальнейшем (1942—1944 гг.) наборами мер сопротивления были оснащены Свердловский филиал ВНИИМ и НГИМИП.

Изучение наборов образцовых мер в указанных институтах, особенно в МГИМИП, где осуществлен новый метод сличения мер во всем диапазоне их значений [10], позволяет судить о ежегодных изменениях образцовых мер, при помощи которых определяются значения всех рабочих катушек, применяемых в народном хозяйстве.

С целью улучшения качества мер сопротивления, в 1954 г. был разработан ГОСТ 6864—54, в котором сформулированы более высокие требования к важнейшим характеристикам катушек сопротивления. В связи с этим во ВНИИМ в последние годы были возобновлены работы по изучению стабильности мер, причем они проводятся совместно с другими предприятиями и учреждениями (Краснодарским заводом, НИИ кабельной промышленности, заводом «Эталон» и др.).

3. Эталоны и образцовые меры единицы э. д. с. и методы их сличения. В первые годы после Октябрьской Социалистической революции в электрическом отделении Главной Палаты мер и весов возобновились наблюдения за нормальными элементами (н. э.), которые были прекращены в 1915 г. После накопления данных было установлено, что н. э. не сохраняют постоянными свои свойства и что. э. д. с. эталонных элементов значительно понизилась. В связи с этим в 1922 г. был установлен новый поря-

док хранения эталона вольта СССР посредством группового эталона, для образования которого выбраны 20 наиболее надежных н. э. [11, 14].

В дальнейшем для обеспечения единства измерений в СССР были созданы рабочий эталон и разрядные образцовые меры э. д. с., а для международных сравнений — эталоны копии. ВНИИМ снабжает все институты Комитета образцовыми мерами э. д. с. 1-го разряда, а электрические контрольные лаборатории — мерами э. д. с. 2-го разряда, которые передают значение э. д. с. н. э., применяемым в народном хозяйстве.

В 1922 г. в Главной Палате мер и весов создается лаборатория нормальных элементов, основная задача которой заключается в изучении физико-химических процессов, происходящих в н. э., и в изготовлении этих элементов. В лаборатории были разработаны методы получения предельно чистых ингредиентов н. э. и химически чистых веществ: воды, ртути, амальгамы кадмия, кристаллогидрата сернокислого кадмия, сернокислой закиси ртути.

При исследовании влияния на э. д. с. серной кислоты в электролите н. э. было обнаружено, что в анодной ветви н. э. образуется газ, который вызывает отделение кристаллов сернокислого кадмия от амальгамы, приводившее к размыканию электрической цепи н. э. Это явление, впервые отмеченное в наших н. э., потом было замечено в н. э., привезенных из Англии [12].

На основании большой теоретической и экспериментальной работы была составлена детальная спецификация для изготовления н. э., значительно дополняющая и уточняющая международную спецификацию. Многолетние испытания н. э., изготовленных по этой спецификации, показали, что они имеют хорошую воспроизводимость и стабильность. На основе опыта ВНИИМ было организовано отечественное производство н. э., что позволило прекратить их импорт.

Лабораторией нормальных элементов ВНИИМ было внесено конструктивное изменение классической формы оболочек н. э., состоящее в устройстве перетяжки, отделяющей ртуть от остальной части катодной ветви, благодаря чему уменьшилось перемешивание ингредиентов в катодной ветви, вызывавшее до 80% брака при поверке н. э. Национальное Бюро стандартов (США) произвело аналогичное конструктивное изменение через три года после опубликования работы ВНИИМ. Была предложена также новая форма насыщенного н. э., имеющего концентрически расположенные ветви. Н. э. этой формы по сравнению с н. э. классической (Н-образной) формы имеет ряд преимуществ в смысле портативности и уменьшения числа спаев стеклянной оболочки [13].

По заданию промышленности в лаборатории разработаны методы изготовления ненасыщенных н. э. с малым температурным коэффициентом, применяющихся в автоматических компенсаторах. Эти н. э. были внедрены в заводскую практику. До организации изготовления н. э. на заводах ВНИИМ серийно изготовлял н. э. для снабжения заводских и научно-исследовательских лабораторий; за все время было изготовлено около восьми тысяч н. э. различных типов.

В связи с переходом от системы международных электрических единиц к абсолютной системе МКСА во ВНИИМ (в порядке международного сотрудничества) была произведена работа по определению э. д. с. международного нормального элемента Вестона посредством серебряного вольтаметра. Были разработаны конструкции серебряных вольтаметров, изготовленных на московском заводе «Платиноприбор» и на заводе «Эталон». Этим методом были произведены определения э. д. с. эталонных н. э., по точности не уступающие определениям, выполненным представителями национальных лабораторий Англии, Германии, США и Франции в Национальном Бюро Стандартов (США) в 1910 г. Работа

эта позволила разрешить важную метрологическую проблему — воспроизвести государственный эталон международного вольта [15, 16].

ВНИИМ явился инициатором международных сличений эталонов вольта и на VII Генеральной конференции по мерам и весам в 1927 г. впервые было доложено о результатах сличений эталонов вольта СССР и других государств, произведенных Главной Палатой мер и весов [17]. С тех пор ВНИИМ регулярно принимает участие в международных сравнениях эталонов единицы э. д. с.

В табл. 2 приведены данные международных сличений эталонов э. д. с. за период 1948—1955 гг.

Таблица 2

Наименование страны	Величина отклонений в *мкв* значений национальных эталонов вольта от среднего международного значения			
	1948 г.	1950 г.	1953 г.	1955 г.
СССР	+21,0	+21,0	+22,3	+9,1
Англия	+ 4,6	+ 0,2	+ 3,2	—2,0
ГДР	—	—12,2	— 2,8	+0,5
Канада	—	—	— 3,1	—2,4
США	—8,8	—1,2	— 3,3	—0,7
Франция	—9,4	—2,1	— 1,8	—5,0
ФРГ	—	—	— 2,3	+0,6
Япония	—6,8	—5,5	— 1,4	—0,2

Отклонение значения вольта СССР от среднего международного значения объясняется тем, что значение эталона СССР было изменено в 1948 г. в связи с переходом на абсолютные единицы.

В 1955 г. значение эталона СССР вновь было изменено на основании определений э. д. с. н. э. на токовых весах. Вследствие этого, отклонение, указанное в табл. 2, снизилось до 9,1 *мкв* вместо 22,3 *мкв*, полученных в 1953 г. Стабильность же н. э. СССР была достаточно высокой и не уступает стабильности эталонов других стран.

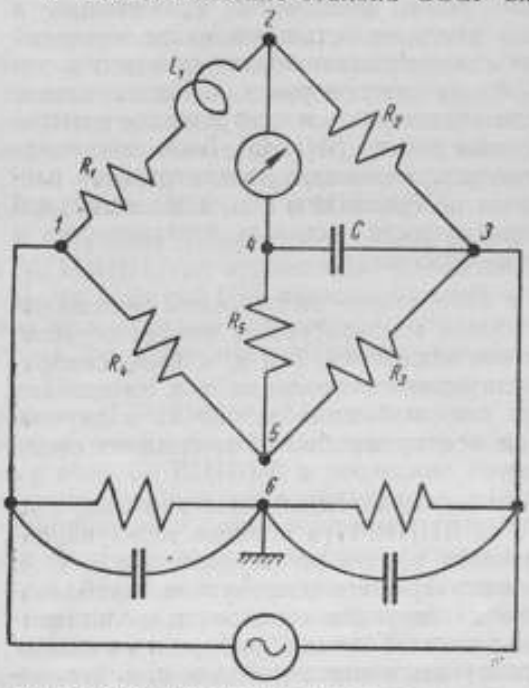


Рис. 3. Схема индуктивно-емкостного моста.

В последние годы во ВНИИМ проводятся исследования н. э. с целью расширения температурной области их применения в направлении как повышения, так и понижения допускаемой температуры. Усовершенствуются также методы измерения э. д. с. и электрического сопротивления н. э. В последнее время разработан компаратор для сравнения н. э., позволивший снизить погрешность сличений от 1 до 0,1 *мкв* [18].

На основе работы лаборатории нормальных элементов составлен ГОСТ 1954—55 на нормальные элементы и инструкция 176—55 по их поверке.

4. Эталоны и образцовые меры единиц индуктивности и емкости и аппаратура для их сличения и поверки. Измерениями индуктивности и емкости метрологические институты СССР начинают заниматься с 1930 г., имея в своем распоряжении лишь незначительное число образцовых конденсаторов и магазинов сопротивления, предназначенных для использования в цепях переменного тока низкой частоты, по преимуществу иностранных фирм. На этой основе создаются мосты индуктивно-емкостного вида (рис. 3), обеспечивающие измерения индуктивности и емкости в диапазоне от 100 *мкгн* до 1 *гн* и от 100 *пф* до 1 *мкф*, с погрешностями порядка 0,05—1%, в зависимости от номинальных значений мер [19, 20].

Одной из особенностей этих схем является наличие вспомогательной симметрирующей ветки (ветка Вагнера). В шестиплечных мостах подобного вида до этого времени симметрирующая ветка не применялась.

Поверка мостов производилась при помощи многослойных катушек индуктивности, разработанных и изготовленных во ВНИИМ в 1936 г. Индуктивность этих катушек рассчитывалась по геометрическим размерам.

Указанная точность измерения параметров электрических цепей не могла удовлетворить запросы промышленных и научных организаций. Наряду с повышением точности требовалось расширить как диапазон измеряемых величин, так и полосу частот переменного тока, при которых производятся эти измерения. А для этого необходимо было создать исходные эталоны единиц индуктивности и емкости, разработать научно обоснованную систему передачи верных размеров этих единиц рабочим мерам и приборам и, на основе разработанных методов измерения, создать образцовые меры и поверочную аппаратуру. Осуществление эталона единицы индуктивности преследовало и другую, весьма важную, цель — использование этого эталона при воспроизведении единицы электрического сопротивления в абсолютной мере (см. ниже «Абсолютные измерения»).

Рис. 4. Общий вид эталонной катушки индуктивности.

После многочисленных кропотливых исследований, в 1952 г. был создан первичный эталон генри в виде группы из четырех катушек индуктивности с номинальными значениями от 0,01 до 0,04 *гн* [21, 22].

Катушки индуктивности (рис. 4) представляют собой каркасы из пирекса или кварца, в виде прямых цилиндров, с однослойными обмотками, размещенными на их внешней поверхности. Обмотки из голой медной проволоки уложены в винтовые канавки, предварительно нанесенные на поверхность каркасов. Для включения катушек в электрическую цепь используются постоянные соединительные проводники (вводы), припаянные серебром к концам обмотки. Основные геометрические размеры катушек (диаметр, высота) измеряются при помощи специальных компара-

торов, путем сравнения с блоками концевых мер ВНИИМ, по нескольким образующим цилиндра не менее чем в 30 точках. Как показывают расчеты, вероятные погрешности определения диаметра и высоты катушек не превышают ±0,3 *мк*.

Значения индуктивности каждой из катушек установлены расчетом по формуле Лоренца для слоя тока, покрывающего поверхность прямого цилиндра, с поправкой Сноу на конечное сечение и спиральность обмотки проволоки [23].

Размер генри определяется средним арифметическим из значений индуктивности отдельных катушек с погрешностью, не превышающей 10^{-3} %.

Повторные измерения основных геометрических размеров катушек предполагается производить периодически, но не чаще, чем раз в 10 лет. В промежутках между измерениями геометрических размеров принимается постулат о постоянстве среднего арфиметического из значений индуктивности отдельных катушек. Для суждении о степени стабильности отдельных катушек в период времени между измерениями геометрических размеров, применяется разработанный во ВНИИМ косвенный метод наблюдения. Он основан на указанном выше положении о постоянстве среднего арифметического из значений индуктивности катушек, и на использовании разностей между значениями, полученными путем прямых взаимных сличений катушек. Сопоставление полученных таким образом значений индуктивности с расчетными значениями индуктивности каждой из катушек позволяет судить о стабильности последних во времени в пределах точности относительных измерений.

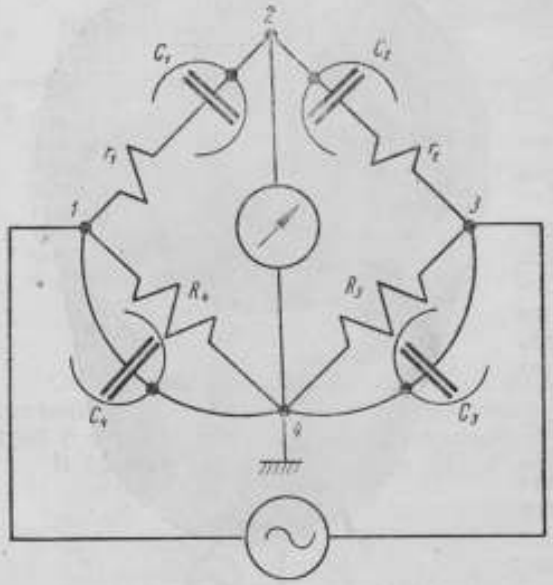


Рис. 5. Схема емкостного моста.

Исследования, проведенные на переменном токе частотой 1000 *гц*, показали, что степень нестабильности отдельных катушек индуктивности не превышает 10^{-3} %, т. е. находится в пределах погрешности измерения.

Воспроизведение единиц индуктивности и сопротивления послужило основой для создания эталона емкости [24] в виде группы из четырех конденсаторов со слюдяным диэлектриком, имеющих номинальное значение емкости 10^5 *пф*. Конденсаторы представляют собой герметизированную и экранированную систему. Электроды получены вакуумным распылением серебра на поверхности тонких слюдяных пластин. Конструкция этих конденсаторов предусматривает возможность их параллельного включения при помощи пружинящих контактов без применения соединительных проводников.

В достаточно широком диапазоне номинальных значений и частот до 10^5 *гц* можно пользоваться арифметическим суммированием емкостей при их параллельном соединении. Возникающая при этом погрешность

не превосходит 10^{-5} от номинального значения. Подобного рода конструкция слюдяных конденсаторов является оригинальной [25].

Номинальные значения емкости выбраны, исходя из условий наилучшего согласования элементов измерительных схем, используемых при сличении конденсаторов. В данном случае применяются два моста: индуктивно-емкостного вида (рис. 3) и емкостного вида (рис. 5), получающие питание от генераторов с частотой 1000 *гц*.

Действительные значения емкости конденсаторов определяются с помощью следующей методики измерений. При помощи индуктивно-емкостного моста (рис. 6) измеряется емкость четырех параллельно соединенных конденсаторов. Эта емкость выражается в зависимости от значений эталонов индуктивности и сопротивления. Далее в различных комбинациях сравниваются между собой конденсаторы, образующие эталон емкости. Эти сравнения производятся при помощи моста емкостного вида (рис. 5). Соотношения между искомыми емкостями записываются в виде системы уравнений и обрабатываются в общем виде по способу наименьших квадратов. В решения этих уравнений для получения искомых емкостей подставляются численные значения, получаемые при измерениях [24].

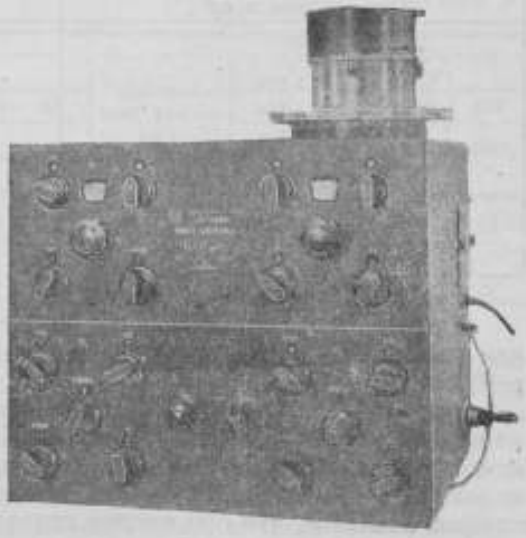


Рис. 6. Общий вид индуктивно-емкостного моста.

Вышеуказанные измерения проводятся ежегодно. В периоды между работами по определению фарады постулируется, что сумма емкостей четырех конденсаторов остается постоянной.

Наибольшая погрешность воспроизведения единицы емкости оценивается величиной $3 \cdot 10^{-5}$ от измеряемой величины. Наблюдения, проводившиеся в течение ряда лет, показывают, что нестабильность эталонных конденсаторов мала и находится в пределах точности измерений.

При воспроизведении единиц индуктивности, емкости и сопротивления на переменном токе имеют существенное значение остаточные параметры конденсаторов (угол потерь и индуктивность конденсатора) [26, 27]. Как показывает опыт, эталонные конденсаторы ВНИИМ обладают следующими остаточными параметрами: угол потерь — $(7{,}0 \div 7{,}8) \cdot 10^{-5}$ рад. и индуктивность — $(72 \div 76) \cdot 10^{-9}$ *гн* [26, 28].

Для обеспечения передачи верных значений единиц рабочим мерам и приборам во всех институтах системы Комитета проводятся работы по созданию образцовых мер индуктивности и емкости и по разработке методов поверки этих мер и образцовой аппаратуры.

Во ВНИИМ разработан новый метод «последовательной» калибровки рабочих эталонов и образцовых мер емкости 1-го разряда [29, 30, 31].

Согласно этому методу процесс сличения различных по номинальному значению емкостей (от 1 до 10^6 *пф*) разбит на ряд отдельных этапов

по декадной системе. С этой целью специально подобраны конденсаторы следующих номинальных значений:

$$1,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4$$
$$10,\ 10,\ 20,\ 30,\ 40$$
$$10^5,\ 10^5,\ 2\cdot10^5,\ 3\cdot10^5,\ 4\cdot10^5,$$

которые сличаются в определенных сочетаниях.

Взаимные сличения конденсаторов производятся на мосте емкостного вида при частоте 1000 *гц*, методом замещения. Результаты измерений представляются в виде системы линейных уравнений, число которых превышает число неизвестных. Уравнения обрабатываются в общем виде по способу наименьших квадратов. В табл. 3 приведены данные о погрешностях поверки образцовых мер для каждой из декад.

Таблица 3

Номинальные значения емкости конденсаторов в *пф*	Вероятная погрешность значения меры в %%
$10^6 \div 10^5$	$(0,5 \div 1)\ 10^{-3}$
$10^5 \div 10^4$	$(0,5 \div 2)\ 10^{-3}$
$10^4 \div 10^3$	$(0,3 \div 3)\ 10^{-3}$
$10^3 \div 10^2$	$(1 \div 5)\ 10^{-3}$
$10^2 \div 10$	$(2 \div 7)\ 10^{-3}$
$10 \div 1$	$(20 \div 100)\ 10^{-3}$

Конденсаторы со значениями емкости от 10^{-3} до 1 *пф* сличаются при частоте 10^6 *гц* аналогичным методом с применением исходной меры в 10 *пф* [32].

Заводом «Эталон» разработаны образцовые конденсаторы с номинальными значениями до 10^5 *пф* типов КВМ-2, КВМ-3 и КВМ-4. Эти конденсаторы имеют воздушно-кварцевый диэлектрик и обеспечивают включение по двухзажимной или трехзажимной схемам. Исследования конденсаторов показали, что они вполне пригодны для использования в качестве рабочих эталонов емкости.

В НГИМИП разработаны меры емкости различных конструкций, предназначенные для измерений при частотах до 100 *Мгц*. Из них можно отметить: конденсаторы типа КВЧ коаксиальной конструкции с номинальными значениями емкости от 50 до 200 *пф* и конденсаторы типа КМЕ-4 с номинальными значениями емкости от 0,0001 до 1 *пф* [33].

На заводе «Эталон» разработана конструкция индуктивно-емкостного моста типа УМПТ, в основу которой положены исследования шестиплечных мостов, проведенные в МГИМИП [20 и 34]. Плечи моста соединяются в так называемом «центральном узле» при помощи бифилярных проводников. Мост обеспечивает измерения индуктивности и емкости в диапазонах от 10^{-4} до 1 *гн* и от 10 *пф* до 1 *мкф* с погрешностями от 0,03 до 0,1%. Для точного измерения емкости заводом «Эталон» выпущен мост-компаратор типа МКЕ-2, собранный по схеме емкостного моста [35].

Для измерения малых значений емкости в НГИМИП разработан емкостный мост с индуктивно связанными плечами [33]. Как известно, в мостах этого типа можно получить точное значение отношения плеч (с погрешностью $10^{-4} \div 10^{-5}$), зная отношение чисел витков отдельных соленоидов, образующих плечи.

Аппаратура для измерения емкости при нестационаром режиме разработана ХГИМИП [36]. Эта аппаратура может быть использована при частотных исследованиях образцовых конденсаторов.

Для измерения угла потерь конденсаторов емкостью от 10 *пф* до 1 *мкф* при частотах 40—2500 *гц* с погрешностью $(1 \div 2)10^{-5}$ рад., а также для исследования постоянной времени образцовых безреактивных сопротивлений в диапазоне значений $200 \div 100\,000$ *ом* с погрешностью порядка 10^{-8}—10^{-9} сек. в МГИМИП разработана специальная установка [27 и 37]. Особенностью этой установки является наличие воздушных конденсаторов с золоченой поверхностью электродов для исключения погрешностей, вызываемых окислением поверхности, а также специальная система экранирования, дающая возможность исключить влияние потерь в твердых диэлектриках, входящих в конструкцию конденсаторов.

В итоге работ коллективов институтов системы Комитета стало возможным проведение в этих институтах и в государственных контрольных лабораториях поверки мер емкости и индуктивности, а также аппаратуры для измерений этих параметров в широком диапазоне номинальных значений и частот. В табл. 4 приведены некоторые данные, характеризующие эти измерения.

Таблица 4

Индуктивность				Емкость			
Номинальные значения в *мкгн*	Частота, *гц*			Номинальные значения в *пф*	Частота, *гц*		
	50	10^3	10^6		50	10^3	10^6
	погрешности измерения, % %				погрешности измерения, % %		
$0,5 \div 100$	—	—	$0,03 \div 1$	$10^{-4} \div 10$	—	—	$0,01 \div 1$
$10 \div 10^5$	—	$0,003 \div 0,1$	—	$1 \div 10^6$	—	$5 \cdot 10^{-4} \div 0,1$	—
$100 \div 10^9$	$0,01 \div 10$	—	—	$100 \div 10^9$	$0,01 \div 10$	—	—

В таблице указаны значения частот, при которых производится поверка мер. Для определения значений мер в широком спектре частот можно воспользоваться данными, полученными при дискретных частотах, вводя поправки на действие остаточных параметров.

Опыт работ институтов Комитета нашел отражение в инструкциях по поверке емкости и индуктивности № 179—55, 178—56 и 191—56 и в инструкции по поверке мостов переменного тока, введенной в действие в 1957 г.

Результаты вышеописанных работ были использованы также промышленностью и оказали существенную помощь при разработке и производстве мер емкости, индуктивности и аппаратуры для их измерений.

5. Абсолютные электрические измерения. В 1908 г. на Лондонской Международной конференции по электричеству вместо абсолютных электрических и магнитных единиц, установленных в 1881 г., были приняты международные единицы, основанные на определении международных ома и ампера. Причиной, заставившей совершить такой переход, явилась недостаточная точность абсолютных электрических измерений, на которых основывалось воспроизведение эталонов. В то время как точность относительных измерений к началу XX в. достигла уровня, определяемого погрешностью 10^{-6} измеряемой величины, точность абсолютных измерений не удавалось поднять выше величины, определяемой погрешностью 10^{-4}.

Введение международных единиц, устранив разницу в точности относительных измерений и точности воспроизведения эталонов, вызвало одновременно существенное неудобство, создав разрыв между электрическими единицами и единицами механическими. Если бы измерения электрических и магнитных величин не были связаны с измерениями других физических величин, то условный и самостоятельный характер международных единиц не имел бы значения. Между тем единица энергии может быть определена при помощи как электрических, так и механических из-

мерений. Найденные тем и другим методом значения единиц энергии и мощности могут расходиться до $3 \cdot 10^{-4}$, что было допустимо, пока погрешности измерений достигали величин этого порядка. Однако уже через несколько лет после установления международных единиц на этой почве стали возникать затруднения. Поэтому уже в конце 20-х годов Главной Палатой мер и весов был поднят вопрос о возвращении к абсолютной системе электрических единиц. Работы, связанные с осуществлением новых эталонов этих единиц в абсолютной мере, начались во ВНИИМ еще в 1938 г., однако для решения всего комплекса стоявших задач потребовался значительный промежуток времени, который увеличился еще из-за второй мировой войны.

Хотя электрических величин насчитывается более десятка, все измерения могут исходить лишь от двух электрических эталонов. Выбор таких эталонов зависит исключительно от удобства и точности воспроизве-

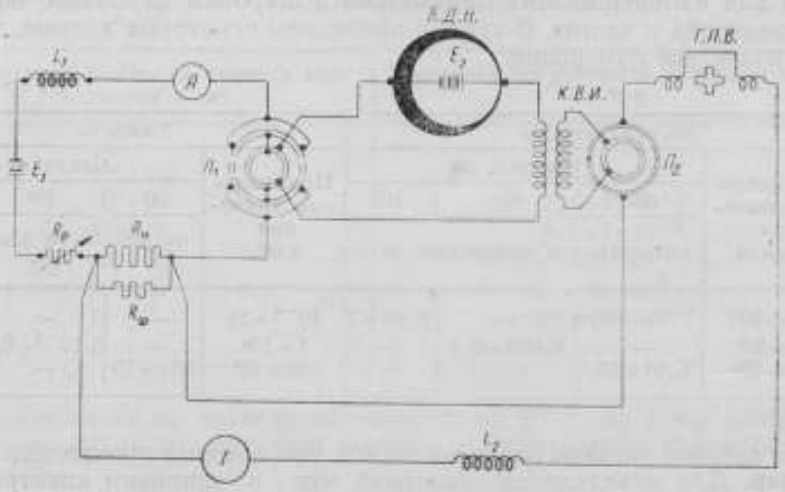


Рис. 7. Схема для измерения электрического сопротивления по методу Кирхгофа-Веннера.

дения единиц и дальнейшего их хранения и передачи. Практика показала, что наиболее удобными в этом отношении являются ом и вольт, эталоны которых легко осуществляются в виде групп катушек сопротивления и нормальных элементов и уже существовали для воспроизведения международных единиц. Для перехода к абсолютным единицам потребовалось определить их значения абсолютными методами с возможно высокой точностью.

А. *Абсолютные методы измерения электрического сопротивления.* Для измерений сопротивления в абсолютной мере были применены два различных независимых метода, основанных на связях сопротивления с взаимной индуктивностью или индуктивностью и частотой.

а) Определение единицы сопротивления по известным взаимной индуктивности и частоте. В принципе метод заключается в том, что при питании первичной обмотки катушки взаимной индуктивности переменным током частоты f среднее значение выпрямленной э. д. с., возникающей во вторичной обмотке, уравновешивается падением напряжения на измеряемом сопротивлении $R_м$, по которому протекает постоянный ток.

Для осуществления метода [38] в первичную обмотку катушки взаимной индуктивности (К. В. И.) (рис. 7) подается постоянный ток от батареи E_1, который при помощи переключателя $П_1$ и вращающегося делителя напряжения (В. Д. Н.) преобразуется в трапецоидальный переменный ток

частоты f. В те моменты, когда ток в первичной обмотке меняет свою величину, источник постоянного тока E_1 при помощи переключателя $П_1$ отключается от первичной обмотки катушки и питает только цепь сопротивления $R_к$, что позволяет сохранять постоянный ток в цепи измеряемого сопротивления $R_н$. Во вторичной обмотке катушки при этом возникают импульсы э. д. с., которые выпрямляются при помощи коллектора $П_2$.

Регулируя сопротивление шунта $R_ш$, добиваются равенства выпрямленной э. д. с. и падения напряжения на эквивалентном сопротивлении, образованном параллельным соединением $R_н$ и $R_ш$. При соблюдении условия, что амплитуда переменного тока в К. В. И. строго равна постоянному току в сопротивлении $R_{экв}$, последнее может быть определено по простой формуле:

$$R_{экв} = 4Mf.$$

Преобразователь В. Д. Н., при помощи которого происходило преобразование постоянного тока в переменный, вращался от синхронного двигателя, питаемого через усилитель непосредственно от эталона частоты ВНИИМ. Частота же эталона известна с погрешностью, меньшей 10^{-7} ее величины. Синхронный двигатель, преобразователь В. Д. Н., переключатель $П_1$, коллектор $П_2$ находились на общем валу. Кроме того, на том же валу находится генератор с постоянным возбуждением Г. П. В., который служит для сглаживания выпрямленной э. д. с.

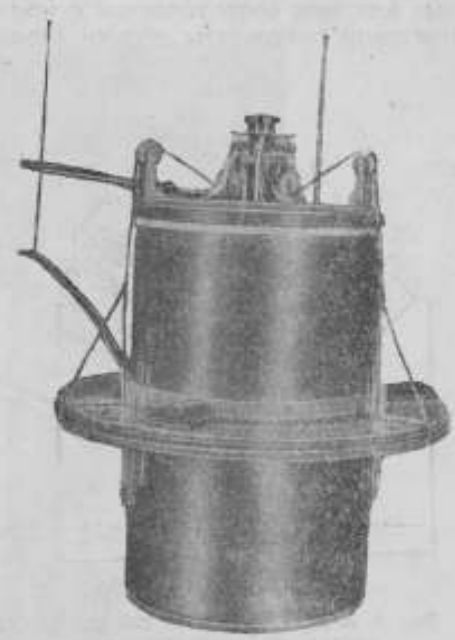


Рис. 8. Общий вид катушки типа К. В. И.

Катушка взаимной индуктивности представляет собой кварцевый цилиндр с однослойной первичной обмоткой, разделенной на три секции. Две крайние секции расположены симметрично и содержат по 180 витков голой проволоки, навитой по винтовой нарезке на цилиндре. Третья секция, состоящая из 30 витков,— центральная — расположена посередине между крайними секциями. Все секции соединены между собой последовательно, причем крайние секции — согласно, а центральная — навстречу им. Вторичная обмотка плоская, многослойная, навитая на стеклянный каркас, расположена в том месте, где магнитное поле первичной катушки равно или близко к нулю. Внешний вид катушки показан на рис. 8.

Взаимная индуктивность M, рассчитанная по геометрическим размерам и числам витков обмоток, оказалась равной

$$M = 0{,}01250814 \pm 0{,}00000012 \text{ гн}.$$

Измеряемым сопротивлением служила специально изготовленная катушка сопротивления со значением, несколько превышающим 1 *ом*, позволяющая пропускать ток в 1 *а* без заметного нагревания, так как она рассчитана на рассеиваемую мощность в 20 *вт*.

В результате 75 независимых серий измерений было получено значение сопротивления одноомной катушки

$$R_н = 1{,}000517 \pm 0{,}000010 \text{ ом}.$$

Разность между этим значением и значением, найденным при сличении этой катушки с первичным эталоном ома, составила — 0,000012 *ом* или $1{,}2 \cdot 10^{-3}\%$.

б) Воспроизведение единицы сопротивления по известной индуктивности и частоте. Измерения производились на переменном токе. В качестве исходных применялись катушки индуктивности, входящие в состав первичного эталона генри. Измерения осуществлялись в схемах, представленных на рис. 9 и 10, которые в других странах для подобных целей еще не применялись.

В 1953 и 1954 гг. произведены измерения сопротивления трех эталонных катушек сопротивления с номинальным значением 100 *ом* [39]. Как показали результаты восьми серий наблюдений, расхождения между

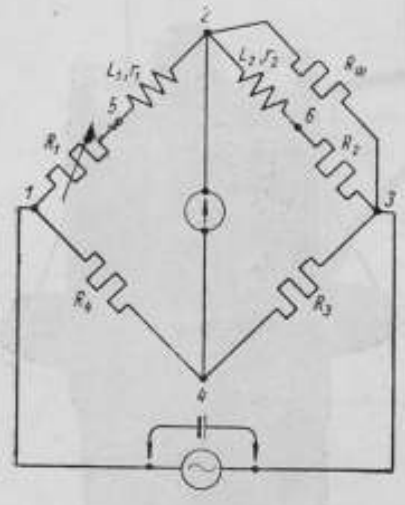


Рис. 9. Х-образная схема для измерения сопротивления по расчетной индуктивности и частоте.

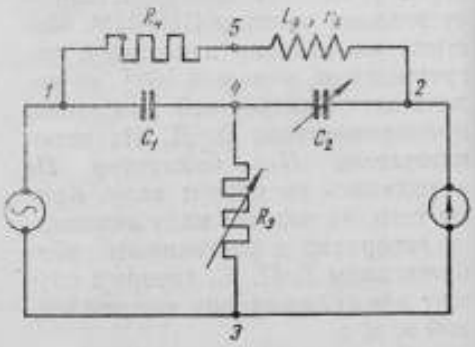


Рис. 10. Т-образная схема для измерения сопротивления по расчетной индуктивности и частоте

значениями этих катушек, полученными абсолютным методом, и при сличениях с эталоном ома, находятся в пределах $(0{,}5 \div 3) \cdot 10^{-5}$ от измеряемой величины.

Определенное косвенным путем расхождение между значением ома, воспроизводимым групповым эталоном, и значением, определенным данным методом, не превышает 15,5 *мком*.

Если теперь сопоставить результаты воспроизведения единицы сопротивления двумя вышеописанными абсолютными методами, то оказывается, что расхождение между ними составляет 3,5 *мком*, что следует признать на первом этапе вполне удовлетворительным.

Б. *Абсолютные определения силы тока и э. д. с.* Для абсолютных определений силы тока во ВНИИМ были построены токовые весы, которые совместно с катушкой сопротивления применяются для абсолютных определений э. д. с.

а) Токовые весы. Основными частями токовых весов являются собственно весы и электродинамическая система, состоящая из неподвижного и подвижного соленоидов. Последний подвешен к коромыслу весов (рис. 11).

Работы по абсолютному определению силы тока во ВНИИМ были начаты в 1938 г. и к началу войны на заводе «Эталон» была закончена постройка первой опытной модели токовых весов с многослойными соле-

ноидами [40]. Теоретические и экспериментальные изыскания, проведенные уже в послевоенные годы, показали необходимость постройки новых токовых весов с однослойными катушками, так как при этой конструкции можно было ожидать получения более точных результатов. Такие весы были изготовлены, и в 1955 г. были закончены работы по определению силы тока в абсолютной мере и определению значения единицы э. д. с. [41].

Для повышения силы взаимодействия, а с ней и точности измерений силы тока, обмотка неподвижного соленоида разделена на две равные части и ток в этих частях пропускается в противоположных направлениях, а центр подвижного соленоида расположен в плоскости раздела. Кроме

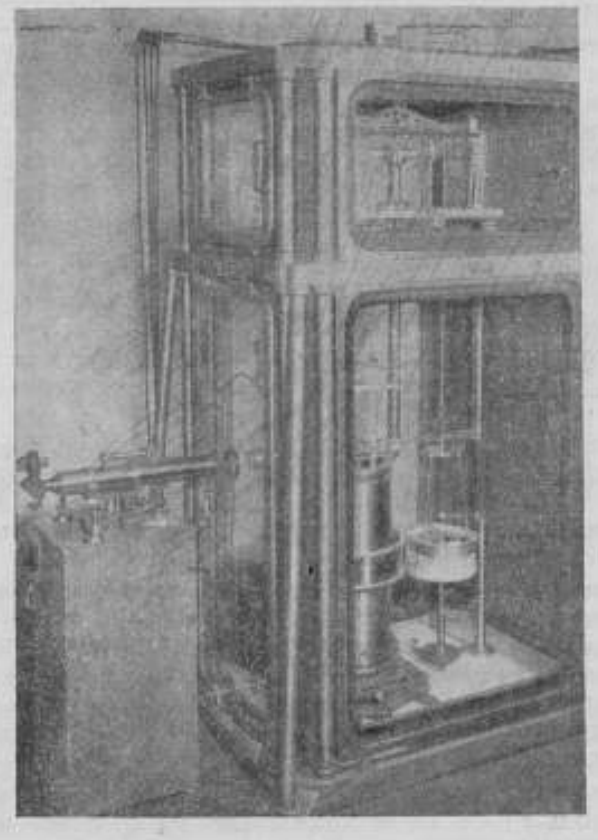


Рис. 11. Общий вид токовых весов.

того, были применены два подвижных соленоида различного диаметра, укрепленных вместе и расположенных внутри неподвижного соленоида. В 1956 г. изготовлен еще новый подвижной соленоид, охватывающий неподвижный. Наличие наружного и двух внутренних жестко скрепленных подвижных соленоидов позволяет производить измерения с тремя электродинамическими системами, две из которых являются независимыми.

Каркасом неподвижного соленоида служит пирексовый цилиндр, внутренних подвижных—фарфоровые цилиндры, внешнего подвижного—алюминиевый. После тщательной обработки каркасов на их поверхности нанесена винтовая канавка, в которой уложена медная проволока.

Постоянная токовых весов определялась расчетным путем, исходя из геометрических размеров соленоидов, числа их витков и значения ускорения силы тяжести, которое для пункта ВНИИМ было принято равным $9{,}81931 \pm 3 \cdot 10^{-5}$ *м/сек*^{2} (в потсдамской системе).

Для увеличения точности измерения силы взаимодействия между соленоидами весы уравновешивались при двух направлениях тока в соленоиде. Уравновешивающая гиря была изготовлена в виде стержня массой 8,15078 *г*, вес которой соответствует силе взаимодействия между катушками. Точное же уравновешивание достигалось перемещением рейтера по шкале коромысла весов. Чувствительность весов позволяла измерять силу взаимодействия с погрешностью до ±0,0002 *г*.

Детальный анализ погрешностей показал, что относительная погрешность определения силы тока составляет около $4 \cdot 10^{-6}$.

б) Определение значения эталона вольта. Разработанные и описанные выше абсолютные методы измерения сопротивления и силы тока позволили определить в абсолютной мере и значение хранимого во ВНИИМ первичного эталона вольта СССР, состоящего из 20 нормальных элементов. Часть элементов, входящих в эталон, периодически сличается на токовых весах. При этом э. д. с. каждого нормального элемента уравновешивается падением напряжения на эталонной катушке сопротивления, значение которого предварительно определено в абсолютных единицах. Сила тока, проходящего по катушке, измеряется с помощью токовых весов.

Анализ погрешностей измерений показывает, что предельная погрешность воспроизведения единицы э. д. с., вычисленная по закону сложения погрешностей, составляет около 7 *мкв*, или $7 \cdot 10^{-4}$%.

Завершение работ по воспроизведению электрических единиц индуктивности, сопротивления, силы тока и э. д. с. в абсолютной мере создало надежный метрологический фундамент для всех электрических измерений в СССР и позволило определять их независимо от каких-либо международных электрических эталонов.

Результаты международных сличений в Международном бюро мер и весов в Париже, в которых принимают участие и эталонные меры СССР, показывают хорошее совпадение значений электрических эталонов СССР со значениями эталонов других ведущих национальных метрологических институтов (см. выше табл. 1 и 2).

6. Методы и средства поверки электроизмерительных приборов. Быстрое развитие приборостроительной промышленности СССР, начавшееся в годы первых пятилеток и получившее особенно большой размах после Великой Отечественной войны, определило большой рост количества применяемых приборов и увеличение числа их типов и разновидностей. Рассмотрим основные работы, выполненные для обеспечения поверки отдельных видов электроизмерительных приборов.

а) Методы и аппаратура для поверки приборов на постоянном токе. Не останавливаясь на приборах малой точности, поверка которых сводится к простому сличению с образцовыми приборами, следует отметить развитие методов поверки приборов высокой точности таких, как мосты, компенсаторы с делителями напряжения и другие приборы сопротивления, предназначенные для применения на постоянном токе, а также большой группы стрелочных электроизмерительных приборов высших классов точности.

В приборах сопротивления результат измерения представляет более или менее сложную функцию напряжений на отдельных участках цепей. При поверке необходимо определить погрешности при всех возможных показаниях прибора, вследствие чего она требует значительного числа измерений, возрастающего с увеличением числа декад или переменных элементов. Наиболее простой и наглядной является поверка прибора в целом путем измерения поверяемым прибором известной величины. Однако этим способом могут поверяться лишь менее точные приборы, так как образцовый прибор должен иметь более высокую точность, чем поверяемый. Для исходных образцовых приборов этот метод неприменим,

и их приходится поверять поэлементно, с последующим вычислением поправки к результату измерения.

По мере повышения требований к точности компенсационных измерений, в метрологических учреждениях СССР стали уделять внимание вопросам теории и практики поверки компенсаторов. Во ВНИИМ и МГИМИП были проведены работы по анализу погрешностей компенсаторов и по методам их поверки, результаты которых нашли отражение в официальных поверочных инструкциях [27, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48]. В настоящее время все типы компенсаторов, в том числе и наиболее точные и сложные, обеспечены методикой поверки.

Аналогично обстоит дело и с мостами постоянного тока. Выполненные в лабораториях институтов работы позволили разработать методику

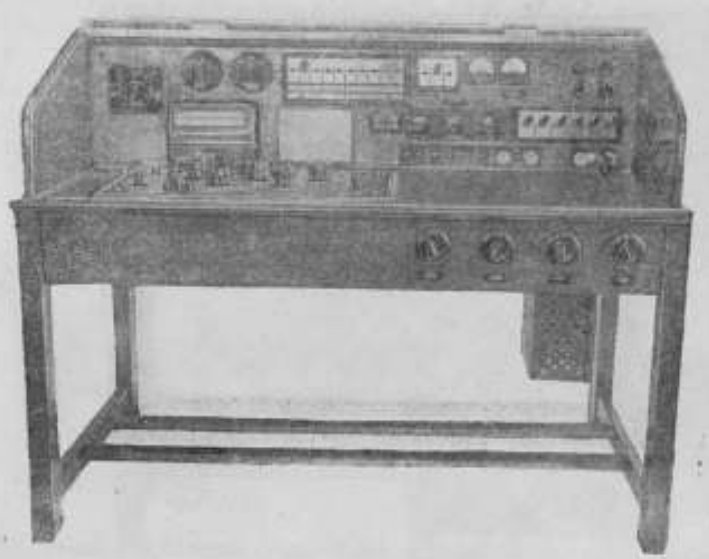


Рис. 12. Универсальная компенсационная поверочная установка типа УПВ-5.

поверки мостов всех применяемых типов и составить поверочные инструкции, обеспечивающие правильную поверку мостов в большом числе поверочных учреждений. Вновь разработана теория способа определения наибольших погрешностей мостов при комплектной их поверке с помощью образцового магазина сопротивления [49].

Особо следует отметить значительные работы по обеспечению поверочных учреждений удобными средствами поверки различных мер и приборов постоянного тока. Во ВНИИМ было разработано несколько типов универсальных компенсационных и мостовых установок, представляющих собой полный комплект необходимых мер и приборов, а также вспомогательных приспособлений и элементов электрических цепей, позволяющих быстро осуществлять различные схемы для поверки амперметров, вольтметров, ваттметров, катушек и магазинов сопротивления, а также нормальных элементов всех классов точности [50, 51, 52]. Установки рассчитаны на пределы измерений по току до 50 *а*, по напряжению до 300 *в* и по сопротивлению от 10^{-4} до 10^{5} *ом*.

На заводе «Эталон» в Ленинграде было организовано серийное производство таких установок и ими были оснащены поверочные учреждения. Внешний вид одной из компенсационных установок (типа УПВ-5) представлен на рис. 12. В настоящее время производство универсальных

установок для поверки стрелочных приборов и мер сопротивления осваивается на Краснодарском заводе измерительных приборов.

Расширение диапазона измерений сопротивлений в промышленности и освоение выпуска мер и приборов для измерения больших сопротивлений (мегаомметров и тераомметров) потребовало разработки методов их поверки. На основе проведенных в лаборатории электрических измерений ВНИИМ исследований созданы стабильные образцовые меры большого сопротивления и методы точного измерения таких сопротивлений [6, 54, 55]. Для поверочных целей лабораторией разработана мостовая установка типа УПМС-1 (рис. 13) со специальной схемой защиты от утечек и оригинальным нулевым указателем, обеспечивающая поверку мер и магазинов сопротивления от 10^5 до 10^{10} *ом* с погрешностью, не превышающей соответственно 0,01 ÷ 0,2%, и компенсационная установка, основанная на

Рис. 13. Установка для поверки магазинов и мер большого сопротивления типа УПМС-1.

принципе разряда конденсатора переменной емкости при неизменном напряжении, для поверки мер сопротивления от 10^9 до 10^{12} *ом* с погрешностью, не превышающей 0,5%.

