

Ленинск.



ВСЕСОЮЗНЫЙ КОМИТЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ
ПРИ СОВЕТЕ ТРУДА И ОБОРОНЫ

1932 г.—Выпуск 1 (17)

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ



ТРУДЫ

Всесоюзного Научно-исследовательского
Института метрологии и стандартизации

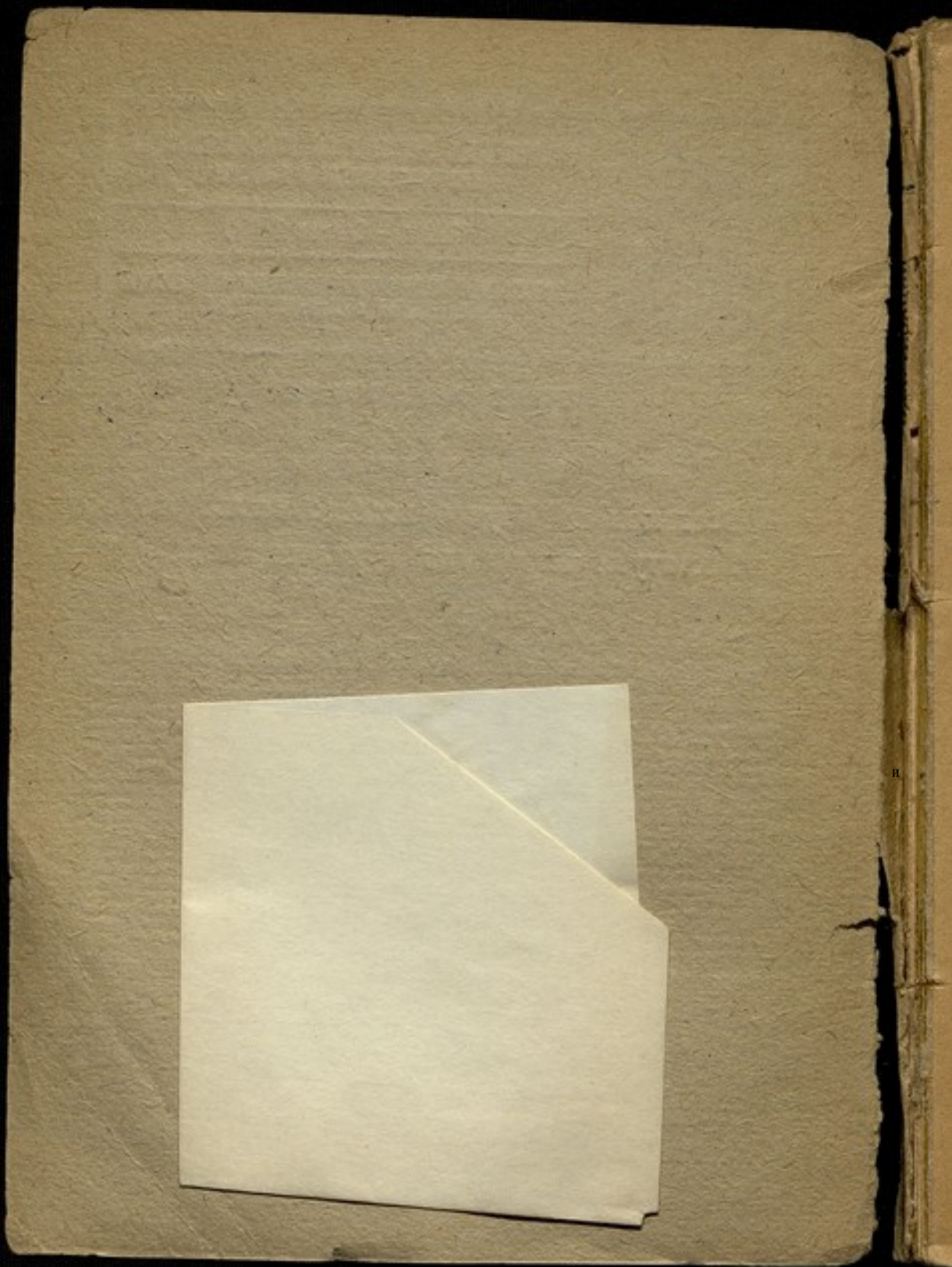
Выпуск 1 (17)

Travaux de l'Institut de Métrologie et Standardisation de l'U.R.S.S

Содержание:—Е. Г. Шрамков. Методы и аппаратура для магнитных измерений в научно-исследовательских лабораториях Германии.—Н. И. Спиридович. К установлению эталона напряженности магнитного поля. Эталоны катушка «Н». —В. М. Яновский. К вопросу об установлении эталонов магнитного момента в абсолютных единицах.—В. М. Яновский и Н. И. Спиридович. Магнитные наблюдения, произведенные летом 1929 г. в районе Южного Урала и Казахстана.—М. Ф. Маликов. Сравнение эталонных катушек электрического сопротивления в Главной Палате и в Центральной Электрической Лаборатории в Париже в 1930 г.—С. В. Горбачевич. Исследования магнитных полей и вихревых токов в индукционных счетчиках.—Петролов: В. В. Мечников.

Sommaire—E. G. Chramkov. Méthodes et appareils des mesures magnétiques aux laboratoires des recherches scientifiques de l'Allemagne.—N. I. Spiridovitch. Etablissement de l'étalon de l'intensité du champ magnétique. Etalonnage de la bobine «H». —V. M. Janovsky. Sur l'établissement des étalons du moment magnétique en unités absolues.—V. M. Janovsky et N. I. Spiridovitch. Observations magnétiques faites en été de 1929 dans la région de l'Oural Méridional et de Kasakstan.—M. F. Malikov. Comparaisons des bobines-étalons de résistance électrique faites à la Chambre Centrale des Poids et Mesures et au Laboratoire Central d'Electricité en 1930.—S. V. Gorbatzevitch. Recherches sur les champs magnétiques et sur les courants de Foucault dans les compteurs à induction.—Nécrologie. V. V. Metchnikov.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ
ЛЕНИНГРАД 1 9 3 2 МОСКВА