Для поверки мегаомметров и тераомметров разработан образцовый магазин большого сопротивления с пределами 10^5—10^{10} *ом*.

Таким образом, в результате этих работ ВНИИМ поверками могут быть охвачены практически все приборы для измерения больших сопротивлений от 10^5 до 10^{12} *ом*.

Решение вопроса о создании поверочных установок было бы неполным, если бы не было обеспечено создание рациональных источников питания. Применение во всех случаях батарей аккумуляторов или гальванических элементов в настоящее время, когда всюду имеется снабжение энергией переменного тока, не может уже быть оправдано. Поэтому в нескольких институтах системы Комитета велись работы по созданию стабилизированных выпрямителей. Итогом этих работ явился выпускаемый серийно заводом «Эталон» выпрямитель типа СТН-5, позволяющий получать стабилизированное напряжение до 300 *в* с возможностью плавной регулировки.

Освоение рядом заводов в послевоенные годы выпуска шунтов на большие токи (до 6000 *а*) и трансформаторов постоянного тока (до

70 000 *а*) потребовало разработки методов и образцовой аппаратуры для поверки выпускаемых приборов. В результате работ, выполненных в лаборатории электрических измерений ВНИИМ, созданы оригинальный метод и аппаратура (реакторный делитель тока), обеспечивающие как поверку шунтов всех классов точности при токах до 15 *ка*, так и точное измерение таких токов в лабораторных условиях [56, 57]. Метод основан на компенсации магнитного поля, создаваемого измеряемым током в ферромагнитном сердечнике полем малого тока, пропускаемого по специальной многовитковой компенсационной обмотке. Отношение сил тока в момент компенсации определяется числом витков компенсационной обмотки, так как измеряемый большой ток обычно пропускается по прямолинейной шине. Особенностью метода является использование магнитного усилия для определения компенсации полей.

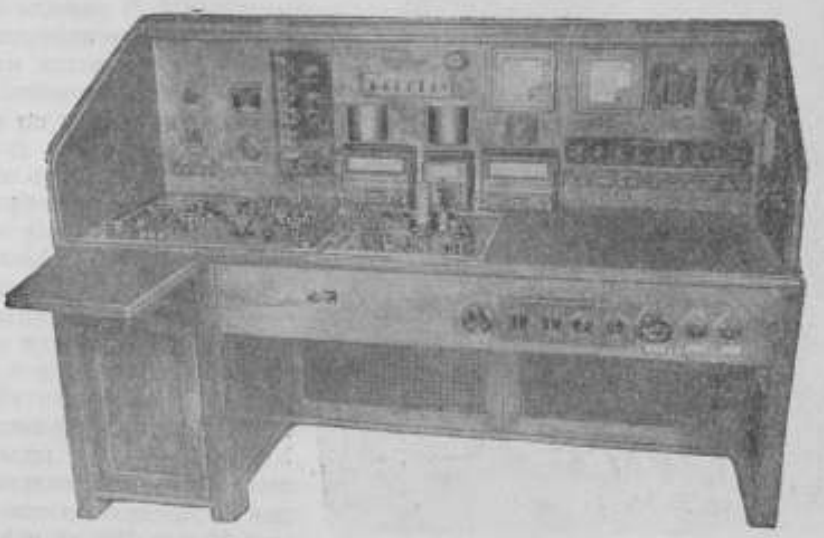


Рис. 14. Установка для поверки амперметров, вольтметров и ваттметров типа УВ-1.

Погрешность делителя при измерении токов до 15 *ка* составляет несколько сотых долей процента. Метод применяется также и для измерения малых сопротивлений до 10^{-6} *ом* (шунтов и мер сопротивления) при токах до 10 *ка* с погрешностью 0,005—0,01% [58, 59].

Свердловским филиалом ВНИИМ разработан метод поверки трансформаторов постоянного тока в условиях эксплуатации, основанный на применении параллельного соединения шунтов, монтированных на предприятии, предварительная поверка которых выполняется при помощи специального реакторного делителя с разъемным магнитопроводом. Метод обеспечивает измерение тока до 70 *ка* с погрешностью, не превышающей ±0,5%.

б) Методы и приборы для поверки электроизмерительной аппаратуры переменного тока. Длительное время электроэнергетика в своем развитии ограничивалась применением токов частоты 50 *гц*, поэтому все основные измерения переменного тока производились при частотах 50—60 *гц*. Вопрос о точной передаче единиц измерения с постоянного на переменный ток не являлся актуальным, так как еще в начале века было выяснено, что выпускаемые промышленностью приборы постоянно-переменного тока (амперметры, вольтметры, ваттметры и др.) имеют незначительные погрешности перехода от постоянного тока к переменному низкой частоты и поэтому при градуировке и поверке их не требуется точной оценки этих погрешностей.

Однако за последние 10—15 лет развилось промышленное использование переменных токов повышенных частот (примерно до 10 000 *гц*) и появилась потребность в их точном измерении. Перед метрологическими институтами встала задача разработать точные методы определения погрешностей приборов, пригодные для сравнительно широкой полосы частот. ВНИИМ один из первых в международном масштабе провел цикл исследований по анализу свойств и сравнительной оценке различных методов измерения силы тока, напряжения и мощности переменного тока в полосе частот от 50 *гц* до 20 *кгц*.

Проведенные лабораторией электрических измерений ВНИИМ исследования различных методов и приборов показали, что наиболее пригодным для точных измерений является термоэлектрический метод [60, 61, 62], а при поверке ваттметров — также метод квадрантного электрометра [63]. В первом случае измерение переменного тока заменяется измерением постоянного, эквивалентного ему по тепловому действию. В качестве компаратора применяется термопреобразователь, по которому поочередно пропускается переменный и постоянный ток. На основе термоэлектрического метода во ВНИИМ созданы и выпускаются заводом «Эталон» два типа установок: УППТ-1 — для поверки амперметров и вольтметров (с пределами измерения 10 *а* и 300 *в*) и УВ-1 для поверки ваттметров, амперметров и вольтметров с теми же пределами измерений (рис. 14). Установки обеспечивают поверку амперметров и вольтметров при частотах до 20 000 *гц* с погрешностями, не превышающими 0,1%, и поверку ваттметров (установка УВ-1) в том же диапазоне частот с погрешностями не выше 0,2% [64, 65].

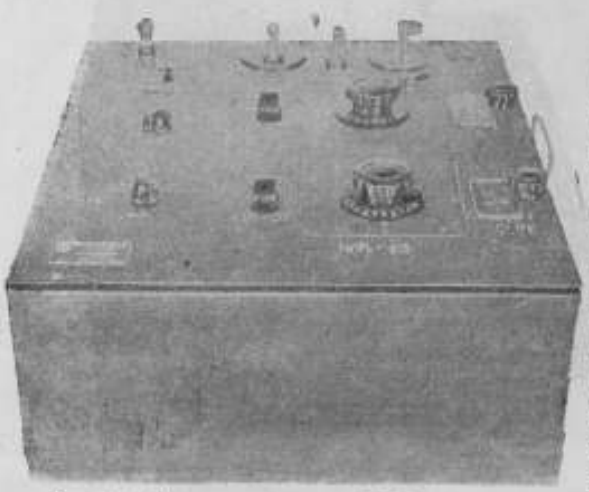


Рис. 15. Компенсатор типа КПФ-1 для поверки фазометров при повышенных частотах.

В комплект установок входят специально разработанные источники тока и напряжения повышенной частоты с питанием от сети 50 *гц* [66]. Следует отметить, что подобные комплектные установки в других странах не выпускаются. Разработка и выпуск этих установок заводом «Эталон» позволили организовать в ряде пунктов СССР поверку приборов при повышенных частотах. Серийный выпуск таких установок осваивается заводом «Вибратор».

Самостоятельную задачу представляла разработка метода поверки фазометров для повышенных частот [67, 68]. В настоящее время закончена разработка специального компенсатора переменного тока типа КПФ-1 (рис. 15), который, являясь приставкой к установке типа УВ-1, позволяет поверять фазометры с пределами по току до 10 *а* и по напряжению до 300 *в* при частотах от 50 *гц* до 10 *кгц*. Прибор типа КПФ-1 представляет собой по существу прямоугольно-координатный компенсатор, цепь рабочего тока которого включается последовательно с цепью тока фазометра. Компенсируемым напряжением является часть напряжения, подводимого к параллельной цепи фазометра [69]. Главными особенностями прибо-

ра являются: выполнение катушки взаимной индуктивности, позволяющее применять прибор при различных частотах, и способ монтажа и экранировки, обеспечивающие надежную защиту от паразитных связей между цепями.

Отмеченный выше цикл работ позволил в основном решить проблему создания поверочных средств для обеспечения единства измерений основных электрических величин (тока, напряжения, мощности, угла сдвига фаз) в диапазоне звуковых частот.

Возрастание мощности энергетических систем и увеличение напряжений в связи с передачей этих мощностей на большие расстояния привело к созданию отечественных конструкций измерительных трансформаторов тока и напряжения, для поверки которых была необходима соответствующая образцовая аппаратура.

Рис. 16. Установка для поверки трансформаторов тока при повышенных частотах (50 ÷ 8000 *гц*) до 200 *а*.

Большая работа по анализу методов поверок и созданию аппаратуры для поверок трансформаторов тока и напряжения была проведена во ВНИИМ [70, 71, 72] и ВНИИК [73, 74, 75]. Эти работы обеспечили возможность поверок при частоте 50 *гц* трансформаторов тока практически всех классов точности до 3000 *а* и трансформаторов напряжения до 100 000 *в*.

Рост протяженности линий электропередач и переход на напряжение 400 *кв* потребовал разработки соответствующей высоковольтной аппартуры, и в том числе измерительных трансформаторов напряжения, что вызвало необходимость в создании новой поверочной аппаратуры. В связи с трудностью транспортировки трансформаторов напряжения на 400 *кв* возник вопрос о разработке методов их поверки непосредственно на местах изготовления или эксплуатации. Большой вклад в решение этой задачи внес ВНИИК, создавший на основе творческого содружества с Московским трансформаторным заводом метод и аппаратуру для поверки таких высоковольтных трансформаторов.

Развитие области промышленного применения переменных токов повышенной частоты и возрастание мощностей промышленных установок, работающих в звуковом диапазоне частот, поставили задачу точного измерения больших токов повышенной частоты и создания аппаратуры для поверки трансформаторов тока и напряжения при частотах до 10 000 *гц*.

В результате исследовательских работ во ВНИИМ [76, 77, 78] решена задача точного определения погрешностей трансформаторов тока при повышенной частоте и создана аппаратура для поверки как трансформаторов тока повышенной частоты (рис. 16), так и амперметров прямого включения с пределами до 200 *а*.

Исследования в области поверок трансформаторов напряжения в звуковом диапазоне частот, проводившиеся во ВНИИК, завершились также созданием соответствующей поверочной аппаратуры [79, 80].

Начало организации отечественного производства счетчиков в 1924—1925 гг. явилось толчком к развитию метрологических исследований различных систем и конструкций счетчиков [81, 82] и к созданию более современных и производительных методов их поверки [83, 84, 85].

На современном этапе первоочередной задачей метрологических учреждений в области поверки счетчиков является создание производительных методов массовых поверок. Эти работы ведутся ВНИИК, где существенным достижением является создание образцового индукционного однофазного счетчика, имеющего погрешности, не превышающие ±0,2% [86]. Применение такого счетчика позволяет примерно вдвое повысить производительность поверок при одновременном повышении точности результатов.

7. Магнитные измерения. В области магнитных измерений до Великой Октябрьской революции метрологические работы находились в самом зачаточном состоянии, так как в широкой практике магнитные измерения (исключая геомагнитные) были развиты крайне слабо. Главные объекты этих измерений — ферромагнитные материалы — импортировались из-за границы, производство электромагнитных механизмов было весьма ограничено и базировалось на готовых иностранных конструкциях. В этих условиях точность и единообразие магнитных измерений имели второстепенное значение. И только после Великой Октябрьской революции эти вопросы получили надлежащее научное и организационное решение.

В 1918 г. в Главной Палате мер и весов проф. Л. В. Залуцким была организована магнитная лаборатория, развившаяся впоследствии в крупную научно-исследовательскую организацию — центр метрологической работы в области магнитных измерений [1].

С именем Л. В. Залуцкого связано и появление первой на русском языке монографии по магнитным измерениям [87].

Первым видом магнитных измерений, начатых в магнитной лаборатории, было испытание листовой электротехнической стали, производство которой в это время организовывалось на советских заводах.

Для создаваемой в то время приборостроительной промышленности одним из важных и мало изученных в России вопросов являлся вопрос технологии производства постоянных магнитов. С целью оказания технической помощи этой молодой отрасли промышленности в Главной Палате было организовано специальное отделение постоянных магнитов, которое, после решения наиболее неотложных задач, было слито с магнитной лабораторией.

В дальнейшем единая магнитная лаборатория, наряду с продолжением работ по промышленным измерениям, переходит к развертыванию исследований эталонного характера. Эти исследования завершаются созданием своих эталонов и позволяют широким фронтом развернуть методические работы и в частности перейти к определению некоторых физических констант. Проводятся работы по созданию нормальных образцов самых разнообразных магнитных материалов, разрабатываются нормативные документы и ведутся другие исследования метрологического характера.

В период Великой Отечественной войны в г. Свердловске был организован филиал ВНИИМ. Одной из первых исследовательских лабораторий этого филиала явилась магнитная лаборатория, избравшая своей тематикой вопросы методики измерений магнитных свойств листовой электротехнической стали. Это диктовалось практическими соображениями, так как на Урале было сосредоточено производство этой стали. В после-

[1] Собственно начало работ по магнитным измерениям в Главной Палате мер и весов может быть отнесено к периоду 1910—1913 гг., когда в электрическом отделении его руководителем проф. И. А. Лебедевым были начаты испытания листового электротехнического железа.

военный период магнитные измерения начали развиваться также в ХГИМИП.

Первые работы магнитной лаборатории ВНИИМ, как уже было сказано, относились к вопросам измерения магнитных свойств листовых электротехнических сталей и сталей для постоянных магнитов, технологии их старения, определению температурных коэффициентов и другим смежным вопросам.

Была разработана оригинальная конструкция прибора Эпштейна, позволяющая, кроме определения потерь на гистерезис и вихревые токи, проводить также измерения магнитных характеристик на постоянном токе [88]. Большим для своего времени вкладом явилось теоретическое обоснование ваттметрового и дифференциального методов измерения потерь и изучение источников погрешностей этих методов [89, 90].

В итоге была разработана методика внесения соответствующих поправок, принятая в настоящее время всеми магнитными лабораториями СССР. Дальнейшее развитие эти вопросы получили в работах Свердловского филиала ВНИИМ [91]. Большое значение имели начатые в то время работы по созданию нормальных образцов листовой электротехнической стали, потребовавшие, в частности, изучения вопросов старения стали и закончившиеся составлением действующей до сих пор инструкции на изготовление нормальных образцов [92, 93, 94].

Работы по методике измерений магнитных свойств сталей для постоянных магнитов привели, прежде всего, к постановке этих измерений на ряде заводов СССР [95, 96]. Работая над вопросами изучения постоянных магнитов, лаборатория разработала технологию структурной и магнитной стабилизации и «исправления» стали, внедренную на заводах, изготовлявших постоянные магниты [97]. Одновременно с разработкой вопросов методики измерений и технологии изготовления постоянных магнитов проводились физические исследования магнитов.

Здесь нужно отметить работу по теории и экспериментальному обоснованию процессов безгистерезисного намагничивания, позволившую дать простое объяснение этим процессам, опираясь на теорию только лишь гистерезисных кривых [98].

Весьма важной для практики расчетов цепей с постоянными магнитами явилась работа по определению температурных коэффициентов вольфрамовой, кобальтовой и углеродистой магнитных сталей [99].

Уже в начале своей деятельности лаборатория встала перед необходимостью создания своего образцового измерительного хозяйства. На первых порах в качестве образцовых мер магнитного потока использовались катушки взаимной индуктивности иностранных фирм, а в дальнейшем лабораторией были сконструированы и изготовлены мастерскими ВНИИМ катушки собственной конструкции с разделенными обмотками. Эти катушки имели меньшую емкость и практически не обладали утечками между обмотками. Конструкция эта была положена в основу серийной продукции завода «Эталон», а затем и завода «Точэлектроприбор» [100].

В качестве образцовых мер напряженности магнитного поля использовались соленоиды, постоянная которых определялась при помощи расчетных измерительных катушек и образцовых мер магнитного потока.

Удовлетворив самые насущные запросы промышленности, лаборатория, обогатившись опытом работы по магнитным измерениям и самым необходимым оборудованием, смогла приступить к своей основной задаче — созданию эталонов магнитных единиц. Здесь следует отметить работы по созданию эталона единиц напряженности магнитного поля и магнитного потока и эталона единицы магнитного момента в абсолютной мере, завершенные в 1948 г.

Эталон единиц напряженности магнитного поля и потока представляет собой двойную систему колец Гельмгольца, установленных коаксиально на горизонтальном измерительном лимбе (рис. 17). Одна система

колец (меньшего диаметра), имеющая однослойную обмотку, навитую голым проводом на пирексовый цилиндр, служит для создания относительно слабого поля и является собственно эталоном единицы напряженности поля. Вторая система колец с обмоткой на фланцах создает более сильное поле.

При воспроизведении единицы напряженности магнитного поля в центре колец подвешивается магнит. Напряженность поля колец Гельмгольца определяется из наблюдений отклонения магнита от магнитного меридиана при некоторой, неизменной в процессе эксперимента, силе тока в обмотке колец. Метод этот требует знания напряженности горизонталь-

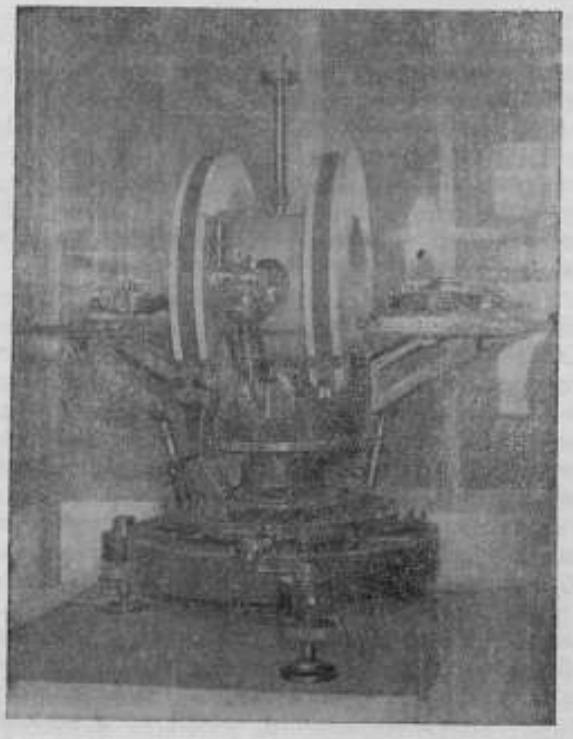


Рис. 17. Эталон единиц напряженности магнитного поля и потока.

ной составляющей земного магнитного поля, которая может быть измерена при помощи этого же прибора.

При воспроизведении единицы магнитного потока коаксиально с кольцами помещается однослойная катушка таких размеров, чтобы поле в занимаемом ею объеме было однородным. Поток, сцепляющийся с этой катушкой, рассчитывается по геометрическим размерам катушки, числу ее витков и напряженности поля, создаваемого кольцами Гельмгольца [101, 102, 103].

Наряду с измерением напряженности магнитного поля катушки Гельмгольца на пирексовом цилиндре, величина этого поля может быть получена для данного значения тока в обмотке и расчетным путем, исходя из геометрических размеров катушки и числа ее витков.

Проводившиеся во ВНИИМ в 1929 г. исследования магнитных свойств образцов горных пород (диабаз, змеевик, базальт, тальк-хлоритовый сланец) показали большую устойчивость остаточной намагниченности этих образцов во времени и по отношению к внешним воздействиям. Это навело на мысль о создании эталона магнитного момента [104]. Однако при-

менение для этой цели образцов горных пород являлось практически мало целесообразным в виду малости их магнитных моментов. Дальнейшие исследования производились уже с магнитами в форме эллипсоидов вращения из кобальтовой магнитной стали, структурно и магнитно стабилизированных, из которых был образован групповой эталон единицы магнитного момента. Систематические исследования этих магнитов, производившиеся в течение ряда лет, показали, что магнитные моменты магнитов сохраняют свою величину в течение года в пределах порядка 0,03% [103, 105].

Создание эталонов является практически оправданным лишь в том случае, когда существует научно обоснованная и хорошо обеспеченная система передачи значений воспроизводимых эталонами единиц к рабочим мерам, приборам, а в случае магнитных измерений и к так называемым нормальным образцам магнитных материалов с известными магнитными характеристиками.

Результатами работ в этом направлении явились разработанные образцовые магнитные меры в виде катушек напряженности поля (соленоиды) и катушек магнитного потока (катушки взаимной индуктивности), а также образцовая поверочная установка, позволяющая производить поверку вышеуказанных магнитных мер и измерительных катушек, применяя нулевой баллистический метод в нескольких вариантах включения обмоток исследуемых катушек. В настоящее время такие установки изготавливаются заводом «Эталон» [106, 107].

В табл. 5 приведены вероятные погрешности воспроизведения магнитных единиц применительно к данным магнитной лаборатории ВНИИМ.

Таблица 5

Наименование меры	Вероятная погрешность в %%			
	Первичный эталон	Рабочий эталон	Образцовая мера	Рабочая мера
Меры напряженности поля	0,01	0,05	0,08	0,1
Меры потока	—	0,03	0,05	0,06
Измерительные катушки	—	—	0,03	0,07

При осуществлении передачи значений магнитных единиц большие усилия были направлены на создание нормальных образцов магнитных веществ и материалов с самыми разнообразными свойствами, такими, как магнитная восприимчивость, магнитная проницаемость, магнитострикция, потери на гистерезис и вихревые токи и другими свойствами.

Методические разработки, проведенные в области определения коэффициентов размагничивания цилиндров, эллипсоидов и полосовых образцов листовых материалов, позволили развить теорию магнитных измерений в разомкнутой магнитной цепи и оценить возможные пределы погрешностей этих измерений [108, 109].

Важное значение имели работы по созданию нормальных образцов для поверки пермеаметров, включавшие изучение вопросов магнитной однородности образцов, источников погрешностей определения коэрцитивной силы и ряд других вопросов [110, 111].

Большой цикл работ (впервые в СССР выполненных в магнитной лаборатории ВНИИМ) относится к определению магнитных свойств слабо магнитных веществ и материалов. Были сконструированы специальные магнитометры для определения магнитных свойств горных пород и разработана методика определения их магнитной восприимчивости [112, 113, 114].

В тесном содружестве с ленинградским Кировским и другими заводами была разработана методика определения магнитной восприимчивости слабо магнитных сталей при нормальных и низких температурах.

Этот цикл работ был завершен созданием аппаратуры для определения магнитной восприимчивости пара- и диамагнитных веществ порядка единиц шестого знака с погрешностью 1—2% [115, 116, 117, 118]. По разработанной методике были получены константы магнитной восприимчивости меди, золота и серебра предельной степени чистоты [119].

Появление новых материалов с высоким значением коэрцитивной силы поставило перед лабораторией задачу — разработать методику и аппаратуру для испытания образцов таких материалов в сильных полях. Результатом явилось создание пермеаметра и разработка методики испытаний в сильных полях [120].

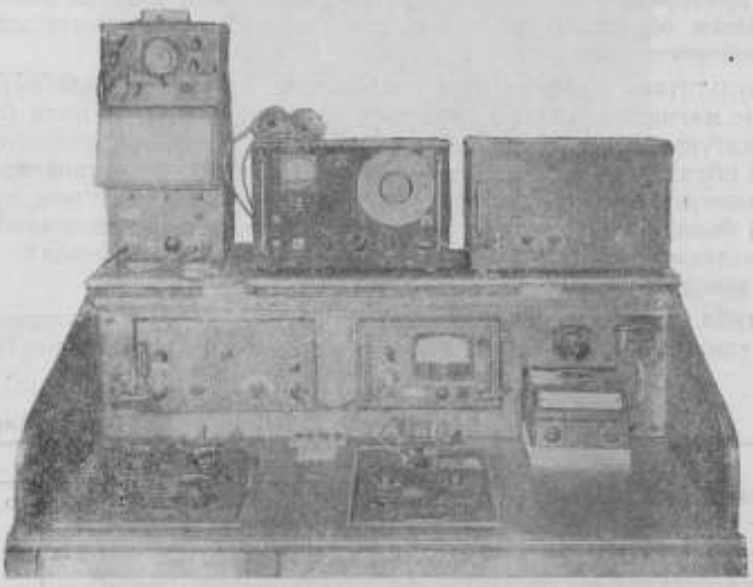


Рис. 18. Установка УИММ-1 для измерений на переменном токе частотой ультразвукового диапазона.

Период после Великой Отечественной войны характеризуется интенсивным развертыванием научно-исследовательских работ по методике магнитных измерений на переменном токе. Эти работы обеспечили возможность изготовления нормальных образцов и проведения необходимых измерений на аппаратуре советского производства при намагничивании образцов переменным током в диапазоне частот до 10^6 *гц* с погрешностями по проницаемости порядка 1—2% и по потерям 5—10% [121, 122, 123, 124, 125, 126]. Был создан ряд новых приборов и установок. К ним относятся:

1) вольтметр «ВЛ-2» для измерения средних значений э. д. с. от 1 до 120 *в* при частотах звукового диапазона;

2) установка УМЗЧ-20000 для измерений магнитных характеристик на переменном токе звукового диапазона частот;

3) установка УИММ-1 для измерений на переменном токе частотой ультразвукового диапазона (рис. 18).

Для измерений при наложении постоянного тока на переменный разработаны две установки, из них последняя—УФМ-1 (рис. 19)—предназна-

чена для диапазона до 5000 *гц* и пригодна для испытания не только специальных образцов, но и сердечников магнитных усилителей.

Большое значение для промышленности получила ваттметровая установка ВУ-1 (рис. 20) для определения потерь в малых образцах массой 1—2 *кг*, пригодная для работы на частотах до 1000 *гц* [127, 128].

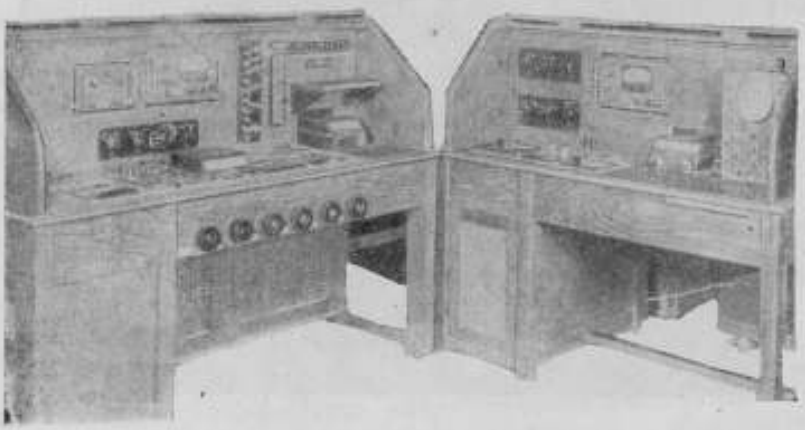


Рис. 19. Установка УФМ-1 для измерений при наложении постоянного тока на переменный в диапазоне до 5000 *гц*.

Рис. 20. Установка ВУ-1 для определения потерь в малых образцах массой 1—2 *кг* на частотах до 1000 *гц*.

Существенный интерес также представляет установка для измерения потерь калориметрическим методом в диапазоне звуковых частот (рис. 21).

В Свердловском филиале ВНИИМ проведена серия работ, в результате которых разработаны методы и аппаратура для измерения потерь в листовых материалах при частотах звукового диапазона и при наложении постоянного поля на переменное [129, 130].

В послевоенный период во ВНИИМ создана также образцовая установка интерференционного типа (рис. 22) для определения магнитострикции порядка $50 \cdot 10^{-6}$ с погрешностью 1—2% в полях напряженностью до 1000 *э* [131].

Успехи физики магнитных явлений выдвинули в качестве одного из новых перспективных методов измерений магнитного поля метод, основанный на явлении парамагнитного ядерного резонанса, которым занимаются в настоящее время магнитные лаборатории ВНИИМ, ХГИМИП,

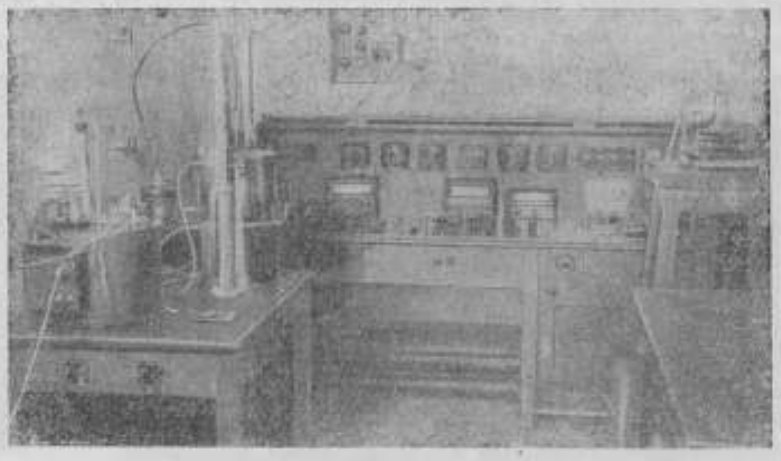


Рис. 21. Установка для измерения потерь калориметрическим методом в диапазоне звуковых частот.

Рис. 22. Установка для измерения статической магнитострикции интерференционным методом в полях напряженностью до 1000 *э*.

НГИМИП и Свердловского филиала ВНИИМ. Следует отметить большие успехи ХГИМИП, уже внедрившего один из типов ядерного измерителя в промышленную практику [132].

8. Некоторые ближайшие метрологические задачи. Приведенный краткий обзор важнейших метрологических работ в области электрических и магнитных измерений показывает, что в СССР создана надежная метрологическая основа в виде эталонов и образцовых электрических и магнитных мер, образцовой поверочной аппаратуры, обеспечивающих потребности народного хозяйства в точных измерениях электрических и магнитных величин и поверке соответствующей измерительной аппаратуры.

На состоявшейся в июне 1957 г. в Париже сессии Консультативного комитета по электричеству при Международном Бюро мер и весов одним из основных вопросов был вопрос о воспроизведении электрических единиц в абсолютной мере. Рядом национальных метрологических институтов (Англия, Канада, СССР, США, Япония) были представлены доклады о работах последних лет по абсолютным электрическим измерениям. Рассмотрение этих докладов показывает, что хотя абсолютная система электрических единиц введена в международном масштабе еще в 1948 г., в наиболее передовых в метрологическом отношении странах до сих пор интенсивно ведутся работы по абсолютным электрическим измерениям в целях получения более надежных и точных значений абсолютных электрических единиц. Второй вывод, который можно сделать из

этих материалов, заключается в том, что работы ВНИИМ по абсолютным электрическим эталонам находятся на уровне соответствующих работ в других странах. Вместе с тем необходимо указать, что по темпам выполнения работ мы отстаем от таких институтов, как Национальное бюро стандартов (США), в котором, например, завершены уже работы по новым абсолютным определениям тока с помощью электродинамометра Пела [133].

Одной из основных метрологических задач ближайшего времени в области абсолютных электрических измерений следует считать дальнейшее уточнение значений эталонов абсолютного ома, ампера и генри, которое может быть достигнуто применением различных методов воспроизведения этих единиц. В частности, перспективным с нашей точки зрения является использование явления парамагнитного ядерного резонанса. Метод этот, как отмечалось нами выше, с успехом разрабатывается в наших метрологических институтах применительно к измерениям напряженности магнитного поля. Следует развить его и для абсолютных электрических измерений. Вообще, в вопросах воспроизведения абсолютных электрических единиц естественным физическим константам следует уделить большее внимание.

На той же сессии Консультативного Комитета по электричеству советской делегацией было предложено провести круговые сличения эталонов емкости в национальных метрологических институтах. Такие международные сличения никогда не производились и представляется весьма важным установить метрологический уровень этих измерений в международном масштабе. Это предложение было принято Консультативным Комитетом и ВНИИМ было поручено, совместно с Международным Бюро мер и весов, разработать программу таких сличений.

Должны быть также развиты работы по образцовым электрическим мерам, с целью расширения диапазона их номинальных значений и условий применимости, в частности в отношении частоты (для мер сопротивления, емкости и индуктивности). Одним из серьезнейших вопросов является проблема получения и исследования материалов с особыми физическими свойствами, удовлетворяющими современным метрологическим требованиям. В первую очередь это касается материалов для эталонных катушек сопротивления. Как известно, существующие катушки не удовлетворяют современным требованиям в отношении стабильности во времени. Необходимо сконцентрировать усилия специалистов металловедов и метрологов для скорейшего решения проблемы создания эталонных и образцовых мер сопротивления, в первую очередь с повышенной стабильностью.

Эта проблема касается также и других электрических мер, мер индуктивности и емкости (например, каркасы для катушек, материалы для конденсаторов).

Развитие отечественного электроприборостроения, увеличение количества и номенклатуры выпускаемых электроизмерительных приборов, а также расширение парка образцовых приборов на предприятиях ставит перед метрологическими и поверочными органами в качестве одной из важнейших задач разработку методов ускоренной поверки приборов путем применения современных средств автоматики и счетно-решающей техники. Одним из первых этапов в этой области является автоматизация поверок счетчиков, выпускаемых в больших количествах, а далее — амперметров, вольтметров, ваттметров и приборов сопротивления средней точности.

В тех случаях, когда требования к точности поверок высоки (например, для приборов класса 0,2) и введение автоматизации не может еще обеспечить необходимой точности, целесообразным является создание

точных образцовых приборов непосредственной оценки, которые позволили бы заменить значительно более сложные приборы сравнения. Последнее относится, например, к поверкам приборов на переменном токе повышенных частот.

Промышленностью осваивается выпуск амперметров, вольтметров и ваттметров переменного и постоянного тока классов 0,1 и точнее, а также трансформаторов тока и напряжения с погрешностями, меньшими чем 0,1%. В связи с этим ставится задача повышения точности как образцовых мер и приборов сопротивления (образцовых мер сопротивления, компенсаторов), применяемых на постоянном токе, так и компараторов постоянного и переменного тока. Также необходима разработка новых методов и аппаратуры для поверки трансформаторов тока и напряжения, которые обеспечивали бы точность, определяемую погрешностями в несколько тысячных долей процента и сотых долей минуты.

Важной задачей является разработка новых точных и не зависящих от влияния внешних магнитных полей методов поверки (в условиях электролизной промышленности) трансформаторов постоянного тока до 200 *ка*. В связи с освоением промышленностью измерительных устройств для высоковольтных линий электропередач постоянным током возникают задачи поверки трансформаторов постоянного тока на большие силы тока при напряжении 400 *кв* и выше и трансформаторов напряжения постоянного тока на те же пределы по напряжению.

Возрастание мощностей промышленных установок переменного тока повышенной частоты и создание трансформаторов тока повышенной частоты до нескольких тысяч ампер выдвигает задачу измерения больших переменных токов при частотах до 10000 *гц*.

Развитие автоматики и телемеханики в энергосистемах привело к широкому выпуску и применению устройств телеизмерения. Однако до сих пор отсутствуют не только теоретические работы, связанные с оценкой погрешности этих устройств, но также и научно обоснованные нормативные документы и узаконенные методы поверки телеизмерительных приборов.

Проблема повышения точности электрических измерений в метрологическом аспекте тесно связана с решением первоочередной задачи создания высокостабильных источников постоянного и переменного тока.

В связи с тем, что приборы, осваиваемые промышленностью, зачастую применяются для работы в особых условиях, например при повышенной влажности, пониженной или повышенной температуре, искаженной форме кривой переменного тока, при наличии сильных внешних электрических или магнитных полей, в условиях тряски и вибрации, необходимо создание в метрологических институтах технической базы (камер влажности, термостатов, источников с регулируемой формой кривой, вибростендов и др.), которая позволила бы проводить испытания приборов в подобных условиях.

В области магнитных измерений первоочередной задачей является завершение исследований, связанных с определением гиромагнитного отношения (отношение магнитного момента протона к его механическому моменту) и широкое использование метода парамагнитного ядерного резонанса для метрологических и поверочных целей.

Богатейший опыт ВНИИМ и его Свердловского филиала по разработке методики и аппаратуры для определения магнитных характеристик нормальных образцов всевозможных магнитных материалов должен быть более широко использован как в поверочной практике, так и при установлении стандартных методов испытания магнитных материалов, которые еще в недостаточной мере находят отражение в нормативных документах.

При решении этих вопросов следует больше внимания уделять использованию современных технических средств, которые ускоряли бы проведение испытаний образцов материалов.

Важной задачей и на ближайшее время остается разработка методов и аппаратуры для изучения нормальных образцов магнитных материалов в особых условиях намагничивания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Георгиевский А. Н. и Маликов М. Ф., Временник Главной Палаты мер и весов, Петроград, 1918.
2. Маликов М. Ф., Труды ВИМС, вып. 127, 1933.
3. Маликов М. Ф. и Вессо-Адо Е. К., Труды ВИМС, вып. 127, 1933.
4. Маликов М. Ф., Сообщение Главной Палаты мер и весов Консультативному комитету по электричеству и фотометрии, вып. 100, 1932.
5. Кротков И. Н., Труды ВНИИМ, вып. 21(37), 1939, стр. 4—27.
6. Вальчихин Д. Д., Желудева П. Г. и Рождественская Т. Б., Труды ВНИИМ, вып. 28(88), 1956, стр. 73.
7. Любомудрова К. П., Труды ВНИИМ, вып. 16(32), 1938.
8. Маренина А. И., Труды ВНИИМ, вып. 11(27), 1936.
9. Маренина А. И., Труды ВНИИМ, вып. 16(32), 1938.
10. Быков М. А., «Электричество», № 8, 1949.
11. Маликов М. Ф., Временник Главной Палаты мер и весов, вып. 1(13), 1925.
12. Колосов А. К., Временник Главной Палаты мер и весов, вып. 3(15), 1929.
13. Маликов М. Ф., Временник Главной Палаты мер и весов, вып. 3(15), 1929.
14. Колосов А. К., Сообщение Главной Палаты мер и весов Консультативному комитету по электричеству и фотометрии, вып. 100, 1923.
15. Колосов А. К., Сборник работ комиссии по единицам мер АН СССР, 1938.
16. A. C. Kolossov, Determination par la methode du voltametre à argent de force électromotrice des elements normaux internationaux Weston; Annexes du Comité Consultatif d'Electricité et Thotometrie, Paris, 1933.
17. M. F. Malikov et A. C. Kolossov, Resultats des comparaisons d'elements appartenout à divers laborotoires faites par les soins de la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'URSS. Comptes Rendus des Seances de la septieme conference generale des poids et mesures réunie à Paris, en 1927.
18. Зеликовский З. И., Труды ВНИИМ, вып. 31(91), 1957.
19. Кротков И. Н., канд. дисс., ЛИИГВФ, 1939.
20. Быков М. А., «Электричество», № 9, 1938.
21. Кротков И. Н., Гущина Т. М. и Шликевич А. В., Рефераты научно-исследовательских работ институтов Комитета, Сборник № 1, 1956, стр. 59.
22. Кротков И. Н., Труды ВНИИМ, 31(91), 1957, стр. 19.
23. Кертис Х. Л., Мун Ч. и Спаркс С. М., Бюро Стандартов, Вашингтон, 1932.
24. Кротков И. Н., Труды ВНИИМ, вып. 31(91), 1957, стр. 36.
25. Широков К. П. и Зорин Д. И., Научно-техническое совещание работников промышленности, деятелей науки и техники, Ленинград, вып. 83, 1951.
26. Гущина Т. М. и Кротков И. Н., Информационное письмо (доклады на конференции по электрическим измерениям и приборостроению), Львов, 1956, стр. 14.
27. Быков М. А., Труды МГИМИП, вып. 2, 1950.
28. Гуляев М. А., канд. дисс., ВНИИМ, 1953.
29. Кротков И. Н., Тезисы докладов на научной сессии, посвященной итогам работ ВНИИМ, 1954, стр. 9.
30. Кротков И. Н. и Гущина Т. М., Тезисы докладов на научной сессии, посвященной итогам работ ВНИИМ, 1955, стр. 52.
31. Кротков И. Н., Гущина Т. М., Гуляев М. А. и Шликевич А. В., Рефераты научно-исследовательских работ институтов Комитета стандартов, мер и измерительных приборов, Сборник № 1, 1956, стр. 62.
32. Грохольский А. Л., Образцовые меры емкости 1-го разряда, канд. дисс., ВНИИМ, 1955.
33. Грохольский А. Л., Рефераты научно-исследовательских работ институтов Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, Сборник № 1, 1956, стр. 65.
34. Быков М. А. «Измерительная техника», № 7, 1940.
35. Зорин Д. И. и Бродский А. М., «Измерительная техника», № 5, 1957.

36. Лизогуб М. С., Коммутаторный метод измерения емкостей, канд. дисс., ВНИИМ, 1954.

37. Быков М. А., Рефераты научно-исследовательских работ институтов Комитета стандартов, мер и измерительных приборов, Сборник № 1, 1956, стр. 64, «Электричество», № 9, 1946.

38. Яновский Б. М., Аматуни Н. Л. и Горбацевич С. В., Труды ВНИИМ, вып. 31(91), 1957, стр. 32.

39. Кротков И. Н., Труды ВНИИМ, вып. 31(91), 1957, стр. 21.

40. Залуцкий Л. В., Введение в теорию ампервесов, Лениздат, 1945.

41. Яновский Б. М., Горбацевич С. В. и Волков Н. А., Труды ВНИИМ, вып. 15(75), 1953.

42. Николаев Ф. Н., Труды ВИМС, вып. 11(27), 1936, стр. 5.

43. Кротова В. И., Потенциометры, изд. ВНИИМ, 1940.

44. Широков К. П., Труды ВНИИМ вып. 1(56), 1947, стр. 72.

45. Широков К. П., Труды ВНИИМ, вып. 6(86), 1949, стр. 45.

46. Широков К. П., Труды ВНИИМ, вып. 24(84), 1954, стр. 77.

47. Павлова А. А., Труды ВИМС, вып. 11(27), 1936, стр. 58.

48. Павлова А. А., Труды ВНИИМ, вып. 16(32), 1938, стр. 37.

49. Борисов В. А. и Широков К. П., Сборник статей по электроприборостроению, ЛИТМО, вып. 10, 1953, стр. 24.

50. Кейм А. А., «Метрология и поверочное дело», № 2—3, 1939, стр. 43.

51. Тюрин Н. И., «Метрология и поверочное дело», № 9, 1939, стр. 15.

52. Широков К. П., Сборник докладов на конференции по компенсационным методам измерений, Львов, 1955, стр. 32.

53. Панкратов Г. Ф., Научная сессия, посвященная итогам работ за 1955 г. (краткое содержание доклада), 1956, стр. 58.

54. Юртенс А. А., Труды ВНИИМ, вып. 1(56), 1947, стр. 116.

55. Вальчихин Д. Д. и Рождественская Т. Б., Труды ВНИИМ, вып. 14(74), 1953, стр. 28.

56. Михайлова Е. К., Труды ВНИИМ, вып. 14(74), 1953, стр. 100.

57. Михайлова Е. К., «Электричество», № 8, 1951, стр. 69.

58. Румянцев А. С., Научная сессия, посвященная итогам работ за 1955 г. (краткое содержание докладов), 1956, стр. 57.

59. Рудный Н. М. и Чухланцев А. А., Там же, стр. 56.

60. Рождественская Т. Б., Методы и приборы для точных измерений на переменном токе повышенной частоты. Научно-техническое совещание работников промышленности, деятелей науки и техники, вып. 87, Ленинград, 1951.

61. Каяндер М. С., «Вестник электропромышленности», № 1, 1952, стр. 10.

62. Безикович А. Я., Труды ВНИИМ, вып. 24(84), 1954, стр. 57.

63. Широков К. П., Труды ВНИИМ, вып. 28(88), 1956, стр. 5.

64. Широков К. П., Труды ВНИИМ, вып. 24(84), 1954, стр. 24.

65. Безикович А. Я. и Зорин Д. И., Труды ВНИИМ, вып. 28(88), 1956, стр. 20.

66. Безикович А. Я., Научная сессия, посвященная итогам работ (краткое содержание доклада), 1956, стр. 61.

67. Каяндер М. С., Научная сессия, посвященная итогам работ за 1954 г. (тезисы доклада), 1955, стр. 31.

68. Рождественская Т. Б., Научная сессия, посвященная итогам работ за 1954 г. (тезисы доклада), 1955, стр. 29.

69. Нестеренко А. Д., Известия Киевского Политехнического института, т. XI, 1952.

70. Кротова В. И., Временник Главной Палаты мер и весов, вып. 3(15), 1929.

71. Кротова В. И., Поверка измерительных трансформаторов, Стандартгиз, 1933.

72. Горбацевич С. В. Труды ВИМС, вып. 11(27), 1936, стр. 105.

73. Левин М. И., «Метрология и поверочное дело», № 6, 7 и 8, 1939, стр. 43, 49, 26.

74. Волохова В. А. «Метрология и поверочное дело», № 12, 1939, № 8 и 9, 1940, стр. 8 и 14.

75. Левин М. И., «Метрология и поверочное дело», № 11—12, 1940, стр. 16.

76. Рождественская Т. Б., Труды ВНИИМ, вып. 28(88), 1956.

77. Каяндер М. С., Труды ВНИИМ, вып. 28(88), 1956, стр. 36.

78. Рождественская Т. Б., Труды ВНИИМ, вып. 28(88), 1956, стр. 62.

79. Левицкая Н. В., канд. дисс., ВНИИМ, 1953.

80. Любарская А. М., «Измерительная техника», № 1, 1957.

81. Горбацевич С. В., Труды ВНИИМ, вып. 1(17), 1932, стр. 135.

82. Селезнев Н. Н., «Измерительная техника», № 10, 1940, стр. 12.

83. Маренин Н. А., Труды ВНИИМ, вып. 24(40), 1939, стр. 143.

84. Вострокнутов Н. Г., «Измерительная техника», № 1, 1941, стр. 19.

85. Селезнев Н. Н., «Метрология и поверочное дело», № 10, 11 и 12, 1939, стр. 49, 42 и 40.

86. Мартыков А. В. и Писанный Е. Н., «Измерительная техника», № 5, 1941, стр. 14.

87. Залуцкий Л. В., Магнитные измерения, Петроград, 1915.

88. Шрамков Е. Г., «Электричество», № 5—6, 1929.
89. Егоров Г. Е. и Чернышев Е. Т., Труды ВИМС, вып. 7(23), 1935.
90. Шрамков Е. Г., Труды ВНИИМ, вып. 18(34), 1938, вып. 1(56), 1947.
91. Рудный Н. М., канд. дисс. ВНИИМ, 1953, «Физика металлов и металловедение», т. 1, вып. 1, 1955.
92. Шрамков Е. Г., «Поверочное дело», № 1—2, 1928 г.; «Вестник стандартизации», № 11—12, 1931, стр. 83, Сборник ЛЭМИ, № 2/IV, 1934.
93. Шрамков Е. Г. и Зуева Н. Г., Труды ВИМС, вып. 7(23), 1935; Сборник ВИМС, № 137, 1934.
94. Правила № 148 на нормальные образцы для испытаний листовой электротехнической стали на приборах Эпштейна от 17/IV 1936.
95. Шрамков Е. Г., «Вестник стандартизация», № 11—12, 1931, стр. 86.
96. Шрамков Е. Г. и Чернышев Е. Т., Труды ВНИИМ, вып. 18(34), 1938.
97 Спиридович Н. И., «Поверочное дело», № 4(17), 1928.
98. Яновский Б. М., Временник Главной Палаты мер и весов, № 3(15), 1929.
99. Яновский Б. М. и Зуева Н. Г., Труды ВИМС, вып. 7(23), 1935.
100. Спиридович Н. И. и Бойко А. Н., Труды ВИМС, вып. 7(23), 1935.
101. Шрамков Е. Г., Сообщения Главной Палаты мер и весов Консультативному комитету по электричеству, ВИМС, № 100, 1932.
102. Яновский Б. М., Изв. ГГО, № 3, 1932.
103. Шрамков Е. Г., Сообщение ВНИИМ Консультативному комитету по электричеству, Лениздат, 1939, «Электричество», № 7, 1946.
104. Шрамков Е. Г., Доклады Академии наук СССР, 1929, стр. 97.
105. Яновский Б. М., Труды ВИМС, вып. 1(12), 1932.
106. Шрамков Е. Г. и Чернышев Е. Т., Труды ВНИИМ, вып. 29(89), 1956.
107. Шрамков Е. Г. и Соколова Е. А., Труды ВНИИМ, вып. 29(89), 1956.
108. Будрин С. П., Труды ВИМС, № 4(20), 1933.
109. Чернышев Е. Т. и Спиридович Н. И., Труды ВНИИМ, вып. 1(43), 1940.
110. Чернышев Е. Т., Труды ВНИИМ, вып. 10(70), 1952.
111. Ягола Г. К. и Чернышев Е. Т., Труды ВНИИМ, вып. 18(34), 1938.
112. Яновский Б. М. и Чернышев Е. Т., Труды ВИМС, вып. 7(23), 1935.
113. Яновский Б. М., Труды ВНИИМ, вып. 18(34), 1938.
114. Спиридович Н. И., Труды ВНИИМ, вып. 18(34), 1938.
115. Яновский Б. М. и Спиридович Н. И., Труды ВНИИМ, вып. 1(43), 1940.
116. Яновский Б. М., Труды ВНИИМ, вып. 1(56), 1947.
117. Соколова Е. А., Труды ВНИИМ, вып. 24(84), 1954, стр. 112.
118. Соколова Е. А., Труды ВНИИМ, вып. 24(84), 1954, стр. 122.
119. Соколова Е. А., Труды ВНИИМ, вып. 10(70), 1952, стр. 110.
120. Ермакова А. М., Труды ВНИИМ, вып. 10(70), 1952.
121. Чернышев Е. Т., Чернышева Н. Г. и Чечурина Е. Н., «Физика металлов и металловедение», т. 1, вып. 1, 1955.
122. Чернышев Е. Т. и Чернышева Н. Г., Труды ВНИИМ, вып. 29(89), 1956.
123. Чернышев Е. Т. и Чечурина Е. Н., Труды ВНИИМ, вып. 29(89), 1956.
124. Чернышев Е. Т., Труды ВНИИМ, вып. 29(89), 1956.
125. Чечурина Е. Н., Труды ВНИИМ, вып. 29(89), 1956.
126. Чернышева Н. Г. «Измерительная техника», № 2, 1957.
127. Егоров Г. Е., Труды ВНИИМ, 18(34), 1938.
128. Ягола Г. К., Труды ВНИИМ, вып. 24(84), 1954.
129. Рудный Н. М., Труды ВНИИМ, вып. 29(89), 1956.
130. Буланова А. И., Векслер А. З. и Рудный Н. М., Труды ВНИИМ, вып. 29(89), 1956.
131. Соколова Е. А. и Яновский Б. М. «Измерительная техника», № 5, 1956.
132. Ягола Г. К., Лизогуб М. С., Зингерман В. И. и Богатырев Е. Е., «Измерительная техника», № 6, 1955.
133. Шрамков Е. Г., «Измерительная техника», № 5, 1957.

РАБОТЫ В ОБЛАСТИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Б. Е. РАБИНОВИЧ, В. В. КШИМОВСКИЙ, О. В. СТОЯКИНА

1. Введение. Радиотехнические измерения в нашей стране стали развиваться в основном после Великой Октябрьской революции. Начало этим работам было положено Главной Палатой мер и весов, а затем—ВНИИМ. Темпы развития этих работ были определены развитием радиотехники и настоятельной необходимостью обеспечения единства измерений.

Сначала главное внимание было уделено вопросам измерения частоты и, в частности, созданию эталона частоты. Затем стали развиваться измерения напряжений, токов, емкостей и индуктивностей при высоких частотах.

В послевоенное время, в связи с быстрым развитием радиотехники и в том числе радиолокации, требования к единству измерений, особенно в области сверхвысоких частот, резко возросли, ввиду чего Комитет стандартов, мер и измерительных приборов организовал во ВНИИМ в 1948 г. дополнительную лабораторию по измерениям в области высоких и сверхвысоких частот.

С 1953 г. Комитет проводил ряд мероприятий для существенного сдвига в деле обеспечения единства радиотехнических измерений. В частности, в Москве был организован институт радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ), а в научно-исследовательских институтах в Ленинграде, Харькове, Новосибирске, Свердловске открыты научно-исследовательские лаборатории, на которые возложено исследование, разработка и создание образцовых мер, измерительных приборов и установок, необходимых для обеспечения государственных испытаний и обязательной госповерки приборов, применяемых в радиотехнике для измерения времени, частоты, тока, напряжения, мощности, емкости, индуктивности, сопротивления и других величин.

Ниже рассматривается состояние отдельных видов радиотехнических измерений.

2. Измерение частоты. Измерение частоты ведется с помощью группы эталонных пьезокварцевых генераторов ВНИИМ, ВНИИФТРИ и ХГИМИП, сличаемых как между собой, так и внутри групп.

Непрерывное расширение частотного диапазона в область сверхвысоких частот потребовало разработки устройств для умножения эталонных частот и получения спектра их. Одновременно потребовалось разработать устройства, с помощью которых можно было бы производить сличение образцовых приборов и поверок частотомеров и волномеров в области сверхвысоких частот.

Во ВНИИМ, а затем в ХГИМИП были разработаны необходимые устройства [1, 2, 3], которые обеспечили измерение частот с погрешностью порядка $10^{-4} \div 10^{-6}$.

Несколько позднее институты Комитета были оснащены частотоизмерительными устройствами типа «Авангард», аттестованными в качестве

образцовых мер 1-го разряда. Они позволили производить измерение частоты до 50 000 *Мгц*.

В настоящее время радиотехнические поверочные лаборатории имеют образцовые аттестованные приборы, измеряющие частоту с погрешностью $\pm 5 \cdot 10^{-5}$, что обеспечивает поверку всех типов частотоизмерительных приборов.

За последнее пятилетие были разработаны необходимые нормативные документы и создана «Поверочная схема для мер частоты и частотоизмерительных приборов» [4].

Поверка как образцовых, так и рабочих мер частоты и частотоизмерительных приборов производится согласно правилам и инструкциям [5], разработанным ВНИИМ, ВНИИФТРИ, ХГИМИП и утвержденным к обязательному пользованию Комитетом.

Развитие радиотехники выдвигает требование дальнейшего повышения точности воспроизведения частоты путем разработки эталонов частоты на новых принципах (молекулярный генератор). Возникает необходимость разработать приборы для измерения частоты и поверок с погрешностью $10^{-6} \div 10^{-7}$. Требуется проводить работы по расширению частотного диапазона как в области генерирования, так и в области измерения частот в миллиметровом диапазоне волн.

Следует уделить большое внимание автоматизации измерения частоты методом применения счетно-решающих схем.

3. Измерение мощности. В связи с развитием радиолокации вопросы измерения мощности сверхвысоких частот потребовали особого внимания.

Трудность решения этой задачи определяется тем, что диапазон сверхвысоких частот, используемых в технике, простирается от сотен до десятков тысяч мегагерц и значения мощности лежат также в широком диапазоне: от 10^{-1} *вт* до десятков мегаватт в импульсе.

Разработка вопросов измерения мощности велась вначале лабораториями ВНИИМ и ХГИМИП. В 1953 г. во ВНИИМ был разработан калориметрический измеритель мощности с водяной нагрузкой в трех- и десятисантиметровом диапазоне волн. Исследование погрешностей показало, что среднеквадратичная погрешность измерения равна 1,5% [6]. В ХГИМИП были разработаны изотермический калориметр с охлаждающим элементом и калориметр с фазовым переходом (ледяной калориметр) для волн 3 и 10 *см* [7, 8]. Исследовался также метод пондеромоторных сил.

В 1957 г. состоялось сличение установок ВНИИМ и ХГИМИП в 3- и 10-сантиметровом диапазонах волн с помощью промежуточных термисторных головок. Сличения показали хорошее совпадение результатов измерений в пределах погрешности их.

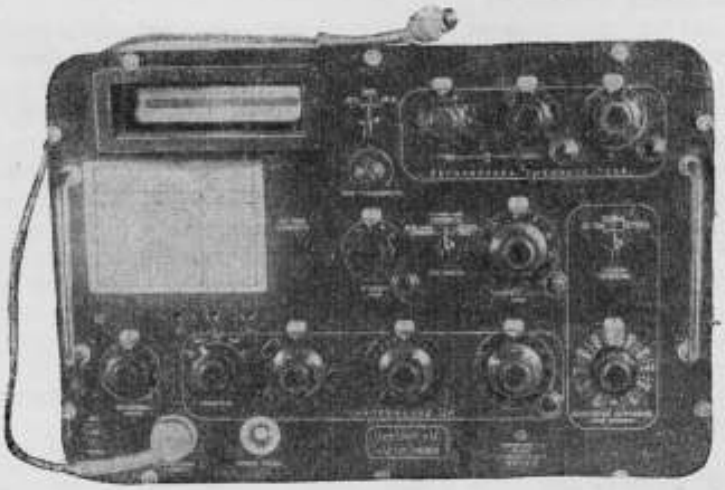
Во ВНИИМ было проведено исследование методов сличения термисторных измерителей мощности с калориметрическим измерителем мощности в 3- и 10-сантиметровом диапазонах волн. Наиболее рациональной схемой сличений явилась схема, использующая направленный ответвитель. Общая погрешность поверки термисторных головок не превысила 3% [9].

Согласно исследованиям ВНИИМ и ХГИМИП погрешность аттестации термисторных головок принимается равной 2% в трехсантиметровом диапазоне волн. В десятисантиметровом диапазоне волн погрешность аттестации во ВНИИМ составила 2,4%, в ХГИМИП — 4%.

В системе Комитета работы по измерению мощности в настоящее время ведутся в нескольких институтах, в частности, во ВНИИФТРИ, где разработан автоматический термисторный мост постоянного тока, который дает возможность резко снизить погрешность, вносимую измерительной схемой (до 1,5 ÷ 2%). Это достигается путем автоматического замеще-

ния высокочастотной мощности мощностью постоянного тока [10]. Ведутся дальнейшие работы с целью охватить весь диапазон как по мощности, так и по частоте.

4. Измерение напряжения. В парке радиоизмерительной аппаратуры приборы для измерения напряжения при высоких частотах являются наиболее распространенными после частотоизмерительных приборов. Поэтому задача обеспечения единства измерений здесь особенно актуальна.



Образцовый компенсационный вольтметр типа ОКВ-2.

Для массовой поверки ламповых вольтметров применяется методика поверки по образцовым приборам электродинамической или электромагнитной систем на промышленной частоте с применением фильтров для устранения влияния гармоник [11].

Однако эта методика непригодна для определения погрешностей вольтметров при высоких частотах и для поверок вольтметров, встроенных в генераторы стандартного сигнала (ГСС).

Эта задача решена во ВНИИМ путем разработки образцового компенсационного вольтметра для измерения напряжения с использованием вакуумного диода в качестве детекторного элемента [12, 13]. Применение диода обеспечило весьма широкий частотный диапазон и вместе с тем благодаря единообразию вольтамперных характеристик в области малых токов (экспоненциальности) позволило разработать образцовые вольтметры, не требующие градуировок на переменном токе; амплитуда измеряемого напряжения находится только по известным значениям сопротивлений и напряжений постоянного тока, контролируемых нормальным элементом.

Разработанные по этому принципу образцовые вольтметры ОКВ-1 и ОКВ-2 (последний показан на рисунке) обеспечивают измерение напряжений от 20 *мв* до 100 *в* в диапазоне частот от 30 *гц* до 300 *Мгц*, с основной погрешностью не более $\pm(0{,}2+\frac{0{,}08}{U})$ % [14]. Они используются для испытаний и поверок вольтметров и генераторов стандартного сигнала.

В связи с проблемой единства измерений напряжения были исследованы вопросы влияния формы кривой на показания ламповых вольтметров, а также погрешности поверки за счет несинусоидальности источника вспомогательного напряжения [15, 16, 17].

В ХГИМИП разработан и использовался в качестве образцового (для поверок вольтметров и генераторов стандартного сигнала) фотовольтметр.

Развитие импульсной техники привело к необходимости создания импульсных вольтметров. В связи с этим во ВНИИМ проведена разработка обазцового вольтметра для измерения импульсных напряжений более 1 *в* [18].

В Свердловском филиале ВНИИМ разрабатывается методика поверки импульсных милливольтметров.

Измерение малых напряжений (от десятых долей вольта до микровольт) при высоких частотах является также весьма распространенным видом измерений. Для поверки генераторов стандартного сигнала, применяемых в этой области измерений, во ВНИИМ были разработаны образцовые установки УГСС-1 и УГСС-2, обеспечивающие поверку всех выпускаемых и находящихся в обращении генераторов стандартного сигнала метрового и дециметрового диапазонов (от 20 до 700 *Мгц*) при напряжениях от 5 *мкв* и выше [19, 20].

Методика поверки состоит в раздельном измерении наибольшего выходного напряжения ГСС (так называемого «уровня», равного 0,1—1,0 *в*) и в измерении отношения напряжения в данной точке шкалы к напряжению уровня. Последнее выполняется с помощью измерительного супергетеродинного приемника методом замещения по образцовому ослабителю в тракте промежуточной частоты при амплитудно-линейном преобразовании частоты.

Для поверки генераторов стандартного сигнала в диапазоне частот до 25 *Мгц* при напряжениях от 1 *мкв* до 1 *в* в ХГИМИП была разработана установка, в основу которой положен принцип использования образцовых делителей напряжения высокой частоты пленочного типа [21].

Благодаря малой толщине пленок достигается весьма малая частотная зависимость коэффициента деления, что позволяет проводить градуировку делителей на постоянном токе.

Дальнейшее развитие этой области измерений идет в направлении расширения частотного диапазона в сторону сантиметровых волн, снижения нижнего предела измеряемых напряжений до единиц и долей микровольта, а также по пути рационализации поверок.

5. Измерение ослабления. Ослабители (аттенюаторы), служащие для уменьшения мощности, также находят широкое применение в измерительной технике всех диапазонов частот как в виде отдельных приборов, так и приборов, встроенных в аппаратуру. В частности, они являются составной частью генераторов стандартного сигнала.

Для поверки ослабителей поглощающего типа в трехсантиметровом диапазоне волн во ВНИИМ было проведено исследование метода квадратичного детектора, в результате которого была разработана образцовая установка и инструкция по аттестации образцовых ослабителей и по поверке с их помощью рабочих ослабителей методом замещения [22, 23]. В диапазоне до 30 *дб* погрешность аттестации не превосходит $\pm 0{,}1$ *дб*.

В десятисантиметровом диапазоне аналогичная установка и методические указания разработаны во ВНИИФТРИ [24].

Для поверки ослабителей в метровом и дециметровом диапазонах (от 20 до 700 *Мгц*) служит упомянутая ранее установка типа УГСС-2 с вспомогательным серийным генератором [19, 20, 25].

Погрешность поверки (за исключением погрешности рассогласования) не превосходит $\pm 0{,}1$ *дб* при ослаблении 35 *дб* и $\pm 0{,}2$ *дб* при 80 *дб*.

Для поверок ослабителей в широком спектре частот, включая сантиметровые волны, во ВНИИФТРИ совместно с ЦНИИ МО разработана установка, использующая супергетеродинный принцип сравнения по промежуточной частоте [26].

Массовые поверки ослабителей на сантиметровых волнах целесообразнее всего проводить методом замещения на высокой частоте по образцовым ослабителям, в свою очередь поверяемым супергетеродинным методом. В направлении создания новых конструкций образцовых ослабителей поляризационного типа проводится работа во ВНИИФТРИ [27].

Оригинальный делитель мощности в трехсантиметровом диапазоне волн интерференционного типа с возможностью расчета коэффициента ослабления разработан в ХГИМИП [28]. Там же разработан метод измерения очень малых затуханий путем инверсии в схеме, содержащей волноводный мост [29].

Дальнейшее развитие этой области измерений идет в направлении разработки совершенных мер ослабления и поверочной аппаратуры во всем диапазоне высоких и сверхвысоких частот, а также в повышении точности аттестации этой аппаратуры.

6. Измерение коэффициента амплитудной модуляции и коэффициента нелинейных искажений. Наличие в народном хозяйстве большого количества модулометров различного типа привело к необходимости введения обязательной государственной поверки их (1954 г.).

В итоге научно-исследовательской работы во ВНИИМ и ХГИМИП были разработаны необходимые образцовые приборы. Во ВНИИМ создана установка типа УАМ-1 для поверки измерителей модуляции. Погрешность измерений на установке около 1%. Установка охватывает диапазон несущих частот 0,1 ÷ 30 *Мгц* [30]. Разработаны также «Методические указания» по поверке измерителей амплитудной модуляции типов ИМ-13, ИМ-12 и ИМ-8.

В ХГИМИП разработаны образцовые приборы типа МХ-3 и МХ-5 для поверки генераторов стандартного сигнала по коэффициенту амплитудной модуляции [31, 32]. Погрешность их не более 2% при коэффициенте модуляции в пределах 15—80%.

Для поверки измерителей коэффициента нелинейных искажений во ВНИИМ разработана установка для измерений в диапазоне частот от 60 *гц* до 20 *кгц* коэффициента нелинейных искажений от 0,3 до 50% с погрешностью не более 2% [33].

7. Измерение тока. Начало работ по измерению токов высокой частоты во ВНИИМ следует отнести к 1930 г., когда Г. А. Кьяндским был исследован амперметр Муллена.

В 1936 г. в ХГИМИП был разработан фотоэлектрический метод измерения тока при высоких частотах [34]. Суммарная погрешность измерения в диапазоне 0,05—3,2 *а* получилась порядка 1% при частотах до 100 *Мгц*.

После Великой Отечественной войны работы продолжались во ВНИИФТРИ, где с помощью разработанного там же электродинамического амперметра, имеющего погрешность 1% [35], исследовались многопроводные лампы фотоамперметров. Результаты исследований показали, что погрешность многопроводного фотоамперметра составляет 2,5%.

Во ВНИИФТРИ разрабатывается образцовая установка для измерения токов высокой частоты от 0,001 до 100 *а* на частотах до 100 *Мгц*.

8. Измерение характеристик диэлектриков. Для поддержания в стране единства в области измерения характеристик диэлектрических материалов во ВНИИМ, ХГИМИП и ВНИИФТРИ разрабатывались методы и образцовая аппаратура для измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазонах метровых, дециметровых и сантиметровых волн [36, 37, 38].

При постановке работ особое внимание уделялось оценке достоверности получаемых результатов.

Теоретическая разработка методов измерения, экспериментальное исследование созданных установок и анализ погрешностей последних дали возможность обеспечить измерение характеристик диэлектриков и про-

вести определение их для ряда диэлектриков [36, 38, 39], а также обеспечить поверку измерителей диэлектриков, выпускаемых промышленностью.

9. Измерение емкости и индуктивности. Для измерения емкости и индуктивности при частотах от 100 до 1500 *кгц* во ВНИИМ была разработана в 1940 г. установка, основанная на гетеродинном методе.

В послевоенное время широкое распространение получили приборы для измерения емкости и индуктивности при высоких и сверхвысоких частотах (измерители добротности, измерительные линии). Некоторые вопросы, связанные с поверкой указанных приборов, решались при измерении других величин, например, затухания и мощности [40, 22, 23]. К решению этой проблемы приступил также НГИМИП, где в 1956 г. была разработана методика определения параметров измерителей добротности на частотах до 100 *Мгц*. Она позволила провести исследования измерителей добротности типа КВ-1 и УК-1 [41].

Там же разработана установка и методика аттестации на ней образцовой волноводной нагрузки трехсантиметрового диапазона по КСВН с погрешностью не более 1,5% [42].

Ведутся работы по созданию методики поверок существующих измерительных линий и по составлению нормативной документации.

В области измерения емкости и индуктивности при высоких и сверхвысоких частотах предстоит большая работа по освоению всего частотного диапазона.

10. Импульсные измерения. В связи с необходимостью обеспечения поверки импульсных измерительных приборов во ВНИИФТРИ была проведена разработка методов и аппаратуры для измерения временных параметров импульсов. Была разработана установка для поверки генераторов видео-импульсов. Разработана также установка для поверки ГСС в режиме импульсной модуляции, которая позволяет измерить длительность радиоимпульсов в пределах от 0,1 до 250 *мксек*, длительность фронтов радиоимпульсов от 0,1 *мксек* и более, частоту следования в пределах 50 ÷ ÷ 10 000 *гц* и время задержки от 1 до 2000 *мксек* [43].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермаков В. И., канд. дисс., ВНИИМ, 1949.
2. Охотина С. М., канд. дисс., ВНИИМ, 1954.
3. Кшимовский В. В., «Измерительная техника», № 2, 1956.
4. Поверочные схемы, под ред. К. П. Широкова, Л., 1956, стр. 14.
5. Инструкции Комитета стандартов, мер и измерительных приборов: 206—54 — по поверке гетеродинных частотомеров, 207—54 — по поверке кварцевых калибраторов, 210—54 — по поверке ламповых вольтметров на промышленной частоте, 212—54 — по поверке резонансных волномеров в метровом и дециметровом диапазонах волн, 213—54 — по поверке резонансных волномеров в 10-сантиметровом диапазоне, 214—54 — по поверке резонансных волномеров в 3-сантиметровом диапазоне, 215—54 — по поверке частоты электрических колебаний высокостабильных генераторов, 220—55 — по поверке гетеродинных частотомеров типов ГЧ-1 и ГЧ-1-М.
6. Залуцкая Т. Л., Труды ЦНИИ МРТП, вып. II, Горький, 1957.
7. Бродский А. И., Тезисы докладов на Сессии по радиоизмерениям, Москва, ВНИИФТРИ, 1957, стр. 1[1].
8. Проненко В. И., то же, стр. 2.
9. Морозова Т. В., Труды ЦНИИ МРТП, вып. II, Горький, 1957.
10. Закс Л. М., Сессия по радиоизмерениям, стр. 3.
11. Инструкция 210—54 по поверке ламповых вольтметров на промышленной частоте.
12. Рабинович Б. Е., канд. дисс., ВНИИМ, 1948.
13. Рабинович Б. Е., Труды ВНИИМ, вып. 13(73), 1953.
14. Рабинович Б. Е., Федоров А. М. и Пинус И. П., Научная сессия, посвященная итогам работ ВНИИМ за 1956 г. (краткое содержание докладов), Л., 1957.

[1] Для краткости в дальнейшем назовем Сессия по радиоизмерениям.

15. Рабинович Б. Е., «Измерительная техника», № 4, 1956, стр. 43.
16. Федоров А. М., Труды ЦНИИ МРТП, вып. II, Горький, 1957.
17. Земельман М. А., «Измерительная техника», № 4, 1956, стр. 44.
18. Залуцкая Т. Л., Труды ВНИИМ, вып. 13(73), 1953.
19. Рабинович Б. Е. и Стоякина О. В., Труды ЦНИИ МРТП, вып. II, Горький, 1957.
20. Методические указания № 150 по поверке генераторов стандартного сигнала по выходному напряжению или мощности в диапазоне частот 20—700 *Мгц* и ослабителей в диапазоне 350—700 *Мгц*, М., 1957.
21. Инструкция 209—54 по поверке генераторов стандартного сигнала типа ГСС-6.
22. Стрелкова Е. И., «Измерительная техника», № 2, 1956, стр. 43.
23. Инструкция 225—55 по поверке поглощающих ослабителей трехсантиметрового диапазона.
24. Методические указания № 154 по поверке ослабителей десятисантиметрового диапазона волн методом замещения, М., 1957.
25. Стоякина О. В., Научная сессия, посвященная итогам работ ВНИИМ за 1955 г. (краткое содержание докладов), Л., 1956.
26. Биргер Л. А., Сессия по радиоизмерениям, стр. 4.
27. Брянский Л. Н., то же, стр. 4.
28. Ахиезер А. Н., «Измерительная техника», № 1, 1956, стр. 24.
29. Ахиезер А. Н., Сессия по радиоизмерениям, стр. 5.
30. Мозжухин Н. Н., «Измерительная техника», № 4, стр. 83.
31. Шпаньон П. А., «Измерительная техника», № 2, 1957.
32. Шпаньон П. А., Сессия по радиоизмерениям, стр. 7.
33. Марковский Д. П. и Головин С. М., то же, стр. 11.
34. Лукаш В. М., Сборник по измерительной технике, УИНИМ, 1936.
35. Лопань Б. Р., Сессия по радиоизмерениям, стр. 10.
36. Бурдун Г. Д. и Кантор П. В., «Измерительная техника», № 5, 1956, стр. 34.
37. Стоякина О. В., канд. дисс., ВНИИМ, 1950.
38. Бурдун Г. Д., Ж. Т. Ф., т. XX, вып. 7, 1950, стр. 813.
39. Бурдун Г. Д. и Кантор П. Б., ДАН СССР, т. LX, 1949, стр. 985.
40. Герценштейн М. Е., «Измерительная техника», № 4, 1956, стр. 37
41. Грохольский А. Л., Сессия по радиоизмерениям, стр. 10.
42. Елькинд А. И., то же, стр. 6.
43. Неустроев Л. С., то же, стр. 9.

АКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Н. А. КАЛУЖИНОВА

Начало работам по звуковым измерениям в СССР было положено в 1929 г. Инициатором этих работ явился тогдашний Президент Главной Палаты мер и весов проф. М. А. Шателен. Уже в 1931 г. была открыта самостоятельная акустическая лаборатория.

Акустическая лаборатория, руководимая в то время Ю. Н. Егоровым, первой своей задачей поставила создание эталона основного тона музыкальной гаммы в виде камертона, построенного с предельной точностью на частоту сперва 435 *гц*, а затем 440 *гц* [1]. Этот тон был узаконен общесоюзным стандартом в 1935 г.; он передавался по радио и, спустя несколько лет, был принят на основе международного соглашения другими странами. Рабочий эталон частоты акустической лаборатории ВНИИМ дважды сличался по радио (в 1934 и 1935 гг.) с эталоном частоты Национальной физической лаборатории в Теддингтоне (Англия).

В дальнейшем работа лаборатории была направлена на создание эталона звукового давления и на разработку методов последующей передачи верных значений единиц научно-исследовательским институтам и в промышленность.

Звуковое давление является важнейшей величиной в акустике, характеризующей звуковое поле, определяющей акустические свойства звукоизлучателей и звукоприемников и, наконец, служащей для выражения уровня громкости и коэффициента отражения и поглощения звука.

Передача единицы звукового давления в большинстве случаев осуществляется путем градуировки акустической измерительной аппаратуры по полю. На основании этого дальнейшая работа лаборатории состояла в

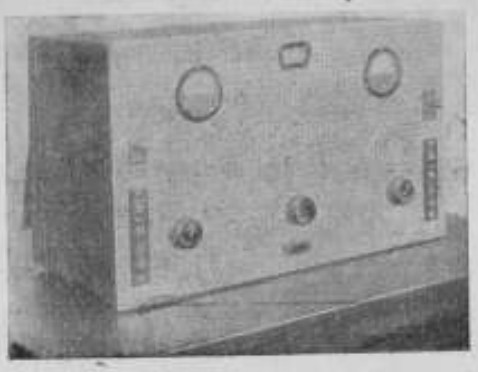


Рис. 1 Звуковой генератор.

разработке и постройке заглушенной звукомерной камеры [2] и абсолютных звукоизмерителей — дисков Рейли [3]. Изготовленный в лаборатории набор дисков позволял осуществлять измерения в широкой области чувствительности.

Исследования в этом направлении продолжались с 1934 по 1939 г. Следует отметить, что в это же время в лаборатории был разработан зву-

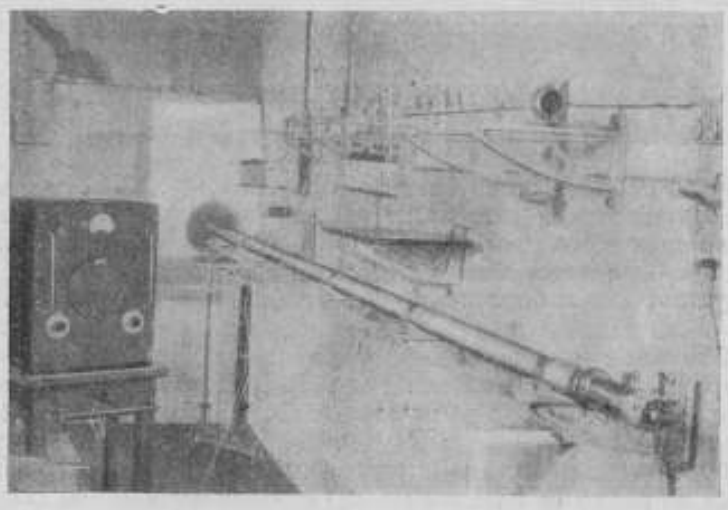


Рис. 2. Установка для воспроизведения единицы звукового давления эталонным методом.

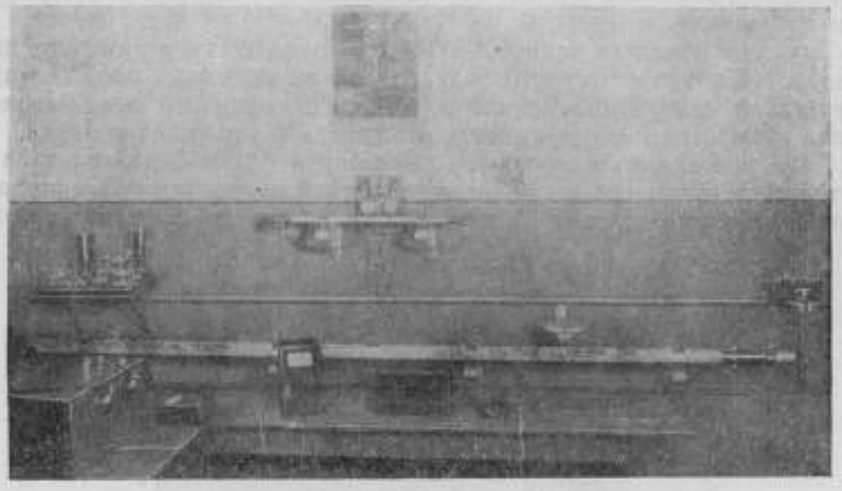


Рис. 3. Установка метода взаимности для градуировки микрофонов по давлению.

ковой генератор, удовлетворявший по тому времени весьма высоким метрологическим требованиям. Генератор изготовлялся заводом «Эталон» и пользовался большим спросом (рис. 1). Работы этого периода сравнительно полно отражены в литературе [4].

После Великой Отечественной войны было предпринято и к 1950 г. в основном закончено широкое метрологическое изучение источников погрешностей воспроизведения и измерения звуковых величин, в процессе которого были исследованы новые установки для поверки и градуировки микрофонов и телефонов связи [5, 6].

В 1949 г. метрологическим бюро ВНИИМ был принят проект поверочной схемы по звуковым измерениям (первая редакция). Во главе этой схемы поставлен эталонный метод воспроизведения единицы звукового давления — метод звукомерного диска в поле стоячих звуковых волн [7].

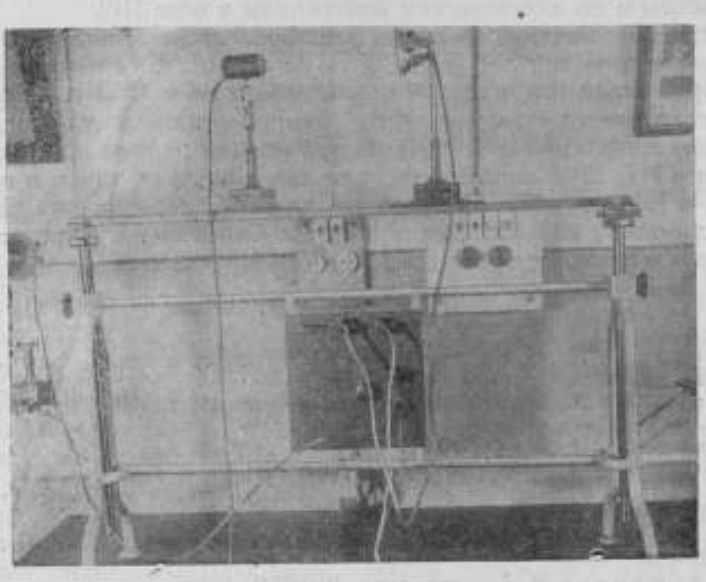


Рис. 4. Установка метода взаимности для градуировки микрофонов по полю.

Этот метод в дальнейшем был расширен как в сторону низких (20 *гц*) [8], так и в сторону высоких частот (до 12 800 *гц*) с вероятной погрешностью измерений 1,5% (рис. 2). Передача единицы звукового давления от эталонного метода к образцовым приборам и в промышленность осуществляется путем градуировки микрофонов по давлению.

Кроме эталонного метода, в лаборатории широко применяется и второй абсолютный метод — метод взаимности как для градуировки по давлению (рис. 3), так и по полю [9] (рис. 4). Развитие и изучение этого метода с точки зрения высоких частот (до 20 *кгц*) позволило удовлетворить все возрастающие требования промышленности на поверку микрофонов в расширенной области частот.

В лаборатории в последнее время разработана, изготовлена и исследована

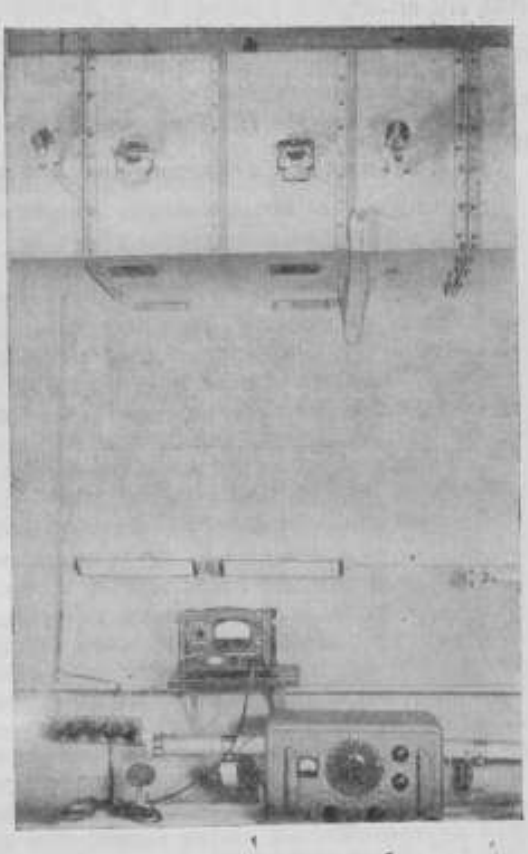


Рис. 5. Установка «бесконечная труба».

установка «бесконечная труба» (рис. 5), позволяющая с малой погрешностью (2,5%) осуществлять поверку по полю скоростных и комбинированных микрофонов, начиная с 20 *гц*.

Кроме звуковых измерений в воздухе, лабораторией проводились также работы и по акустическим измерениям в воде [10].

Быстрое расширение работ по электроакустике вызвало потребность в создании еще одной лаборатории по акустическим измерениям. Такая лаборатория была открыта при организованном в 1952 г. Всесоюзном научно-исследовательском институте физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ). В ней ведутся работы по акустическим измерениям [11, 12] в широкой области как в воздухе, так и в воде. Кроме этого, с 1956 г. проводятся организационные мероприятия по оснащению акустической лаборатории и в Новосибирском государственном институте мер и измерительных приборов (НГИМИП).

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров Ю. Н., «Временник Главной Палаты мер и весов», вып. 4(16), 1930, стр. 147—161, 169—171.
2. Егоров Ю. Н., Труды акустической комиссии АН СССР, Сборник № 3, 1939, стр. 43—47.
3. Егоров Ю. Н., Ж. Т. Ф. № 6, 1936, стр. 1795—1798.
4. Русаков И. Г., ИАН СССР, сер. физ., XIII, № 6, 1949, стр. 717.
5. Кришталевич А. Н., «Проблемы физиологической акустики», т. II, 1950, стр. 101—108.
6. Кришталевич А. Н., Труды комиссии по акустике АН СССР, Сборник № 8, 1955, стр. 82—92.
7. Калужинова Н. А., канд. дисс., ВНИИМ, 1950.
8. Калужинова Н. А., Труды комиссии по акустике АН СССР, Сборник № 7, 1953, стр. 61—67.
9. Кришталевич А. Н. и Римский-Корсаков А. В., Труды комиссии по акустике, АН СССР, сборник № 8, 1955, стр. 46—50.
10. Калужинова Н. А. и Русаков И. Г., Труды ВНИИМ, вып. 13(73), 1953, стр. 77—99.
11. Русаков И. Г., Труды комиссии по акустике АН СССР, сборник № 8, 1955, стр. 76—81.
12. Дольник Л. Г., «Измерительная техника», № 1, 1956, стр. 70—73.

ДОСТИЖЕНИЯ СОВЕТСКОЙ МЕТРОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Г. М. КОНДРАТЬЕВ (руководитель отдела температурных измерений) и А. Н. ГОРДОВ

1. Введение. К моменту Великой Октябрьской революции в России не проводилось никаких исследовательских работ в области тепловых измерений. Вся деятельность Главной Палаты мер и весов в этом направлении сводилась к поверке медицинских термометров. Только после Великого Октября начали развиваться работы по созданию методов и аппаратуры для точных измерений температур.

Первые серьезные работы в области метрологии температурных измерений в СССР относятся к началу 20-х годов, когда в Главной Палате мер и весов (ныне ВНИИМ) была создана термометрическая лаборатория. Основными эталонами, осуществлявшими хранение и передачу единицы измерения температуры — градуса, в то время в термометрической лаборатории были 8 ртутно-стеклянных термометров, изготовленных Тонело и Боденом, снабженных сертификатами Международного Бюро мер и весов, шкалы которых охватывали температурный интервал только в пределах от —30 до +200°С.

К этому же периоду относится первая в СССР попытка использования платинового термометра сопротивления для воспроизведения шкалы температур [1], предпринятая одновременно с аналогичными зарубежными работами.

В 1925 г. академиком А. А. Байковым была создана в Главной Палате лаборатория высоких температур, а в начале тридцатых годов образована и лаборатория низких температур. Таким образом, была создана база для развертывания в широком интервале температур работ как по воспроизведению принятой к тому времени международной температурной шкалы, так и по исследованию новых методов точных температурных измерений. Были проведены работы по созданию и дальнейшему совершенствованию аппаратуры и уточнению методов воспроизведения международной температурной шкалы. Наиболее крупные работы в этом направлении были выполнены после Великой Отечественной войны.

2. Работы в области средних температур. В области средних температур к числу крупных работ следует прежде всего отнести исследование условий воспроизведения тройных точек воды и бензойной кислоты. Было показано, что при существующих методах и приборах для электрических измерений воспроизводимость измеряемой температуры равновесия трех фаз чистой воды составляет около $2 \cdot 10^{-4}$°С [2]. Рекомендуемые размеры сосуда для осуществления тройной точки воды представлены на рис. 1. Исследования тройной точки бензойной кислоты показали, что эта реперная точка, предусмотренная положением о международной температурной шкале, очень удобна и может быть вполне рекомендована в качестве вторичной реперы для ряда поверочных работ. Ее температура найдена равной 122, 36°С [3].

В этом же цикле следует упомянуть работу по изучению воспроизводимости температуры затвердевания чистого цинка, проведенную как на наших, так и канадских образцах этого металла. Воспроизводимость этой реперной точки составляет несколько десятитысячных долей градуса, и она, во всяком случае, выше, чем воспроизводимость температуры кипения серы. По-видимому, при воспроизведении температурной шкалы целесообразна замена серной точки на точку затвердевания цинка.

Важное для практики поверочных работ исследование созданных совместно с одним приборостроительным заводом наборов равноделеных ртутно-стеклянных термометров высокой точности было выполнено также

Рис. 1. Сосуд тройной точки воды.

Рис. 2. Чувствительный элемент платинового термометра сопротивления типа Стрелкова.

термометрической лабораторией ВНИИМ. Весь интервал температур от 0 до 100°С охватывается набором из двадцати термометров с ценой деления 0,01 и 0,02°С [4].

В результате исследования несколько наборов было аттестовано в качестве образцовых приборов 1-го разряда, которые передаются для использования в институты системы Комитета.

Большое значение для успешного развития эталонных и поверочных работ по температурным измерениям имело создание в МГИМИП проф. Стрелковым П. Г. с группой сотрудников новой совершенной конструкции [5] платинового термометра сопротивления, чувствительный элемент которого изображен на рис. 2. Спираль из платиновой проволоки монтируется на геликоидальном кварцевом каркасе, что позволяет почти полностью освободиться от напряжений, возникающих в платиновой про-

волоке термометров других конструкций при изменении температуры элемента. Кроме того, константа термической инерции платинового термометра сопротивления типа Стрелкова очень невелика и составляет 8—12 сек.