ВСЕСОЮЗНЫЙ КОМИТЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ
ПРИ СОВЕТЕ ТРУДА И ОБОРОНЫ

1932 г.—Выпуск 1 (17)

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ



ТРУДЫ

Всесоюзного Научно-исследовательского
Института метрологии и стандартизации

Выпуск 1 (17)

Travaux de l'Institut de Métrologie et Standardisation de l'U.R.S.S

Содержание.—Е. Г. Шрамков. Методы и аппаратура для магнитных измерений в научно-исследовательских лабораториях Германии.—Н. И. Спиридович. К установлению эталона напряженности магнитного поля. Эталонная катушка «НГ».—Б. М. Яновский. К вопросу об установлении эталонов магнитного момента в абсолютных единицах.—Б. М. Яновский и Н. И. Спиридович. Магнитные наблюдения, произведенные летом 1929 г. в районе Южного Урала и Казакстана.—М. Ф. Маликов. Сравнение эталонных катушек электрического сопротивления в Главной Палате и в Центральной Электрической Лаборатории в Париже в 1930 г.—С. В. Горбатевич. Исследование магнитных полей и вихревых токов в индукционных счетчиках.—Некролог: В. В. Мечников.

Sommaire.—E. G. Chramkov. Méthodes et appareils des mesures magnétiques aux laboratoires des recherches scientifiques de l'Allemagne.—N. I. Spiridovitch. Etablissement de l'étalon de l'intensité du champ magnétique. Etalonnage de la bobine «НГ».—B. M. Janovsky. Sur l'établissement des étalons du moment magnétique en unités absolues.—B. N. Janovsky et N. I. Spiridovitch. Observations magnétiques faites en été de 1929 dans la région de l'Oural Méridional et de Kasakstan.—M. F. Malikov. Comparaisons des bobines-étalons de résistance électrique faites à la Chambre Centrale des Poids et Mesures et au Laboratoire Central d'Electricité en 1930.—S. V. Gorbatzevitch. Recherches sur les champs magnétiques et sur les courants de Foucault dans les compteurs à induction.—Nécrologe. V. V. Metchnikov.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ
ЛЕНИНГРАД 1 9 3 2 МОСКВА

В связи с преобразованием Главной Палаты мер и весов во Всесоюзный научно-исследовательский Институт метрологии и стандартизации (ВИМС), вместо „Временника Главной Палаты мер и весов“ будут выходить „Труды Всесоюзного научно-исследовательского Института метрологии и стандартизации“.

Являясь, подобно „Временнику“, органом научной метрологии, „Труды“ ВИМСа будут содержать: 1) статьи по научной метрологии, 2) отчеты об исследованиях, производимых в лабораториях ВИМСа, и 3) обзоры по вопросам научной метрологии.

Двойная нумерация „Трудов“ ВИМСа указывает: текущий номер „Трудов“ и, в скобках, последовательный номер, считая с первого номера „Временника“, основанного Д. И. Менделеевым в 1894 г.

Настоящий выпуск содержит статьи, сданные в печать еще до преобразования Главной Палаты; никаких изменений, вызванных преобразованием, в эти статьи не внесено.

Редакционная Коллегия ВИМСа.

Par suite de la réorganisation de la Chambre Centrale des poids et mesures de l'URSS en Institut de métrologie et standardisation de l'URSS, le «Wrémennik de la Chambre Centrale des poids et mesures» paraîtra dorénavant sous le titre «Travaux de l'Institut de métrologie et standardisation de l'URSS».

Le double numérotage des «Travaux» veut indiquer le numéro courant des «Travaux» et, en parenthèses, le numéro successif à partir du premier numéro du «Wrémennik» fondé par D. I. Mendeleev en 1894.

La présente livraison contient des articles livrés à l'impression avant la réorganisation de la Chambre Centrale; aucuns changements n'y sont introduits qui résultent de cette réorganisation.

Comité de Rédaction de l'Institut de métrologie et standardisation de l'URSS.

МЕТОДЫ И АППАРАТУРА ДЛЯ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЛАБОРАТОРИЯХ ГЕРМАНИИ ¹

Е. Г. Шрамков

Настоящая работа является результатом личного ознакомления и подробного изучения вопросов, касающихся методов магнитных измерений и оборудования для них в наиболее крупных в этой области научно-исследовательских лабораториях Германии. К таким лабораториям можно отнести магнитную лабораторию Physikalisch-Technische Reichsanstalt, лабораторию Сименса (Forschungslaboratorium), лабораторию заводов Круппа. Остальные лаборатории, занимающиеся магнитными измерениями, в большинстве случаев носят узко-специальный заводской характер и с точки зрения метрологической представляют меньший интерес.

Рассматриваемые ниже методы и оборудование касаются преимущественно вопросов, имеющих наибольший метрологический интерес или же актуальное практическое значение как в области научных исследований, так и в приложении к промышленным задачам.

1. Приборы, воспроизводящие основные магнитные единицы

В строго метрологическом смысле эталонов основных магнитных единиц, магнитного потока и напряженности магнитного поля в Германии нет. В значительной степени это объясняется тем обстоятельством, что требования, предъявляемые к магнитным измерениям, до последнего времени были весьма умеренными и не претендовали на высокую точность, которая необходима, в частности, для электрических измерений. Одной из причин того, что до сего времени нет твердо установленных эталонов, воспроизводящих магнитные единицы, следует считать недостаточную совершенную методику магнитных измерений (исключая измерений земного магнитного поля), не обеспечивающую высокую метрологическую точность.

Описываемые ниже приборы, воспроизводящие магнитные единицы—магнитный поток и напряженность магнитного поля,—имеющиеся в Магнитной лаборатории Physikalisch-Technische Reichsanstalt (P. T. R.), в силу высказанных выше соображений, относятся к разряду лишь образцовых приборов.

¹ Из отчета о заграничной командировке в Германию в 1928—29 г.

Нормальная катушка магнитного потока. В качестве прибора, воспроизводящего магнитный поток, служит прямолинейный цилиндрический соленоид с однослойной обмоткой (первичная обмотка) и вторичной—навитой в средней части соленоида, поверх первичной обмотки.