Один из термометров этого типа включен в международную группу, проходящую эталонирование в разных странах, с целью сличения шкал температур в интервале 0—100°С.

3. Исследование по газовой термометрии и в области низких температур. Одновременно с исследованиями, посвященными вопросам воспроизведения международной шкалы температур, ВНИИМ были развернуты широким фронтом работы по созданию газовых термометров и производились исследования по воспроизведению термодинамической шкалы температур. Уже к 1953 г. были созданы во ВНИИМ два газовых термометра постоянного объема со стеклянным и платино-иридиевым резервуарами. На одном из этих термометров [6] с азотным наполнением была проведена работа по исследованию температурного коэффициента давления азота и определению температуры плавления льда в абсолютной термодинамической шкале. Было [7] найдено значение этой температуры, равное 273,16±0,01°С, по точности не уступающее лучшим заграничным определениям данной величины.

Крупные работы по газовой термометрии в области низких температур проведены в МГИМИП (ныне ВНИИК). Была осуществлена оригинальная конструкция рабочего резервуара газового термометра, полностью исключающая необходимость введения в показания газового термометра наиболее ненадежной поправки на так называемый «вредный объем», что достигается установкой внутри рабочего резервуара газового термометра разделительной камеры с емкостным устройством, позволяющим создавать компенсирующее давление газа, равное давлению рабочего газа. Это компенсирующее давление измеряется ртутным манометром [8].

Использование газового термометра с гелиевым наполнением позволило провести градуировку группы из 4 платиновых термометров сопротивления в точках кипения кислорода и водорода и составить таблицу средней градуировки этой группы в интервале температур от 90 до 10°К. Тем самым было осуществлено значительное расширение температурной шкалы в область низких температур, что дало возможность обеспечить удовлетворение ряда запросов современной науки и промышленности [9].

Эта работа, исключительно тщательно выполненная, позволила предложить [10] метрологическим организациям других стран практически удобный способ для построения шкалы температур в области, где изменение электрического сопротивления платины с температурой не может быть достаточно точно выражено интерполяционной формулой. Созданная группа термометров сопротивлений утверждена в качестве рабочего эталона для температур в интервале от 90 до 10°К.

Ценные исследования для практики температурных измерений были выполнены и лабораторией низких температур. Здесь были разработаны удобные способы оценки погрешностей градуировки приборов в промежуточных точках с помощью так называемых «функций влияния», оказавшихся также весьма удобными для расчетов термометрических свойств приборов, подчиняющихся квадратичной интерполяционной формуле [11]. Кроме того, было показано, что если при вычислении температуры по платиновому термометру сопротивления пользоваться не отношениями сопротивлений, как обычно, а использовать отношения разностей сопротивлений, то можно с высокой степенью точности пользоваться универсальной таблицей, что существенно упрощает расчеты [12].

4. Хранение и передача шкалы в области высоких температур. Непосредственно после окончания Великой Отечественной войны ВНИИМ восстановил утратившие свое значение во время войны эталоны, осуществ-

ляющие хранение международной шкалы температур, расширив диапазон хранения шкалы до 4000°С [13, 14].

Для надежной и удобной передачи температурной шкалы в области выше 1063°С ВНИИМ создал и передал в институты Комитета эталонные наборы температурных ламп. Каждый такой набор содержит 3 температурные лампы, из которых одна предназначена для воспроизведения яркости черного тела при температуре затвердевания золота (1063°С) и длине волны в 0,65 *мк*, и вторая и третья — для воспроизведения шкалы яркостных температур в свете эффективной длины волны: одна — в интервале 900—1400°С, а другая — в интервале 1400—2000°С. Кроме того, последние 2 лампы, так же как и первая, могут быть использованы для воспроизведения яркостной температуры в 1063°С. Таким образом, все 3 лампы данного набора могут сличаться между собой при яркостной температуре 1063°С, а 2 лампы, кроме того,— при температуре 1400°С.

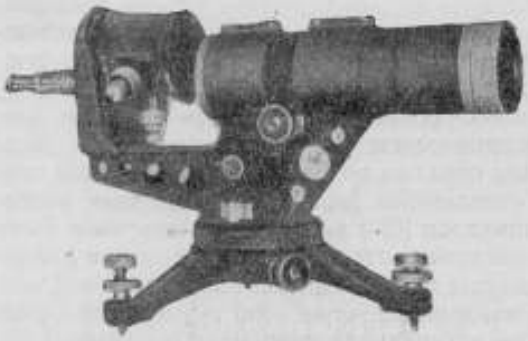


Рис. 3. Точный оптический пирометр типа ЭОП-51.

Такая система позволяет, путем периодического сличения ламп между собой, осуществлять контроль стабильности их характеристик. Ежегодно одна из ламп каждого набора сличается с вторичным эталоном лаборатории высоких температур ВНИИМ.

Для передачи температурной шкалы в интервале 630—1063°С ВНИИМ осуществил аттестацию созданных во всех институтах Комитета установок для поверки образцовых термопар 1-го разряда по температурам затвердевания цинка, сурьмы и меди. Контроль постоянства этих температур обеспечивается периодическим сравнением данных градуировок групп термопар и высокотемпературных термометров сопротивления, полученных в институтах Комитета, с данными градуировок их во ВНИИМ.

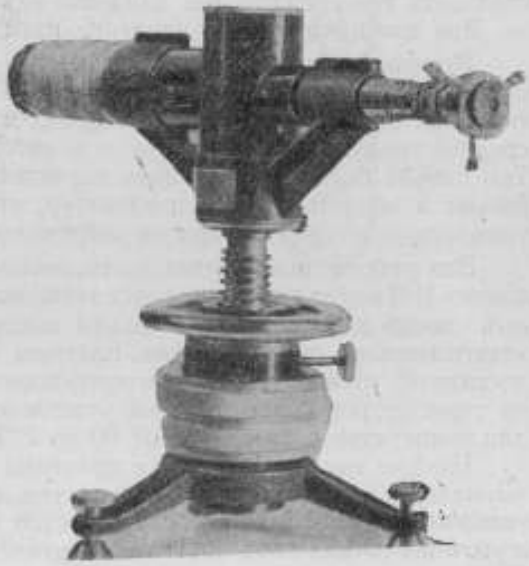


Рис. 4. Образцовый оптический пирометр типа ОП-48.

Большая работа была проведена и по обеспечению поверочных учреждений системы Комитета образцовыми приборами и установками для поверки приборов измерения высоких температур.

Так, ХГИМИП выпустил серию образцовых оптических пирометров 1-го разряда типа ЭОП-51 [15]. Этот прибор, общий вид которого представлен на рис. 3, обладает светосилой 1 : 3, что позволяет осуществлять измерения яркостных температур, начиная уже с 800°С. Прибор снабжа-

ется тремя пирометрическими лампочками, установленными на вращающейся головке. Нити лампочек со стороны наблюдателя сошлифованы на плоскость, чем достигается практически полное устранение диффракционных явлений на краях нити. Измерение тока в пирометрической лампочке осуществляется компенсатором.

ХГИМИП выпустил также большую серию образцовых оптических пирометров 2-го разряда типа ОП-48 [15]. Общий вид этого прибора, получившего широкое распространение также и в лабораторной практике, представлен на рис. 4. Обладая меньшей светосилой и увеличением, чем ЭОП-51, этот прибор удобен в обращении и обеспечивает в ряде случаев требуемую точность температурных измерений.

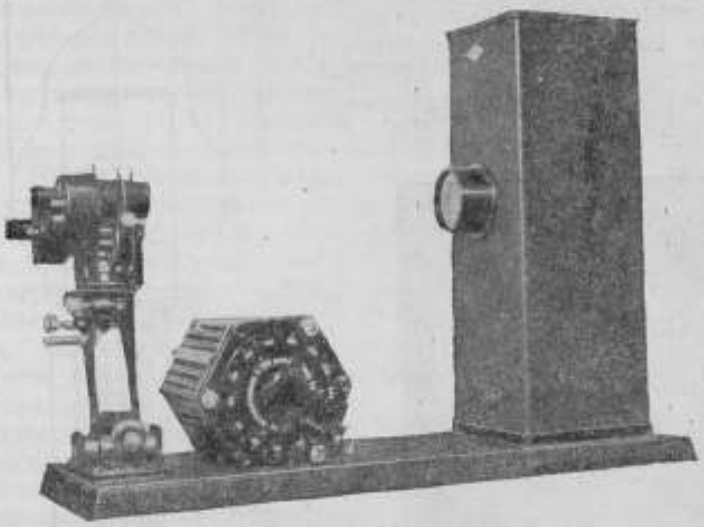


Рис. 5. Установка типа УРП для поверки радиационных пирометров до 1800°С

С целью обеспечения поверок технических оптических пирометров ХГИМИП разработал и внедрил в поверочную практику установку УПО. На этой установке оптические пирометры поверяются путем сличения с образцовым пирометром 2-го разряда типа ОП-48 на излучателе, коэффициент черноты излучения которого близок к единице.

Для поверок технических радиационных пирометров ХГИМИП создал установку УРП, получившую широкое распространение в поверочных органах не только СССР, но и в ряде демократических стран. Установка представлена на рис. 5.

Поверка радиационных пирометров в интервале 900—1800°С осуществляется путем сравнения с однотипным образцовым радиационным пирометром, причем излучателем служит конденсор, создающий мощный поток лучистой энергии от кинопроекционной лампы.

Поверка образцовых радиационных пирометров была также обеспечена работами сначала ХГИМИП, а потом и ВНИИМ. В обоих институтах были созданы установки с излучателями, близкими к черному телу, для поверок образцовых радиационных пирометров до 2500°С с показателями визирования от $^1/_{16}$ и ниже. Измерение температуры излучателей в момент поверки радиационного пирометра осуществляется образцовым оптическим пирометром.

Необходимо упомянуть также исследования свойств температурных ламп, выполненные во ВНИИМ [16] и позволившие разработать некоторые правила применения ламп, с целью повышения точности воспроизведения

с их помощью шкалы температур. Частично используя результаты этой работы, завод «Эталон» наладил серийное производство образцовых температурных ламп. Температурные лампы типа ЛТ-1 и ЛТ-3 производства завода «Эталон» представлены на рис. 6 и 7. Лампы последнего типа позволяют стабильно получать яркостную температуру до 2400°С, что значительно повышает предел температур, достигнутый температурными лампами заграничного производства.

К этому циклу работ непосредственно примыкают исследования по совершенствованию методов поверки технических приборов. В области оптической пирометрии такие исследования в последние годы были выполнены во ВНИИМ и ХГИМИП.

Как известно, значительные погрешности поверки технических оптических пирометров выше 1400°С (расчетным методом, единственным

Рис. 6. Температурная лампа типа ЛТ-1.

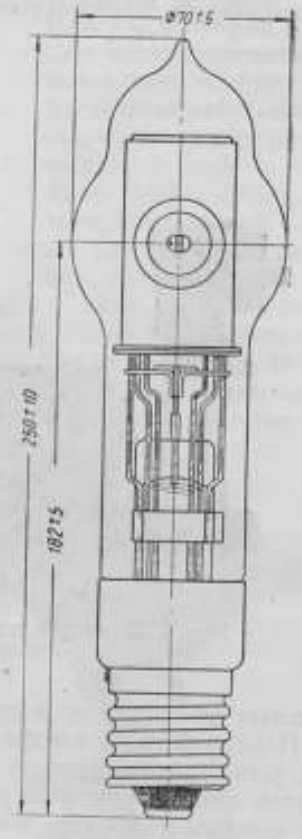


Рис. 7. Температурная лампа типа ЛТ-3.

применявшимся до 1954 г.) были обусловлены двумя причинами: 1) необходимостью учета селективности излучения вольфрамовой ленты температурной лампы, что достигалось с помощью недостаточно надежных поправочных коэффициентов для данного типа приборов, и 2) произвольностью допущения о неизменности пирометрического ослабления поглощающего стекла пирометра в процессе повышения температуры излучателя.

Первый из этих источников погрешностей был полностью устранен благодаря работе ВНИИМ [17] по подбору корреги рующего светофильтра ПС-5, введение которого перед температурной лампой приближает ее излучение к излучению черного тела.

Второй источник погрешности в настоящее время также может быть почти полностью исключен благодаря ряду исследований, в результате которых в ХГИМИП был разработан остроумный метод измерения хо-

да изменений пирометрического ослабления поглощающего стекла в процессе повышения температуры излучателя [18].

Наиболее радикальное решение задачи было получено во ВНИИМ путем использования созданной совместно с ГСОКБ и ВНИСИ установки с дуговым излучателем [19]. Снабдив дуговой излучатель соответствующими устройствами для снижения ступенями его яркостной и цветовой температур, удалось создать установку для использования более простого метода непосредственной поверки технических оптических пирометров в интервале температур от 900 до 3200°С.

Таким образом, был завершен широкий комплекс работ по хранению и передаче к техническим приборам температурной шкалы в том ее диапазоне, который осуществляется методами оптической пирометрии.

Создание эталонного и образцового хозяйства в области термоэлектрического участка шкалы (630—1063°С) пришлось начинать с налаживания выпуска отечественной промышленностью высококачественных платиновой и платинородиевой проволок.

Большая работа по созданию методов контроля выпускаемых платиновой и платинородиевой проволок была проведена Свердловским филиалом ВНИИМ. Изучение характера изменения температурного коэффициента электрического сопротивления (т. к. э. с.) платины и т. э. д. с., развиваемой платиновыми проволоками различной чистоты, позволило установить практически важное соотношение между этими двумя параметрами, характеризующими степень чистоты платиновой проволоки. Было доказано, что изменение на $2 \cdot 10^{-6}$ град. $^{-1}$ т. к. э. с. платиновой проволоки, вызванное ее загрязнением, сопровождается изменением т. э. д. с. этой проволоки на 5 *мкв*, развиваемой в паре с одним и тем же образцом сравнения.

Свердловским филиалом ВНИИМ были созданы и внедрены в практику заводского контроля «нормальные» образцы платиновой проволоки, изготовленные из металла предельной чистоты. Эти нормальные образцы платиновой проволоки позволили существенно повысить качество с одновременным упрощением контроля степени чистоты этого термоэлектродного материала.

Большое значение имеют также работы Свердловского филиала ВНИИМ по исследованию влияния упругих деформаций платиновой и платинородиевой проволок на развиваемую ими т. э. д. с. и разработка режимов термического отжига этих проволок, обеспечивающих стабильную работу изготовленных из них термопар.

Свердловским филиалом ВНИИМ был разработан и внедрен в поверочную практику удобный метод поверки термопар путем их поэлектродного сличения с образцовой термопарой [20].

Все эти работы Свердловского филиала ВНИИМ способствовали тому, что отечественная промышленность уже несколько лет выпускает платиновую и платинородиевую термоэлектродные проволоки, по своему качеству не уступающие лучшим заграничным образцам.

Используя эти достижения отечественной аффинажной промышленности, ВНИИМ по заданию Комитета стандартов разработал методику создания образцовых термопар 1-го разряда и выпустил для поверочной системы Комитета первую партию таких термопар в 90 шт.

Трехлетний опыт эксплуатации этих термопар в поверочных управлениях Комитета показал их высокую стабильность [21].

Используя разработанную во ВНИИМ методику, ХГИМИП, а затем и Свердловский филиал ВНИИМ провели аналогичные работы по выпуску партий образцовых термопар для обеспечения потребностей поверочных органов системы Комитета.

Для правильной передачи температурной шкалы в области 630—1063°С большое значение имели работы ВНИИМ по исследованию возможности применения платиновых термометров сопротивления для изме-

рения температур до 1100°С [22]. На основании результатов этой работы был представлен доклад [10] Консультативному комитету по термометрии в 1954 г. о возможности воспроизведения шкалы температур в интервале 400—1100°С с помощью платиновых термометров сопротивления, изготовленных из проволоки диаметром 0,5 *мм*.

Такие термометры сопротивления уже вошли в практику работ не только ВНИИМ, но и ХГИМИП и Свердловского филиала ВНИИМ как надежное средство контроля постоянства вторичных реперных точек, применяемых для градуировки образцовых термопар 1-го разряда.

Оснащение поверочных управлений Комитета образцовыми термопарами заставило рассредоточить их поверку и принять необходимые меры по организации поверки образцовых термопар 1-го разряда, кроме ВНИИМ, в ХГИМИП, ВНИИК, НГИМИП и Свердловском филиале ВНИИМ.

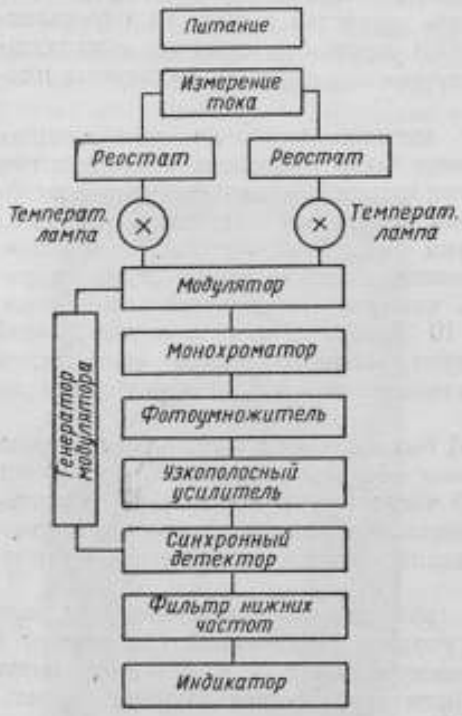


Рис. 8. Блок-схема спектропирометрической установки СПК-1.

Эта работа была проведена, и ВНИИМ осуществил аттестацию соответствующей аппаратуры в этих институтах, обеспечив тем самым поверку этих образцовых приборов в нескольких точках обширной территории Советского Союза.

ВНИИМ разработал и издал сборник инструктивных материалов [23], включающий в себя 14 утвержденных Комитетом стандартов инструкций по поверке широкой номенклатуры технических приборов для температурных измерений.

Следовательно, в области измерений высоких температур завершен весь цикл работ, обеспечивающий единство измерений на всей территории СССР.

5. Повышение точности температурных измерений. Повышение требований к точности температурных измерений в различных областях народного хозяйства заставляет непрерывно совершенствовать методы поверки образцовых приборов, с целью снижения погрешностей этих поверок. На участке температурной шкалы, осуществляемом методами оптической пирометрии, повышение точности поверок образцовых приборов лимитировалось до сего времени порогом контрастной чувствительности глаза наблюдателя. Поэтому возникла насущная необходимость отказа от использования человеческого глаза как компарирующего прибора и перехода на объективные методы сравнения яркостей светящихся тел.

В результате ряда проведенных исследований ХГИМИП удалось создать установку СПК-1, позволяющую производить градуировку температурных ламп методом их сличения с погрешностью, значительно более низкой, чем при визуальной градуировке [24, 25].

Блок-схема установки СПК-1 представлена на рис. 8. Принцип ее действия заключается в следующем. От источников питания постоянным током с помощью реостатов осуществляется нужный накал двух температурных ламп, яркости которых в свете заданной длины волны уравниваются. Токи, протекающие через каждую температурную лампу, измеряются раздельно.

На входной щели двухпризменного монохроматора с помощью модулятора попеременно создается изображение лент то одной, то другой температурных ламп. Модулятор представляет собой небольшую призму, укрепленную на вибрирующей вертикально натянутой струне. Таким образом, вследствие колебаний призмы, в то время как изображение ленты одной лампы сходит с входной щели монохроматора, изображение ленты второй лампы находит на нее. Поэтому при равенстве яркостей лент суммарная освещенность входной щели остается постоянной.

Выходную щель монохроматора можно устанавливать в нужной части спектра. С выходной щелью жестко скрепляется фотоумножитель таким образом, чтобы изображение попадало на фотокатод. При неравенстве яркостей лент на фотокатоде возникает переменная составляющая освещенности, причем частота ее колебаний определяется частотой струнного модулятора. Возникающая вследствие этого переменная составляющая фототока усиливается узкополосным усилителем и попадает на синхронный детектор, управляемый струнным генератором и поэтому пропускающий только те колебания, которые обладают частотой колебаний модулятора. Наличие переменной составляющей фототока, указывающей на неравенство яркостей лент в свете данной длины волны, устанавливается по стрелочному индикатору.

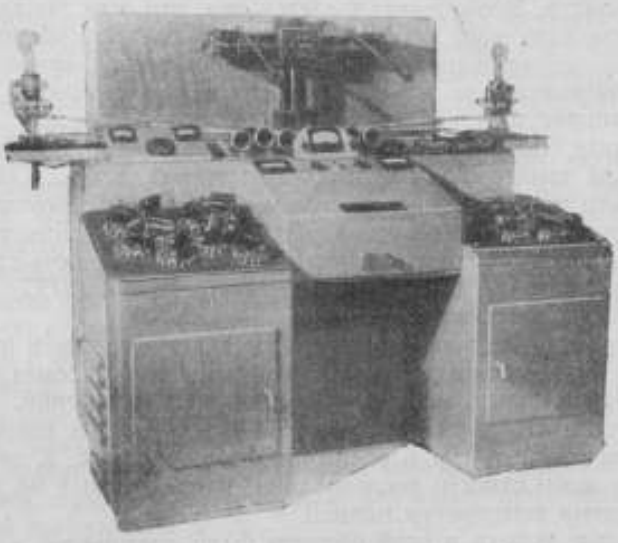


Рис. 9. Общий вид спектрофотометрической установки СПК-1.

Примененный в установке СПК-1 нулевой модуляционный метод измерения позволил существенно снизить погрешности передачи температурной шкалы с помощью температурных ламп.

Нужно заметить, что в заграничной метрологической практике в последние годы также начали создаваться установки, использующие объективные методы фотометрии, но они значительно менее совершенны, чем СПК-1. Общий вид установки СПК-1 представлен на рис. 9.

6. Создание шкалы цветовых температур. Излучение установки СПК-1 во ВНИИМ показало ее высокие метрологические качества. Кроме того, была выяснена возможность ее использования для создания образцовой аппаратуры для передачи шкалы цветовых температур. Действительно, известно, что цветовая температура T_c черного тела связана с

яркостными температурами S_1 и S_2 того же тела, измеренными в свете длин волн λ_1 и λ_2 соотношением:

$$T_c = \frac{\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}}{\frac{1}{S_1\lambda_1} - \frac{1}{S_2\lambda_2}}.$$

Поэтому, измеряя с высокой степенью точности на установке СПК-1 яркостные температуры S_1 и S_2 ленты температурной лампы, можно с помощью этого соотношения определить ее цветовую температуру.

Используя то обстоятельство, что для вольфрама при высоких температурах цветовая температура на несколько сотен градусов выше яркостной, удалось создать образцовую аппаратуру для передачи цветовых температур в виде групп температурных ламп, градуированных вплоть до 2800°С [26].

Нужно заметить, что погрешности осуществления шкалы цветовых температур оказываются значительно более высокими, чем шкалы яркостных температур. Это обуславливается тем, что, как показывает анализ, при выборе длин волн λ_1 и λ_2 в пределах видимой области спектра погрешность определения цветовой температуры по указанному выше соотношению приблизительно в 5 раз больше, чем погрешности измерения яркостных температур S_1 и S_2.

В результате, по данным анализа, погрешность воспроизведения шкалы цветовых температур при 2800°С достигает ±40°С. Однако передача этой шкалы к техническим цветовым пирометрам с помощью температурных ламп, градуированных на установке СПК-1, может быть осуществлена с высокой степенью точности. Воспроизводимость градуировки температурных ламп на цветовые температуры при 2000°С составляет ±3°С, а при 2800°С составляет ±7°С.

Эти работы создали необходимую базу для внедрения в промышленную практику прогрессивных объективных цветовых пирометров.

7. Разработка новых методов температурных измерений. Институты системы Комитета стандартов сыграли большую роль в разработке методов измерения температур в специфических условиях. К этому циклу нужно прежде всего отнести исследования, направленные на разработку методов измерения температур пламен.

Значительные успехи в этой области были достигнуты в ХГИМИП. В этом институте был теоретически и экспериментально обоснован и практически внедрен оригинальный метод измерения температур пламен по абсолютной интенсивности спектральных линий. Этот метод основывается на том экспериментально установленном факте, что при достаточной концентрации в пламени какого-либо щелочного металла центральная часть его резонансной спектральной линии обладает насыщенным излучением и зависимость ее интенсивности от температуры пламени определяется законами излучения черного тела [27].

Для практической реализации этого метода в ХГИМИП была создана стационарная установка с диффракционной решеткой, обладающей дисперсией 2 Å/*мм*, что обеспечило надежное выделение центральных зон резонансных спектральных линий в пламенах. Стендовые измерения температур пламен осуществлялись на упрощенных установках, основанных на том же методе.

Для измерения температур пламен был разработан оригинальный метод также во ВНИИМ [28]. Он представляет собой развитие метода лучеиспускания и поглощения и использовался при исследовании режима работы нового типа двигателей.

К этому же циклу исследований относятся работы ВНИИМ по уточнению методов измерения температур жидкой стали на различных участ-

ках сталеварения. Одним из таких исследований является разработка нового метода измерения температур жидкой стали, получившего название метода инерционного термоприемника. Сущность его заключается в том, что как это вытекает из теории регулярного теплового режима [29], начиная с некоторого момента, нагрев термоприемника в более горячей среде происходит по экспоненте. Следовательно, если на этой части кривой нагрева термоприемника задаться тремя значениями температур θ_1, и θ_2 и измерить интервалы времени $\tau_{1,2}$ и $\tau_{2,3}$, в течение которых температура термоприемника проходит соответственно от θ_1 до θ_2 и от θ_2 до θ_3, то температура среды t может быть найдена из соотношения:

$$\frac{\tau_{1,2}}{\tau_{2,3}} = \frac{\dfrac{t-\theta_1}{t-\theta_2}}{\dfrac{t-\theta_2}{t-\theta_3}}.$$

После достижения значения θ_3 измерительный процесс прекращается и термоприемник во избежание его перегрева извлекается из жидкой стали. Таким образом, термоприемник не доводится до измеряемой температуры, что является бесспорным преимуществом этого метода перед другими, так как позволяет резко повысить температурный предел применения термопар.

Экспериментальная проверка метода в опытном цехе Центральной заводской лаборатори Кировского завода показала его принципиальную пригодность. Однако внедрение в металлургическую практику этого метода пока затрудняется из-за отсутствия надежных огнеупорных колпачков для термоприемника, выдерживающих тепловой удар при резком неоднократном погружении в жидкую сталь и сохраняющих свою тепловую инерцию в течение всего процесса нагрева.

В связи с отсутствием в отечественной металлургии надежного метода и приборов для измерения температур жидкой стали, ВНИИМ совместно с рядом других организаций принял активное участие в разрешении этой проблемы. Необходимо было не только разработать новые, более устойчивые типы термопар, но и коренным образом изменить методы поверки термопар, применяемых для измерения температур жидкой стали путем погружения.

Дело в том, что существовавшие до сего времени методы и установки позволяли осуществлять поверку технических термопар сличением с образцовой термопарой в пределах температур не выше 1300°С.

Определение поправок термопар при температурах жидкой стали осуществлялось путем ненадежной экстраполяции на 300—400°С вверх. Кроме того, поверка технических термопар сличением проводилась в довольно длинных печах с протяженным однородным температурным полем. Таким образом, изменение градуировки термопары вследствие ее погружения в жидкую сталь не на большую глубину не могло быть обнаружено при поверке.

Разработанный ВНИИМ метод [30] поверки термопар с малым погружением учитывает особенности их работы.

По разработанному во ВНИИМ методу термопары градуируются и поверяются по температурам затвердевания ряда металлов технической чистоты. Плавка металлов осуществляется с помощью индукционного нагрева, а значения температур затвердевания металлов определяется с помощью образцового оптического пирометра.

Количество металла берется небольшое с тем, чтобы глубина погружения в него термопары не превышала 40—50 *мм*.

Используя различные металлы — от цинка (температура затвердевания ~419,5°С) до палладия (~1550°С) и платины (~1770°С), можно

осуществлять градуировку термопар в интервале температур от 400 до 1800°С, т. е. определять поправки термопары непосредственно при тех температурах, при которых термопара применяется для измерений.

Погрешность градуировки этим методом составляет 2—3°, что можно считать вполне приемлемым для технических термопар.

Большую работу пришлось также провести по подбору новых, более стабильных термопар, налаживанию их производства и исследованию их характеристик.

Прежде всего в Свердловском филиале ВНИИМ было проведено исследование стабильности и условий применения большой группы термоэлектродов, изготовленных из различных сплавов благородных металлов. На основании результатов этого исследования, а также используя литературные данные о применении термопар из различных сплавов в области высоких температур, можно было выбрать типы термоэлектродов и термопары, наиболее пригодные для длительного применения при измерении температур жидкой стали.

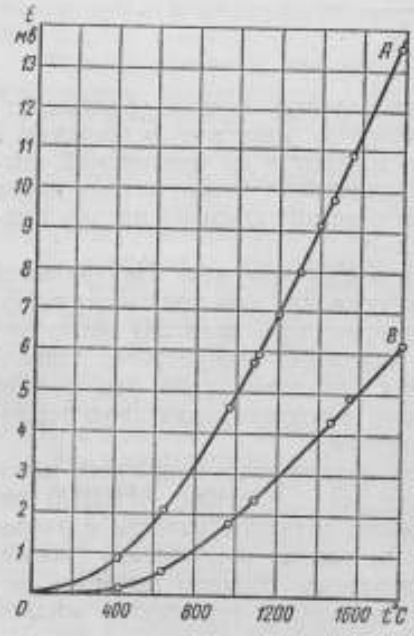


Рис. 10. Градуировочные характеристики платинородий-платинородиевых термопар: *А* — термопары ПР 30/6, *В* — термопары 30/13.

Было признано целесообразным подвергнуть более детальному исследованию следующие четыре типа термопар, изготовленных из платинородиевых сплавов с различным процентом содержания родия: ПР 13/1, ПР 30/6, ПР 30/13 и ПР 40/20[1].

Градуировочные кривые этих термопар были изучены во ВНИИМ описанным выше методом малого погружения.

Наибольшего внимания с точки зрения градуировочных характеристик, заслуживают термопары ПР 30/6 и ПР 30/13, как обладающие значительной величиной т. э. д. с. при 1600—1700°С и не требующие введения поправки на температуру свободных концов. Возникает еще необходимость в подборе для этих термопар соответствующей защитной арматуры, минимально загрязняющей их в процессе работы. Градуировочные кривые термопар типов ПР 30/6 и ПР 30/13 представлены на рис. 10.

Развернута опытная промышленная эксплуатация новых платинородиевых термопар на ряде промышленных предприятий Ленинграда и Москвы. Эта опытная эксплуатация показала очень высокую стабильность новых термопар при длительном использовании их для измерения температур жидкой стали.

8. Разработка новых приборов. Следует упомянуть также работы по созданию в институтах системы Комитета стандартов ряда конструкций технических приборов для измерения высоких температур в промышленных условиях.

К таким работам нужно отнести создание в ХГИМИП автоматического фотоэлектрического сигнализатора (АРС), дающего соответствующие импульсы при отклонении яркостной температуры нагретого тела от заданного режима.

[1] Числитель дробного индекса показывает процент родия в положительном термоэлектроде, а знаменатель — процент родия в отрицательном термоэлектроде термопары.

Вторым таким прибором, разработанным в Свердловском филиале ВНИИМ [31] и широко внедренным на ряде промышленных предприятий Урала, является радиационный пирометр, предназначенный для измерения температур в диапазоне от 200 до 800°С. Одновременно с самим прибором были созданы и установки для его поверки. Попутно был разработан оригинальный метод поверки радиационных пирометров, использующий набор секторных дисков [32].

Наконец, необходимо упомянуть большие и трудоемкие работы, проведенные в ХГИМИП и Свердловском филиале ВНИИМ, по высокотемпературной калориметрии.

В обоих институтах были созданы калориметры и соответствующие печи к ним для исследования энтальпии вещества в диапазонах температур до 1400°С в Свердловском филиале ВНИИМ и до 2500°С в ХГИМИП [33].

В таких установках исследуемый образец нагревается в печи до необходимой температуры и сбрасывается в калориметр смешения, изготовленный из массивного медного блока, изменение температуры которого измеряется термометром сопротивления.

С помощью этих калориметров проведены, в частности, капитальные исследования энтальпии и удельной теплоемкости корунда, применяющегося в качестве образцового вещества в высокотемпературной калориметрии.

С целью контроля получаемых результатов определения теплоемкости веществ в Свердловском филиале ВНИИМ создан ледяной калориметр.

Большие работы по обеспечению единства калориметрических измерений были выполнены химической лабораторией ВНИИМ. Создав уникальную установку в виде образцового калориметра, эта лаборатория уже в течение ряда лет проводит систематическую работу по определению теплотворной способности образцов бензойной кислоты, применяющейся в качестве образцового вещества для поверки калориметров заводских лабораторий [34].

Очистка образцов бензойной кислоты, применяющихся для этой цели, осуществляется также химической лабораторией. Необходимо еще отметить работу по установлению соотношения между 15-градусной и 20-градусной калориями. Работа по очистке ряда металлов, применяющихся для осуществления реперных точек температурной шкалы, была успешно выполнена тоже химической лабораторией ВНИИМ [35].

9. Заключение. Бурное развитие отечественной промышленности ставит перед советскими метрологами все более и более сложные задачи. Возникает насущная потребность не только в расширении пределов воспроизведения температурной шкалы, но и в изменении способов ее осуществления и передачи, а также в настолько большом повышении точности температурных измерений, что это вызывает коренную перестройку ранее применявшихся методов и аппаратуры.

Потребовалась разработка нового газового термометра, способного обеспечить значительно более высокую точность, чем все существовавшие до сего времени образцы.

Возникла необходимость шкалу яркостных и цветовых температур строить с использованием инфракрасной области спектра с отказом от визуальных измерений и с полным переходом на объективные фотоэлектрические методы.

Дружная координированная работа специалистов в институтах системы Комитета позволяет успешно справляться со все новыми и новыми задачами, возникающими перед ними, и тем самым активно содействовать быстрому прогрессу в различных отраслях отечественной науки и промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маренин Н. А., «Временник Главной Палаты мер и весов», вып. 2(14), 1928, стр. 70.
2. Алиева Ф. З., Труды ВНИИМ, вып. 35(95), 1958.
3. Олейник Б. Н., Труды ВНИИМ, вып. 35(95), 1958.
4. Простяков В. П., Алиева Ф. З., Олейник Б. Н., Долгий Н. З., «Измерительная техника», № 2, 1957.
5. Стрелков П. Г., Линьков В. И., ЖЭТФ, т. XI, вып. 4, 1941, стр. 36.
6. Гордов А. Н., Киренков И. И., Труды ВНИИМ, вып. 25(85), 1954, стр. 20.
7. Гордов А. Н., Киренков И. И., Труды ВНИИМ, вып. 25(85), 1954, стр. 31.
8. Боровик-Романов А. С. и Стрелков П. Г., ДАН СССР, т. LXXXIII, № 1, 1952, стр. 59.
9. Боровик-Романов А. С., Орлова М. П. и Стрелков П. Г., Установление шкалы низких температур между 90, 19 и 10°К, Изд. Главной Палаты мер и измерительных приборов, Москва, 1954.
10. Procès—Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures, 24, 1954.
11. Пилипчук Б. И., Труды ВНИИМ, вып. 4(64), 1948.
12. Пилипчук Б. И., ДАН СССР, т. XCVII, № 2, 1954.
13. Гордов А. Н., Лапина Э. А. и Диомидова Т. Г., Труды ВНИИМ, вып. 5(65), 1949.
14. Лапина Э. А., Труды ВНИИМ, вып. 5(65), 1949.
15. Финкельштейн В. Е., Шпигельман Е. С. и Кандыба В. В., «Измерительная техника», № 5, 1956.
16. Гордов А. Н., Труды ВНИИМ, вып. 5(65), 1949.
17. Гордов А. Н., Киренков И. И., Лапина Э. А. «Измерительная техника», № 2, 1955.
18. Финкельштейн В. Е., «Измерительная техника», № 4, 1956.
19. Лапина Э. А., Труды ВНИИМ, вып. 35(95), 1958.
20. Брагин Б. К., «Измерительная техника», № 2, 1955.
21. Эргардт Н. Н., Труды ВНИИМ, вып. 35(95), 1958.
22. Алиева Ф. З., Труды ВНИИМ, вып. 25(85), 1955.
23. Приборы для измерения температур и их поверка (инструктивные материалы), Машгиз, 1955.
24. Кандыба В. В. и Ковалевский В. А., ДАН СССР, т. 108, № 4, 1956.
25. Ковалевский В. А., Иосельсон Г. Л. и Кандыба В. В., «Измерительная техника», № 2, 1956.
26. Гордов А. Н., Киренков И. И., Лапина Э. А., Труды ВНИИМ, вып. 35(95), 1958.
27. Кандыба В. В., Известия АН СССР, сер. физ., т. XII, 1948, стр. 387.
28. Киренков И. И., Труды ВНИИМ, вып. 9(69), 1950.
29. Кондратьев Г. М., Регулярный тепловой режим, ГТТИ, 1954.
30. Гордов А. Н. и Эргардт Н. Н., «Заводская лаборатория», № 6, 1957.
31. Рудная А. И., «Заводская лаборатория», № 2, 1953.
32. Гордов А. Н. и Рудная А. И., «Измерительная техника», № 1, 1957.
33. Гомельский К. З., Дьячков П. Н., Родигина Э. Н. и Старцев Д. А., «Заводская лаборатория», № 4, 1955.
34. Липин С. В. и Коновалова С. А., Труды ВИМС, вып. 10(26), 1936.
35. Сто лет государственной службы мер и весов в СССР, ОГИЗ, 1945, стр. 235—243.

ИЗМЕРЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ

А. Н. БОЙКО (руководитель отдела лучистой энергии), Е. А. ВОЛКОВА, В. Е. КАРТАШЕВСКАЯ, В. А. КОРНДОРФ

1. Введение. Настоящий раздел посвящен работам в области фотометрии, колориметрии, актинометрии, сенситометрии и оптических измерений. Это объединение несколько условно, если направление и содержание работ рассматривать с точки зрения предмета исследования, его задач и средств измерений.

Световые и цветовые измерения (фотометрия и колориметрия), строго говоря, ограничиваются только видимой областью спектра, причем глаз является основным приемником лучистой энергии. Это определение означает безусловную необходимость оценки всех измеряемых величин (лучистой мощности, цвета излучения и пр.) применительно к свойствам «среднего» человеческого глаза. Оно отнюдь не предопределяет исключительное применение последнего в качестве измерительного средства. Напротив, применение любого другого объективного приемника лучистой энергии вполне допустимо, часто желательно, иногда совершенно необходимо. Однако непременным условием его применения для оценки световых и цветовых величин является приведение показаний такого приемника к показаниям глаза.

Актинометрия ставит себе задачей оценивать полную энергию (или чаще мощность) излучения в различных спектральных участках широкого диапазона. Отсюда основными приемниками для этой области измерений оказываются приборы, основанные на тепловом действии лучистой энергии.

Сенситометрия занимается исследованием и измерением различных свойств светочувствительных фотографических слоев, в основном в видимой области спектра.

Оптические измерения объединяют группу разнородных работ, наиболее удаленных по своей тематике от предыдущих направлений. Сюда относятся важные по своему практическому значению работы в области очковой оптики — определение фокусных расстояний, количественного и качественного спектрального анализа, измерений скорости света (больших длин и малых промежутков времени).

Фотометрическая лаборатория является эталонной лабораторией, основная задача которой — разработка, установление, воспроизведение и хранение эталонов для световых единиц с последующей передачей значения последних промышленности и народному хозяйству. Актинометрическая группа имеет подобные же задачи — разработку и создание образцовых (абсолютных) приборов для воспроизведения, хранения и последующей передачи единиц лучистой мощности и обеспечения единообразия измерений в данной области.

Колориметрическая и сенситометрическая группы не имеют самостоятельных единиц измерений и, следовательно, не имеют самостоятельных эталонов. Их развитие отвечает потребностям народного хозяйства, кото-

рое характеризуется все растущей дифференциацией измерительной техники и требует новых промежуточных звеньев для того, чтобы обеспечить единообразие измерений в стране. Непосредственно прикладное, весьма важное значение имеют и работы группы оптических измерений.

2. **Фотометрия.** Область световых измерений возникла (во второй половине XIX в.) из узко практической потребности оценивать сначала экономичность и сравнительные качества источников света, потом — условия и качества освещения; далее (в 20-х годах нашего столетия), с ростом электрификации страны и по мере распространения электрического освещения вместе с развитием электроламповой и светотехнической промышленности, задачи световых измерений неуклонно множились и расширялись. В последние годы световые измерения применяются в очень многих отраслях науки и техники.

Основание фотометрической лаборатории в Главной Палате мер и весов относится к 1900—1901 гг. Принятых по закону световых единиц в это время не было; в качестве эталонов лаборатория пользовалась фитильными лампами Гефнера (с силой света около 0,9 *св* и цветовой температурой около 1930°К). Основное оборудование составляла одна светомерная скамья, на которой производились измерения силы света и световой отдачи, а также случайные испытания продолжительности горения электрических ламп накаливания. Деятельность лаборатории, не развившись далее начального состояния, заглохла полностью к 1916 г. из-за отсутствия надлежащих запросов практики.

Возобновление, а вернее организация заново настоящей действующей лаборатории относится к 1923 г., когда по инициативе Л. В. Залуцкого и проф. М. А. Шателена (в тот период председателя Комиссии по светотехнике при Центральном электротехническом совете) было принято соответствующее решение, в котором формулировалось направление работ будущей лаборатории, как лаборатории эталонной, с основными задачами воспроизведения, активного хранения и передачи в народное хозяйство световых единиц. Первым сотрудником лаборатории, ее организатором, создателем и бессменным руководителем до настоящего времени был проф. П. М. Тиходеев.

К началу 1925 г. закончился первый этап проектирования и оборудования лаборатории, и стала возможной постановка вопроса о создании основного светового эталона. На основе проекта, разработанного лабораторией, Постановлением ВСНХ от 13/V 1925 г. в СССР была принята система международных световых единиц и на Главную Палату возложена обязанность их воспроизведения и хранения, согласно международным соглашениям.

Эта задача при расширенном понимании ее содержания определила собой в сущности всю основную деятельность фотометрической лаборатории в последующие годы. Можно отметить следующие главные направления работ:

1. Собственно эталонные работы, включающие: а) установление основного светового эталона и световых эталонов для различных световых величин; б) создание образцовых мер.

2. Разработка способов точных световых измерений и специальной измерительной аппаратуры.

3. Метрологические исследования: а) источников света; б) приемников лучистой энергии; в) светотехнических образцов и материалов.

4. Поверочные работы и испытания.

5. Разработка стандартов, правил, норм и пр.

Приведенное разграничение в известной мере условно, и деятельность лаборатории развивалась в указанных направлениях не всегда независимо.

В период 1930—1932 гг. фотометрическая лаборатория была созда-

на также в Харьковском государственном институте мер и измерительных приборов. Лаборатория была снабжена светоизмерительными лампами ВНИИМ и вплоть до начала войны обслуживала поверками промышленность и научные учреждения Украины. Кроме того, она занималась исследованиями в области фотометрии и создала несколько приборов специального назначения (объективный денситометр, нефелометр для количественного анализа газов и др.). Война нарушила работу лаборатории, которая не была восстановлена и в послевоенные годы.

Во ВНИИК в недавнее время лаборатория оптических измерений снабжена фотометрическим оборудованием и начинает работы в этой области.

Первый основной световой эталон был создан в 1925 г. в виде группы электрических ламп накаливания [1—4] путем сличения их с национальными эталонами Англии и Франции. Способ установления соответствовал международным соглашениям 1909 г. и не мог быть иным вследствие невоспроизводимости существовавших световых эталонов. Значение световых единиц для СССР было принято как среднее между значениями единиц Англии и Франции. Электрические лампы накаливания, составившие основной световой эталон, были изготовлены на заводах «Осрам» в Англии, «Ирис» во Франции и «Осрам» в Германии.