Остов соленоида—мраморный сплошной цилиндр. Поверхность цилиндра тщательно обточена с максимальной возможной точностью и на ней нанесена нарезка, служащая для укладки обмотки. Внутренний диаметр и шаг нарезки точно измерены перед намоткой. Обмотка выполнена из голой медной проволоки в 1 мм, уложенной по канавкам нарезки. Концы обмотки выведены к зажимам, укрепленным на фланцах по обоим концам катушки. На соленоид в средней его части, на протяжении около 4 см, надета вторичная катушка, плотно охватывающая первичную обмотку. Данные нормальной катушки: длина соленоида $l = 82,5$ см, средний радиус первичной обмотки $r_1 = 2,421$ см, число витков первичной обмотки $n_1 = 825$, число витков вторичной обмотки $n_2 = 1290$.

Расчет магнитного потока производится исходя из геометрических размеров первичной обмотки и силы тока.

Напряженность магнитного поля на оси, создаваемая однослойной первичной обмоткой, на 1 ампер силы тока рассчитывают по формуле:

$$H_x = 0,2 \pi n_1 \left[\frac{x+b}{\sqrt{r_1^2 + (x+b)^2}} - \frac{x-b}{\sqrt{r_1^2 - (x-b)^2}} \right] \dots \dots (1)$$

где n_1 —число витков первичной обмотки, r_1 —средний радиус первичной обмотки в сантиметрах, b —половина длины первичной обмотки в сантиметрах и x —расстояние точки, для которой определяют напряженность поля, от центра соленоида.

Магнитный поток, создаваемый первичной обмоткой, определяется:

$$\Phi = H_x s_1 I_1,$$

где s_1 —среднее сечение первичной обмотки в кв. сантиметрах и I_1 —сила тока в первичной обмотке в амперах.

Описанная катушка является основным нормальным прибором для воспроизведения магнитного потока. По данным лаборатории точность воспроизведения единицы магнитного потока при помощи такой катушки порядка 0,1%. Катушка применяется для периодических (примерно один раз в год) контрольных поверок так называемого магнитного эталона (см. ниже), применяемого в свою очередь для текущих градуировок баллистических гальванометров.

Нормальная катушка магнитного поля. В качестве образцовой катушки магнитного поля служит пустотелый прямолинейный соленоид с однослойной обмоткой. Пустотелая стеклянная трубка плотно вставлена в эбонитовую трубу такой же длины, как и стеклянная. Наружная поверхность эбонитовой трубы тщательно обточена и снабжена нарезкой для укладки обмотки. Обмотка выполнена из голой медной проволоки. Данные катушки: длина соленоида $l = 78,4$ см, полное число витков $n_1 = 784$, средний радиус обмотки $r_1 = 1,832$ см.

Величина напряженности магнитного поля внутри соленоида определена двумя способами. По геометрическим размерам катушки, тщательно измеренным, вычислена напряженность магнитного поля на 1 ампер силы тока в обмотке по формуле (1) для центра соленоида. Помимо этого, произведено экспериментальное сравнение с мраморной катушкой магнитного потока (описанной выше), которая служит в лаборатории Р. Т. Р. в качестве, так сказать, основного рабочего эталона. Сравнение произведено следующим образом.

Эбонитовая катушка снабжена вторичной обмоткой, плотно охватывающей первичную в центральной части на протяжении около 4 см. Число витков вторичной обмотки $n_2 = 1328$.

Баллистический гальванометр включают последовательно со вторичной обмоткой мраморной катушки и с некоторым сопротивлением, подобранным так, чтобы общее сопротивление, на которое замкнут гальванометр, было близким к критическому. В первичной обмотке устанавливают некоторую силу тока I_1 . Измерение силы тока производят потенциометром. Переключая направление тока в первичной обмотке, наблюдают отклонение гальванометра α . Изменение магнитного потока, сцепляющегося со вторичной обмоткой мраморной катушки, $\Delta \Phi_m$, определяется соотношением:

$$\Delta \Phi_m = C \cdot \alpha,$$

где C — постоянная гальванометра в максвеллах на одно деление шкалы.

Изменение потока $\Delta \Phi_m$ вычисляют по геометрическим размерам первичной обмотки катушки, числу витков вторичной катушки и силе тока в первичной обмотке, а именно:

$$\Delta \Phi_m = 2 H_m s_1 n_2 I_1,$$

где H_m — напряженность магнитного поля, создаваемого катушкой в центре, в эрстедах.

Далее мраморную катушку заменяют эбонитовой. Сопротивление цепи, на которое замыкается гальванометр, устанавливают то же самое, что и в опыте с мраморной катушкой. При

некоторой силе тока I_1' в первичной обмотке эбонитовой катушки наблюдают отклонение гальванометра, переключая направление тока. Тогда изменение потока, сцепляющегося со вторичной обмоткой эбонитовой катушки:

$$\Delta \Phi_e = C \beta,$$

где β — отклонение гальванометра.

Изменение потока $\Delta \Phi_e$ можно представить следующим соотношением:

$$\Delta \Phi_e = 2 H_e s_1^1 n_2^1 I_1',$$

где H_e — напряженность магнитного поля, создаваемого первичной обмоткой в центре катушки, в эрстедах на 1 ампер силы тока в обмотке, s_1^1 — среднее сечение первичной обмотки в кв. сантиметрах, n_2^1 — число витков вторичной обмотки и I_1' — сила тока в первичной обмотке в амперах.

Из вышеприведенных соотношений следует:

$$2 H_e s_1^1 n_2^1 I_1' = C \beta,$$

так как:

$$C = \frac{2 H_m s_1 n_2 I_1}{\alpha}$$

(из наблюдений с мраморной катушкой), то:

$$2 H_e s_1^1 n_2^1 I_1' = 2 H_m s_1 n_2 I_1 \cdot \frac{\beta}{\alpha}.$$

Отсюда напряженность магнитного поля эбонитовой катушки на 1 ампер силы тока в первичной обмотке:

$$H_e = \frac{H_m s_1 n_2 I_1}{s_1^1 n_2^1 I_1'} \cdot \frac{\beta}{\alpha}.$$

Напряженность магнитного поля, создаваемую мраморной катушкой, H_m вычисляют, как указано выше, из геометрических размеров катушки по формуле (1). Силу тока в обоих случаях берут одинаковой, $I_1 = I_1'$, и измеряют потенциометром.

Результаты экспериментального определения напряженности поля эбонитовой катушки путем сравнения с мраморной катушкой, по данным лаборатории Р. Т. Р., совпадают с точностью 0,1% с вычисленными по геометрическим размерам катушки.

Помимо основной нормальной катушки магнитного поля лаборатория Р. Т. Р. имеет еще несколько пустотелых прямолинейных соленоидов с многослойными обмотками. Постоянные этих соленоидов определены путем сравнения с основной катушкой.

Магнитный эталон. Общий вид магнитного эталона представлен на рис. 1. Латунная трубка AB , укрепленная на двух

деревянных стойках, содержит два цилиндрических постоянных магнита. Магниты прочно укреплены в средней части трубки и расположены в стык одноименными полюсами. По трубке может передвигаться катушка *CD*, соединенная с гальванометром. Если катушку быстро сдвинуть с одного конца трубки на другой, в обмотке будет индуцироваться электродвижущая сила, которая вызовет отклонение гальванометра. Магнитный

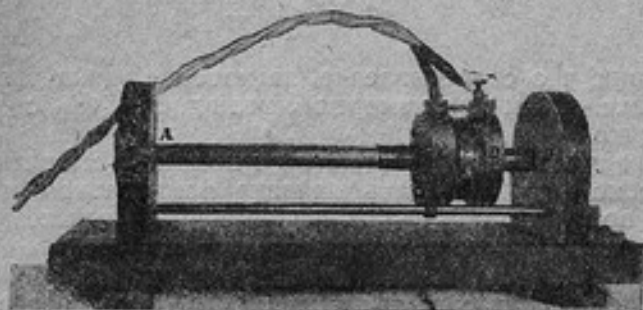


Рис. 1.

эталон применяется для текущих градуировок баллистических гальванометров. Предварительно однако необходимо прокалибровать сам магнитный эталон при помощи нормальной катушки магнитного потока, описанной выше. Первичную обмотку нормальной катушки включают в цепь постоянного тока. Вторичную обмотку этой катушки последовательно с катушкой магнитного эталона замыкают на баллистический гальванометр.

Если при переключении тока в первичной обмотке нормальной катушки отклонение гальванометра, замкнутого на вторичную обмотку, получилось α , то постоянная гальванометра, выраженная в единицах магнитного потока (максвеллах) на одно деление:

$$C = \frac{\Delta \Phi_m}{\alpha}$$

Изменение потока $\Delta \Phi_m$, сцепляющегося со вторичной обмоткой, вычисляют, как указано выше, по геометрическим размерам нормальной катушки, силе тока в первичной обмотке и числу витков вторичной обмотки. Затем наблюдают отклонение, полученное с магнитным эталоном при перемещении его катушки с одного конца на другой. Допустим, что в этом случае получено отклонение β . Тогда изменение потока, сцепляющегося с обмоткой магнитного эталона:

$$\Delta \Phi_{et} = C \beta = \Delta \Phi_m \frac{\beta}{\alpha}$$

Подобные измерения с нормальной катушкой и с магнитным эталоном производят периодически один-два раза в год. Для градуировки же гальванометра пользуются обычно магнитным эталоном. Допустим, что при перемещении катушки магнитного эталона, замкнутого на гальванометр, получено отклонение β^1 . Тогда постоянная гальванометра в максвеллах:

$$C = \frac{\Delta \Phi_m \beta}{\alpha \beta^1}$$

при условии, что сопротивление, на которое замкнут гальванометр, то же, что и при измерении величины $\Delta \Phi_{et}$ с нормальной катушкой.

При градуировке гальванометра с помощью магнитного эталона необходимо учитывать влияние температуры и вносить обычную поправку, обусловленную температурным коэффициентом магнитов, заключенных в магнитном эталоне.

Постоянная гальванометра, определенная вышеуказанным методом, действительна лишь для данного сопротивления, на которое замкнут гальванометр.

Применение нормальных катушек. Нормальная катушка магнитного потока служит, как указывалось выше, для градуировки баллистических гальванометров.

Нормальная катушка магнитного поля, а также многослойные соленоиды применяются для определения постоянных (произведение сечения обмотки на число витков) измерительных катушек.

Градулируемую катушку помещают внутрь пустотелого соленоида так, чтобы витки ее обмотки были строго коаксиальны с витками соленоида. Проводники, идущие от обмотки градулируемой катушки, тщательно перевивают и присоединяют к баллистическому гальванометру. В первичной обмотке соленоида устанавливают некоторую силу тока I . Переключая направление тока, наблюдают отклонение гальванометра, некоторое α . Тогда искомая постоянная градулируемой катушки sn определяется по формуле:

$$sn = \frac{C \alpha}{2 H}$$

где s —сечение обмотки в кв. сантиметрах; n —число витков градулируемой катушки, H —напряженность поля, создаваемая соленоидом (вычисление напряженности поля см. выше) для данной силы тока I ($H = k \cdot I$, где k —постоянная соленоида) и C —постоянная гальванометра в максвеллах на одно деление шкалы для определенного сопротивления, на которое замкнут гальванометр.

2. Приборы и установки для размагничивания образцов магнитных материалов

Одним из весьма существенных вопросов в технике магнитных измерений является вопрос о размагничивании испытуемых образцов. Для некоторых измерений, как, например, определения начальной проницаемости, степень полноты размагничивания образца приобретает особенно важное значение и непосредственно сказывается на результатах. Чем лучше размагничены образец, тем надежнее измерения проницаемости.