Основной световой эталон 1925 г. воспроизводил единицы освещенности и силы света при невполне определенном спектральном составе излучения, чему в то время не придавалось большого практического значения. Однако существенным преимуществом этого эталона по сравнению с национальными эталонами Англии, США и Франции, состоящими из угольных ламп, было наличие в его составе электрических ламп накаливания с вольфрамовой нитью. Это обстоятельство сближало обстановку измерений эталонных ламп с рабочими осветительными лампами, имеющими также металлическую нить, и таким образом повысило точность передачи значения световых единиц во все время действия основного эталона 1925 г. Впоследствии при переходе к новому световому эталону в виде полного излучателя Советский Союз как в отношении законодательства, так и по фактической стороне дела оказался в более благоприятном положении по сравнению с другими странами. В то время как Англия, Франция и США должны были из-за большого разрыва в цветовых температурах прежнего и нового эталонов изменить значение единицы на 1,9%, значение световых единиц в Советском Союзе было изменено лишь на 0,5%, что почти неощутимо для практики.

Переход к новому световому эталону [5—12] был осуществлен согласно международным соглашениям после ряда длительных работ и исследований. Причиной такого перехода и поводом для предварительных изысканий было желание установить эталон воспроизводимый и постоянный. Эти два основные требования, предъявляемые к эталону, не могли соблюдаться в световом эталоне 1925 г. Спецификация, предложенная Национальным бюро стандартов США, предусматривает осуществление нового светового эталона в виде полного излучателя при температуре затвердевания чистой платины. Излучательные свойства эталона связываются при этом с физической константой — температурой затвердевания чистого металла — и определяются строго установленными законами теплового излучения. Существенна при этом возможность получения не только количественной, но и качественной характеристики излучения. Основные требования постоянства и воспроизводимости представляются при этом соблюденными.

Фотометрическая лаборатория провела самостоятельно весь комплекс очень сложных и тонких работ по созданию светового эталона в виде полного излучателя. Переход на новые световые единицы состоялся с 1/I—48 г. Схема установки светового эталона представлена на рис. 1. Точность воспроизведения единицы около $\pm 0{,}1_5\%$.

Как предварительные теоретические соображения, так и проведенные и ведущиеся опытные исследования показывают, однако, что и новый световой эталон не является вполне совершенным. Основным принципиальным недостатком его является низкая температура затвердевания платины (2042°К), лежащая на нижнем пределе рабочих температур вольфрамовых ламп. Разрыв с температурой практических источников света обусловливает появление дополнительной погрешности разноцветных измерений при переходе к более высоким цветовым температурам. Практическое ограничение точности воспроизведения вызывается способом применения излучателя — наличием оптической системы, пропускание которой меняется в процессе работы (из-за налета копоти при плавках) и определяется с заметной погрешностью, сложными и переменными условиями разогрева металла и пр.

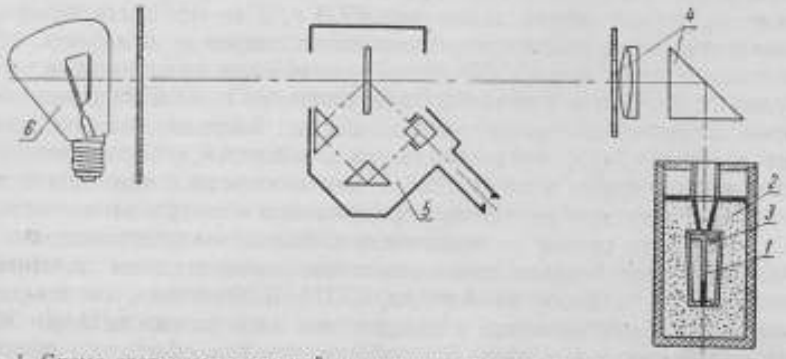


Рис. 1. Схема светоизмерительной установки с новым световым эталоном в виде полного излучателя:
1—полный излучатель; 2—окись тория; 3—платина; 4—оптическая система; 5—светомерная головка; 6—лампа сравнения.

Исследования условий наилучшего применения основного светового эталона продолжаются и должны продолжаться наряду с поисками новых путей и решений в деле воспроизведения световых единиц.

Сложность и неудобство применения основного эталона для каждодневной практики, так же как соображения осторожности, заставляют в этом случае применять эталоны-копии в виде электрических ламп накаливания, тщательно отобранных по своим качествам. Значение единицы может безопасно сохраняться с помощью этих ламп в течение нескольких лет. Поскольку световые величины связаны между собой геометрическими пространственными соотношениями, для практического удобства необходимо также иметь эталонные группы ламп, воспроизводящие единицы как освещенности и силы света, так и светового потока, испускаемого по всем направлениям. Требования сохранности этих групп ламп и неизменного значения единицы расширяют поверочную схему в области световых измерений, подобно тому как это делается в других случаях. Вся цепь передачи единиц от основного эталона до рабочего прибора и лампы состоит из ряда звеньев, причем каждое из них содержит эталонные и образцовые меры с различными количественными и качественными характеристиками. Для разъяснения следует обратиться к одной из важных практических работ лаборатории, выполненной с целью повышения точности и надежности световых измерений.

В лаборатории еще в начале ее деятельности была разработана П. М. Тиходеевым конструкция специальных светоизмерительных ламп [13, 14], обеспечивающих устойчивость их электрических и световых свойств и возможность их точной установки. Эти лампы покрывают достаточно широкий диапазон электрических мощностей и световых характеристик, необходимых для практики (рис. 2). Газополные и пустотные

Наполнение	Номер типа лампы	Напряж. *в*	Мощность *вт*	Сила света *св*	Эскиз
	Образцовые лампы силы света				
ПУСТОТНЫЕ	1	10	7,5	5	
	2	10	14	10	
	3	107	51,8	35	
	4	107	57,8	35	
	5	107	148	100	
ГАЗОПОЛНЫЕ	6	107	360	500	
	7	107	670	1000	

Наполнение	Номер типа лампы	Напряж. *в*	Мощность *вт*	Световой поток *лм*	Эскиз
	Образцовые лампы светового потока				
ПУСТОТНЫЕ	8	30	18,8	150	
	9	107	62,5	500	
	10	107	177	1500	
ГАЗОПОЛНЫЕ	11	107	125	1500	
	12	107	250	3500	

Рис. 2. Таблица образцовых электрических ламп накаливания по ОСТ 8273, разработанных ВНИИМ

лампы обеспечивают, кроме того, применение их при двух основных цветовых температурах (2360 и 2800°К), принятых по международным соглашениям для световых измерений. Лампы разработанной лабораторией конструкции утверждены по ОСТ 8273 и освоены производством на Московском электроламповом заводе. Многолетние испытания полностью подтвердили надежность и высокие качества светоизмерительных ламп, что было признано во время международных сравнений световых эталонов и отмечено Международным Бюро мер и весов. Конструкция некоторых типов ламп была позднее скопирована иностранными заводами.

Эталонные и образцовые лампы, входящие в поверочную схему, осуществляются из отдельных типов ОСТ 8273 различной мощности и при двух цветовых температурах. В лаборатории в настоящее время имеется не менее 150 эталонных и образцовых ламп с разными характеристиками. Применением в различных случаях различных групп ламп достигается повышение точности световых измерений благодаря сравнению источников света возможно более близких параметров и дается более полная характеристика источника света указанием спектрального состава его излучения для видимой области спектра.

Для получения этой характеристики (что весьма существенно в особенности при все развивающихся объективных измерениях и исследованиях различных приемников излучения) лабораторией была проведена работа по созданию шкалы цветовых температур для надобностей световых и цветовых измерений [15]. Цветовая температура 2042°К получена сличением с основным световым эталоном; цветовая температура около 2850°К — измерениями относительного распределения энергии в спектре лампы накаливания. Промежуточные точки были получены посредством относительных спектральных измерений и частично переходом с помощью голубого стекла с известными спектральными коэффициентами пропускания; относительными спектральными измерениями шкала цветовых температур была продолжена вниз до 1500°К.

В области создания образцовых мер следует отметить осуществление образцовых наборов пластинок для коэффициента яркости и отражения [16, 17] и цветных стекол с известными спектральными коэффициентами пропускания. Установлению образцовых пластинок яркости и отражения предшествовало спектрофотометрическое исследование различных белых веществ с целью выбора наилучшего материала и оценки возможной погрешности разноцветных световых измерений [18, 19].

Образцовые меры этого вида (как пластинки, так и стекла) не передают значения каких-либо единиц, но необходимы для удовлетворения многих запросов практики по испытанию различного рода образцов, материалов и проверки правильности действия ряда измерительных приборов (как рефлексометры, яркомеры, колориметры, спектрофотометры и пр.).

Международные работы [20—25]. В соответствии с правительственными решениями фотометрическая лаборатория принимала и принимает участие в международных работах, имеющих целью поддержание единообразия международных световых измерений. По инициативе фотометрической лаборатории организован Консультативный Комитет по фотометрии при Международном комитете мер и весов. С момента установления светового эталона (1925 г.) проводились неоднократные сличения световых эталонов СССР с национальными эталонами различных стран (Англии, США, Франции и Германии), тогда особенно необходимые в силу возможного износа эталонных ламп при горении. Периодические сличения продолжаются и после установления нового светового эталона. В настоящее время в Международном бюро мер и весов (МБМВ) заканчивается обработка результатов третьего по счету (после 1948 г.) сли-

чения ламп. По предварительным данным фотометрическая лаборатория ВНИИМ по трем группам ламп, участвовавшим в сличениях, наиболее близка к среднему международному значению световых единиц. Фотометрическая лаборатория успешно участвовала также в международных сличениях спектральных измерений цветных стекол и международных сравнениях цветовых температур (в связи со сравнениями световых единиц).

Точные световые измерения и измерительные приборы. Наряду с эталонными работами лаборатория вела ряд необходимых исследований способов точных световых измерений и специальной измерительной аппаратуры. Исследования касались общих способов перехода от одних световых величин к другим, изучения свойств источников света и приемников лучистой энергии, установления границ и условий их применения.

В первой части лабораторией были разработаны: способы перехода от единиц освещенности к единицам яркости и светового потока; способы измерений коэффициентов яркости, отражения, пропускания при различных условиях; способ разноцветных световых измерений, сводящий разноцветные сравнения к измерениям одноцветным и др. [26—33].

В порядке исследования свойств глаза были проведены новые определения относительной видности и пропорций смешения в условиях уравненных по цвету полей сравнения ненасыщенных цветов [34]. Выбранная обстановка измерений отвечает наиболее распространенным условиям обычного фотометрирования. По средним данным 50 наблюдателей получены в коротковолновой части спектра некоторые отклонения от принятых значений МКО, особенно заметные (до 10-кратного соотношения) в участке 0,4 ÷ 0,45 *мк*. В тех же условиях ненасыщенных цветов проведены с положительными результатами исследования по проверке явления аддитивности — сложения яркостей — условия, лежащего в основе большой части фотометрических расчетов.

Лаборатория вела исследования объективных приемников и объективных способов измерения [35—38]. В спектральных работах, где зрительный способ особенно сильно ограничивает точность измерений пороговой чувствительностью глаза, лаборатория издавна применяла исключительно объективные методы. Позднее они были усовершенствованы и расширены по пределам измеряемых величин с помощью разработанных усилительных схем. По мере усовершенствования фотоэлементов применение их расширилось и на область сплошного спектра. Как основной тип измерительного фотоэлемента выбран вакуумный, с висмуто-цезиевым катодом, спектральная чувствительность которого дает возможность сравнительно легкого исправления ее в соответствии с чувствительностью глаза. Конструктивные особенности фотоэлемента обеспечивают низкое напряжение насыщения порядка 1 ÷ 1,5 *в* и постоянство чувствительности в широких пределах изменения освещенности. Неустраненным недостатком является значительная неоднородность чувствительности по поверхности катода, затрудняющая определение его абсолютной чувствительности.

Одновременно лаборатория занималась испытаниями и исследованиями неизбирательных приемников лучистой мощности, применяя их для определения относительной и спектральной чувствительности фотоэлементов. Эти исследования составили часть ведущейся в настоящее время работы по опытному определению светового эквивалента лучистой мощности. Определение этой величины имеет целью установление точных соотношений между размерами световых и энергетических единиц. Одновременно в ходе работы решается задача повышения точности измерений малых величин лучистой мощности. Основными направлениями работы были: создание новых приемников повышенной чувствительности, снижение уровня тепловых помех при измерениях, уточнение способов эк-

страполяции в сторону малых лучистых и световых потоков. На заводе «Эталон» изготовлено по конструкции лаборатории несколько опытных образцов приемников разного назначения и с различными материалами термоспаев. Наибольшая полученная чувствительность для термостолбика с поверхностью примерно 225 *мм*² составила около $\frac{30\ мкв}{вт/м^2}$ при общем сопротивлении приблизительно 20 *ом*. Погрешность предварительных определений величины светового эквивалента посредством различных объективных приемников составила около ±3%.

Лаборатория занималась также разработкой измерительной аппаратуры [26, 39—42].

Мастерские Главмервеса, а впоследствии завод «Эталон» выпустили малыми сериями для сторонних организаций ряд измерительных приборов конструкции лаборатории — зеркальный распределительный фотометр, люксметр, яркомер, укороченные светомерные скамьи, фотометрические головки, вращающиеся поглотители, ряд вспомогательных приборов и приспособлений для точной установки ламп, испытательных пластинок, фотоэлементов и др. Большинство приборов изготовлялось в СССР впервые и имело ряд конструктивных особенностей. В настоящее время предстоит и уже начато в некоторых случаях видоизменение ранее существовавших приборов с целью приспособления их к объективным измерениям.

Для нужд самой лаборатории разработаны и изготовлены специальные конструкции поворотного светомерного шара, распределительного фотометра с испытательной пластинкой, шестиконечной скамьи для разноцветных измерений, фотоусилителей и др.

Поверочная работа и техническая помощь промышленности, стандарты. Фотометрическая лаборатория со дня своего основания вела большую работу по удовлетворению разнообразных запросов промышленности, народного хозяйства и научно-исследовательских учреждений страны в области светотехнических поверок и испытаний. До тех пор, пока соответствующие светотехнические организации не были достаточно развиты, фотометрическая лаборатория неоднократно осуществляла контроль качества и состояния заводских, школьных, больничных, уличных и других осветительных установок, принимала участие в разработке норм и правил освещения, в устройстве рационального освещения и пр. Большая работа была проведена по упорядочению действующих обязательных правил, распоряжений и стандартов о световых величинах и единицах [43—49].

Лабораторией были разработаны многие методы поверочных работ и испытаний (светоизмерительных ламп, люксметров, светильников и пр.), нашедшие применение в практике производственных и научных светотехнических лабораторий [26, 28, 31, 45]. Еще в 1928—1932 гг. лаборатория провела межлабораторные измерения светоизмерительных ламп, показавшие хорошую согласованность световых измерений в основных светотехнических лабораториях страны.

Свою основную задачу по поддержанию единообразия световых измерений лаборатория выполняла путем снабжения рабочими светоизмерительными лампами, поверочными образцами цветных и серых стекол, пластинками коэффициентов яркости и отражения, поверкой некоторых светоизмерительных приборов и пр. Производились также испытания светильников и очень многих видов светоизмерительных приборов, государственные испытания люксметров.

Расширение запросов растущего измерительного хозяйства и невозможность полного удовлетворения их силами одной лаборатории заставляют сейчас несколько изменить организацию поверочного дела в области световых измерений. По правительственному постановлению в Но-

восибирске создается вторая метрологическая база. Еще в четырех пунктах намечается открыть измерительные лаборатории с оборудованием, достаточным для поверки светоизмерительных образцовых ламп 2-го разряда и рабочих ламп. В Москве такая лаборатория уже фактически существует; в Харькове должна быть восстановлена лаборатория, закрытая во время войны. Кроме того, в 20 пунктах (учитывая начавшийся массовый выпуск селеновых люксметров) намечено открыть точки по поверке люксметров. В обязанности фотометрической лаборатории ВНИИМ должно входить сличение образцовых мер 1-го разряда для системы Комитета стандартов, мер и измерительных приборов и более крупных ведомственных лабораторий.

Дальнейшее развитие работ лаборатории направлено на поиски новых улучшенных способов создания светового эталона, изучения и создания образцовых светоизмерительных газосветных и люминесцентных ламп, расширения области применения объективных методов измерений, разработки точной измерительной аппаратуры с применением объективных методов.

3. Колориметрия. Колориметрия, как раздел оптики, сформировалась в прошлом столетии. Однако ее практическое приложение начало существенно развиваться лишь в начале XX в. Тогда же были начаты и первые колориметрические исследования в СССР. Большой вклад в область экспериментальных и теоретических работ был внесен проф. Н. Т. Федоровым, Л. И. Демкиной, проф. Г. Н. Раутианом, проф. Н. Д. Нюбергом [50] и др. Практическое решение вопросов цветовых измерений сильно продвинулось вперед с разработкой и выпуском ряда колориметров различных систем и типов.

Во ВНИИМ колориметрическая лаборатория была организована в 1939 г. В первые годы своей деятельности она была занята созданием образцовой аппаратуры; в частности, была создана оригинальная установка для изучения явления цветовой адаптации глаза и определения координатных осей основной физиологической системы глаза. Работа, начатая в этом направлении, была прервана в 1941 г. и закончена лишь после окончания войны [51—53].

Одновременно были проведены оценка точности колориметрических измерений в зависимости от условий цветовой адаптации, исследования способов градуировки трехцветных колориметров и др. [54].

Была разработана научно обоснованная методика построения и контроля правильности колориметрических таблиц для испытания цветного зрения [55, 56]. В отличие от чисто эмпирических способов, применяемых при построении подобных таблиц, новая методика опирается на определение основной трехцветной системы координат приемников глаза, так называемой физиологической системы, непосредственно связанной с действительными спектральными характеристиками приемников. На основе этих данных выполняются расчеты цветов, которые можно использовать для проверки свойств цветного зрения.

В 1952—1954 гг. разработана конструкция образцового зрительного колориметра (цветомера). Схема прибора представлена на рис. 3. Цветомер имеет ряд конструктивных особенностей, улучшающих условия измерений и соответственно повышающих их точность, а также исключающих ряд систематических погрешностей. Сюда относятся: большой размер поля зрения (12°), возможность производить измерения цвета в условиях близкого спектрального состава полей сравнения, возможность измерения насыщенных цветов без их разбавления и др. В результате точность измерения цветов, близких к белым, удалось повысить до значения $\Delta x = \Delta y = 0{,}0005$ при повторяемости результатов $\Delta x = \Delta y = 0{,}001$.

В 1955—1956 гг. разработана конструкция и изготовлен фотоэлектрический компаратор цвета, предназначенный для измерения малых

цветовых различий в области белых цветов [57—59]. В приборе использована дифференциальная схема селеновых фотоэлементов, воспроизводящих в совокупности с цветными стеклами кривые сложения физиологической системы R, G, B. Определение координат цвета на этом приборе по отношению к образцовой пластинке осуществляется с погрешностью 0,1÷0,3%.

Для поверки основных приборов в лаборатории созданы образцы цвета в виде полированных пластин из цветного стекла [60, 61].

Выполненные исследования позволяют оказывать техническую помощь промышленности в испытаниях различных образцов цвета (пигментов, красок, бумаги, тканей, эмалей и пр.) и в установлении колориметрических методов контроля качества продукции.

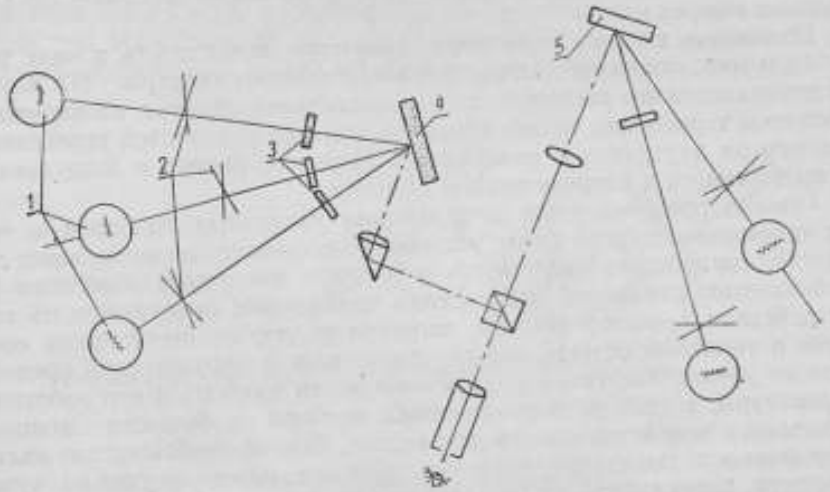


Рис. 3. Схема цветомера:
1—светоизмерительные лампы; 2—вращающиеся поглотители; 3—цветные стекла; 4—серно-бариевая пластинка; 5—измеряемый образец цвета.

В 1956 г. при ВНИИМ организована Постоянная комиссия по колориметрии, объединяющая представителей различных ведомств Москвы и Ленинграда, работающих в области колориметрии и в смежных областях. Комиссия координирует работы по колориметрии, проводящиеся в Советском Союзе, и обсуждает предложения, представляемые в Международную осветительную комиссию через Комитет стандартов, мер и измерительных приборов.

Перспективный план работ ВНИИМ в области колориметрии предусматривает проведение следующих исследований метрологического значения: определение кривых сложения среднего глаза в соответствии с рекомендацией МОК, измерение цветовых зрительных порогов с целью обоснования точности колориметрических измерений и создание образцового атласа цветов и образцовых цветных шкал.

4. Актинометрия. Актинометрическая лаборатория, имеющая целью измерения лучистой энергии в абсолютных единицах, была организована во ВНИИМ в 1934 г. Задачей, вставшей перед лабораторией с самого начала, было создание образцовых абсолютных приборов для измерения лучистых потоков. Этот вопрос в то время находился в неудовлетворительном состоянии: так, взаимные сличения абсолютных приборов шведской и американской лабораторий показывали расхождение в 3,5% [62].

Теоретически в качестве исходного образцового прибора для данной области измерений можно выбрать либо приемник, либо излучатель, до-

пускающие градуировку их абсолютным методом. Первоначально лаборатория работала над созданием образцового приемника излучения. Были разработаны конструкции болометрического радиометра и радиометра с наперстковой камерой. Оба прибора по идее являются абсолютными, т. е. позволяют производить их градуировку, приравнивая тепловые действия потока радиации, падающего на приемную поверхность, и электрического тока, проходящего по известному сопротивлению.

В болометрическом радиометре применена медная обмотка из тонкой проволоки, намотанная (в один слой, виток к витку) по поверхности конуса и вычерненная изнутри. Изменение мощности, выделяемой током в обмотке болометра, вызывает изменение температуры, а следовательно, и сопротивления обмотки. Измеряя последнее, легко подобрать мощность, эквивалентную по своему действию потоку радиации, падающему на приемную поверхность и вызывающему равное по величине изменение сопротивления обмотки.

Радиометр второго типа имеет приемную поверхность в виде тонкостенного металлического колпачка, вычерненного изнутри. На внутренней поверхности его расположена нагревательная обмотка, на наружной — укреплены термопары, используемые в качестве указателей равенства падающего на внутреннюю поверхность лучистого потока и джоулева тепла, выделяемого в нагревательной обмотке.

Однако произведенные исследования указанных приборов и тепловых приемников других типов установили сложность происходящих в них явлений, снижающих надежность и точность измерений подобного рода. Особенностью измерений посредством приемников, основанных на тепловом действии лучистой энергии, является то, что количественные соотношения в тепловом обмене между приемником и окружающей средой зависят от уровня энергетической освещенности прибора и его собственной температуры, в силу чего градуировка прибора на больших мощностях оказывается недействительной для малых. Другой особенностью является неустойчивость показаний тепловых приборов, непостоянство их чувствительности, зависимость от посторонних источников излучения и пр.

Это заставило лабораторию обратиться к разработке образцового излучателя. Были созданы черные излучатели для различных областей температур. Излучатели с малым отверстием (порядка 2—3 *мм*), подобные применяемым в фотометрии и пирометрии, здесь неприменимы. До 100°С применяется водяной термостат с шаровой полостью (диаметр отверстия около 30 *мм*), для градуировки инфракрасных радиометров создано черное тело с большой поверхностью излучения в виде латунного вычерненного диска диаметром 150 *мм*. Его излучающая сторона имеет вид сотовых ячеек глубиною 6 *мм* и диаметром 4 *мм*. Совокупность таких миниатюрных излучателей обеспечивает диффузный характер излучения. Коэффициент черноты сотового излучателя по сравнению с излучением шаровой полости водяного термостата составляет $0{,}97_5$.

Изучение инфракрасных излучений, как источника помех при работе с радиационными приборами, позволило в качестве побочного выхода разработать особые радиометры для измерений средних температур [63]. Приборы нашли широкое применение в исследовательских лабораториях и на производстве. Градуировка их ведется с помощью двух черных излучателей — «холодного» и «горячего».

В последнее время лаборатория приступила к энергетическим измерениям спектральных излучений (в частности, излучений ртутнокварцевых ламп). Попутно изучена возможность использования для этих целей фотоэлементов, обладающих высокой чувствительностью и устойчивостью. Однако в силу больших изменений чувствительности фотоэлементов по спектру использование их для работы возможно лишь в узких спектральных участках и при постоянном спектральном составе излучения.

5. Сенситометрия. Широкое распространение в науке и технике количественного фотографического метода исследований привело к созданию измерительной аппаратуры для разностороннего испытания и исследования светочувствительных слоев фотоматериалов.

Основными метрологическими задачами в области сенситометрии являются: 1) измерения светочувствительности (общей и спектральной) фотографических слоев; 2) измерения оптических плотностей фотографических почернений и 3) измерения разрешающей способности светочувствительных материалов, т. е. способности передавать весьма малые детали оптического изображения.

Для решения вопросов сенситометрии в 30-х годах в ХГИМИП была создана специальная сенситометрическая лаборатория. В ней были осуществлены образцовые измерительные приборы и установки для поверки сенситометров и денситометров, налажено производство рабочих сенситометров типа Эдер-Гехта, с некоторыми конструктивными изменениями, проведен ряд исследований по синтезу красителей, необходимых для изготовления фотослоев с различной спектральной чувствительностью.

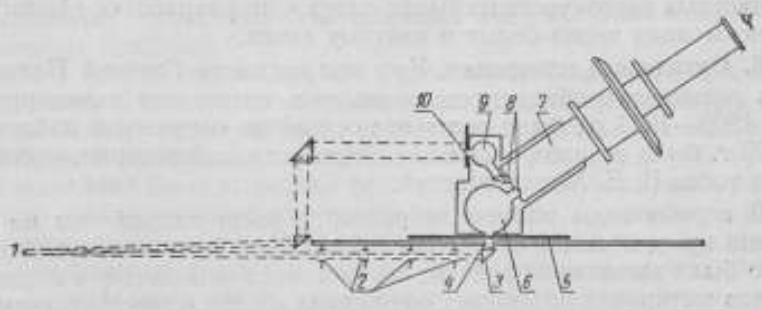


Рис. 4. Схема интегрирующего денситометра:
1—источник света; *2*—ряд диафрагм; *3*—линза с призмой внутреннего отражения; *4*—диафрагма; *5*—фотографическое почернение; *6*—интеграционная сфера; *7*—поляризационный фотометр; *8*—окна фотометра; *9*—малая интеграционная сфера; *10*—входное отверстие.

Совместно с ВНИИМ Харьковский институт разработал в 1933 г. общесоюзный стандарт на основные понятия и величины фотографической сенситометрии.

Нарушенные войной работы сенситометрической лаборатории ХГИМИП не были возобновлены. Между тем, в послевоенные годы возникла необходимость в организации государственной поверки новой сенситометрической аппаратуры по ГОСТ 2817—45 и создании новых исходных образцовых приборов. В соответствии с этим в 1946 г. во ВНИИМ была организована заново сенситометрическая лаборатория.

Ее работы развиваются по вышеуказанным направлениям.

1. Разработаны метод и соответствующие приборы для поверки сенситометрической аппаратуры, созданы две образцовые сенситометрические установки типа ФСР-4 и прибор [64] для контроля цветовой температуры ламп в сенситометрах по методу красно-синего отношения. Фотоэлектрический метод поверки сенситометров позволяет судить о состоянии отдельных элементов сенситометра и прибора в целом.

Выполненные работы позволили значительно повысить сходимость показаний между отдельными экземплярами сенситометров, используемых в промышленности.

2. Создан образцовый поляризационный денситометр для измерения диффузных оптических плотностей. Разработан и создан новый прибор — интегрирующий денситометр — для измерения интегральных значений оптических плотностей (рис. 4).

Принцип действия прибора заключается в сравнении яркостей внутренних поверхностей двух сфер, из которых одна служит образцом сравнения, а в другой интегрируется суммарный поток, прошедший через измеряемый образец.

На основании измерений, выполненных на этих двух приборах, установлено соотношение между значениями диффузной, интегральной и регулярной оптической плотностей [65].

3. Ведутся работы по созданию образцовой резольвометрической установки — для оценки разрешающей способности светочувствительных слоев.

Поверки сенситометрической аппаратуры для основных фабрик кинопленочной промышленности, сенситометрической инспекции Министерства культуры и для других организаций ведутся лабораторией с 1951 г.

В 1951 г. при участии ВНИИМ в промышленность была внедрена (взамен устаревшей) новая единая система сенситометрии согласно ГОСТ 2817—50.

В дальнейшем, в области сенситометрии намечены работы по созданию методов и приборов для поверки сенситометрической аппаратуры для цветных светочувствительных слоев и по разработке единого ГОСТа для испытания черно-белых и цветных слоев.

6. Оптические измерения. Уже при создании Главной Палаты мер и весов возникла необходимость выполнять оптические измерения. Поэтому в 1909—1913 гг. было положено основание оптической лаборатории, а в 1922 г. была создана отдельная оптическая лаборатория, которой руководил тогда В. Е. Мурашкинский.

В первые годы работы лаборатории были направлены на удовлетворение нужд молодой отечественной оптической промышленности. С этой целью были выполнены работы, посвященные изысканию и исследованию методов юстировки различных оптических систем и измерительных приборов и оценке их аберраций [66—80]. Много труда было затрачено на налаживание очкового дела в стране [81—83].

Подбор очков и измерение их рефракции в процессе изготовления производились в царской России и в других странах неправильными методами. В. Е. Мурашкинский совместно с другими авторами произвел исследование методов и приборов, применяемых в очковой оптике, и составил руководство по офтальмологической оптике [84], которое до сего времени является единственной книгой, освещающей эти вопросы. В результате этой работы ВСНХ в 1927 г. были изданы постановления об обязательной поверке пробных очковых стекол и приборов для измерения оптических свойств очковых стекол [85]. Эти постановления способствовали упорядочению подбора и изготовления очков в Советском Союзе.

После Великой Отечественной войны был разработан метод поверки диоптриметров, рассчитаны и изготовлены образцовые наборы линз для поверки диоптриметров [86]. Этими наборами снабжены институты системы Комитета и две контрольные лаборатории. Таким образом, подведена база для осуществления единообразия измерений рефракций очковых линз с помощью диоптриметров.

В связи с дальнейшим развитием отечественной промышленности в оптической лаборатории были поставлены работы по юстировке оптических приборов, созданию методов и приборов для спектрального анализа и разработке различных интерференционных приборов.

Были разработаны методы юстировки и отъюстированы следующие приборы для ВНИИМ и заводов: диоптриметры, компараторы для относительных и абсолютных измерений длины концевых мер [87, 88], оптиметры, метровая измерительная машина и сахариметры. На основании опыта работы была составлена книга по юстировке оптических приборов,

которая до сего времени является основным руководством такого рода в Советском Союзе [89].

В связи с необходимостью производить точные измерения углов на гониометре была разработана методика исследования лимба гониометра [90].

Для интерференционных измерений длины (методом колец равного наклона) была создана фотографическая камера, дающая весьма совершенное изображение [91 и 92].

Были сконструированы и изготовлены на заводе «Эталон» интерферометр для оценки качества полированных поверхностей [93]; предложен интерференционный метод поверки толстых плоскопараллельных стеклянных пластин [94]; разработан метод изготовления интерференционных фильтров из слюды [95]; создан и опробован интерференционный динамический метод определения термического коэффициента линейного расширения плоскопараллельных концевых мер длины [96].

Метрологические работы по очковой оптике и оптике измерительных приборов в дальнейшем должны быть направлены на разработку приборов для контроля очковых стекол с повышенной точностью, на исследование качества и на измерение параметров оптики измерительных приборов и разработку новых более совершенных систем оптико-механических измерительных приборов.

ВНИИМ был одним из первых учреждений Советского Союза, где начали применять спектральный анализ, как мощное средство для исследований различных веществ. Были разработаны методы анализа различных металлов и выполнялись сложные работы этого рода. В процессе этих исследований были выведены формулы, которые позволили разработать метод количественного спектрального анализа, основанный на применении трех эталонов [97]. В настоящее время метод трех эталонов заслужил всеобщее признание и широко применяется в промышленности и науке. Заслуживают также упоминания разработанные методы анализов меди и серебра [98—101].

В послевоенные годы исследования по спектральному анализу были направлены на разработку методов анализа веществ, применяемых в метрологии. Так были созданы методы, позволяющие оценивать чистоту металлов, применяемых для воспроизведения реперных точек температурной шкалы,— палладия, золота, серебра, платины и цинка [102, 103]. Был также разработан метод анализа чистоты воды [104] по поглощению в ультрафиолетовой области спектра и определены величины наименьшего поглощения чистой водой (плотный осадок порядка 0,005 *мг* на 1 *л*). Чистая вода находит широкое применение в метрологии. Так например, она нужна при составлении чистых реактивов для нормальных элементов, для воспроизведения тройной точки воды и т. п.

После войны были выполнены также некоторые работы по спектроскопии в инфракрасной области спектра — был создан спектрометр для измерений в инфракрасной области спектра [105].

Перспективы развития метрологии в области спектрального анализа весьма широки. Одним из первоочередных вопросов, подлежащих решению, является изыскание условий возбуждения, при которых «третьи компоненты» оказывают минимальное влияние на интенсивность спектральных линий. Решение этого вопроса необходимо для уменьшения разнообразия спектральных образцов (эталонов), используемых для анализа. Следует упомянуть также разработку методов измерений интенсивностей спектральных линий фотоэлектрическими способами и т. д.

В послевоенные годы (1951—1952 гг.) в оптической лаборатории ВНИИМ был разработан метод и произведены измерения скорости распространения света [106]. При измерениях был применен новый тип модулятора, основанный на периодическом изменении разности хода интер-

ферирующих пучков при быстром вращении плоскопараллельной пластинки, расположенной между зеркалами интерферометра Фабри и Перо. Схема установки для измерения скорости распространения света приведена на рис. 5. Скорость вращения пластинки модулятора (толщиной 20 *мм*) порядка 3000—5000 об/мин, соответствовала частоте модуляции приблизительно в 40—50 *Мгц* и полупродолжительности импульсов около $1 \cdot 10^{-9}$ *сек*. Длина базы при измерениях достигала 48 *м*. В качестве источника света была использована ртутная лампа СВД, из излучения которой фильтром выделялась зеленая линия $\lambda = 0{,}5461$ *мк*. Пластина модулятора приводилась во вращение синхронным однофазным двигателем, питаемым от эталонного пьезокварцевого генератора ВНИИМ через специальный усилитель.

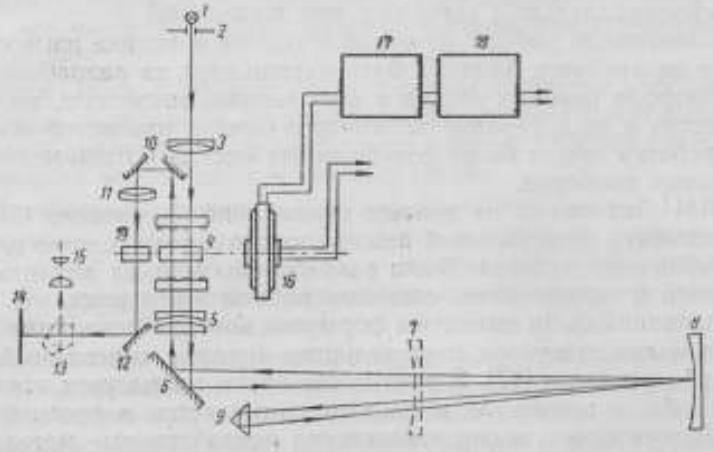


Рис 5. Схема установки для измерения скорости распространения света:

1—источник света; *2*—диафрагма; *3*—объектив коллиматора; *4*—интерференционный модулятор; *5*—афокальная система; *6*—вспомогательное зеркало; *7* и *8*—зеркала-отражатели; *9*—призма, удваивающая длину хода лучей; *10* и *11*—зеркала развертывающего устройства; *12*—проектирующая линза развертывающего устройства; *13* и *15*—система для наблюдения интерференционных полос; *14*—фотопластинка; *16*—синхронный двигатель; *17* и *18*—усилитель и блок питания двигателя; *19*—пластинка развертывающего устройства.

В результате измерений 1951 г. для скорости света было получено число $C = 299\,794 \pm 6{,}5$ *км/сек*; в 1952 г. — $C = 299\,788 \pm 5{,}4$ *км/сек* (указанная погрешность соответствует средней квадратичной погрешности результата). Эти числа в пределах погрешностей измерений хорошо совпадают друг с другом и дают значение скорости света, несколько превышающее ранее принятое табличное значение (на 12—18 *км/сек*).

Разработанный метод измерения скорости распространения света может быть в дальнейшем использован при создании прибора для измерения больших расстояний в геодезии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тиходеев П. М., Временник Главной Палаты мер и весов, вып. 2(14), 1928, стр. 160—194; вып. 3(15), 1929, стр. 142—182; вып. 4(16), 1930, стр. 31—56.
2. Девяткова Е. Д., Изд. ВКС при СТО, № 133, 1934, стр. 80—88.
3. Девяткова Е. Д. и Тиходеев П. М., Труды ВНИИМ, вып. 23(39), 1938, стр. 3—27.
4. Несмачный К. И., Соколов М. В., Тиходеев П. М., Труды ВНИИМ, вып. 23(39), 1938, стр. 28—59.
5. Тиходеев П. М., Труды ВНИИМ, вып. 23(39), 1938, стр. 64—73.
6. Тиходеев П. М., Сборник трудов по светотехнике, Изд. АН СССР, 1938.
7. Тиходеев П. М., «Метрология и поверочное дело», № 1, 1939, стр. 15—20.

8. Тиходеев П. М., Сборник трудов ВНИИМ, вып. 10(55), 1941, стр. 3—28.
9. Тиходеев П. М., Несмачный К. И., Карташевская В. Е., Сборник трудов ВНИИМ, вып. 10(55), 1941, стр. 29—47.
10. Пестова Н. И., Сабуренков А. М., Тиходеев П. М., Сборник трудов ВНИИМ, вып. 10(55), 1941, стр. 48—58.
11. Тиходеев П. М., Новый государственный световой эталон СССР, Изд. АН СССР, 1949.
12. Карташевская В. Е., Труды ВНИИМ, вып. 8(68), 1949, стр. 45—58.
13. Тиходеев П. М., Изд. ГПМВ, № 60, 1928, стр. 100—109.
14. ОСТ 8273.
15. Карташевская В. Е., Труды ВНИИМ, вып. 8(68), 1949, стр. 3—44.
16. Соколов М. В., Изд. ВКС при СТО, № 133, 1934, стр. 101—122.
17. Сабуренков А. М., Труды ВНИИМ, вып. 17(77), 1952, стр. 47—58.
18. Девяткова Е. Д., Временник Главной Палаты мер и весов, вып. 2(14), 1928, стр. 195—209.
19. Тиходеев П. М., Труды ВНИИМ, вып. 23(39), 1938, стр. 111—114.
20. Тиходеев П. М., Временник Главной Палаты мер и весов, вып. 3(15), 1928, стр. 183—188.
21. Шателен М. А. и Тиходеев П. М., «Поверочное дело», № 3, 1928, стр. 155—159.
22. Сабуренков А. М., Соколов М. В., Тиходеев П. М., Изд. ВКС при СТО, № 133, 1934, стр. 89—92.
23. Девяткова Е. Д., Изд. ВКС при СТО, № 133, 1934, стр. 93—96.
24. Тиходеев П. М. и Карташевская В. Е., Сборник трудов ВНИИМ, вып. 10(55), 1941, стр. 79—82.
25. I. Terrien et H. Moreau. Procès—Verbaux du Comité consultatif de Photomètrie, session 1952 r. t. XXIII—B, 1953 r. p.p. 46—100; 104—123.
26. Тиходеев П. М., Световые измерения в светотехнике, ОНТИ, 1936.
27. Девяткова Е. Д., Несмачный К. И., ЭТИ, вып. 8, 1936, стр. 225—256.
28. Тиходеев П. М. «Поверочное дело», № 3, 1929, стр. 168—183.
29. Tikhodéev P.M., Comptes Rendu du Congrès International d' Electricité, t. VIII, 1932, p. 29—34.
30. Тиходеев П. М., СЭТ, т. 3, 1928, стр. 2—14; 56—69; 73—92.
31. Тиходеев П. М., Изд. ВНИИМ, № 112, 1932, стр. 3—39.
32. Тиходеев П. М., Труды ВНИИМ, вып. 17(77), 1952, стр. 17—46; 77—83.
33. Сабуренков А. М., Труды ВНИИМ, вып. 8(68), 1949, стр. 59—86; 87—101.
34. Карташевская В. Е., Труды ВНИИМ, вып. 17(77), 1952, стр. 3—16.
35. Несмачный К. И., Труды ВНИИМ, вып. 23(39), 1938, стр. 96—110.
36. Карташевская В. Е., Труды ВНИИМ, вып. 23(39), 1938, стр. 83—95.
37. Карташевская В. Е., «Светотехника», № 1 и 2, 1938.
38. Сабуренков А. М., Труды ВНИИМ, вып. 17(77), 1952, стр. 59—76.
39. Тиходеев П. М., Бюллетень Главной Палаты мер и весов, 1927, стр. 15—41.
40. Тиходеев П. М., Изд. ВКС при СТО, № 100, 1932, стр. 29—47.
41. Каталог завода «Эталон».
42. Тиходеев П. М., «Измерительная техника», № 1, 1955, стр. 28—30.
43. ОСТ 4891, 7637; ГОСТ 7932—56.
44. Тиходеев П. М., «Вестник стандартизации», № 10, 1931, стр. 51—55.
45. Тиходеев П. М., Труды ВНИИМ, вып. 23(39), 1938, стр. 115—128.
46. Тиходеев П. М., Изд. ГП, № 68, 1939, стр. 3—36.
47. Тиходеев П. М., «Электричество», № 11, 1947, стр. 82—84.
48. Тиходеев П. М., «Светотехника», № 1, 1955, стр. 8—12; № 6, 1956, стр. 9—11.
49. Тиходеев П. М. «Измерительная техника», № 5, 1956, стр. 8—11.
50. Нюберг Н. Д., Измерение цвета и цветовые стандарты, Стандартгиз, 1933.
51. Юстова Е. Н., Труды ВНИИМ, вып. 8(68), 1949, стр 102—105.
52. Юстова Е. Н., «Проблемы физиологической оптики», т. 6, 1948, стр. 53—59.
53. Юстова Е. Н., ЖТФ, т. XVI, 1946, стр. 1187—1194.
54. Юстова Е. Н., Труды ВНИИМ, вып. 17(77), 1952, стр. 84—97.
55. Юстова Е. Н., ДАН, т. XC, № 4, 1953, стр. 533.
56. Нюберг Н. Д. и Юстова Е. Н., Труды ГОИ, т. XXIV, в. 143, 1955, стр. 33.
57. Раутиан Г. Н., ДАН, т. XCII, № 5, 1953, стр. 943.
58. Раутиан Г. Н., Лобанова Н. В., Знаменская М. А., ЖТФ, т. XXVI, вып. 1, 1956, стр. 193.
59. Юстова Е. Н., «Светотехника», № 2, 1957.
60. Демкина Л. И., ЖТФ, т. 6, вып. 3, 1936, стр. 409.
61. Демкина Л. И., Сборник трудов секции светотехники научно-исследовательского аэроинститута, изд. Ленингр. учебного Комбината, № 2, 1934.
62. Бойко А. Н., ДАН ОТН, 1936, стр. 69.
63. Бойко А. Н., Труды ВНИИМ, вып. 4(59), 1947, стр. 31—43.
64. Корндорф В. А. и Черный И. А., Труды ВНИИМ, вып. 26(86), 1955, стр. 85—91.
65. Корндорф В. А. «Успехи научной фотографии», т. IV, 1955, стр. 67—81.
66. Мурашкинский В. Е., Phil Mag, 46, 1923.

67. Мурашкинский В. Е., Phil Mag, 47, 1923.
68. Мурашкинский В. Е., Phil Mag, 47, 1924.
69. Мурашкинский В. Е., Trans of the Optic Soc, XXX, 1928—1929.
70. Мурашкинский В. Е., Opt. Wochenschrift, № 15 и 16, 1930.
71. Мурашкинский В. Е., Оптика бинокля, Л., 1925.
72. Артамонов П. П., «Измерительная техника и поверочное дело», № 2—3, 1930.
73. Артамонов П. П., «Оптико-механическая промышленность», № 3, 1933.
74. Артамонов П. П., «Оптико-механическая промышленность», № 4, 1934.
75. Артамонов П. П., Юстировка и чистка оптических приборов, 1935.
76. Артамонов П. П., «Оптико-механическая промышленность», № 8, 1936.
77. Артамонов П. П., «Оптико-механическая промышленность», № 6, 1935.
78. Артамонов П. П., «Оптико-механическая промышленность», № 3, 1935.
79. Мурашкинский В. Е., Труды Государственного Оптического института, т IV, вып. 43, 1928.
80. Мурашкинский В. Е., «Журнал прикладной физики», IV, 1927.
81. Артамонов П. П., Об астигматизме очковых стекол, 1931.
82. Артамонов П. П., «Измерительная техника и поверочное дело», № 2—3, 1930.
83. Мурашкинский В. Е., Труды первого всесоюзного съезда глазных врачей, 1926.
84. Мурашкинский В. Е., Мерц А. И., Майзель С. Р., Мильк Г. А., Офтальмологическая оптика, изд. ГПМВ, 1928.
85. Мурашкинский В. Е., «Поверочное дело», № 2/9, 1927.
86. Стракун Г. И., «Измерительная техника», 1957 г. (в печати).
87. Артамонов П. П., «Оптико-механическая промышленность», № 10, 1933.
88. Артамонов П. П., «Оптико-механическая промышленность», № 4, 1936.
89. Артамонов П. П., Юстировка оптических измерительных приборов, изд. Оборонгиз, 1939.
90. Волкова Е. А. и Милютина Н. П., Труды ВНИИМ, вып. 16(76), 1951, стр. 42—49.
91. Стракун Г. И., Труды ВНИИМ, вып. 16(76), 1951, стр. 13—22.
92. Стракун Г. И. и Курицкий А. Л., Труды ВНИИМ, вып. 26(86), 1955, стр. 75—84.
93. Карташев А. И. «Оптико-механическая промышленность», № 7, 1935.
94. Волкова Е. А., «Оптико-механическая промышленность», № 6—7, 1940.
95. Карташев А. И. и Сыромятникова Н. М., Труды ВНИИМ, вып. 7(67), 1949.
96. Волкова Е. А., Труды ВНИИМ, вып. 7(67), 1949.
97. Ломакин Б. А., Труды ВИМС, вып. 2(18), 1932, стр. 139.
98. Осташевская А. А., «Заводская лаборатория», № 8—9, 1938, стр. 958—963.
99. Осташевская (Хейфец) А. Л., ИАН СССР, сер. физ., т. IV, 1940, стр. 9.
100. Осташевская (Хейфец) А. Л., Zt. für anorg. Chemie, 228, 1936, стр. 14.
101. Осташевская А. Л., Труды ВНИИМ, вып. 4(49), 1941.
102. Хейфец А. Л., ИАН СССР, сер. физ., т. IV, № 5, 1950, стр. 696—697.
103. Хейфец А. Л. и Черезова Л. Н., ИАН СССР, сер. физ. т. XII, № 4, 1948, стр. 462.
104. Грудинкина Н. П., «Оптика и спектроскопия», АН СССР, т. 1, вып. 5, 1956, стр. 658—662.
105. Крамп Л. И., Кузнецов Н. П., Остроумов Б. А., Труды ВНИИМ, вып. 16(76), 1951, стр. 23—42.
106. Карташев А. И., Труды ВНИИМ, вып. 26(86), 1955, стр. 17—36.

ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТРОЛОГИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

К. К. АГЛИНЦЕВ (руководитель отдела ионизирующих излучений), Ф. М. КАРАВАЕВ, А. С. КАРАМЯН, А. А. КОНСТАНТИНОВ, Г. П. ОСТРОМУХОВА, Е. А. ХОЛЬНОВА, М. Ф. ЮДИН, И. А. ЯРИЦЫНА

1. Введение. Проблема измерений в области ионизирующих излучений возникла на грани XIX и XX вв. в связи с открытием рентгеновских лучей и естественной радиоактивности. Быстрое развитие техники получения рентгеновских лучей и широкое применение их в медицине и в промышленности настоятельно требовали создания единой системы измерений их действия.

Открытие биологического воздействия рентгеновских лучей и проникающих излучений радиоактивного распада, особенно в связи с необходимостью создания условий радиационной безопасности для лиц, подвергающихся воздействию этого излучения, выдвинули на первое место вопрос о методах обеспечения единства измерений дозиметрических характеристик ионизирующих излучений.

Однако до открытия возможности осуществления цепных ядерных реакций область применения ионизирующих излучений была ограничена небольшим числом физических лабораторий, занимающихся изучением радиоактивности и свойств рентгеновских лучей, медицинских учреждений, использующих рентгеновские и гамма-лучи для диагностики и терапии заболеваний, и рядом заводских лабораторий, в которых производился контроль качества материалов и деталей.

После осуществления цепных ядерных реакций создалось качественно новое положение. С этого момента ионизирующие излучения начинают проникать во многие области производственной и научной деятельности людей. Кроме того, в связи с открытием возможности использования внутриядерной энергии возникли новые мощные отрасли промышленности по добыче и переработке ядерного горючего, в которых наличие ионизирующих излучений обусловлено самим существом технологических процессов.

За последние 10 лет создалось такое положение, при котором дозиметрическая и радиометрическая аппаратура широко используется уже в самых различных отраслях науки и техники. Так, в геологии и геофизике она применяется при поисках радиоактивных полезных ископаемых, являющихся сырьем для атомной промышленности; в химической технологии и металлургии — при обогащении радиоактивных руд для получения атомного горючего и расщепляющихся материалов; в атомной промышленности — при контроле за работой реакторов и при производстве радиоактивных изотопов; в биологии, медицине, химии, сельском хозяйстве — при применении радиоактивных изотопов в качестве индикаторов; в машиностроении и судостроении — при гамма-дефектоскопии; почти во всех областях техники — при использовании радиоактивных препаратов для контроля и автоматизации технологических процессов.

В связи с таким широким применением ионизирующих излучений исключительное значение приобрела отрасль дозиметрии, с помощью которой на производствах, связанных с ионизирующими излучениями, осуществляется контроль эффективности защитных средств, а также производится проверка соблюдения установленных правил эксплуатации.

Решение задач, стоящих перед современной дозиметрией, потребовало разработки методов и аппаратуры для следующих измерений:

а) доз в поле различных источников рентгеновских и гамма-лучей, бета-частиц и нейтронов;

б) радиевых эквивалентов гамма-излучателей;

в) активности различных препаратов, распадающихся путем испускания альфа- и бета-частиц;

г) нейтронных потоков.

Следует отметить, что в природе всегда существует фон ионизирующего излучения, обусловленный проникновением космических лучей и наличием естественных радиоактивных элементов, находящихся в воздухе, воде и почве за счет содержания в земной коре урана и тория, а также продуктов их распада. Однако этот фон значительно ниже тех значений ионизации, которые представляют интерес при дозиметрических и радиометрических измерениях.

Все перечисленные выше виды излучения различаются:

а) по энергии квантов или частиц, меняющихся от 10^{-3} до 10^{10} *эв* (космические частицы, современные ускорители), причем с развитием техники этот предел будет повышаться;

б) по мощности дозы, составляющей 0,001 *мкр/сек* на уровне природного фона, и доходящей до 10^{8} *р/сек*;

в) по активности препаратов, которая может лежать в пределах от нуля до многих тысяч кюри.

В настоящее время перед дозиметрией и радиометрией стоят следующие конкретные задачи:

1) дозиметрия рентгеновских и гамма-лучей в диапазоне: по энергии квантов от 3 *кэв* до 300 *Мэв* (и выше), по мощности доз от 10^{-3} *мкр/сек* до 10^{7} *р/сек;*

2) дозиметрия бета-лучей в диапазоне: по энергии частиц от 10 *кэв* до 300 *Мэв*, по мощности доз от 10^{-2} *мкр/сек* до 10^{7} *р/сек;*

3) нейтронная дозиметрия в диапазоне: по энергии — от тепловых нейтронов (0,026 *эв*) до 400—500 *Мэв*, по мощности доз от 0,1 *мкфэр/сек* до 10^{6} *фэр/сек;*

4) измерение альфа-активности в диапазоне 10^{-11}—10^{2} кюри;

5) измерение бета-активности в диапазоне 10^{-10}—10^{3} кюри;

6) измерение гамма-эквивалента в диапазоне: по энергии квантов от 200 *кэв* до 3 *Мэв* и по активности от 10^{-9} до 10^{3} *г-экв* радия;

7) измерение нейтронных потоков в диапазоне от нескольких нейтронов до 10^{14} нейтронов на 1 *см*^{2}.

Для измерения доз и радиометрических характеристик излучения в указанных выше пределах служат следующие измерительные установки и методы: ионизационные камеры, газовые и сцинтилляционные счетчики, фотографические, химические и калориметрические методы измерений.

Применение ионизационных камер связано с необходимостью измерения слабых постоянных токов от 10^{-8} до 10^{-16} *а*. При работе с импульсными ионизационными камерами, газовыми и сцинтилляционными счетчиками необходимо регистрировать и анализировать отдельные электрические импульсы малой величины. В современной дозиметрии и радиометрии обе эти задачи решаются с помощью технической электроники.

Химическая дозиметрия основана на том, что под действием излучений происходят различные химические реакции, причем в ряде случаев выход продуктов реакции пропорционален в широких пределах дозе из-

лучения. Примерами такого типа реакций могут служить превращения ионов Fe^{++} в ионы Fe^{+++}, Ce^{++++} в Ce^{+++} и т. д.

Калориметрический метод основан на измерении малых количеств тепла, выделяющихся в определенной массе вещества. Эта задача решается обычными электротехническими компенсационными методами.

Дозиметрия и радиометрия, как и всякие другие области измерений, строятся следующим образом: существуют дозиметрические и радиометрические единицы, эталоны и эталонные методы воспроизведения единиц. Практическая дозиметрическая аппаратура поверяется посредством образцовых мер и измерительных приборов. Поэтому задачей метрологического института, обязанного обеспечить единство мер в области ионизирующих излучений, является создание эталонных и образцовых мер и приборов, для воспроизведения основных единиц во всем диапазоне энергий и интенсивностей излучений всех типов. В настоящей статье рассматриваются работы, которые до настоящего времени проделаны в этом направлении во ВНИИМ.

2. Единицы, эталоны и эталонные методы. В области измерения ионизирующих излучений первоначально возникли две основных проблемы — измерения количеств радиоактивных веществ, (особенно радия и продуктов его распада) и измерения энергии коротковолновых электромагнитных излучений (рентгеновских и гамма-лучей). Углубление наших знаний о природе физических процессов возникновения излучений и их распространения через вещество позволило конкретизировать и уточнить указанные выше проблемы.

В настоящее время в области измерений ионизирующих излучений существует две группы физических величин: одна из них служит для характеристики радиоактивных препаратов, вторая — предназначена для фиксации накопления действия ионизирующих излучений.

Основной количественной характеристикой препаратов радиоактивных веществ является их активность, т. е. число актов распада, происходящих в данном препарате в единицу времени. В настоящее время в качестве единицы активности принято кюри, причем кюри определяется как активность препарата, в котором в 1 сек. происходит $3{,}700 \cdot 10^{10}$ актов распада.

Происхождение этой цифры следующее. Первоначально, по Международному соглашению 1910 г., кюри было определено как количество радона, находящееся в радиоактивном равновесии с 1 *г* радия. При таком определении число актов распада в 1 сек. в 1 кюри радона равно числу актов распада в 1 сек. в 1 *г* радия, и препарат в 1 *г* радия мог рассматриваться как эталон кюри. Скорость распада радия определялась многими авторами, причем полученные ими значения близки к $3{,}7 \cdot 10^{10}$ В дальнейшем, когда единица кюри была распространена на другие радиоактивные вещества, было решено изменить определение кюри так, чтобы оно не зависело от экспериментального определения скорости распада радия, т. е. принять приведенное выше определение и не изменять размер этой единицы при дальнейшем уточнении значения скорости распада радия. В настоящее время признано целесообразным отказаться, (может быть, временно) от попыток создания эталона кюри. Поэтому представляется необходимым базироваться на эталонных методах измерений числа актов распада в радиоактивных препаратах. Эти методы рассматриваются ниже.

Накопление действия ионизирующих излучений за какой-либо промежуток времени определяет дозу излучения. Выбор рентгена в качестве единицы дозы относится к 1922—1928 гг. В этот период был проведен ряд исследований энергетической стороны процесса распространения рентгеновских лучей через вещество. Устанавливаются законы поглощения и рассеяния, работа образования пары ионов в воздухе.

Во ВНИИМ определения численного значения работы ионизации были проведены для установления энергетического эквивалента рентгена. Подобные определения были проделаны для рентгеновских лучей в 1929—1933 гг. [1] и для гамма-лучей в 1953—1955 гг. [2]. Первое официальное определение рентгена было установлено вторым Международным конгрессом радиологов в 1928 г. К сожалению, оно содержит элементы неопределенности, частично сохранившиеся и в определении, принятом Международным конгрессом в 1953 г.

Несомненной заслугой советской метрологии является более четкая формулировка определения рентгена, данная в 1934 г. Можно думать, что это определение повлияло на принятое Международным конгрессом 1937 г. определение, сохранившееся и до настоящего времени.

Рентген может быть определен следующим образом. Рентген — единица дозы в воздухе рентгеновских или гамма-лучей, при которой сопряженная с ними корпускулярная эмиссия (т. е. электроны) образует на 0,001293 *г* воздуха ионы, несущие одну электростатическую единицу заряда каждого знака. (0,001293 *г* — масса 1 *см*^{3} воздуха при 0°С и 760 *мм* рт. ст.).

Переход от измерений ионизации к поглощенной энергии излучения производится через посредство работы ионизации, но численное значение последней не может быть установлено с высокой точностью. В соответствии с этим не представляется возможным создать эталон рентгена, и его воспроизведение должно осуществляться эталонным методом.

В последние годы вновь намечается тенденция к выражению дозы в эргах на грамм. Международная комиссия по радиологическим единицам, образованная международным конгрессом по радиологии в 1953 г., рекомендовала принять в качестве единицы поглощенной дозы «рад», равный $100\,\frac{эрг}{г}$. Эта единица по своему размеру довольно близка к энергетическому эквиваленту рентгена ($93\,\frac{эрг}{г\ ткани}$).

Распространение ионизационных методов измерений на все виды ионизирующих излучений привело к необходимости установления физического и биологического эквивалентов рентгена («фэр» и «бэр»).

Одинаковому числу фэр соответствует одинаковая ионизация в датчике измерительного прибора, но может соответствовать различный биологический эффект, а равному числу бэр при воздействии различных видов излучений будет соответствовать равное биологическое действие, но различная ионизация в датчике прибора.

Единственным официальным эталоном в области ионизирующих излучений является радиевый эталон, содержащий определенное весовое количество радия. Первоначально радиевый эталон был предназначен для измерений количества чистого радия и продуктов его распада по действию гамма-излучения. Это положение сохранилось и до сих пор, но почти полностью потеряло свою значимость, так как количество радиоактивных изотопов возросло очень сильно и радий потерял свое значение в качестве практически основного источника гамма-лучей.

В настоящее время часто пользуются величиной, получившей название «гамма-эквивалент» и измеряющей действие гамма-излучения препарата. Гамма-эквивалент измеряется в грамм-эквивалентах радия и, таким образом, радиевый эталон воспроизводит единицу гамма-эквивалента. Связь гамма-эквивалента с мощностью дозы гамма-излучения определяется тем, что 1 *г* радия, находящийся в равновесии с короткоживущими продуктами распада и заключенный в платиновый фильтр толщиной 0,5 *мм*, создает на расстоянии 1 *м* мощность дозы 0,84 *р/час*.

Приведенное соотношение лежит в основе использования препаратов радия для получения определенной мощности дозы. Необходимо отме-

тить, что основная величина — 0,84 *р/час* — получена с помощью эталонной установки для измерений в рентгенах, причем точность измерений мощности дозы гамма-излучения существенно ниже точности измерений содержания радия в препарате.

Таким образом, эталон радия часто применяется в таких условиях, что точность его воспроизведения оказывается неиспользованной, и он служит просто образцовой мерой дозы излучения.

В области нейтронных измерений исходные единицы, по-видимому, должны осуществляться с помощью эталонных методов воспроизведения нейтронного потока и нейтронной дозы, выраженной в физических или биологических эквивалентах рентгена.

Последовательность операций, позволяющих передать правильное значение размера единиц от эталонов или эталонных (исходных) методов к практической измерительной аппаратуре или препаратам, устанавливается поверочными схемами.

В области измерений ионизирующих излучений действуют пять поверочных схем: две — для радиоактивных препаратов, воспроизводящих единицы активности и гамма-эквивалентов, одна — для дозиметров рентгеновских и гамма-лучей и, наконец, две — для нейтронных источников и приборов, измеряющих плотности нейтронных потоков, и для нейтронных дозиметров.

В основу поверочной схемы для измерения активности радиоактивных препаратов положены три исходные метода воспроизведения единицы активности: метод абсолютного счета числа заряженных частиц и фотонов, испускаемых препаратом, метод ионизационной камеры и калориметрический метод.

Метод абсолютного счета заряженных частиц и фотонов заключается в том, что с помощью газонаполненного или сцинтилляционного счетчика регистрируются испускаемые данным препаратом, в зависимости от характера его распада, альфа-, бета-частицы или позитроны, либо кванты характеристического излучения, сопровождающего распад посредством захвата ядром электрона с одной из ближайших орбит («е-захват»). Так как при каждом акте распада препарат испускает одну частицу или квант характеристического излучения, то, таким образом, по числу отсчетов определяется число актов распада в данном препарате.

Метод абсолютного счета числа частиц или фотонов может применяться для установления точных значений активности препарата в пределах 10^{-7}—10^{-11} кюри. Измеренный этим методом препарат становится образцовым препаратом 1-го разряда. Для уменьшения поправок на поглощение частиц или фотонов в самом препарате и на рассеяние их от подложки, на которую нанесен препарат, толщины препарата и подложки не должны превышать 1 *мг/см*^{2}.

Образцовые препараты 2-го разряда наносятся на толстую и прочную подложку, более удобную для хранения и транспортировки. Образцовый препарат 2-го разряда данного радиоактивного изотопа сравнивается с образцовым препаратом 1-го разряда этого же изотопа на установке со счетчиком (газонаполненным или сцинтилляционным), и, в свою очередь, используется для сличения с рабочими препаратами этого изотопа.

Калориметрический метод воспроизведения единицы активности заключается в измерении количества тепла, выделяемого препаратом при поглощении его излучения, и основан на том факте, что это количество тепла пропорционально числу распавшихся ядер. Этот метод может применяться для измерений активности в области от 10^{-2} кюри и выше, и требует знания полной энергии излучений, выделяющейся при каждом акте распада. Достоинством калориметрического метода является то, что его применение не связано серьезными требованиями к толщине и удельной активности измеряемых препаратов.

Поверочная схема для препаратов, измеряемых калориметрическим методом, по существу не отличается от описанной выше схемы для препаратов, измеряемых методом абсолютного счета. Отличие заключается лишь в диапазоне измеряемых активностей и в методе сличения образцовых и рабочих препаратов (вместо счетчиков применяются ионизационные камеры и калориметры).

Ионизационный метод воспроизведения единицы активности основан на измерении ионизационного эффекта, вызываемого гамма-излучением данного радиоактивного препарата в ионизационной камере или счетной трубке. При этом должна быть известна эффективность камеры или счетчика, т. е. ионизационный эффект, отнесенный к единице активности данного радиоактивного изотопа. Ионизационный метод может применяться для измерения активности в области от 10^{-4} кюри и выше, т. е. в области, недоступной для измерения методами абсолютного счета и калориметрическим.

Поверочная схема для измерения гамма-эквивалентов в грамм-эквивалентах радия базируется на первичном эталоне радия, хранящемся во ВНИИМ. Этот эталон представляет собой вторичный международный эталон радия № XI с содержанием радия-элемента на 1957 г. 14,27 *мг*. Для контроля его сохранности служит эталон-свидетель — препарат № X, содержащий на 1957 г. 29,37 *мг* радия-элемента. Рабочие эталоны радия с содержанием радия-элемента от 0,2 до 500 *мг* сличаются с первичным эталоном радия на установке с ионизационной камерой. Образцовые препараты с содержанием радия-элемента меньше 0,2 *мг* калибруются путем сравнения с распавшимися до соответствующего уровня препаратами радона, предварительно сличенными с первичным эталоном радия. Значение гамма-эквивалентов препаратов радона на момент измерения вычисляется по известному с достаточной точностью периоду полураспада радона.

Рабочие препараты радия и радиоактивных изотопов сравниваются с образцовыми и эталонными препаратами на установках с ионизационными камерами (в области 0,05—10^4 *мг-экв* радия) или со счетчиками (в области 10^{-7}—10^{-2} *мг-экв* радия).

Поверочная схема для дозиметров рентгеновских и гамма-лучей базируется на эталонном методе воспроизведения рентгена по ионизации в воздухе. Этот метод осуществляется с помощью плоских воздушных ионизационных камер различного размера для диапазонов $3 \div 20$ и $200 \div 3000$ *кв* и с помощью группы цилиндрических ионизационных камер в диапазоне $60 \div 200$ *кв*.

Поверка образцовых рентгенметров с ионизационными камерами стеночного или диафрагменного типов производится путем сличения по методу замещения, а калибровка образцовых гамма-излучателей — путем прямого измерения на эталонной камере.

Поверка рабочей измерительной аппаратуры и рабочих гамма-излучателей производится по образцовым рентгенметрам методом замещения или по образцовым гамма-излучателям путем сличения с помощью дозиметров.

Поверочная схема для источников нейтронов и приборов, измеряющих плотности нейтронных потоков, основана на эталонном методе воспроизведения единицы плотности нейтронного потока. С помощью эталонного метода аттестуются рабочие эталоны — радий-бериллиевые и плутоний-бериллиевые источники нейтронов с различной плотностью нейтронных потоков. Путем сличения с эталонными источниками методом замещения создаются образцовые источники нейтронов. Методом непосредственной градуировки по эталонным источникам нейтронов создаются образцовые приборы.

Единица плотности нейтронного потока передается на рабочие меры (источники нейтронов) путем сличения методом замещения с образцо-

выми источниками нейтронов, а на рабочие приборы — путем непосредственного сличения показаний рабочих приборов с показаниями образцовых приборов.

Поверочная схема для нейтронных дозиметров основана на эталонном методе воспроизведения единицы нейтронной дозы, в котором для создания нейтронных доз будут использованы эталонные источники нейтронов. С помощью эталонного метода аттестуются нейтронные дозиметры в качестве рабочих эталонов.

Путем непосредственного сличения с рабочими эталонами создаются образцовые нейтронные дозиметры. Рабочие нейтронные дозиметры поверяются путем непосредственного сличения их показаний с показаниями образцовых дозиметров.

3. Измерения гамма-эквивалентов и активности радиоактивных препаратов. Измерения гамма-эквивалентов и активности радиоактивных препаратов производятся в радиометрической лаборатории ВНИИМ, организованной в 1921 г.

Планомерная метрологическая деятельность лаборатории началась после получения в марте 1928 г. двух вторичных международных эталонов радия № X и XI. В последующие годы производилось систематическое изучение этих эталонов, результатом которого явилось установление первичного эталона радия СССР.

Параллельно с работами по установлению первичного эталона радия велась работа по сличению препаратов радия различных учреждений с эталонными препаратами, а также проводились исследования, с целью повышения точности сличений.

При поверках препаратов, происхождение, возраст и способ изготовления которых были неизвестны, весьма важным было выяснить количество примеси к радию его активного изотопа — мезотория, так как в тот период препараты из смеси радия и мезотория имели большое распространение. С этой целью в радиометрической лаборатории был разработан метод определения соотношения количеств радия и мезотория в смешанных препаратах путем параллельных измерений на ионизационной камере и калориметре. Одновременно проводилась работа по созданию и измерениям альфа-активных излучателей, применяемых в качестве стандартных источников тока.

С началом широкого распространения искусственных радиоактивных изотопов перед лабораторией встала неотложная задача создания методов измерения их активности. В течение 1950—1956 гг. был выполнен комплекс работ, результатом которого явилось оснащение лаборатории аппаратурой для измерений активности радиоактивных препаратов в большом диапазоне активностей.

К настоящему времени радиометрическая лаборатория располагает рядом измерительных установок, с помощью которых воспроизводятся единицы активности и передается единица гамма-эквивалента от эталона к рабочим препаратам.

Для точных измерений радиевых гамма-эквивалентов имеются установки с ионизационными камерами.

Установка для измерения гамма-эквивалентов в пределах 1—1000 *мг-экв* радия была создана в 20-х годах и первоначально предназначалась для сличения препаратов радия; на ней производились измерения, результатом которых явилось установление первичного эталона радия СССР [3]. В этой установке использована сферическая ионизационная камера, состоящая из двух расположенных концентрически свинцовых шаров со стенками толщиной 2 *см*. Исследуемый препарат помещается в центре внутреннего шара, после чего измеряется ионизация, создаваемая в пространстве между шарами гамма-излучением препарата, прошедшим через стенку внутреннего шара. Указанная выше толщина стенки камеры выбрана потому, что при такой фильтрации гамма-излучения мягкая

часть гамма-спектра радия (линии с энергией квантов меньше 600 *кэв*) практически полностью поглощается, и ионизация создается только жесткой компонентой спектра, сравнительно мало поглощающейся в стенках стеклянных ампул и в веществе самого препарата. Поэтому различие в толщине стенок ампул сравниваемых препаратов, а также влияние самопоглощения гамма-лучей сказывается на результатах измерений значительно меньше.

Помимо препаратов радия на этой установке производились измерения других радиоактивных препаратов (например, радий + мезоторий). С появлением искусственных радиоактивных изотопов на этой установке стали проводиться измерения препаратов с достаточно жестким гамма-излучением (Co^{60}, Zn^{65}, Na^{24} и т. д.).

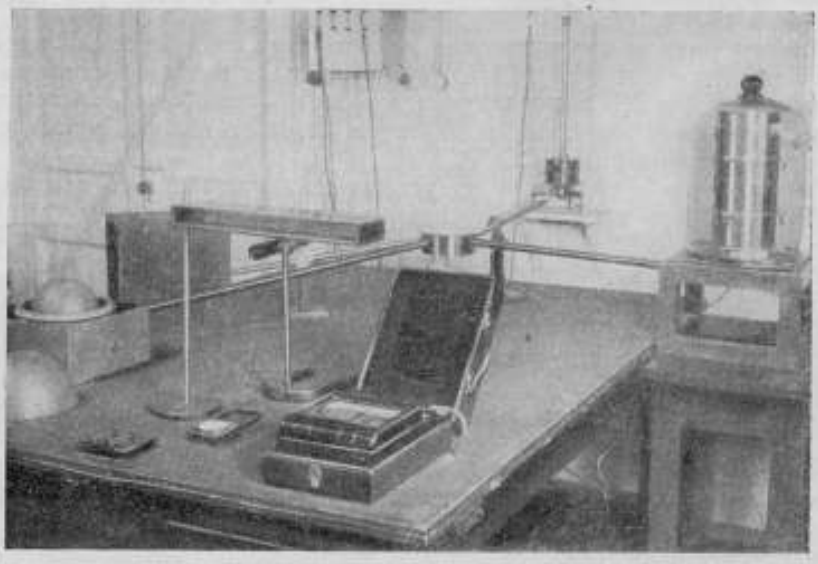


Рис. 1. Установка для измерения гамма-эквивалента в пределах 1 ÷ 1000 *мг-экв* радия.

Для измерения препаратов, имеющих мягкое гамма-излучение (Cr^{51}, Au^{198}, Hg^{203} и др.), применение свинцовой камеры становится нецелесообразным из-за слишком сильного поглощения гамма-лучей в стенке камеры. Для измерения таких препаратов в 1951 г. описанная установка была дополнена второй ионизационной камерой, подобной по конструкции первой, но имеющей стенки из алюминия толщиной 5 *мм*.

Величины ионизационных токов, создаваемых в камерах препаратами с гамма-эквивалентами от 1 до 1000 *мг-экв* радия, лежат в пределах 10^{-11}—10^{-8} *а*. Для измерения таких токов применяется компенсационная электрометрическая схема с квадрантным электрометром в качестве нулевого указателя и набором образцовых конденсаторов постоянной емкости.

Значение гамма-эквивалента препарата определяется по содержанию радия в эталонном препарате и по соотношению ионизационных токов, создаваемых в камере сличаемыми препаратами. При этом из измеренных значений ионизационных токов должны быть исключены систематические погрешности (ток нормального рассеяния или фон камеры, токи утечек в конденсаторах). Точность измерений гамма-эквивалентов на этой установке составляет 0,5—2%. Методика измерений гамма-эквива-

лентов была подробно исследована в 1940 и 1950—1951 гг. [4, 5]. Общий вид установки представлен на рис. 1.

Для измерений менее активных препаратов, создающих в камере ионизационный ток, сравнимый с током нормального рассеяния, в 1951—1952 гг. создана установка с так называемой компенсационной камерой [6]. Последняя состоит из двух одинаковых цилиндрических камер, разделенных свинцовым блоком толщиной 10 *см* и включенных навстречу друг другу. При отсутствии в камерах препаратов разностный ток равен нулю. Сравниваемые препараты помещаются поочередно в одну из камер. Значения токов, создаваемых в камере препаратами с гамма-эквивалентами от 1 до 0,001 *мг-экв* радия, лежат в пределах $5 \cdot 10^{-11} \div 5 \cdot 10^{-14}$ *а*. Для их измерения применен компенсационный метод: падение напряжения, создаваемое ионизационным током на высокоомном сопротивлении

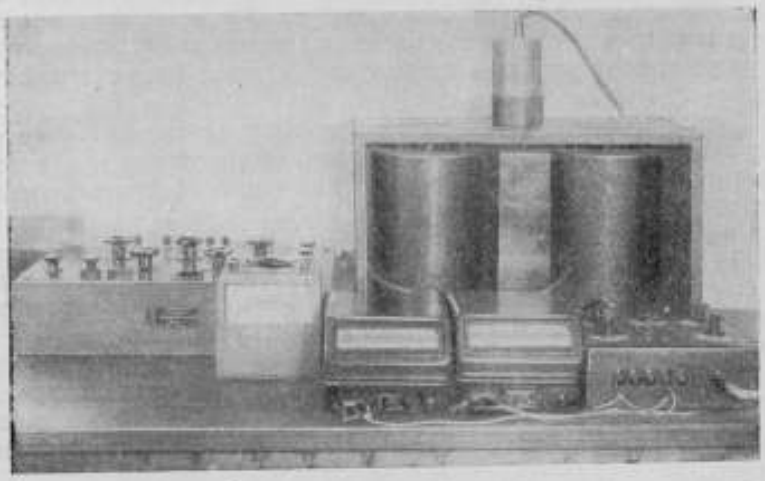


Рис. 2. Установка для измерения гамма-эквивалента в пределах 0,001 ÷ 1 *мг-экв* радия.

(10^{11} *ом*), компенсируется потенциалом противоположного знака, снимаемым с потенциометра. В качестве высокочувствительного нулевого указателя использован усилитель постоянного тока по мостовой схеме с электрометрической лампой. При измерении ионизационного тока учитываются систематические погрешности, создаваемые сеточным током лампы. Погрешность измерения гамма-эквивалентов на данной установке лежит в пределах от 1% для препаратов в 1 *мг-экв* радия до 5—8% для препаратов в 0,001 *мг-экв* радия. Общий вид установки показан на рис. 2.

В значения гамма-эквивалентов, полученные на описанных выше установках, вводятся поправки на геометрические размеры препаратов и на самопоглощение гамма-лучей в них.

Значение гамма-эквивалента не является постоянной величиной для данного препарата (кроме случая, когда последний является препаратом чистого радия), а зависит весьма сложным образом от условий измерения, т. е. от фильтрации гамма-излучения, типа и геометрических размеров измерительного устройства (камера или счетная трубка) и т. д. Эта зависимость обусловлена тем обстоятельством, что гамма-лучи радия и измеряемого вещества отличаются по своему спектральному составу, вследствие чего соотношение между измеренными интенсивностями гамма-излучения будет изменяться с изменением толщины фильтра или типа и размеров измерительного устройства. Характер зависимости величины гамма-эквивалентов ряда радиоактивных изотопов от толщины свинцового фильтра при измерении на ионизационных камерах с использованием уз-

кого и широкого пучков гамма-лучей был исследован теоретически и экспериментально [7].

Полученное в результате измерения значение гамма-эквивалента препарата в грамм-эквивалентах радия позволяет определить ионизационное действие этого препарата в рентгенах в час на расстоянии одного метра. Действительно, так как 1 *г* радия в платиновой оболочке толщиной 0,5 *мм* создает на расстоянии 1 *м* мощность дозы 0,84 *р/час*, то препарат в *М г-экв* радия создаст в тождественных условиях мощность дозы $M \cdot 0{,}84$ *р/час*. Таким образом, гамма-эквивалент препарата характеризует внешнее гамма-излучение препарата в данных условиях.

Однако при практическом использовании радиоактивных препаратов знания их гамма-эквивалентов в большинстве случаев оказывается недостаточно, и требуется определить их активность.

Переход от величины гамма-эквивалента данного препарата к величине его активности возможен лишь при условии, если известны энергии гамма-квантов и их число на акт распада данного радиоактивного вещества, а также эффективность ионизационной камеры (или счетной трубки) для различных энергий гамма-лучей.

Из большого числа различных типов ионизационных камер эффективность может быть рассчитана лишь для наперстковых и для камер, к которым применима теория наперстковых камер. К такому типу относятся так называемые щелевые камеры [8].

Для измерения активности препаратов с известной схемой распада в 1951—1956 гг. была создана описанная выше сферическая ионизационная камера со стенками из алюминия и рассчитана ее эффективность по теории наперстковых камер. Вычисленные значения были сравнены с экспериментальными значениями эффективности, полученными путем измерения на этой камере препаратов, активность которых была измерена другими методами. Экспериментальные значения эффективности хорошо совпадают с расчетными, что свидетельствует о правильности метода расчета.

Погрешность измерения активности этим методом определяется степенью точности, с какой известны в настоящее время значения величин, использованных при вычислении эффективности камеры. Наибольшую погрешность имеют значения абсолютной интенсивности линий гамма-спектров и величина работы ионизации гамма-лучей в воздухе. Поэтому погрешность измеренного значения активности лежит в пределах 3—5%. Нижний предел измерения активности этим методом определяется уровнем фона камеры и равен $\sim$ 0,1 милликюри, верхний же определяется главным образом условиями безопасности работы, и при наличии соответствующих устройств может быть доведен примерно до 10 кюри.

Время, необходимое для определения активности одного препарата, не превышает 5 мин., что является преимуществом данного метода перед описанными ниже методами измерения активности. Недостатком его является необходимость введения поправки на самопоглощение гамма-лучей в препарате, которая в случае низкой удельной активности измеряемых препаратов может достигать большой величины.

Измерения активности тонких радиоактивных препаратов в области 10^{-11}—10^{-7} кюри производятся методами абсолютного счета числа заряженных частиц или фотонов.

В 1950—1952 гг. была создана аппаратура и исследована методика абсолютного счета бета-частиц в определенном телесном угле с помощью газонаполненного счетчика [9]. В период с 1952 по 1956 гг. была разработана и исследована методика абсолютного счета альфа- и бета-частиц и квантов характеристического излучения с помощью счетчика с телесным углом 4π («4π-счетчик»). Задача абсолютного счета бета-частиц с помощью счетчика, несмотря на свою принципиальную простоту, становит-

ся весьма трудной, если необходимо, чтобы погрешность не превосходила 3%. Основные трудности возникают из-за того, что в непрерывном бета-спектре, испускаемом препаратом, всегда имеются частицы с малыми энергиями, которые легко поглощаются, не будучи зарегистрированными. Для учета неполноты отсчетов из-за поглощения в результаты измерений обычно вводятся поправки на самопоглощение бета-частиц в самом радиоактивном препарате, на поглощение их в материале пленки, на которую нанесен препарат и т. д.

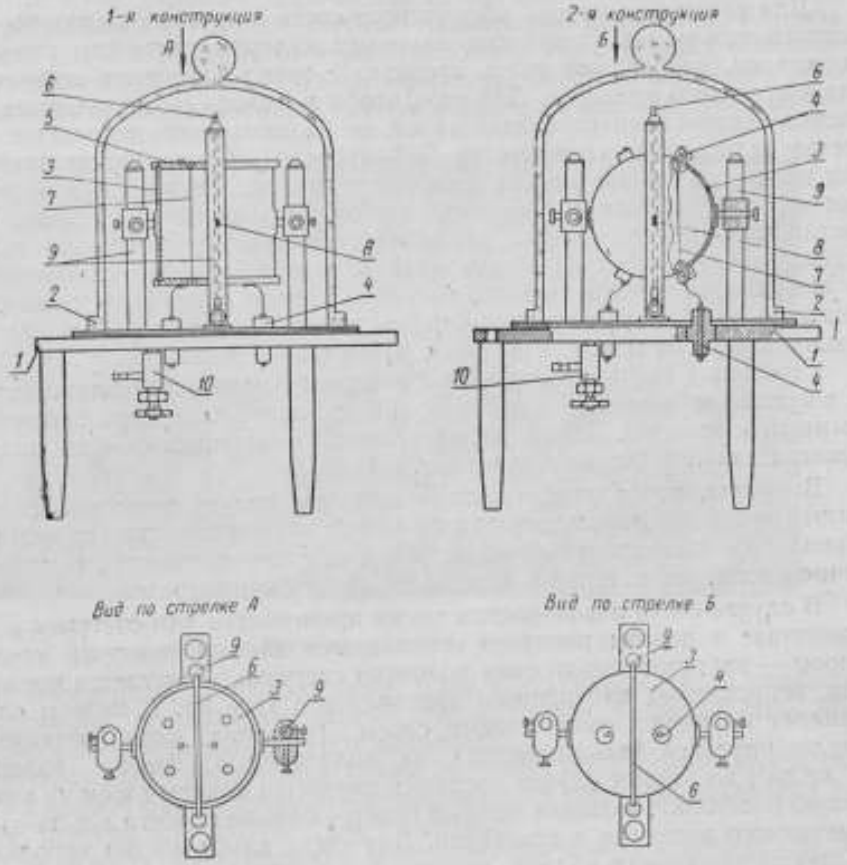


Рис. 3. Схема прибора с «4π-счетчиком»:

1—латунный столик; 2—стеклянный колокол; 3—корпус счетчика; 4—полистироловые вводы; 5—полистироловая крышка; 6—рамка с алюминиевой фольгой; 7—нить счетчика; 8—измеряемый источник; 9—стойка; 10—кран.

Наиболее простым, и в то же время наиболее точным, является метод счета бета-частиц с помощью «4π-счетчика». Этот метод заключается в том, что считаются все бета-частицы, испускаемые данным радиоактивным препаратом во всех направлениях. Для этого измеряемый препарат необходимо окружить со всех сторон счетчиками. «4π-счетчик» обычно состоит из двух счетчиков, между которыми устанавливается радиоактивный препарат.

Во ВНИИМ в настоящее время употребляются две конструкции таких счетчиков (рис. 3). Первая конструкция — два полуцилиндрических счетчика, между которыми располагается измеряемый препарат. Вторая

конструкция — два полых полушария, каждое из которых представляет собой счетчик; измеряемый препарат устанавливается в центре шара.

«4π-счетчики» как цилиндрической, так и шаровой формы используются в пропорциональном режиме; они наполняются метаном до давления 30—50 *см* рт. ст.

В методе абсолютного счета бета-частиц с помощью «4π-счетчика» вводятся лишь три поправки: на самопоглощение бета-частиц в самом источнике, на поглощение бета-частиц в пленке, на которую нанесен источник, и на просчет частиц из-за «мертвого» времени счетчика.

С помощью «4π-счетчика» можно измерять активность тонких препаратов в пределах $5 \cdot 10^{-7}$—$5 \cdot 10^{-11}$ кюри с точностью 1—3%.

Для сравнения метода абсолютного счета с другими методами абсолютного измерения активности, например калориметрическим или ионизационным, необходимо иметь препарат с точно известным количеством радиоактивного вещества. Для того, чтобы поправка на поглощение бета-частиц в самом препарате была малой, необходимо брать небольшие количества радиоактивного вещества (0,1—0,01 *мг*). Точное взвешивание таких количеств на микровесах произвести трудно. Поэтому для определения количества радиоактивного вещества, испускающего, кроме бета-частиц, также и гамма-лучи, применяется сравнение гамма-эквивалента используемого источника с гамма-эквивалентом большего количества того же радиоактивного изотопа, так называемого реперного количества. Реперное количество вещества берется равным примерно 10 *мг*, так как такое количество можно взвесить с достаточной точностью.

Сравнение гамма-эквивалентов реперного количества радиоактивного вещества и источника производится с помощью сцинтилляционного гамма-спектрометра. Такой метод «гамма-взвешивания» очень надежен и всегда давал хорошие результаты.

В случае, когда радиоактивное вещество испускает только бета-частицы (например P^{32}), производится взвешивание сравнительно большого объема радиоактивного вещества; затем от этого количества берется известная доля, вес которой не превышает долей миллиграмма.

В случае счета альфа-частиц также применяется «4π-счетчик» в двух вариантах: в первом варианте используется полный телесный угол, во втором — работает только одна половина счетчика, и считается число частиц, испускаемых измеряемым препаратом в угле 2π. В первом случае препарат наносится очень тонким слоем (толщина слоя значительно меньше пробега альфа-частиц) на коллодиевую пленку толщиной 0,1 *мг/см*^{2}; во втором случае препарат наносится тонким слоем на алюминиевую пластинку, толщина которой берется больше пробега альфа-частиц измеряемого вещества в алюминии. Для счета альфа-частиц используется пропорциональная область работы счетчика, для чего он наполняется метаном до давления 30—50 *мм* рт. ст. Для вычисления активности препарата в результат измерения вводятся две поправки: на самопоглощение и на поглощение альфа-частиц в пленке (при работе по первому варианту) или на обратное рассеяние альфа-частиц от толстой алюминиевой подкладки (по второму варианту).

С помощью разработанной методики можно измерять активность альфа-препаратов толщиной около 1 *мкг/см*^{2} в пределах $10^{-11} \div 5 \cdot 10^{-7}$ кюри с точностью 1—2%.

Измерение активности препаратов, распадающихся путем электронного захвата, является наиболее трудной экспериментальной задачей по сравнению с аналогичными измерениями активности альфа- или бета-препаратов. Основные трудности вытекают из того, что при электронном захвате испускается в основном характеристическое рентгеновское излучение дочернего элемента, и для элементов с $Z<25$ рентгеновское излучение сильно поглощается даже в небольших слоях воздуха.

В 1955—1956 гг. разработан метод измерения активности препаратов, распадающихся путем электронного захвата, посредством определения числа квантов характеристического рентгеновского излучения, испускаемого дочерним элементом, с помощью «4π-счетчика» при двух различных газовых наполнениях [9].

Первое наполнение — гелий плюс метан (гейгеровский режим) или только метан (пропорциональный режим); при этом наполнении в одной половине счетчика регистрируются электроны Оже и фон, во второй — только фон.

Второе наполнение — к первоначальному газу добавляется ксенон; при этом из-за сильного поглощения характеристического излучения в ксеноне скорость счета «4π-счетчика» значительно возрастает. Разница в скорости счета импульсов от первой половины «4π-счетчика» с ксеноном и без ксенона дает число квантов характеристического излучения дочернего элемента, поглощенных в данном количестве ксенона. Зная коэффи-

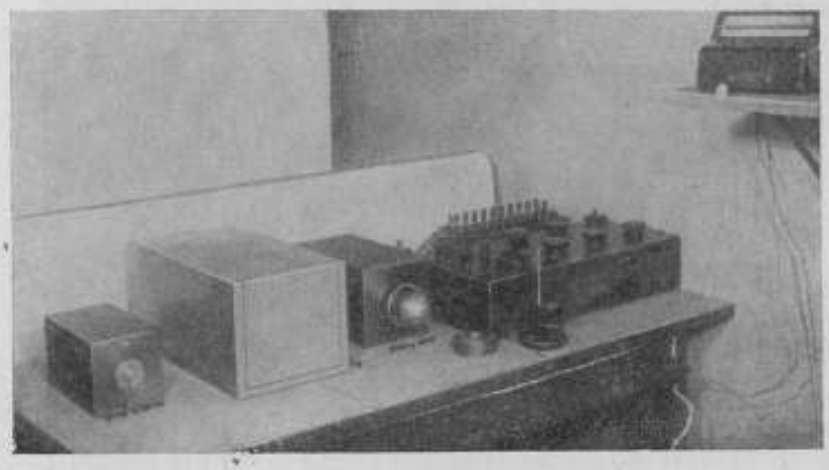


Рис. 4. Установка с гамма-калориметрами.