Для размагничивания образцов применяют два способа: при помощи постоянного тока или на переменном токе. Размагничивание постоянным током осуществляется путем переключения направления тока в катушке с образцом с постепенным плавным уменьшением силы тока до нуля. Выполнение такой установки, которая позволила бы осуществить совершенно плавное, без скачков, уменьшение силы тока до нуля при одновременном переключении направления тока, связано с большими конструктивными затруднениями и не разрешает вполне поставленной задачи. В виду этого в тех случаях, где необходимо возможно полное размагничивание образцов, прибегают к переменному току.

Основное требование, предъявляемое ко всякому устройству для размагничивания, — возможность получить плавное, непрерывное убывание силы тока до нуля с одновременным постоянным изменением его направления. В процессе этого убывания не должно быть скачков и повышений силы тока; степень убывания тока должна быть по возможности постоянной и не слишком резкой.

Из приборов для размагничивания на переменном токе следует отметить два: один — конструкции лаборатории Р. Т. Р., другой — лаборатории Сименса (Forschungslaboratorium).

Лаборатория Р. Т. Р. имеет два прибора, несколько отличных по конструкции. Более старая конструкция мало удовлетворительна и рекомендовать ее не приходится. Подробно этот прибор описан в книге E. Gumlich, *Leitfaden der magnetischen Messungen*, изд. 1918 г., стр. 28—30. Эта конструкция прибора имеет тот недостаток, что в процессе изменения силы тока вначале наблюдается некоторое повышение силы тока, а также недостаточно равномерная степень убывания силы тока, вначале более медленная, а затем резкое уменьшение.

Последняя конструкция прибора Р. Т. Р. дает лучшие результаты. На рис. 2 представлен общий вид такого прибора. Внутри неподвижной первичной катушки А помещен железный сердечник *Р*, скрепленный с нижним железным кольцом. Нижнее и верхнее железные кольца скреплены между собой

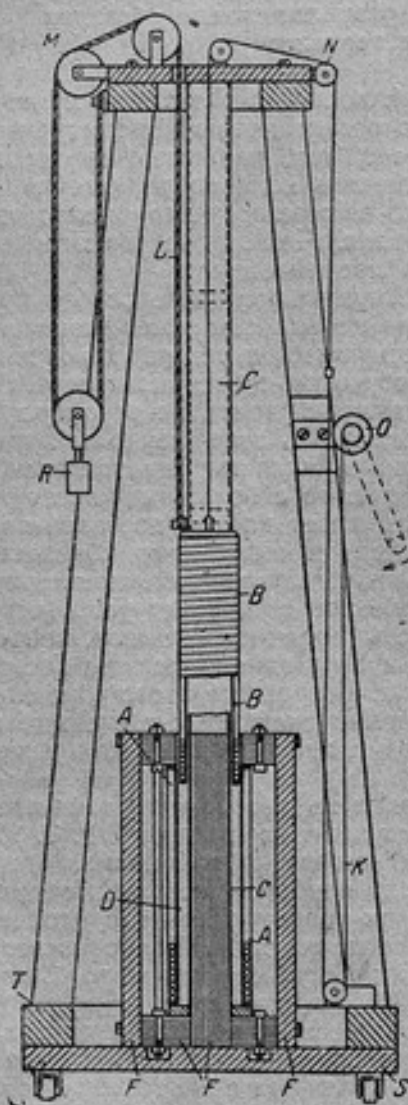


Рис. 2.

величину силы тока можно регулировать, изменяя сопротивление в цепи первичной катушки. Установив по амперметру некоторую силу тока во вторичной цепи, медленно поднимают

вертикальными железными стойками. Благодаря такому устройству магнитная цепь получается почти замкнутой. Все железные части, за исключением крепительных стоек, выполнены из листовой электротехнической стали. Между центральным сердечником *F* и первичной катушкой *A* имеется кольцевой воздушный зазор *D*, сквозь который может перемещаться вторичная пустотелая катушка *B*. Перемещение катушки *B* осуществляется при помощи тяг и блоков от руки. В качестве направляющей для этой катушки служит латунная труба *C*. Все устройство укреплено на деревянной подставке *S*. Схема включения прибора для размагничивания представлена на рис. 3 (на рисунке: *НК*—намагничивающая катушка, *ПР*—прибор для размагничивания).

Вторичную катушку прибора через амперметр соединяют с намагничивающей катушкой, в которой находится образец. Вначале вторичную катушку опускают внутрь первичной. Первичную катушку *A* включают в цепь переменного тока 50 герц. Благодаря взаимной электромагнитной связи обоих обмоток во вторичной индуцируется электродвижущая сила, обуславливающая некоторую силу тока во вторичной цепи. Максимальную

вторичную катушку. В этом случае сила тока в во вторичной цепи постепенно плавно убывает и при достаточной высоте подъема вторичной катушки можно уменьшить силу тока до бесконечно малой величины.

На том же принципе взаимной электромагнитной связи двух обмоток основан прибор для размагничивания в лаборатории Сименса. Главные детали прибора: две катушки с железными сердечниками, из которых одна может перемещаться в горизонтальном направлении относительно другой. Схематическое устройство прибора показано на рис. 4. Перемещение верхней катушки *B* производится мотором, при помощи специального приспособления. Имеется автоматическое устройство, останавливающее движение катушки *B* при достаточном удалении ее от катушки *A*. Катушка *A*, питаемая переменным током от сети, соединяется с намагничивающей катушкой, в которой находится образец. При постепенном удалении катушки *B* от неподвижной катушки *A*, сила тока, индуктируемая в обмотке катушки *B*, постепенно убывает до нуля при достаточном удалении обеих катушек друг от друга.

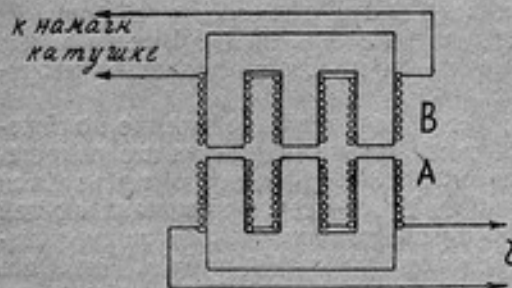


Рис. 4

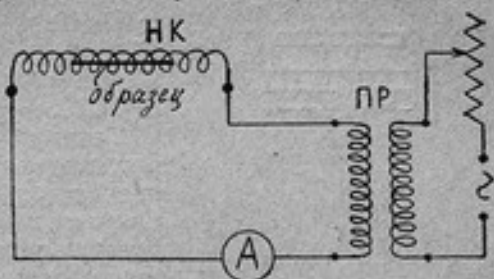


Рис. 3

катушки *B* от неподвижной катушки *A*, сила тока, индуктируемая в обмотке катушки *B*, постепенно убывает до нуля при достаточном удалении обеих катушек друг от друга.