циент поглощения этого излучения, можно определить число рентгеновских квантов, испускаемых данным препаратом и, следовательно, абсолютную активность измеряемого препарата.

Коэффициент поглощения также определяется с помощью «4π-счетчика» шаровой формы путем измерения скорости счета при различных давлениях ксенона или другого газа в счетчике.

С помощью разработанного метода можно измерять активности тонких электронно-захватных препаратов в пределах от 10^{-9} до 10^{-7} кюри с точностью 6—8%.

Для измерения активности препаратов в области выше 10 милликюри используются различные типы калориметров.

Измерение теплового эффекта, вызываемого поглощением излучений радиоактивного препарата в калориметре, позволяет определить активность препарата в том случае, если: а) достигается практически полное поглощение всех излучений радиоактивного препарата; б) излучения поглощаются не полностью, но известна с достаточной точностью степень их поглощения в калориметре.

При этом активность препарата находится как частное от деления количества тепла, отдаваемого препаратом за 1 сек., на полную энергию всех излучений, выделяемых радиоактивным изотопом в среднем на акт распада, и на коэффициент, учитывающий степень поглощения излучений в калориметре; в случае полного поглощения всех излучений этот коэффициент равен единице.

В 1950—1956 гг. была построена серия калориметров для измерений активности альфа-, бета- и гамма-активных препаратов.

Наибольшее практическое применение получила созданная в 1951—1953 гг. установка с гамма-калориметрами статического типа [10], состоящая из четырех независимых калориметров, отличающихся один от другого только своими размерами (рис. 4). Каждый калориметр состоит из двух одинаковых свинцовых шаров, помещенных в термостате. Внутрь одного из шаров помещают измеряемой препарат, вызывающий нагревание этого шара по отношению ко второму шару.

Разность температур между шарами (после установления теплового равновесия), измеряемая при помощи термобатареи, зависит только от тепловой мощности препарата и определяет величину последней, если калориметр предварительно проградуирован с помощью нагревательных катушек, расположенных внутри каждого шара. Несколько бо́льшая точность измерений достигается при использовании нулевого метода. При этом тепло, выделяемое препаратом в одном шаре, компенсируется нагревательной катушкой второго шара.

Так как размеры свинцовых шаров не обеспечивают полного поглощения всех гамма-лучей, то для определения активности препарата необходимо знать, какая доля энергии гамма-излучения поглощается в калориметрах. Расчет поглощения гамма-излучения, выходящего из источника, расположенного в центре шарового поглотителя, выполнен с учетом поглощения первичного, а также однократно- и двукратно-рассеянного излучения.

Чувствительность построенных гамма-калориметров позволяет измерять препараты активностью от 50 милликюри до 3 кюри с точностью 3—5% (из них 2—3% обусловлены погрешностью расчета поглощения гамма-лучей).

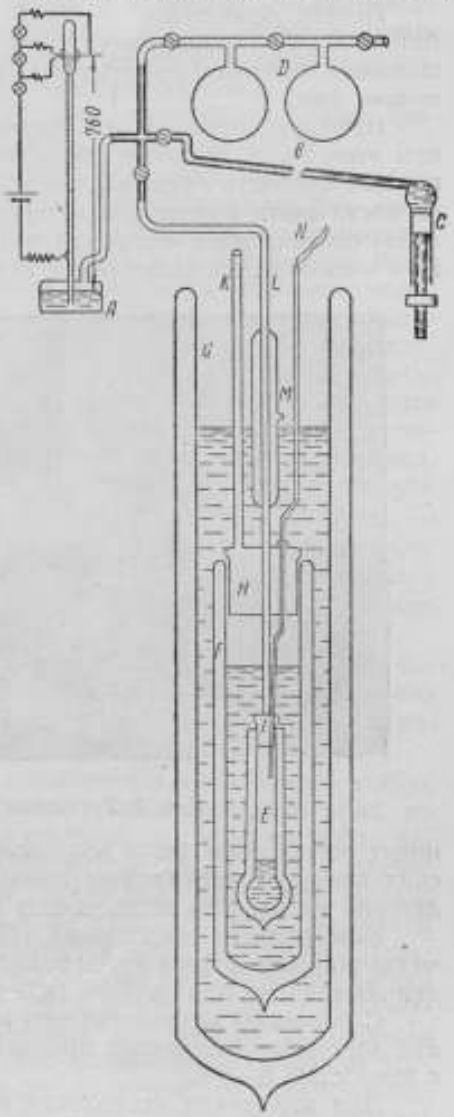


Рис. 5. Схема изотермического бета-калориметра:

A—манометр; *B*—капилляр; *C*—ртутный насос; *D*—буферный объём; *E*, *F*, *G*—сосуды Дьюара; *I*, *H*—шлифы; *K*, *L*—трубки, отводящие азот; *M*—вакуумный чехол, *N*—выводы от электронагревателя.

В 1951—1953 гг. был построен калориметр для измерения активности бета-излучателей, основанный на принципе испарения жидкого азота [11]. Измеряемый препарат помещают в небольшой сосуд Дьюара, содержащий жидкий азот. Тепло, выделяемое источником благодаря поглощению его бета-частиц в самом препарате, в жидком азоте и в стенках сосуда испаряет жидкий азот. Объем газообразного азота, измеренный при атмосферном давлении и комнатной температуре, является мерой количества тепла, выделенного препаратом за время измерения.

Калориметрическая установка состоит из трех коаксиальных сосудов Дьюара и регулировочно-измерительной системы (рис. 5). Наружный и средний сосуды служат термостатами для внутреннего сосуда, в который помещается измеряемый препарат. Внутренний сосуд закрывается притлифованной пробкой, переходящей затем в тонкую трубку, отводящую газообразный азот к измерительному устройству. Чувствительность калориметра, найденная в результате градуировки, оказалась достаточной для измерения источников активностью в 10 милликюри при средней энергии бета-частиц в 1 *Мэв*. Погрешность определения активности бета-излучателей составляет 3—6%.

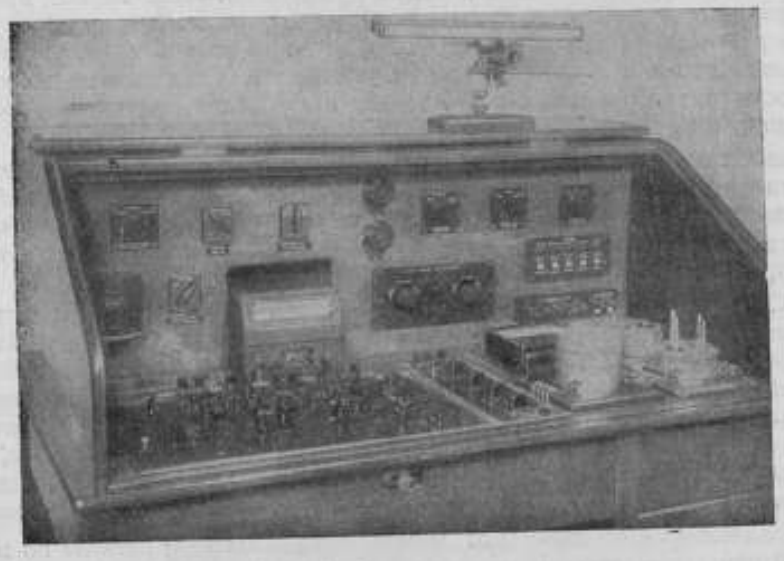


Рис. 6. Установка с альфа-калориметрами.

Для измерения активности радиевых препаратов в 1956 г. создана установка, использующая тепло, выделяемое при поглощении излучения радия и продуктов его распада (рис. 6). Калориметр состоит из двух серебряных стаканчиков, помещенных внутри медного блок-термостата. Каждый стаканчик укреплен на восьми спаях нихромо-константановых термобатарей. К дну каждого стаканчика припаивается по спаю Пельтье — тоже из нихрома-константана.

Калориметр применяется следующими способами:

1) каждый стаканчик используется как одиночный калориметр; при этом в цепь термопар включается гальванометр, и установка градуируется с помощью нагревательной катушки;

2) оба стаканчика работают вместе как дифференциальный калориметр; при этом их термобатареи включены навстречу друг другу;

3) нагревание, вызываемое препаратом в стаканчике, компенсируется «охлаждением Пельтье» при пропускании через спай Пельтье тока соответствующей величины и направления. Измерив с помощью потенциометра величину тока, проходящего через спай, и зная коэффициент Пельтье, находят количество тепла, которое оно скомпенсировало.

Чувствительность калориметра достаточна для измерения препаратов радия, содержащих не менее 1 *мг* радия-элемента, с точностью 1—2%.

Помимо измерений абсолютной активности препаратов калориметрические измерения могут быть использованы для получения различных данных о радиоактивных изотопах. Комбинируя измерения на гамма-калориметре с измерениями на бета-калориметре, можно одновременно оп-

ределить активность препарата и абсолютное число гамма-квантов различных энергий, приходящихся на акт распада. Эта методика была применена для измерения чисел гамма-квантов на акт распада для Sb^{124} [11].

Большой круг задач решен при помощи калориметрической методики в Радиевом институте Академии наук [12]. Построенные там статические бета- и гамма-калориметры были использованы не только для измерения активности препаратов, но и для измерения средней энергии бета-спектров ряда радиоактивных изотопов, периода полураспада радия и для определения состава препаратов из смеси радия и мезотория.

4. Измерения доз рентгеновских и гамма-лучей. Первый этап развития дозиметрии рентгеновских и гамма-лучей охватывает период времени от их открытия до 1920 г. В течение этого периода измерениями дозы обычно занимались врачи-рентгенотерапевты. Уровень знаний физики рентгеновских лучей и состояние экспериментальной техники не позволяли в то время развить сколько-нибудь общие и удовлетворительные методы измерений, и последние имели чисто эмпирический характер.

Положение несколько изменилось в 1920—1925 гг. К этому времени в центральных медицинских учреждениях возникли физические лаборатории. Известную роль в развитии методов рентгеновской дозиметрии сыграли также физические лаборатории, образованные некоторыми фирмами по производству рентгеновской аппаратуры.

В СССР первые дозиметрические лаборатории возникли в центральных рентгенологических институтах Ленинграда, Москвы, Киева. В 1925 г. была организована рентгенометрическая лаборатория ВНИИМ. К 1930 г. в этих лабораториях были закончены работы по созданию и исследованию эталонных установок, воспроизводящих единицу «рентген» в диапазоне 60 ÷ 200 *кв*. Взаимные сличения показали, что значения единицы, воспроизводимой на этих установках, совпадают между собой в пределах точности сравнений и соответствуют ее международному определению.

Параллельно с созданием эталонных установок шли работы по практической рентгенометрии. Прежде всего отметим создание нескольких типов рентгенметров. Широкое распространение получил разработанный в Центральном институте рентгенологии и радиологии в Москве универсальный дозиметр УД-ГРИ. Нормальный комплект прибора состоял из однонитного электрометра, ионизационной камеры для диапазона 20 ÷ 200 *кв*, ионизационной камеры для диапазона 5 ÷ 12 *кв*, наперстковой ионизационной камеры и камеры для контроля защиты. В этом приборе весьма удачной оказалась конструкция сочленения различных ионизационных камер с электрометром.

В период 1930—1940 гг. в СССР была проведена большая работа по дозиметрическим исследованиям рентгеновской аппаратуры, защитных материалов, фотопленок, экранов, самозащитных рентгеновских трубок.

Работы по дозированию гамма-лучей в рентгенах получили широкое развитие после 1945 г. в работах институтов рентгенологии и радиологии и онкологического.

Работы по созданию и исследованию эталонных установок для измерений в рентгенах сосредоточены в первую очередь во ВНИИМ, где осуществлены эталонные установки для диапазонов 3 ÷ 20, 40 ÷ 200 и 200 ÷ ÷ 1500 *кв*.

Установка для воспроизведения рентгена в области энергий 40 ÷ ÷ 300 *кэв* создана в 1931 г. [13] и усовершенствована в 1951 г. [14]. Установка (рис. 7) осуществлена по принципу группового эталона и представляет собой совокупность трех одинаковых ионизационных камер и трех идентичных электрометрических устройств.

Измерения ионизационных токов в каждой из камер могут производиться последовательно всеми тремя электрометрическими устройствами;

таким образом, одно и то же излучение может быть измерено с помощью девяти различных комбинаций камера — электрометрическое устройство.

Надежность и точность воспроизведения рентгена обеспечиваются измерением одной и той же величины дозы излучения при различных сочетаниях основных элементов групповой установки.

Камеры цилиндрического типа имеют длину 50 *см* и внутренний диаметр 30 *см*. На их торцовых поверхностях имеются диафрагмы для входа и выхода лучей. Камеры укреплены на одном валу и при повороте его могут последовательно и автоматически занимать одно и то же место в рабочем пучке лучей.

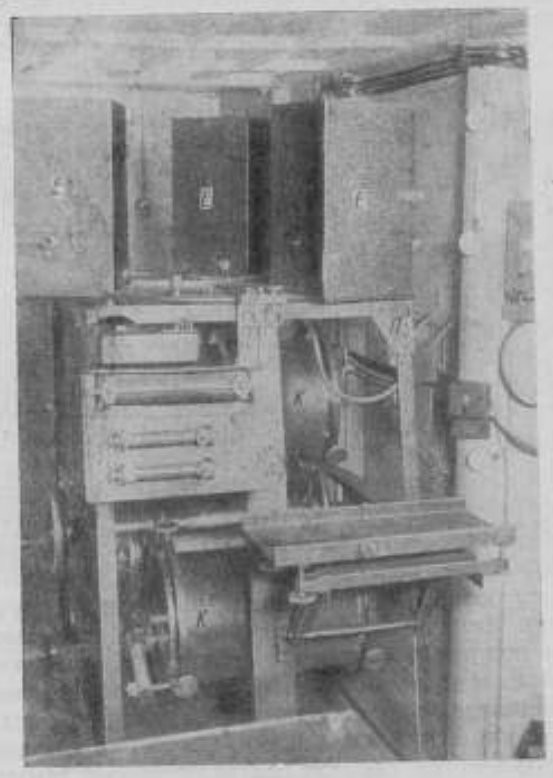


Рис. 7. Установка для измерения доз рентгеновских лучей 40—200 *кв*: *К*—ионизационные камеры; *Е*—электроизмерительные устройства; *П*—опорный каркас.

Каждое из электрометрических устройств представляет собой компенсационную схему измерения слабых токов, в которой использованы струнный электрометр в качестве нулевого указателя и образцовый конденсатор постоянной емкости.

Основная погрешность измерений при использовании рентгеновского аппарата в качестве источника рентгеновских лучей обусловлена непостоянством во времени излучения трубки. Для учета непостоянства режима излучения во время измерений между камерой эталонной установки и трубкой установлена «камера-свидетель».

В течение каждого данного измерения на групповой установке одновременно происходит и зарядка конденсатора, соединенного с измерительным электродом камеры-свидетеля. При этом количество электричества (измеренное баллистическим гальванометром), накопившееся на конденсаторе, будет пропорционально энергии излучения, поглощенной в камере-свидетеле. Введение в измеренные при данной комбинации камер и

электрических устройств значения дозы поправки на поглощенную энергию в камере-свидетеле позволяет исключить погрешность, обусловленную непостоянством излучения трубки.

Измерение дозы в рентгенах лучей средней жесткости производится с точностью около 0,3%. Это обеспечивается использованием всех девяти комбинаций «камера — электрометрическое устройство» и введением поправки на непостоянство режима измерения при помощи камеры-свидетеля.

Основными свойствами жесткого рентгеновского и гамма-излучений является высокая проникающая способность и большие длины пробегов электронов, возникающих при поглощении этого излучения. При энергии квантов 1500 *кэв* длина пробега первичного электрона в воздухе дости-

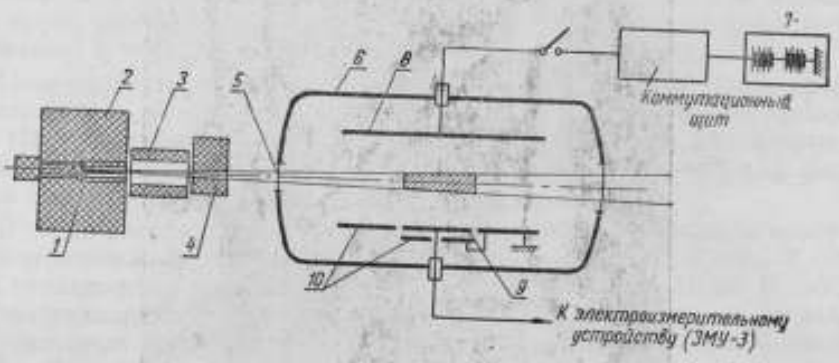


Рис. 8. Схема установки для измерения доз гамма-лучей:

1 — измеряемый препарат; *2* — защитный блок; *3* — неподвижная диафрагма; *4* — поворотная калиброванная диафрагма; *5* — окно для входа лучей; *6* — бак для камеры; *7* — потенциальная батарея 15 *кв*; *8* — потенциальный электрод; *9* — измерительный электрод; *10* — защитные электроды.

гает 4 *м*. Поэтому воспроизведение рентгена в таких случаях осуществляется при помощи камер повышенного давления, что позволяет удовлетворить условиям полного торможения первичных электронов в фиксированном объеме ионизационной камеры при значительно меньших габаритах установки. Приведенные соображения были положены в основу созданной во ВНИИМ в 1954 г. образцовой установки для воспроизведения рентгена в области энергий квантов рентгеновского и гамма-излучений от 300 до 1500 *кэв* (рис. 8) [15].

Плоская ионизационная камера состоит в основном из измерительного, потенциального и защитных электродов. Длина измерительного электрода 25 *см*, потенциального — 75 *см*. Защитные электроды, расположенные с двух сторон измерительного электрода, имеют длину 30 *см*. Расстояние между потенциальным и измерительным электродами и высота всех электродов равны 40 *см*.

К потенциальному электроду от батареи подводится напряжение до 10 *кв*. Выравнивание электрического поля в измерительном объеме достигается с помощью системы алюминиевых полосок, расположенных между потенциальным и защитным электродами на одинаковых расстояниях одна от другой и с плоскостями, параллельными плоскостям электродов. Между соседними полосками включены сопротивления в 1 *Мом*, соединенные последовательно и образующие делитель напряжения, концы которого подключены к потенциальной батарее.

Бак, в котором расположена ионизационная камера, рассчитан на рабочее давление воздуха до 10 *ат*. Для входа и выхода излучений на передней и задней крышках бака имеются алюминиевые окна толщиной 1,5 *мм*.

Измерение ионизационного тока в камере производится компенсационным методом с помощью усилителя постоянного тока по мостовой схеме с электрометрической лампой.

Диафрагмирующее устройство предназначено для получения узкого пучка гамма-лучей, исключения влияния рассеянного излучения и обеспечения защиты от гамма-лучей нерабочей части камеры. Все основные части диафрагмирующего устройства изготовлены из свинца.

Установка позволяет измерять мощности доз излучений от 10 до 1000 *мкр/сек* с точностью до 3%.

Образцовая установка для измерения в рентгенах дозы мягкого электромагнитного излучения с энергией квантов 3—20 *кэв* была создана и исследована в 1946—1947 гг. [16].

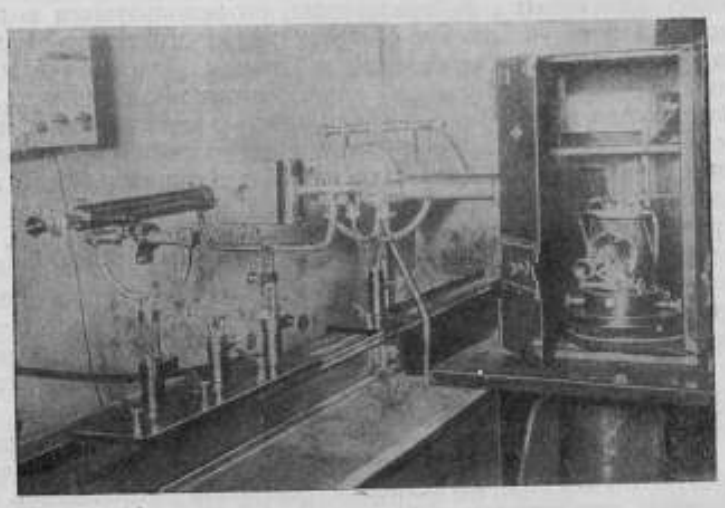


Рис. 9. Установка для измерения доз мягких рентгеновских лучей.

Характерной особенностью излучения указанного диапазона энергий является очень сильное его ослабление при прохождении через все вещества, включая и воздух. В связи с этим уже на небольших расстояниях от источника начинает изменяться неоднородность пучка как в направлении его распространения, так и в поперечном сечении.

Ввиду этого длина измерительного электрода уменьшена до 10 *мм* и сокращено расстояние между центрами входной диафрагмы ионизационной камеры и измерительного электрода. Однако это расстояние оставлено достаточно большим, чтобы фотоэлектроны, выбитые из ограничивающего края диафрагмы, не достигали измерительного объема. Общий вид установки представлен на рис. 9.

Установка состоит из следующих основных частей: рентгеновской трубки, ионизационной камеры, электрометрического устройства и измерительной скамьи с установочными приспособлениями.

Ионизационная камера представляет собой систему электродов, изготовленных из алюминия в виде прямоугольных пластин, жестко смонтированных на металлическом каркасе. Измерительный электрод окружен охранным электродом.

Ионизационная камера снабжена набором входных диафрагм с номинальными значениями диаметров отверстия от 1 до 12 *мм*; камера укреплена на измерительной скамье в специальном штативе, который обеспечивает ее перемещение по трем взаимно-перпендикулярным на-

правлениям, а также вращение вокруг вертикальной оси. Все перемещения камеры могут фиксироваться и измеряться.

Результаты исследования показали, что установка воспроизводит рентген в области мягкого излучения с погрешностью не более 1% и может применяться при градуировке дозиметров, применяемых в народном хозяйстве.

5. Нейтронные измерения. Необходимость измерения нейтронных потоков возникла в 1932 г. после открытия нейтронов. Однако потребность в таких измерениях до 1945 г. испытывало лишь небольшое число физических лабораторий, изучавших свойства нейтронов и их взаимодействие с ядрами различных элементов.

Начиная с 1945 г. с появлением ядерных реакторов необходимость в измерениях нейтронных потоков сильно возросла.

В настоящее время в связи с тем, что ядерные реакторы применяются не только физическими лабораториями, но используются и промышленностью, особенно существенно создание метрологического комплекса, обеспечивающего единство измерений нейтронных потоков в масштабе всей страны. Кроме того, большая биологическая эффективность нейтронов, превышающая в 3—10 раз эффективность рентгеновских и гамма-лучей, требует очень тщательного рассмотрения вопроса о правильной единой дозиметрической службе, охватывающей все учреждения, в которых производятся работы с нейтронами.

Для решения указанных задач необходимо в первую очередь создать эталонные источники нейтронов с точно известным потоком нейтронов, затем нужно разработать образцовые методы и создать соответствующую аппаратуру для сличения эталонных источников нейтронов с образцовыми источниками. Необходимость обеспечения нейтронной дозиметрической службы в стране выдвигает вопрос о разработке образцовых нейтронных дозиметров.

Во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева начало работ по нейтронным измерениям относится к 1947 г., когда номинально была организована нейтронная лаборатория. Для регистрации нейтронов применялись счетчики, наполненные трехфтористым бором. В качестве источника нейтронов использовались ампулы радия, помещаемые в блок из бериллия.

В 1949 г. во ВНИИМ был изготовлен экспериментальный (α, n) — источник нейтронов, испускающий 10^6 нейтронов в 1 сек. С помощью этого источника был выполнен ряд работ по изучению различных методов измерения нейтронных потоков и создана аппаратура для относительных измерений нейтронных потоков одинакового спектрального состава.

Для относительного измерения нейтронных потоков от нескольких десятков до 10^8 нейтронов в 1 сек. были последовательно изучены возможности пяти различных методов детектирования нейтронов и созданы соответствующие установки.

От борных счетчиков лаборатория перешла к созданию плоскопараллельной, а несколько позже к более эффективной спиральной урановой камере деления. Большим преимуществом урановых камер по сравнению с другими детекторами нейтронов является почти полное отсутствие фона, что позволяет измерять слабые нейтронные потоки.

Низкий фон в камерах деления объясняется возможностью легко отделить импульсы, обусловленные осколками деления урана от весьма значительного фона альфа-частиц.

В поисках наиболее эффективных и чувствительных методов был исследован также специальный люминесцирующий кристалл, содержащий литий, и поэтому чувствительный к нейтронам. Кристалл присоединялся к фотоумножителю типа ФЭУ-19. Оказалось, что чувствительность борных и сцинтилляционных счетчиков практически одинакова, тогда как спиральная урановая камера имеет чувствительность примерно в 10 раз больше.

Затем были исследованы возможности, даваемые методами активации серебра и марганца, который используется в виде раствора марганцевокислого калия. Последний метод может быть успешно применен как один из самых чувствительных методов регистрации нейтронов вследствие того, что путем простой фильтрации достигается почти 100%-ное обогащение атомов радиоактивного Mn^{56}.

Таким образом, располагая разнообразной методикой, лаборатория может производить сравнения интенсивностей нейтронных потоков одинакового спектрального состава от десятков до 10^8 нейтронов в 1 сек. с точностью соответственно, от 10 до 3%.

К настоящему времени известно несколько методов абсолютных измерений плотностей нейтронных потоков [17], [18] и [19], которые могут быть положены в основу эталонного метода воспроизведения единицы плотности нейтронного потока.

а) Метод сопутствующих частиц. Этот метод основан на том факте, что в некоторых ядерных реакциях, которые используются для получения нейтронов, испускание каждого нейтрона сопровождается испусканием заряженной частицы. Ядерными реакциями такого рода являются:

$$T_1^3 + D_1^2 \rightarrow He_2^4 + n_0^1$$
$$T_1^3 + H_1^1 \rightarrow He_2^3 + n_0^1$$
$$D_1^2 + D_1^2 \rightarrow He_2^3 + n_0^1$$
$$D_1^2 + h\nu \rightarrow H_1^1 + n_0^1$$

Очевидно, что определение числа частиц непосредственно даст и число нейтронов. Обычно измеряют число заряженных частиц, испускаемых источником в некотором вполне определенном телесном угле, а затем уже вычисляют полный поток испускаемых нейтронов. Этим методом можно производить абсолютные измерения нейтронных потоков с погрешностью менее 10%.

б) Метод замедления нейтронов до тепловых энергий с последующим измерением потока медленных нейтронов. Принцип этого метода впервые был предложен в 1936 г. [20]. Он заключается в том, что источник нейтронов помещается внутри замедлителя (вода, парафин, графит) достаточно большого объема (так, чтобы утечка нейтронов через наружную поверхность замедлителя составляла малую долю всего числа нейтронов). В результате взаимодействия нейтронов с ядрами замедлителя в нем устанавливается определенное распределение плотности медленных нейтронов. При достаточно больших размерах замедлителя в равновесном состоянии полное число нейтронов N, испускаемых источником за единицу времени, будет равно числу нейтронов, поглощаемых всей массой замедлителя за этот же промежуток времени.

Таким образом,

$$N = \int_v \rho(r\vartheta\varphi) v \sum_i n_i \sigma_i r^2 \sin\vartheta \, dr \, d\varphi \, d\vartheta,$$

где $\rho(r\vartheta\varphi)$ — функция распределения плотности медленных нейтронов в замедлителе;

σ_i — эффективное поперечное сечение захвата медленных нейтронов (со скоростью v) атомом i-го сорта замедлителя;

n_i — число атомов i-го сорта в 1 $см^3$ замедлителя.

При этом методе, обычно, плотность нейтронного потока в некоторых точках замедлителя определяется путем измерения величины наведенной искусственной радиоактивности индикаторов, помещенных в эти точки. Измерение активности насыщения индикатора в различных точках замед-

лителя позволяет определить функцию $\rho\ (r, \vartheta, \varphi)$, с помощью которой методом численного интегрирования находят абсолютное значение полного числа нейтронов N, испускаемых источником в единицу времени.

Для такого определения необходимо знать абсолютную активность детектора нейтронов и отношение эффективных сечений захвата медленных нейтронов в детекторе и замедлителе.

В результаты измерений приходится вводить ряд поправок (на конечный объем замедлителя, на искажение нейтронного поля при помещении в него детектора и т. д.), что существенно снижает точность метода. Кроме того, этот метод дает возможность измерять только средние плотности нейтронных потоков за определенный промежуток времени.

в) Метод, основанный на регистрации ядер отдачи. В этом случае измерение плотности нейтронного потока производится на основании измерения числа ядер отдачи, возникающих при упругом рассеянии нейтронов на легких ядрах. Первое сообщение о применении этого метода относится к 1934 г. [21].

При энергиях регистрируемых нейтронов до ~ 5 *Мэв* в качестве рассеивающих веществ берут наиболее легкие элементы, например водород, при энергиях свыше 5 *Мэв* могут применяться более тяжелые вещества, например He^4. Для этого метода существенно, чтобы сечения рассеяния нейтронов на ядрах рассеивателя не сильно зависели от энергии нейтронов, в противном случае точность измерения плотности потока нейтронов будет зависеть от энергетического спектра нейтронов.

Этот метод по сравнению с предыдущим обладает тем преимуществом, что им можно регистрировать флюктуации плотности нейтронного потока, ибо измерение числа ядер отдачи производится непрерывно.

Существенным недостатком метода регистрации протонов отдачи является зависимость энергий протона от угла, образуемого направлениями движения нейтрона и протона отдачи.

Для регистрации ядер отдачи обычно применяют пропорциональные счетчики и ионизационные камеры.

г) Метод, основанный на использовании графитовой призмы реактора. В этом методе полное число нейтронов, испускаемых источником, определяется путем сравнения мощностей реактора при помещении в его активную зону исследуемого источника и поглотителя нейтронов. Помещая одновременно в активную зону реактора измеряемый источник и поглотитель, можно добиться первоначальной мощности реактора. Впервые этот метод был применен в работе [22].

В Советском Союзе в 1948 г. [23] разработан метод определения абсолютного числа нейтронов, испускаемых различными источниками, используя метод сопутствующих частиц. Первоначально был создан источник нейтронов $D(\gamma, n)H$, представляющий собой полый никелевый шар диаметром 34 *мм* с толщиной стенок 0,3 *мм*, наполненный тяжелой водой.

В центр шара помещался источник гамма-лучей в латунном цилиндре. В качестве источников гамма-лучей использовались препараты радиотория, находившегося в радиоактивном равновесии со своими продуктами распада. Число фотонейтронов, испускаемых таким источником, определялось путем измерения числа протонов с помощью ионизационной камеры такого же устройства, как и источник, которая была наполнена дейтерием при известных давлении и температуре. Затем вычислялся коэффициент возрастания потока нейтронов при замене дейтерия на тяжелую воду. Этот коэффициент зависит главным образом от соотношения концентраций дейтерия в газе и тяжелой воде.

Определение чисел нейтронов, испускаемых (Ra-γ-Be)- и (Ra-α-Be)-источниками, производилось путем сравнения последних с фотонейтронным источником, испускающим известное число нейтронов. Сравнение

производилось в водяном баке при помощи различных детекторов тепловых нейтронов, т. е. методом активации.

Из-за различия энергетических спектров градуируемых источников и источника, с которым производится сличение, необходимо вводить целый ряд поправок, что снижает точность данного метода.

В 1950—1951 гг. [24] был разработан метод и создана аппаратура для градуировки нейтронных источников по методу сопутствующих частиц. Для получения нейтронов авторы использовали ядерные реакции $D(d, n)He^3$ и $T(d, n)He^4$. В качестве мишеней применялись, соответственно, мишени из тяжелой воды и циркониевые мишени, насыщенные тритием. Дейтроны получались на ускорительной трубке. Сопутствующие частицы (He^3 и He^4) регистрировались пропорциональными счетчиками.

В эти же годы был разработан метод градуировки нейтронных источников [19], основанный на принципе, предложенном в работе [25]. В этом методе для определения полного числа нейтронов, испускаемых градуируемым источником, последний помещался в центр замедлителя достаточно больших размеров, который одновременно являлся и поглотителем нейтронов. Замедлитель облучался нейтронами до получения активности насыщения, величина которой измерялась.

Затем проводилась вторая серия измерений, когда в центр замедлителя-поглотителя вместе с источником помещался специальный «сильный поглотитель» нейтронов, и снова измерялась активность насыщения замедлителя и наведенная активность «сильного поглотителя».

Сравнением активностей замедлителя нейтронов при наличии «сильного поглотителя» и без него определялась относительная доля нейтронов, захватываемых «сильным поглотителем», а по величине активности последнего вычислялось абсолютное число нейтронов, поглощенных им в единицу времени. На основании результатов этих измерений определялось полное число нейтронов, испускаемых источником.

В качестве замедлителя нейтронов использовался водный 10%-ный раствор сернокислого марганца, которым был наполнен бак объемом около 3 $м^3$. В качестве «сильного поглотителя» применялось золото [19].

В настоящее время назрела необходимость проведения сравнительного метрологического исследования перечисленных абсолютных методов измерения плотностей нейтронных потоков и выбора эталонного метода воспроизведения единицы плотности нейтронного потока.

6. Заключение. Сопоставление задач, стоящих перед метрологией ионизирующих излучений и перечисленных в начале настоящей статьи, с объемом выполненных работ показывает, что методы измерений, разработанные во ВНИИМ, не могут полностью удовлетворить всех запросов народного хозяйства, связанных с ростом мирного использования атомной энергии. Поэтому работы в области метрологии ионизирующих излучений должны быть существенно расширены в следующих направлениях.

Необходимо расширять класс излучений, охватываемых эталонными измерениями. В первую очередь нужно разработать методы и аппаратуру для измерений мощностей доз, создаваемых нейтронами и бета-излучением. Далее, следует увеличить область измерений доз рентгеновских и гамма-лучей по диапазону энергий квантов до 50 *Мэв*. Наконец, нужно расширять пределы измерений по мощностям доз и по величине активности. Должна быть разработана аппаратура для измерения мощностей доз рентгеновских и гамма-лучей в сторону малых (до 10^{-3} *мкр/сек*) и в сторону больших значений (до 10^7 *р/сек*). Диапазон измеряемых активностей должен быть расширен до 10—100 кюри.

Кроме того, стоит вопрос о разработке методов и аппаратуры для измерения концентраций радиоактивных веществ в жидкостях и газах.

Нет сомнения, что советская метрология в исторически короткие сроки справится со стоящими перед ней задачами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аглинцев К. К., ЖЭТФ, т. 3, 1933, стр. 282.
2. Аглинцев К. К., Хольнова Е. А., Остромухова Г. П., Научная сессия, посвященная итогам работ за 1955 г. (краткое содержание докладов), ВНИИМ, 1956.
3. Богоявленский Л. Н., Труды ВНИИМ, вып. 26/42, 1939, стр. 3.
4. Аглинцев К. К., Труды ВНИИМ, вып. 7(52), 1941, стр. 33.
5. Аглинцев К. К., Караваев Ф. М., Труды ВНИИМ, вып. 30(90), 1957.
6. Караваев Ф. М., Труды ВНИИМ, вып. 30(90), 1957, стр. 53.
7. Караваев Ф. М., Труды ВНИИМ, вып. 30(90), 1957, стр. 61.
8. Эстулин И. В., ЖЭТФ, т. 21, 1951, стр. 1412; т. 24, 1953, стр. 221.
9. Константинов А. А., Труды ВНИИМ, вып. 30(90), 1957. Аглинцев К. К. и др. «Метрология проникающих излучений» (в сборнике «Атомная энергия в мирных целях», к 250-летию Ленинграда), 1957.
10. Аглинцев К. К. и Хольнова Е. А., Труды ВНИИМ, вып. 30(90), 1957.
11. Аглинцев К. К. и Хольнова Е. А., ДАН, т. XCVIII, 1954, стр. 357.
12. Шиманская Н. С., Труды Радиевого института АН СССР, т. 7, вып. 1, 1956, стр. 198.
13. Поройков И. В., Труды ВИМС, вып. 8(24), 1933.
14. Аглинцев К. К. и Балон З. П., Труды ВНИИМ, вып. 30(90), 1957.
15. Аглинцев К. К., Остромухова Г. П. и Юдин М. Ф., Труды ВНИИМ, вып. 30(90), 1957.
16. Юдин М. Ф., Труды ВНИИМ, вып. 30(90), 1957.
17. «Проблемы современной физики», вып. 12, 1957, стр. 7.
18. Бак М. А., Петржак К. А. и Романов Ю. Ф., УФН, т. LVIII, вып. 4, 1956, стр. 667.
19. Безотосный В. М. и Замятин Ю. С., «Атомная энергия», 4, 1957, стр. 313.
20. Амальди Э. и Ферми Э., УФН, т. XVII, вып. 3, 1937, стр. 343.
21. Dunning. I. R., Phys. Rev., v. 45, 1934, p. 586.
Fermi E. и др., Proc. Roy. Soc., v. 146, 1934, p. 483.
22. Litter D. J., Proc. Phys. Soc., v. 64, S. A., 1951, p. 638.
23. Петржак К. А. и Бак М. А., Труды Радиевого института АН СССР, т. VII, вып. 1, 1956, стр. 61.
Петржак К. А., Бак М. А. и Фереман Б. А., «Атомная энергия», 4, 1957, стр. 319.
24. Флеров Г. Н. и Порецкий Л. Б., Отчеты АН СССР, 1951.
25. O'Neal R. D., G. Scharff-Goldhaber, Phys. Rev., v. 69, 1946, p. 368.

ПРИКЛАДНАЯ МЕТРОЛОГИЯ В СОВЕТСКОМ СОЮЗЕ ЗА 40 ЛЕТ

К. Н. КАЦМАН

1. Введение. Создание эталонов, разработка эталонных методов измерений и другие подобные работы не являются самоцелью. Их смысл и ценность заключаются в том, что они служат в конечном счете для обеспечения правильности показаний рабочих приборов, единообразия и верности рабочих мер. Отсюда ясно, что как бы ни был тонок физический эксперимент при создании эталона, сколько бы ни было затрачено средств при его разработке, все это практически теряет свое значение, если результаты работы не доведены до рабочих средств измерения. Совокупность работ, имеющих своей целью правильную передачу значений единиц измерений от образцовых мер и приборов до рабочей измерительной аппаратуры, так же как работы по обеспечению повседневной правильности рабочих мер и приборов, обычно относят к так называемой «прикладной метрологии». Легко показать, что проблемы, решаемые прикладной метрологией, имеют два аспекта: организационный и чисто технический, причем удельный вес организационных задач в этой области весьма значителен. Последнее является неизбежным, поскольку речь идет о множестве подлежащих контролю объектов, распределенных на обширной территории и различных по своему народнохозяйственному значению и свойствам. Характер решения этих организационных задач в разных исторических условиях находится в зависимости от степени развития производительных сил и от особенностей социально-экономических систем, в пределах которых они решаются. В частности, этим объясняется и особый путь развития государственной службы мер и приборов в СССР по сравнению с капиталистическими странами.

Что же касается технического аспекта задач, решаемых прикладной метрологией, то в основном они сводятся к разработке наиболее рациональных способов передачи значений единиц в конкретных условиях различных отраслей народного хозяйства, разработке норм точности, методов и инструкций по поверке приборов, разработке поверочной аппаратуры, изучению рабочих приборов и их поведения в различных условиях эксплуатации и некоторым другим аналогичным работам.

За истекшие 40 лет в Советском Союзе проведена значительная работа во всех этих направлениях, результаты которой кратко изложены ниже.

2. Формы организации поверочной работы в Советском Союзе за 40 лет. С середины прошлого века в России начинается довольно быстрое развитие капиталистической промышленности. Этот процесс принимает весьма интенсивный характер в восьмидесятых — девяностых годах прошлого века. Развитие крупной капиталистической промышленности с ее передовыми техническими методами производства, рост товарооборота, быстрое развитие железнодорожного транспорта, поставили на очередь вопрос о необходимости поднять на соответствующий уровень и различные отрасли технических знаний. Поскольку, однако, развитие науки и

техники тесно связано с успехами в области производства измерений, а повседневные нужды развивающейся промышленности и торговли требовали надлежащей организации измерительного хозяйства в стране, то в 1893 г. в Петербурге была учреждена Главная Палата мер и весов. В задачи Главной Палаты мер и весов, во главе которой встал Д. И. Менделеев, входила разработка научных основ измерительного дела в стране. В связи с потребностями хозяйства работа Главной Палаты должна была вестись по широкому профилю, охватывающему все основные области измерений. И, действительно, в первые же 10—15 лет существования Главной Палаты в ней были развернуты работы в области измерений длины, массы, времени, давлений, температуры, электрических и световых величин и в некоторых других отраслях измерений.

Наряду с существованием научного метрологического центра в виде «Главной Палаты», законом 1899 г. было предусмотрено создание специальных поверочных учреждений, названных «Поверочными Палатками», число которых в стране, по мысли Д. И. Менделеева, должно было быть доведено до 150. В обязанности этих учреждений входило производство поверок мер и весов, подлежащих обязательному клеймению. С 1905 г. этим учреждениям был поручен также надзор за правильным применением мер и весов в торговле, промышленности и других отраслях хозяйства. Все эти местные поверочные учреждения были подчинены Главной Палате мер и весов, которая выполняла не только научно-технические, но и административные функции.

Предположения Д. И. Менделеева в отношении широкого развития сети местных поверочных учреждений не были реализованы царским правительством. К 1917 г. на территории дореволюционной России функционировало всего 22 местных учреждения с общим количеством технического персонала менее 150 человек. Все эти учреждения были оснащены лишь простейшим поверочным оборудованием и поэтому могли вести работу только по самому узкому профилю, поверяя приборы торгового назначения, как-то: весы, гири, торговые меры объема, меры сыпучих тел, торговые меры длины.

Эта небольшая по масштабам страны поверочная система, создававшаяся постепенно между 1900 и 1910 гг., к концу этого периода развила довольно активную деятельность. Однако очень скоро она попала под удары первой мировой, а затем и гражданской войны и к 1920 г. ее работа оказалась почти парализованной. А между тем как раз в эти годы молодая Советская власть, закладывая основы нового социалистического государства, создавала тем самым возможности для будущего, немыслимого в предшествующих условиях, развития науки и техники в нашей стране и в том числе метрологии. Непосредственным доказательством последнего является решение Правительства провести коренную реформу системы мер в Советской Республике.

В 1918 г., т. е. в период чрезвычайно тяжелый для молодого советского государства, Совет Народных Комиссаров РСФСР декретом от 14 сентября постановил: «... положить в основание всех измерений, производимых в Российской Социалистической Федеративной Советской Республике, международную метрическую систему мер и весов с десятичными подразделениями и производными...». Декрет запрещал изготовление мер и весов старой русской системы и обязывал все советские учреждения и организации приступить к введению метрической системы мер.

Вопрос о необходимости введения в России международной метрической системы отчетливо сознавался и раньше передовыми работниками науки и техники нашей страны. Однако правительство царской России, представлявшее интересы помещиков, торговой и промышленной буржуазии, не могло согласиться на проведение реформы, требовавшей серьезных материальных жертв от господствующих классов без очевидной и

непосредственной выгоды для последних. К тому же и отказ от введения новой системы мер легко мотивировался ссылками на традиционность и вековые привычки, связанные с применением русской системы.

Таким образом, только Советская власть оказалась способной ввести в России метрическую систему мер.

Внедрение в жизнь декрета о введении метрической системы несколько задерживалось интервенцией и гражданской войной. Но с окончанием гражданской войны и переходом страны к восстановлению народного хозяйства работа по введению метрической системы быстро получила необходимый размах. К 1927 г. метрическая реформа была в основном завершена.