3. Магнитометрические измерения Physikalisch-Technische Reichsanstalt

Магнитометрические измерения в лаборатории Р. Т. Р. производят на магнитометре Кольрауша и Хольборна. Магнитометр астатический, благодаря чему влияние внешних магнитных полей значительно ослаблено. На рис. 5 представлена основная деталь магнитометра—подвес с двумя магнитами, успокоительная коробка для нижнего магнита и крепительное устройство. На рис. 6 изображен общий вид магнитометрической установки со скамьей и двумя катушками, из которых одна

служит для намагничивания испытуемого образца, другая — компенсационная. Подробное описание магнитометра дано в статье F. Kohlrausch und L. Holborn «Ueber ein störungsfreies Torsionsmagnetometer»; Ann. d. Phys. т. 10, 1903 г., стр. 287.

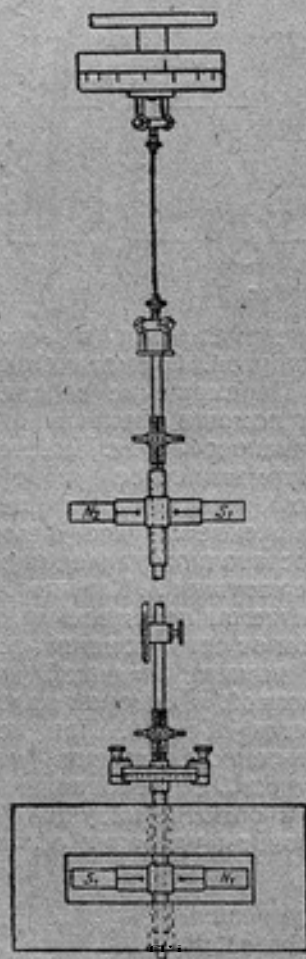


Рис. 5

Техника измерений на магнитометре заключается в следующем. Вначале проверяют правильность положения шкалы и отчетной трубы в отношении их перпендикулярности. Для этого пользуются точно изготовленным треугольником с прямым углом. Треугольник одной стороной прикладывают к шкале и наблюдают в трубу, чтобы вторая сторона, после отражения от зеркала магнитометра, была видна. Шкалу поворачивают в горизонтальной плоскости до тех пор, пока точки А и С (рис. 7) треугольника не совпадут. Вместе с этим отмечают и нулевое положение магнитометра.

Далее следует определение положения магнита магнитометра по отношению к скамье. Для этого пользуются одной из катушек, намагничивающей или компенсационной. Катушку устанавливают на какое-нибудь деление скамьи магнитометра. Обмотку катушки включают в цепь постоянного тока и устанавливают некоторую силу тока. Замечают отклонение магнитометра и вслед за этим измеряют силу тока потенциометром. Переключают направление тока в катушке, отчитывают отклонение магнитометра в другую сторону от нуля и измеряют силу тока и т. д.; в такой же последовательности производят 12 наблюдений отклонений магнитометра и соответственно столько же отдельных измерений силы тока.

Вследствие непостоянства сопротивлений контактов в цепи, сила тока, а следовательно и отклонения магнитометра в обе стороны от нуля могут быть не вполне одинаковыми. Из полученных наблюдений берут средние величины для силы тока и для отклонения магнитометра.

После этих измерений ток выключают и проверяют нулевое положение магнитометра. Катушку переносят на другую сторону скамьи магнитометра и поворачивают на 180° . Далее требуется найти такое положение катушки на скамье, чтобы при той же силе тока, как и для первого положения, магнитометр

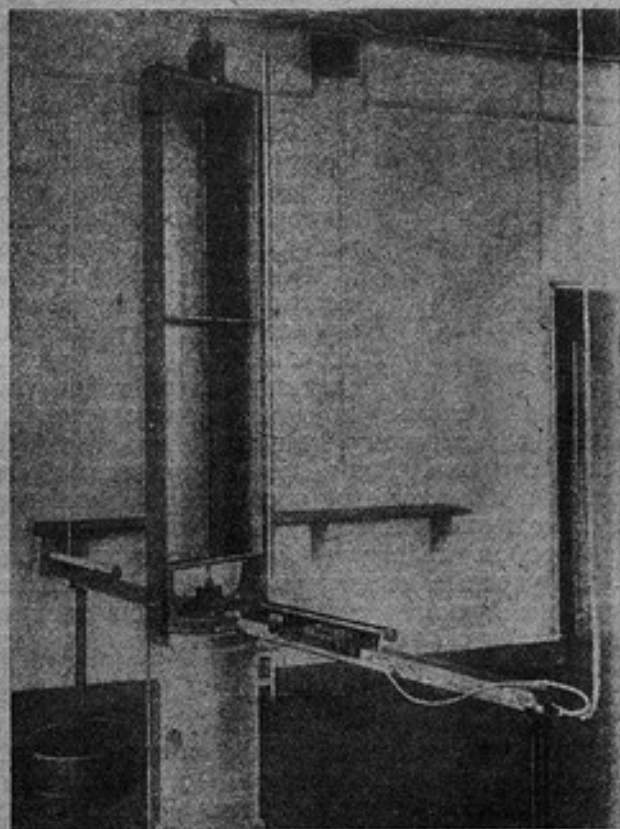


Рис. 6

давал прежнее отклонение. Для этой цели производят две серии измерений для двух положений катушки: одно положение берут таким, чтобы магнитометр давал отклонение несколько больше, а при втором—несколько меньше, когда катушка была установлена с другой стороны магнитометра. Силу тока во всех случаях устанавливают одну и ту же. При втором и третьем положении катушки производят также по 12 измерений отклонений магнитометра и силы тока, в такой же последовательности, как и в первом случае.