На всех этапах введения метрической системы Главная Палата мер и весов и ее поверочные органы являлись важнейшими центрами по осуществлению реформы. Начиная с разработки проекта самого декрета и включая работы по созданию, публикации и распространению нормативных документов, справочных и пропагандистских материалов, по проведению повседневного контроля за внедрением новой системы,— все это в больших масштабах осуществлялось Главной Палатой мер и весов и ее местными поверочными органами. Не остались они в стороне и от непосредственной производственной деятельности, связанной с введением метрической системы, организуя на своих предприятиях изготовление метрических мер и весов и осуществляя переделку старых средств измерения на метрические.

Кроме введения метрической системы, среди работ восстановительного периода следует отметить всероссийскую поверку мер и весов, проведенную в 1921—1922 гг. поверочными органами по указанию, подписанному В. И. Лениным. Значение этой работы заключалось в том, что она являлась необходимой предпосылкой для восстановления широкого товарооборота в стране, быстро развивавшегося после перехода к новой экономической политике.

Организационные формы, в которых осуществлялась поверочная работа в СССР в восстановительный период, определялись «Положением о мерах и весах», утвержденным ЦИК и СНК СССР в 1924 г., и ранее изданным «Положением о Главной Палате мер и весов», утвержденным Советом Труда и Обороны.

Главная Палата мер и весов, находившаяся в ведении Высшего совета народного хозяйства СССР, действовала в составе двух институтов: метрологического и поверочного. Первый из этих институтов вел научно-исследовательские работы в области метрологии, второй — занимался техническими вопросами поверочного дела и руководил сетью поверочных палат (сначала непосредственно, а затем через Палаты мер и весов союзных республик и Отдел мер и весов РСФСР).

Поверочная деятельность на местах осуществлялась областными и краевыми поверочными палатами мер и весов и их отделениями. Сеть поверочных учреждений при Советской власти начала быстро развиваться, и количество этих учреждений к 1930 г. достигло 108, т. е. более чем в 4 раза превысило число их до Октябрьской революции.

Надзор за мерами и весами со стороны поверочных палат осуществлялся в восстановительный период по следующей схеме. Существовала небольшая номенклатура приборов, подлежащих обязательной поверке и клеймению. Эта номенклатура в 1922 г. включала только гири, весы, торговые меры объема и штриховые меры длины. В период 1923—1929 гг. перечень постепенно расширялся и к 1930 г. состоял из 13 наименований. Практически ряд мер и приборов, включенных в перечень, как например, электросчетчики, измерительные трансформаторы, калибры, наборы пробных очковых стекол, могли поверять только немногие поверочные учреждения. Как общее правило, было установлено, что приборы подлежат

обязательной поверке и клеймению при их изготовлении в СССР, при ввозе из-за границы, при выпуске из ремонта и периодически в процессе эксплуатации. Сроки между поверками приборов, находящихся в эксплуатации, обычно составляли 2 года. Приборы для поверки доставлялись их владельцами в лаборатории палат или в так называемые временные отделения, организуемые палатами в районах, где отсутствовали стационарные поверочные лаборатории. Территории, обслуживаемые временным отделением (особенно в начальный период), были чрезвычайно обширными. Поверки вновь изготавливаемых и ремонтируемых приборов, как правило, осуществлялись на месте их производства и ремонта.

Надзор за своевременностью представления приборов в поверку осуществлялся с помощью «внезапных ревизий», проводимых на месте эксплуатации приборов.

Среди сотрудников поверочных учреждений широко было распространено допущение, в силу которого клейменый прибор признавался верным, пока не доказано обратное. Поэтому при ревизиях проверялось преимущественно наличие или отсутствие поверительных клейм.

В 1931—1932 гг., после передачи Главной Палаты мер и весов в ведение Всесоюзного комитета по стандартизации и реорганизации ее в научно-исследовательский институт (ВИМС), не имеющий каких-либо административных функций в отношении поверочных учреждений, вся описанная выше система контроля за измерительным хозяйством была подвергнута существенному пересмотру.

В 1927 г. крупная промышленность СССР по объему продукции значительно превысила довоенный уровень. В 1928 г. начались работы по осуществлению первого пятилетнего плана развития народного хозяйства СССР. Эти исторические события означали вступление Советского государства в новую эпоху — социалистической индустриализации страны.

Кроме невиданного роста социалистической промышленности, годы первой пятилетки, как известно, характеризуются коренными изменениями во всей структуре нашего общества. Коллективизация сельского хозяйства, ликвидация капиталистических элементов во всех областях экономической деятельности в городе и деревне, начавшаяся в стране культурная революция превращали «Россию нэповскую в Россию социалистическую» (Ленин).

Развернувшаяся на фоне этих великих событий критика недостатков в организации надзора за измерительным хозяйством страны являлась отражением глубочайших сдвигов, происходивших в это время в народном хозяйстве СССР.

Существо этой критики, средоточием которой было руководство Комитета по стандартизации, заключалось в следующих положениях.

Ликвидация капиталистических элементов в народном хозяйстве СССР устранила антагонизм между государством и всеми лицами, осуществляющими хозяйственную деятельность в СССР. Работники социалистических предприятий, изготавливающих, ремонтирующих и применяющих измерительные приборы, столь же заинтересованы в правильности средств измерений, как и органы государственного надзора. Следовательно, они сами с таким же или даже бо́льшим успехом могут осуществлять контроль за измерительным хозяйством. Надзор, проводимый поверочными учреждениями, в конечном счете, сводится к контролю за наличием действующих клейм на приборах, а это не может обеспечить повседневной правильности последних, так как понятия верный прибор и клейменый прибор совпадают только в течение короткого срока. Номенклатура приборов, на которой сосредоточено все внимание поверочной системы, в своей большей части не отвечает решающим интересам государства в области измерительной техники.

И, действительно, в ту эпоху, когда в Сталинграде, Ленинграде,

Москве, Горьком и других городах организовалось массовое и крупносерийное производство тракторов, автомобилей, двигателей внутреннего сгорания и других сложных машин, требовавшее надежного обеспечения взаимозаменяемости и, следовательно, высокой культуры линейных и угловых измерений машиностроительного профиля, когда бурный рост энергетики, металлургии, электротехнической и химической промышленности требовал особого внимания к вопросам электрических и тепловых измерений,— поверочные учреждения того времени оказывались наименее дееспособными именно на этих участках. В то же время основная специальность поверочных учреждений тех дней — поверка торговых мер и весов — не считалась руководством Комитета по стандартизации актуальной и имеющей серьезное значение [1].

Так или иначе, но существовавший в 1922—1930 гг. порядок контроля за измерительными приборами сменился новой системой организации работы, что и было отражено в «Положении о мерах и весах» 1932 г.

Наиболее характерными чертами новой организации являлись следующие. Поверка всех приборов, изготавливаемых приборостроительной промышленностью, впредь должна производиться заводскими отделами технического контроля. Ответственность за правильность измерительных приборов, находящихся в обращении, возлагалась на предприятия и организации, применяющие эти приборы, причем предприятия и объединения должны были организовывать свои собственные органы надзора для обеспечения повседневной правильности мер и приборов или кооперироваться в этом отношении с другими организациями. Обязательные сроки периодических поверок были отменены. Контроль за состоянием приборов, выпускаемых из производства или находящихся в применении, должен был осуществляться инспектурой местных органов Комитета по стандартизации посредством выборочных поверок правильности их показаний. Штаты поверочных учреждений были сильно сокращены.

В 1933 г. начали появляться сигналы о значительном ухудшении состояния приборов, ранее подвергавшихся обязательным поверкам в учреждениях Главной Палаты мер и весов. В конце 1933 г., при обследовании торговой сети Народным Комиссариатом рабоче-крестьянской инспекции СССР, было установлено широкое применение неисправных и неверных весов и гирь, в результате чего имели место многочисленные случаи обмеривания потребителей и обмана государства.

В 1934 г. этим вопросом занялся Центральный Комитет Коммунистической партии, так как терпеть такое положение было нельзя, особенно имея в виду происходивший в это время быстрый рост товарооборота в стране, завершившийся отменой карточной системы.

26 июля 1934 г. было опубликовано Постановление ЦК ВКП(б) «О борьбе с обвешиванием, обмериванием потребителей и нарушением розничных цен в торговле». В этом Постановлении, наряду с констатацией многочисленных случаев злоупотреблений при пользовании неверными весами и мерами, было установлено, что в дальнейшем за наличие обмериваний и обвешиваний должны отвечать не только руководители торговых предприятий и объединений, где допускаются эти факты, но и работники общественных организаций данных предприятий. Центральным органам государства, ведающим торговлей, было предложено в месячный срок произвести поверку мер и весов.

В сентябре-октябре 1934 г. постановлениями ЦИК и СНК СССР были утверждены новый закон «О мерах и весах» и список мер и приборов, подлежащих обязательным поверкам и клеймению.

---

[1] Оставляя на дальнейшее более подробный разбор реформы 1931—1932 гг. и забегая здесь несколько вперед, отметим, что состояние измерений в торговле как раз оказалось тем наиболее слабым местом реформы, где всего скорее и отчетливее обнаружилась трещина, опасная для государственных интересов, в результате чего вся реформа впоследствии и была отменена.

В январе 1935 г. Постановлением СНК СССР «О специальных государственных поверителях» был определен общий порядок деятельности поверочных учреждений.

Формы организации поверочной работы, установленные этими документами, в основных чертах воспроизводили порядок, существовавший до реформы 1931—1932 гг., но на более высокой основе.

По новому положению руководство всей метрологической работой и поверочной деятельностью в СССР возлагалось на Центральное управление мер и весов (ЦУМВ), состоящее при Всесоюзном Комитете по стандартизации. Список рабочих и образцовых приборов, подлежащих обязательной поверке и клеймению, был расширен по сравнению с соответствующим перечнем, существовавшим до реформы 1931—1932 гг. Это расширение было произведено главным образом за счет образцовых мер и приборов. Что же касается рабочих средств измерения, то перечень был увеличен незначительно. Было восстановлено правило, по которому приборы, вошедшие в перечень, утвержденный СНК СССР, подвергаются обязательным поверкам и клеймению в органах ЦУМВ при выпуске приборов из производства, ремонта и периодически в процессе эксплуатации. Постановлением ЦИК и СНК СССР была введена обязательная регистрация в местных органах ЦУМВ всех предприятий и организаций, осуществляющих производство и ремонт измерительной аппаратуры, подлежащей обязательным поверкам. На органы Народного Комиссариата внутренней торговли и милицию возложены обязанности повседневного надзора за применением в торговле правильных мер и приборов. Установлена административная и уголовная ответственность за нарушение законов и правил о мерах и весах.

Постановление ЦК ВКП(б) от 26 июля 1934 г. и новое законодательство о мерах и весах явились источниками быстрого укрепления и расширения поверочной системы в СССР. Количество поверочных учреждений возросло к 1936 г. до 176, т. е. увеличилось в 2,3 раза по сравнению с 1933 г. Во много раз увеличился штат этих учреждений и объем производимых работ. Все это не могло не сказаться на значительном улучшении состояния измерительных приборов, подлежащих обязательным поверкам. В целом состояние этой группы приборов к 1936 г. можно было считать достаточно удовлетворительным.

В несколько ином положении находились приборы, на которые не распространялся надзор со стороны государственной службы мер и весов.

Как известно, на протяжении всего периода, охватываемого предвоенными пятилетками, происходил бурный рост социалистической промышленности, сопровождавшийся внедрением в производство громадного количества различных мер и приборов. Однако способы эксплуатации этого хозяйства во многих случаях были далеки от совершенства.

В 1937—1938 гг. Главным управлением мер и весов был организован ряд обследований состояния методов и средств измерений во многих отраслях промышленности. Эти обследования, касавшиеся самых разнообразных средств измерения, показали, что организация измерительного хозяйства в промышленности требует существенного улучшения, причем многочисленные вопросы, связанные с поверкой и эксплуатацией приборов производственного контроля, нуждаются в специальной проработке. Значительного улучшения требовала работа приборостроительной промышленности, которая, несмотря на свой рост, не удовлетворяла запросов большинства отраслей промышленности как по количеству, так и по номенклатуре выпускаемых приборов.

Обобщенные материалы обследований с соответствующими выводами были представлены Правительству СССР, которое признало необходимым учредить особый орган, ведающий вопросами техники измерений в стране по самому широкому профилю. Так в 1938 г. Постановлением Со-

вета Народных Комиссаров СССР был организован Комитет по делам мер и измерительных приборов при СНК СССР.

Вновь организованный Комитет обратил большое внимание на улучшение производства измерительных приборов в СССР. В частности, по проекту, разработанному Комитетом, Совет Народных Комиссаров СССР принял в 1941 г. специальное Постановление об обязательном представлении в Комитет образцов всех подготавливаемых к производству приборов, для их испытания и утверждения. Серийный и массовый выпуск приборов, не прошедших утверждения Комитета, был запрещен. Работа по испытаниям образцов различных типов приборов после упомянутого решения правительства развернулась очень широко и является в настоящее время одним из важнейших разделов работы государственной службы мер и приборов.

Значительная работа была проведена Комитетом по организации и расширению ведомственного надзора за мерами и приборами, особенно на промышленных предприятиях. Большую роль в этом отношении имели правила 10-40 и 11-41, изданные Комитетом в 1940—1941 гг., регламентирующие порядок и формы организации надзора со стороны самих предприятий за средствами измерений, применяемыми для контроля линейных размеров в машиностроении, а также за приборами для электрических и тепловых измерений. Еще большее значение для развития надзора за измерительными приборами со стороны самих предприятий и ведомств имело соответствующее распоряжение Совета Министров СССР, изданное в 1949 г.

К 1942 г., в связи с общим ростом приборостроения в СССР возникла необходимость значительного расширения номенклатуры приборов, подлежащих обязательной поверке в местных органах Комитета. Принятое по этому поводу в ноябре 1942 г. Постановление СНК СССР дало возможность Комитету установить столь широкую номенклатуру рабочих мер и приборов, подлежащих обязательным поверкам в учреждениях Комитета, что она во много раз превысила действующий до этого перечень 1934 г. Практически новый список охватывал почти все средства измерения, применяемые для исследований и контроля производства в современной науке и технике (из массовых средств контроля исключение составили только заводские калибры). А так как новые правила не делали исключений для каких-либо учреждений и организаций, пользующихся приборами, то государственным поверкам (т. е. поверкам в учреждениях Комитета) стали подлежать почти все меры и приборы, находящиеся в стране. Естественно, что столь широкая программа поставила перед поверочными учреждениями Комитета очень сложные задачи. Уже в первые послевоенные годы (1947—1948 гг.) количество мер и приборов, проходивших государственную поверку, достигло 40 млн. шт., хотя еще далеко не все приборы, имевшиеся в стране, своевременно представлялись для поверки.

Введение обязательных государственных поверок по широкому перечню несомненно улучшило состояние измерительного парка страны, особенно в первые годы после Великой Отечественной войны. Вместе с тем новые задачи определили необходимость существенно поднять технический уровень работы поверочных учреждений и, в первую очередь, улучшить их техническую оснащенность. В ряде случаев это и было сделано. В системе Комитета появились поверочные учреждения (например, Московский государственный институт мер и измерительных приборов, Харьковский государственный институт мер и измерительных приборов, Ленинградское, Латвийское, Минское управления мер и приборов и др.), способные проводить поверки и испытания приборов по столь широкому профилю, какой в 30-х годах был присущ только ВНИИМ. Но в еще боль-

шем количестве случаев оснащение поверочных органов значительно отставало от потребностей, вызванных новыми правилами.

Наряду с отмеченными улучшениями стали определяться и весьма крупные принципиальные недостатки нового порядка надзора, о которых несколько подробнее будет сказано ниже.

К концу 1952 г., когда количество поверяемых приборов достигло 64,2 млн. шт., для многих ведущих работников поверочного дела стало очевидным, что нет смысла сохранять в неизменном виде существующую систему государственного контроля за измерительным хозяйством и добиваться все большего и большего увеличения штатов поверочных учреждений, поскольку сама эта система обладает серьезными принципиальными недостатками.

В течение 1953 г. весь существующий с 1942 г. порядок контроля за измерительными приборами был критически обсужден и пересмотрен, а в конце 1954 г. установлена та система государственного надзора за мерами и приборами, которая действует и в настоящее время.

Основными чертами этой организации являются следующие. Среди обширнейшей номенклатуры существующих в настоящее время средств измерений отобрано 14 видов приборов, широко применяемых при взаимных расчетах для учета материальных ценностей или являющихся наиболее распространенными диагностическими инструментами, на которые распространяются прежние правила обязательного представления в государственную поверку и клеймение. Обязательному представлению в государственную поверку подлежат также все исходные образцовые меры и приборы предприятий.

Для 97 других различных видов измерительной аппаратуры, перечень которых практически охватывает все важнейшие средства измерения для контроля производства, установлено новое правило: эти средства измерения подлежат обязательной поверке не в органах Комитета, а в измерительных лабораториях и контрольно-поверочных пунктах (КПП) самих предприятий. Только при отсутствии на предприятиях таких лабораторий и КПП или при некачественном ведении ими работы (что контролируется органами Комитета) эта аппаратура должна представляться для обязательной поверки в учреждения Комитета. При выпуске данной аппаратуры из производства она также поверяется не органами Комитета, а отделами технического контроля приборостроительных предприятий. Надзор за качеством изготовления этих приборов осуществляется органами Комитета путем систематически проводимых всесторонних контрольных испытаний серийных образцов продукции и посредством внезапных проверок качества изделий на складах готовой продукции приборостроительных заводов.

Вся измерительная аппаратура, применяемая для учебных и исследовательских целей, представляется в поверочные органы Комитета только в факультативном порядке, т. е. в зависимости от желания организаций и лиц, пользующихся этими приборами.

В связи с отставанием технической базы метрологических институтов и поверочных органов от растущих потребностей науки и техники, а также в связи с необходимостью активизировать деятельность метрологической системы в направлении внедрения в народное хозяйство СССР новейших достижений измерительной техники, в 1955 г. Комитету стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР были предоставлены значительные материальные средства для расширения и укрепления этой системы. Одновременно Комитету, которому с 1954 г. были подчинены метрологические институты и поверочные учреждения, было предложено организовать в краях, областях и республиках, на базе существующих управлений мер и измерительных приборов, 136 государственных контрольных

лабораторий по измерительной технике. В задачи этих лабораторий, кроме контроля за деятельностью заводских лабораторий и КПП, проведения поверок мер и приборов и надзора за измерительной аппаратурой, включены теперь работы по внедрению в производство новейших средств и методов измерений, а также контроль за соблюдением государственных стандартов.

Такова в кратких чертах эволюция форм поверочного дела в нашей стране за последние 40 лет.

3. О некоторых тенденциях в развитии поверочного дела в СССР. Анализируя приведенные выше данные из истории поверочного дела в СССР, нельзя не заметить, что в развитии этого дела за истекшие 40 лет

Рис. 1. Государственная контрольная лаборатория ВНИИ Комитета стандартов, мер и измерительных приборов в г. Москве. Массовые поверки образцовых концевых мер длины на контактных интерферометрах типа ПИУ производства завода «Калибр».

имели место две отчетливо различимые тенденции. Для одной из них характерно стремление вовлечь возможно шире государственную службу мер и приборов в непосредственную работу по проведению массовых поверок рабочих средств измерений, применяемых в различных отраслях народного хозяйства СССР. Тенденция эта, впервые наметившаяся во второй половине 20-х годов, находит свое продолжение в 1934 г. и достигает своей кульминации в 1942—1951 гг. В этот последний период большинство приборов, изготавливаемых и применяемых в СССР, стало представляться для поверки и клеймения в поверочные учреждения Комитета по делам мер и измерительных приборов.

В основе этого направления лежит идея, что единственно надежной системой поддержания единообразия мер и правильности показаний приборов в стране является только такая организация измерительного хозяйства, когда все средства измерений систематически, в установленные сроки, поверяются вневедомственными государственными поверочными органами.

Другое направление, возникшее в 1931—1932 гг., исходило из иных предпосылок. Оно считало, что повседневная правильность мер и приборов не обеспечивается сравнительно редкими обязательными поверками средств измерений в учреждениях государственной службы мер и при-

боров и, вообще говоря, не может быть таким путем обеспечена. Причинами этого являются: многообразие средств измерений и их очень большое количество, разбросанность по множеству объектов, разнообразие условий эксплуатации и необходимость дифференцировать сроки поверок в зависимости от свойств приборов и условий их применения. Централизованное проведение поверок с учетом всех этих факторов невозможно, вследствие чего обязанности по поддержанию мер и приборов в исправном и верном состоянии должны быть возложены на предприятия, изготовляющие и применяющие приборы, которые и должны организовать их поверки. Никакой разницы между поверками, производимыми ведомственными и вневедомственными органами, сторонники данного направления не видели, поскольку и те и другие входят в советскую государственную систему.

Что же касается вневедомственных поверочных органов, т. е. учреждений государственной службы мер и приборов, то их функции должны заключаться в проведении поверок образцовых приборов и в контроле за выполнением предприятиями и организациями их обязанностей по поддержанию средств измерения в исправном и верном состоянии.

Примерно в таком виде эта концепция впервые была изложена летом 1931 г., а в 1932—1933 гг. была сделана неудачная попытка ее практической реализации. Вторично, в измененном виде, она была реализована в 1954 г.

Как бы ни оценивались эти два направления, прежде всего следует отметить, что оба они могли появиться как системы практических мероприятий только в условиях социалистического государства. Ведь, несмотря на различный подход к решению проблемы, обе концепции исходят из одной предпосылки, что государство непосредственно заинтересовано в исправном и верном состоянии всего измерительного хозяйства страны. А такая постановка вопроса возможна только в социалистическом государстве, где все средства производства являются общественной собственностью, а само государство выступает в качестве крупнейшего производителя страны, выражая вместе с тем интересы всего общества.

Подобная постановка вопроса в отношении средств измерений, как и во многих других областях, совершенно немыслима в любом капиталистическом государстве. Никакой парламент буржуазных государств не принял бы законопроекта о введении, например, обязательных государственных поверок пирометров или других аналогичных приборов на капиталистических предприятиях. Даже сама постановка подобного вопроса показалась бы там странной. Ведь здесь речь идет об обеспечении условий для правильного ведения технологических процессов, о предупреждении брака. Но какое непосредственное отношение имеет капиталистическое государство к вопросам ведения технологических процессов на отдельных предприятиях? Все это область «частной инициативы», и вмешательство в эту область государства — да еще по такому поводу — было бы признано совершенно неуместным.

Иное дело у нас. Можно, конечно, спорить о способах, какие лучше могут обеспечить применение на наших заводах только правильных пирометров, но непосредственная заинтересованность нашего государства, являющегося собственником огромного количества предприятий, в нормальном ведении производственных процессов и уменьшении брака, а следовательно, и в применении для контроля наших домен, мартенов и прокатных станов правильных пирометров,— не вызывает сомнения.

Если в капиталистических государствах и существуют обязательные поверки некоторых приборов, то это относится, как правило, только к средствам измерения, которые необходимы для определения количества продаваемых и покупаемых товаров. Разнобой в показаниях этих приборов нарушил бы одно из главных условий нормального товарооборота,

являющегося, как известно, важнейшей основой капиталистического общества в целом. В социалистическом обществе непосредственная заинтересованность государства в развитии средств измерений несравненно шире.

Какими же, однако, практическими недостатками двух изложенных концепций объясняется происходившая у нас в 1934 и 1954 гг. смена направлений в организациях поверочного дела?

Сейчас, т. е. спустя более чем 25 лет, можно утверждать, что неудача, которую потерпела в 1932 г. идея «децентрализации поверочной работы», объясняется отсутствием в то время материально-технической базы и кадров для практического осуществления этой идеи, т. е. преждевременностью ее практической реализации.

Недостаточно декларировать обязанность предприятий обеспечить повседневную правильность приборов. Чтобы все это осуществить на деле, требуются заводские поверочные лаборатории, контрольные пункты и т. п., т. е. прецизионное оборудование, квалифицированные кадры и многое другое. В 1932—1933 гг. на подавляющем большинстве предприятий такого оборудования и кадров не было даже для поверки простейших приборов (весы, гири и т. п.). Поэтому, когда Комитет по стандартизации практически свернул поверки этих приборов в своих учреждениях, они прекратились вообще. Результаты, разумеется, не замедлили сказаться. Кроме того, при проведении реформы 1932 г. совершенно не принимались во внимание экономическая и техническая нецелесообразность организации собственных поверочных органов в целом ряде хозяйственных систем (например, сельская торговля, здравоохранение и др.), тогда как эта сторона дела имеет существенное значение. Все эти обстоятельства и определили неудачу реформы 1932 г.

Что же касается другого направления, как оно сложилось в 1949—1951 гг., т. е. когда обязательные госповерки были распространены на все измерительное хозяйство страны, то наряду с несомненной пользой, которую оно принесло, особенно в первые годы своего существования, самой этой системе организации поверочной работы были присущи очень крупные недостатки. В свете сегодняшнего опыта она представляется нам как крайне грубый и схематичный инструмент для такого развитого в промышленном отношении государства, каким является СССР. Ведь, в сущности, вся эта форма работы являлась попыткой применить старые методы, возникшие в совершенно других условиях, к решению абсолютно несхожей по масштабам задачи. Ясно, что такой подход не мог быть свободен от крупных недостатков, особенно при тех неизбежно ограниченных ресурсах, какими располагал Комитет.

Прежде всего оставалось справедливым то положение, что поверки один раз в два года не могут исключить пользование неправильными приборами, поскольку большая часть измерительной аппаратуры утрачивала необходимую точность до истечения этих сроков. Однако уменьшить стандартные сроки государственных поверок не представлялось возможным, так как даже и при этих сроках поверочная система не могла пропустить через свои лаборатории все подлежащие поверке приборы, число которых неудержимо нарастало. Уже очень скоро стало видно, что технические и людские возможности многих поверочных учреждений Комитета резко отстают от роста приборостроения и увеличения измерительного парка страны. Эта диспропорция привела к тому, что начали применяться различные упрощенные и выборочные поверки, зачастую довольно примитивные по своим методам. Как лучший выход из сложившегося положения началось широкое привлечение к проведению государственных поверок на промышленных предприятиях персонала измерительных лабораторий, контрольно-поверочных пунктов и отделов технического контроля тех самых заводов, для которых эти поверки производились. Очень часто ко-

личество привлекаемых лиц оказывалось во много раз бо́льшим, чем количество персонала поверочных учреждений Комитета. Такого рода практика на деле демонстрировала фактическое отмирание вневедомственных государственных поверок на предприятиях, где имеются собственные органы надзора. Новая форма работы естественно вырастала на месте старой.

Существовавшая система календарного планирования поверок только по территориальному признаку (1—3 месяца на район) создавала на предприятиях данного района обстановку аврала и беспрецедентных «пик» в деятельности ремонтных цехов и мастерских. При недостатке дублирующих приборов некоторые агрегаты, вследствие перегрузки поверочных учреждений и ремонтных организаций, долгое время оставались без средств контроля. Все эти недостатки особенно неприятно выглядели на тех многочисленных предприятиях, где к началу 50-х годов уже имелись собственные ремонтные и поверочные органы, способные вести работу планомерно в течение всего года.

Система государственных поверок и клеймения всех приборов, выпускаемых приборостроительными предприятиями, приводила к ненужному дублированию работы отделов технического контроля в тех случаях, когда эти отделы работали исправно, и к подмене ОТК, где они не были как следует организованы. А так как весь этот порядок поверок снимал значительную часть ответственности с предприятий за качество выпускаемых ими приборов, то в некоторых случаях заводы и не принимали мер к оснащению отделов технического контроля необходимым оборудованием и кадрами.

Наконец, при сложности устройства многих современных приборов и зависимости срока их службы от качества изготовления отдельных деталей и соблюдения специальной технологии (например, технологии старения электрических сопротивлений, магнитов, пружин и т. п.), поверка только готовых приборов, как это осуществлялось органами Комитета, не давала серьезной гарантии их длительной исправной работы, что, разумеется, значительно обесценивало работу этих органов на приборостроительных предприятиях. Эти и ряд других недостатков, свойственных рассматриваемой системе организации поверочных работ, и привели к ее отмене в 1954 г.

Порядок, установленный в 1954 г., воспроизводивший некоторые важные идеи 1931—1932 гг., но на новой, более прочной основе, открыл дорогу для устранения многих крупных недостатков, присущих системе, введенной в 1942 г. Этой новой прочной основой являлись многочисленные измерительные лаборатории, цеха КИП, контрольно-поверочные пункты и другие органы надзора заводов, фабрик, электростанций, научно-исследовательских институтов, число которых к концу 1954 г. составляло несколько тысяч.

4. Научно-технические работы в области прикладной метрологии. К концу 1917 г. в распоряжении поверочных органов был более чем скромный фонд нормативных документов, поверочного оборудования и отечественной технической литературы по вопросам измерительной техники. Современная весьма развитая техническая документация по поверке приборов почти не имела предшественников в дореволюционной России. То же можно сказать и о поверочной аппаратуре.

Так как огромная работа, проведенная в этой области в Советском Союзе, не может быть описана в рамках настоящего очерка, то мы упомянем только некоторые, наиболее существенные факты, относящиеся непосредственно к поверочным органам.

При передаче значения единиц от эталонов до рабочих мер и приборов фундаментальное значение имеет решение задачи о допустимых пределах накопления погрешностей, какое имеет место при последова-

тельном применении в процессе передачи ряда образцовых мер и приборов различной точности. Опубликованная в 1931 г. работа проф. М. Ф. Маликова «К вопросу о накоплении погрешностей при последовательных поверках измерительных приборов» послужила теоретическим фундаментом для развернувшейся в дальнейшем широкой деятельности по разработке поверочных схем для множества поверочных учреждений и заводских измерительных лабораторий. Составление этих схем помогло улучшить организацию измерительного хозяйства на многих предприятиях, располагавших обширным парком измерительных приборов.

Опубликованные в последующие годы труды проф. М. Ф. Маликова «Точные измерения» и «Основы метрологии» являются и в настоящее время основными руководствами для поверочных учреждений во всех важнейших вопросах общей теории измерений.

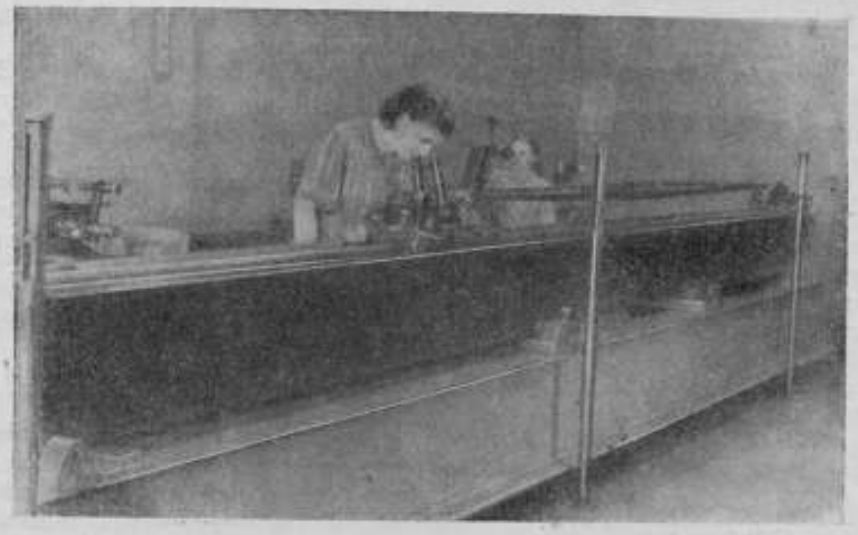


Рис. 2. Измерительная лаборатория Ленинградского металлического завода; 6-метровая измерительная машина.

Большое значение имело опубликование работы проф. В. И. Романовского «Основные задачи теории ошибок», являющейся дальнейшим значительным шагом вперед в области математической обработки результатов измерений.

Нет никакой возможности останавливаться здесь даже на наиболее выдающихся публикациях, относящихся к вопросам технических измерений, конструированию и изготовлению соответствующей измерительной аппаратуры. Достаточно сказать, что если до Октябрьской социалистической революции такой литературы почти не существовало, то в настоящее время мы имеем обширнейшую техническую литературу по всем без исключения отраслям измерений. Одних периодических изданий, систематически освещающих вопросы техники измерений, насчитывается более 10.

Работа по составлению технической документации, определяющей нормы точности и методы поверки приборов, в период 20-х годов не имела большого размаха. Кроме правил об устройстве торговых мер и весов, в этот период были разработаны правила о поверке пружинных манометров, медицинских термометров, ареометров, водомеров, электрических счетчиков. Значительно интенсивнее развернулась эта работа в период 1933—1935 гг., когда за три года было утверждено около 100 различных инструкций и правил. Помимо инструкций на упомянутые выше «тради-

ционные» приборы, разработанные в эти годы, инструкции охватывали поверки многих других средств измерения, как-то: пирометров, точных и технических термометров, тягомеров, динамометров, калибров, машин для испытания материалов, амперметров, вольтметров, ваттметров, угломеров, тахометров и ряда других.

В отличие от аналогичных документов, изданных ранее, инструкции 1933—1935 гг. значительно подробнее нормируют требования к различным элементам измерительных устройств и к способам их поверки. В 1936 г. большинство инструкций, разработанных в указанный период, было собрано и издано в виде сборника. Это был первый сборник такого типа, охватывающий методы поверок широкого перечня измерительных приборов. В этот же период развиваются работы в области стандартизации средств измерений. Кроме стандартов на калибры, создаются общесоюзные стандарты на электрические счетчики, трансформаторы тока, нормальные элементы, образцовые катушки сопротивления, пружинные манометры, пурки и ряд других мер и приборов.

Среди нормативных документов, изданных во второй половине 30-х годов и до начала Великой Отечественной войны, необходимо отметить правила № 169, ОСТ 85000—39 и Сборник инструкций «Контроль средств измерения размеров в машиностроении».

Особенность правил № 169 заключалась в том, что этот обширный документ нормировал, собственно говоря, не правила поверки приборов, а методы измерения расхода газов, пара и воды с помощью дроссельных измерительных устройств. В этом смысле правила № 169 были единственным хорошо разработанным документом подобного типа и эта особенность обеспечила значительный интерес к данным правилам в широких технических кругах. Автору статьи пришлось случайно наблюдать, что через много лет после издания «Правил № 169» в библиотеке ЦКТИ существовала запись на очередь за получением этих «Правил».

ОСТ 85000—39 нормировал технические требования к изготовлению и условиям поверки плоскопараллельных концевых мер длины. Как известно, эти меры являются основой точных измерений размеров в машиностроении, вследствие чего получили широчайшее распространение в современной промышленности. Первый вариант проекта этого ОСТ, разработанный в калибровой лаборатории Ленинградского управления мер и весов, был подвергнут тщательной обработке в особой комиссии Главного управления мер и весов из ведущих специалистов ГУМВ, ВНИИМ, ХГИМИП и Ленинградского управления. Созданный на основе этой работы документ оказался настолько жизненным, что действует без изменений уже на протяжении 18 лет.

Сборник инструкций «Контроль средств измерения размеров в машиностроении», изданный в 1941 г., охватил методы поверки всех важнейших универсальных средств измерения размеров в машиностроении и в том числе оптических измерительных приборов. Этот сборник, пересмотренный и существенно дополненный в 1948 г., является и в настоящее время руководящим документом для множества заводских измерительных лабораторий.

Существенно отметить, что ОСТ 85000—39 и сборник «Контроль средств измерения в машиностроении» содержат первые по времени материалы и методические указания по выбору и назначению средств измерений для производственных целей. К сожалению эта практика, весьма важная для работников производства, не нашла должного развития в других документах.

Интенсивная работа по созданию и пересмотру нормативных документов по поверке приборов, начатая в 30-х годах, в дальнейшем продолжалась. Некоторый спад, наметившийся в конце 40-х годов, был ликвидирован подъемом в 1953 г. и в последующие годы. К 1957 г. у нас дей-

ствовало около 225 поверочных инструкций и более 250 государственных стандартов на различные средства измерения, начиная от простых торговых мер и кончая сложнейшими современными средствами автоматического контроля. Значительная часть этих документов создана или пересмотрена после окончания Великой Отечественной войны.

Как отмечено выше, трудную задачу по разработке и организации производства образцовых мер, приборов и другого поверочного оборудования Советскому государству пришлось решать заново, так как в дореволюционной России оно по существу отсутствовало.

Среди ряда заводов и конструкторских организаций, решавших эту задачу, особое место принадлежит ленинградскому заводу «Эталон». Это небольшое предприятие, возникшее на базе экспериментальных мастерских Главной Палаты мер и весов, оказалось пионером в разработке и постановке на производство многих важнейших средств поверки. Ленинградский завод «Эталон» первым в Советском Союзе начал производство лабораторных компенсаторов, столь необходимых для поверки электрических мер, электроизмерительных приборов высоких классов точности, термопар и многих других приборов. За истекшие годы заводом «Эталон» был разработан и выпущен целый ряд моделей высокоомных и низкоомных компенсаторов. Завод «Эталон», работники его конструкторского бюро и центральной заводской лаборатории создали за эти годы большое число различных установок для массовых поверок и приборов, некоторые из которых отличаются высокими достоинствами. Среди такого оборудования, разработанного на заводе «Эталон», необходимо отметить установку УМПТ для поверки мер емкости и индуктивности, установку для массовых поверок электроизмерительных приборов класса 0,5 и выше, ряд моделей образцовых температурных ламп, установки для поверки термопар, термометров сопротивления, оптических и радиационных пирометров, установку для поверки электрических счетчиков, образцовые микровесы, стабилизированные выпрямители и ряд других устройств.

В ряду поверочных средств, разработанных в лабораториях ВНИИМ и широко применяющихся в поверочных лабораториях, отметим: образцовые катушки сопротивления, ряд моделей образцовых грузовых манометров (И-600, И-2500 и др.), установку для поверки электроизмерительных приборов на переменном токе частотой до 20 *кгц*, установку для поверки частотоизмерительных приборов при частоте до 25 *Мгц*, образцовый строботахометр для поверки тахометров и счетчиков оборотов, несколько моделей микроманометров и ряд других.

Существенный вклад в разработку поверочных устройств внес Харьковский государственный институт мер и измерительных приборов, разработавший несколько моделей образцовых оптических пирометров, установку для поверки радиационных пирометров до 1800°С, ряд термостатов для поверки термометров в широком диапазоне температур, образцовые делители напряжения для поверки генераторов стандартных сигналов и некоторые другие устройства.

Большая работа была проведена в Горьковском управлении мер и приборов по разработке динамометров. Наконец, рижский завод «Эталон» обеспечивает поверочные лаборатории образцовыми весами, гирями и рядом других приборов. Что же касается предприятий и организаций, не входящих в систему Комитета, то наибольшую роль в оснащении измерительных лабораторий поверочным оборудованием играли: ленинградский оптико-механический завод «ГОМЗ», заводы «Красный инструментальщик» и «Калибр», заводы «Вибратор», «Точэлектроприбор» и Краснодарский завод «ЗИП», московский завод «Манометр».

Завод «ГОМЗ» обеспечивает измерительные лаборатории нашей страны оптическими приборами, необходимыми для контроля средств измерений, применяемых в машиностроении (оптиметрами, изме-

рительными машинами, компараторами, универсальными микроскопами и др.). На заводе «Красный инструментальщик» впервые в Советском Союзе было организовано массовое производство плоскопараллельных концевых мер длины. Заводы «Вибратор» и «Точэлектроприбор» обеспечивают наши измерительные лаборатории различными показывающими приборами классов 0,1 ÷ 0,5. Краснодарский завод «ЗИП» изготавливает лабораторные компенсаторы и мосты высоких классов точности, среди которых необходимо особо отметить полуавтоматический компенсатор типа Р-2, специально приспособленный для поверочных работ. Наконец, московский завод «Манометр» обеспечивает лаборатории образцовыми пружинными манометрами.

Таким образом, на пустом месте, каким было в царской России изготовление прецизионного оборудования, за годы Советской власти выросло значительное производство средств поверки приборов. Но хотя оно и очень велико по сравнению с прежними годами, нас оно уже не удовлетворяет, так как еще быстрее росли технические потребности поверочной работы.

5. Выводы. Получив в наследство от дореволюционной России 22 плохо оснащенных поверочных учреждения, Советское государство за 40 лет создало широко разветвленную сеть государственных контрольных лабораторий по измерительной технике и заводских измерительных лабораторий. К началу 1957 г. общее число ведомственных и междуведомственных поверочных органов превысило 3200, т. е. за 40 лет увеличилось более чем в 140 раз. Несравнимо возросла техническая компетенция и улучшилось оборудование контрольных лабораторий. В отличие от дореволюционных поверочных учреждений, поверявших только простейшие меры и приборы, современные государственные лаборатории по измерительной технике контролируют производство и применение самых разнообразных современных средств измерений, используемых в народном хозяйстве СССР.

В сложном ходе своего развития эти учреждения накопили громадный опыт в области организации измерительного дела, и этот опыт необходимо возможно полнее использовать для внедрения в производство новейших средств и методов измерений, так же как для решения многих других вопросов, связанных с рациональным ведением измерительного хозяйства. Бурный рост потребностей современного производства в средствах измерения требует найти не только технически правильные, но и экономически наиболее целесообразные способы ведения этого огромного хозяйства, так как даже самые грубые подсчеты показывают, что на пополнение и содержание уже имеющегося парка приборов наше государство ежегодно расходует огромные средства.

Порядок государственного надзора, выработанный в 1953—1954 гг., открыл заводам широкие возможности в выборе наиболее разумных и экономных форм контроля и организации своего измерительного хозяйства. Правда, нередки еще случаи, когда государственные контрольные лаборатории без существенных оснований отказывают предприятиям в праве производить обязательные поверки рабочих приборов в своих заводских лабораториях, не доставляя их в госповерку. Но эти рецидивы методов 1942—1952 гг. ничего здорового под собой не имеют, а поэтому несомненно будут изжиты. Больше того, сейчас возникает вопрос о необходимости сделать эластичнее самую систему сроков проведения обязательных поверок. Эта точка зрения вытекает из известных соображений о важности увязки сроков поверок с назначением, условиями эксплуатации и индивидуальными свойствами приборов. При правильном подходе к решению данного вопроса такого рода практика может помочь ликвидировать ряд ненужных работ и усилить контроль на наиболее ответственных участках.

Фундаментальной задачей в области снижения издержек на содержание измерительного парка является значительно более интенсивное и целеустремленное развертывание работ по увеличению стабильности и надежности выпускаемой нашей промышленностью измерительной аппаратуры. Здесь возможности, предоставляемые современной техникой, во многих случаях далеко еще не используются.

Перестройка управления промышленностью и организация административных экономических районов открывают совершенно новые перспективы в отношении возможностей кооперирования при проведении работ по поверке многих средств измерения. Одновременно возникает вопрос о создании в пределах экономических районов крупных баз по ремонту измерительных приборов, поскольку существующая система ремонта в мелких полукустарных и кустарных мастерских неизбежно связана с большими, не оправданными в современных условиях, расходами на ремонт приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Временник Главной Палаты мер и весов, чч. I—II, 1894—1915.
2. Сто лет государственной службы мер и весов в СССР, ОГИЗ, 1945.
3. Леонов Б. М. и Чуркин А. А., Справочник по мерам и весам, Каталогиздат, 1939.
4. Тиходеев П. М., Очерки об исходных измерениях, Машгиз, 1954.

СОДЕРЖАНИЕ

26

Редактор И. Л. Якубович Техн. редактор М. А. Кондратьева

Корректоры: Н. В. Гераськина, Л. А. Могилевцева

Т—02493. Стандартгиз. Подп. к печ. 17/III 1958 г. 11 п. л. +1 вклейка 0,25. Тираж 1000

Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6. Зак. 3412

ОПЕЧАТКИ

Страница	В каком месте	Напечатано	Должно быть
37	31 строка снизу	Верхмин	Ферхмин
63	14 строка снизу	$(2 \div 3) \cdot 10^{-}$	$(2 \div 3) \cdot 10^{-6}$
64	Таблица 1, 2 строка	Англи	Англия
95	29 строка сверху	10^{-1} *вт*	10^{-14} *вт*
145	Подпись к рис. 3 3 строка	фальгой	фольгой
160	28 строка сверху	Вси	Все

Метрологические работы за 40 лет. Стандартгиз, Москва—Ленинград, 1958

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор И. Л. Якубович Техн. редактор М. А. Кондратьева

Корректоры: Н. В. Гераськина, Л. А. Могилевцева

Т—02493. Стандартгиз. Подп. к печ. 17/III 1958 г. 11 п. л. +1 вклейка 0,25. Тираж 1000

Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6. Зак. 3412

Цена 5 р. 65 к.