Когда закончены испытания образца, проделывают снова те же измерения, что и при первом положении катушки.

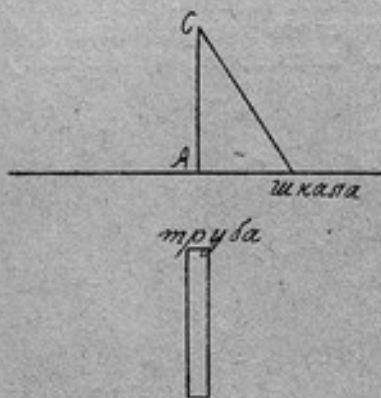


Рис. 7

Допустим, что при первом положении катушки среднее отклонение магнитометра из двух серий наблюдений (перед испытанием образца и после испытания) α_1 , при втором положении α_1' и при третьем α_1'' . Сила тока во всех трех случаях может оказаться различной. Тогда, пользуясь линейной зависимостью между силой тока в катушке и отклонением магнитометра, пересчитывают отклонения α_1' и α_1'' применительно к силе тока, измеренной для первого положения катушки. Зная пересчитанные отклонения α_2 и α_3 , интерполированием находят такое расстояние

катушки (деление на скамье) по другую сторону магнитометра, которое соответствует такому же отклонению, как и (при первом положении катушки). Таким путем определяют, что одинаковые отклонения магнитометра в обе стороны от нуля получаются при положении катушки на скамье слева от магнитометра на некотором делении a_1 , при положении справа—на делении a_2 . Полученные деления исправляют, учитывая неточность нанесения делений на скамье. Положение магнита магнитометра (деление на скамье) l определяют по формуле:

$$l = a_1 + \frac{a_2 - a_1}{2}.$$

Далее следует градуировка магнитометра, которую можно производить при помощи кольца с одним витком или же при помощи намагничивающей катушки, если предварительно сделана сравнительная градуировка с кольцом. Кольцо с одним витком устанавливают на некоторое деление на скамье, включают ток, замечают отклонение магнитометра и измеряют силу тока. Затем, переключают ток и снова производят измерения и т. д. 12 последовательных измерений, из которых берут среднее. Постоянную магнитометра определяют по формуле:

$$C = \frac{2 r^2 \pi n I}{10(a_1^2 + r^2)^{3/2}} \left[1 - \frac{\frac{3}{4} I^2}{(a_1^2 + \frac{I^2}{4})} + \psi\left(\frac{a_1}{h}\right) \right] \cdot \frac{e}{2A} \left[1 - \frac{5}{8} \left(\frac{e}{2A}\right)^2 \right]$$

$$\psi \left(\frac{a_1}{h} \right) = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{a_1}{h} \right)^3 - \left(\frac{a_1}{h} \right)^5}{\left[1 + \left(\frac{a_1}{h} \right)^2 \right]^{5/2}}$$

где r — средний радиус витка кольца в сантиметрах, n — число витков кольца = 1, I — сила тока в кольце в амперах, a_1 — расстояние средней плоскости витка кольца от магнита магнитометра в сантиметрах, l — расстояние между полюсами магнита магнитометра (принимается равным $5/6$ его полной длины) в сантиметрах, h — расстояние между центрами нижнего и верхнего магнитов в сантиметрах и ϵ — отклонение по шкале в делениях.

Определив постоянную магнитометра, измеренную при помощи кольцевой катушки, градуируют вслед затем магнитометр с намагничивающей катушкой. Таким путем получают переводный коэффициент, позволяющий в дальнейшем пользоваться для градуировки намагничивающей катушкой. Градуировка с кольцом имеет то неудобство, что приходится работать с очень большой силой тока; с намагничивающей катушкой это неудобство отпадает.

После определения положения магнитометра и его градуировки, приступают к испытанию образца. Обычно на магнитометре снимают основную кривую намагничивания и кривую гистерезисного цикла.

Основная кривая намагничивания.

Различают основную кривую намагничивания, так называемую нулевую, и коммутационную. Нулевую кривую получают путем постепенного повышения напряженности намагничивающего поля скачками. При снятии коммутационной кривой интенсивность намагничивания

образца определяют после магнитной подготовки образца, т.е. коммутирования несколько раз намагничивающего тока.

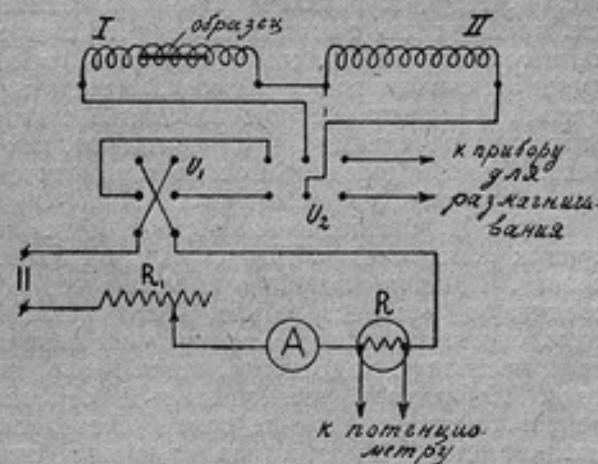


Рис. 8

Намагничивающую катушку устанавливают на некотором делении скамьи. На другой стороне магнитометра ставят компенсационную катушку. Оси обеих катушек должны совпадать между собой и с центром нижнего магнита магнитометра. Принципиальная схема соединений приборов представлена на рис. 8. Реостат R_1 служит для регулирования силы тока в намагничивающей цепи магнитометра. R —нормальное сопротивление с ответвлениями к потенциометру. Переключатель U_1 служит для переключения намагничивающего тока. Переключатель U_2 —для включения намагничивающей обмотки или в цепь постоянного тока или на вторичную обмотку прибора для размагничивания.

Проверив нулевое положение магнитометра, устанавливают некоторую силу тока в обмотках катушек и передвигают компенсационную катушку по скамье до тех пор, пока магнитометр не придет в нулевое положение. Выключают ток и снова проверяют нулевое положение. Помещают испытуемый образец в центральную часть намагничивающей катушки. Образец должен быть строго центрирован, чтобы ось его совпадала с осью катушки. Далее размагничивают образец, включая обмотку намагничивающей катушки на вторичную обмотку прибора для размагничивания. Компенсационную катушку в это время выключают или шунтируют (пунктирное соединение на схеме рис. 8). Процесс размагничивания выполняется обычным путем (см. приборы для размагничивания). Для предохранения магнита магнитометра от действия переменного магнитного поля во время размагничивания образца, между намагничивающей катушкой и магнитометром на скамье ставят железную плитку. Выключив переменный ток, наблюдают, как ведет себя магнитометр. Если образец полностью размагничен, магнитометр должен оставаться в нулевом положении.

После размагничивания образца приступают к определению кривых намагничивания. Допустим, что снимается коммутационная кривая. Намагничивающую и компенсационную катушки снова соединяют последовательно. Устанавливают некоторую силу тока, соответствующую минимальной напряженности поля. Делают магнитную подготовку, переключая раз десять направление тока. Наблюдают установившееся отклонение магнитометра, переключают направление тока и снова наблюдают отклонение магнитометра. Каждый раз измеряют также силу тока. Для наиболее ответственных измерений силу тока измеряют потенциометром, при обычных же испытаниях—милливольтметром, включенным на нормальное сопротивление. Далее, увеличивают силу тока, делают магнитную подготовку, после чего наблюдают отклонение магнитометра и измеряют силу тока, как



и в первом случае. Таким путем снимают всю кривую до первого наблюдаемого максимума напряженности поля.

Если снимается нулевая кривая, то перед наблюдениями отклонений магнитометра не делают магнитной подготовки. Силу намагничивающего тока скачками увеличивают и параллельно производят отчеты отклонений магнитометра.

Кривая гистерезисного цикла. Обычно определение гистерезисного цикла следует непосредственно после снятия основной кривой намагничения. Отметив отклонение магнитометра при заданной максимальной напряженности поля, уменьшают несколько силу тока, наблюдают отклонение магнитометра и вслед за тем измеряют силу тока. Снова уменьшают силу тока и т. д., доходят до некоторой минимальной силы тока. Выключают ток, наблюдают отклонение магнитометра, соответствующее остаточному намагничению образца. Включают ток в обратном направлении, устанавливают небольшую силу тока, наблюдают отклонение магнитометра. Увеличивают силу тока, производят наблюдения отклонения и т. д., доходят до максимума силы тока, равного начальному максимуму, пройдя тем самым всю нисходящую ветвь цикла. Таким же путем снимают и восходящую ветвь. Если соответствующие отклонения магнитометра для нисходящей и восходящей ветви цикла близки друг к другу, что свидетельствует об однородности материала, берут для вычисления интенсивности намагничения образца среднюю величину из обоих отклонений. Интенсивность намагничения вычисляют по формуле:

$$J = \frac{C a^2}{2 V \left[1 + \frac{\frac{1}{2} L^2 - \frac{3}{4} p}{a^2} \right] + \psi \left(\frac{a}{h} \right)} \cdot \frac{e}{2A} \left[1 - \frac{e}{2A} \left(\frac{e}{2A} \right)^2 \right]$$

где C — постоянная магнитометра, a — расстояние середины испытуемого образца от магнита магнитометра в сантиметрах, V — объем образца в куб. сантиметрах (определяется по размерам, а также взвешиванием в воде) и L — расстояние между полюсами испытуемого образца (берется $\frac{3}{8}$ полной длины). Остальные обозначения те же, что и в формуле для вычисления постоянной магнитометра (см. выше).

Напряженность намагничивающего поля вычисляют по силе тока и постоянной намагничивающей катушки, заранее определенной:

$$H = kI,$$

где k — постоянная намагничивающей катушки (число гауссов на 1 ампер).

Измерение коэрцитивной силы. Магнитометр очень удобен для определения коэрцитивной силы и в этом случае не требуется снимать гистерезисного цикла. Измерения чрезвычайно просты, весьма непродолжительны и обеспечивают большую точность. Форма и размеры образца не имеют значения. Определения положения магнитометра в этом случае не требуется. Нужно только, чтобы намагничивающая и компенсационные катушки были правильно установлены, т. е. чтобы при включении тока магнитометр оставался в покое, когда в катушке нет образца. Образец помещают в центральную часть намагничивающей катушки. Включают ток, постепенно увеличивают силу тока до некоторого заданного максимума, затем уменьшают до минимума, выключают, включают в обратном направлении и увеличивают постепенно и плавно до тех пор, пока магнитометр не придет в нулевое положение. Практически не всегда удается точно подобрать такую силу тока и к тому же это отнимает излишне много времени. Вполне достаточно произвести два измерения: одно—при некоторой силе тока, когда образец еще не перемагничен и магнитометр дает небольшое отклонение, другое—при большей силе тока, когда получается отклонение в другую сторону от нулевого положения (образец перемагничен). Интерполированием находят силу тока, соответствующую нулевому положению магнитометра. Такой метод вполне допустим и не уменьшает точности измерений, так как в области коэрцитивной силы кривая гистерезисного цикла может быть принята за прямую линию. По силе тока, соответствующей нулевому положению магнитометра, вычисляют, зная постоянную намагничивающей катушки, напряженность поля, которая потребовалась, чтобы размагнитить образец. Эта напряженность равна коэрцитивной силе испытуемого образца.

Магнитометрическая установка является основной установкой лаборатории Р. Т. Р. Все наиболее ответственные испытания образцов производят на магнитометре. Имея магнитометр, представляется возможным производить абсолютные измерения магнитных свойств образцов, изготовленных в форме эллипсоидов вращения. Сравнительные испытания цилиндрических образцов в пермеаметрах, а затем на магнитометре, обтачивая их предварительно в форме эллипсоидов вращения, позволяют установить поправки к пермеаметрам, т. е. определить кривые магнитного сдвига для различных сортов магнитных материалов, и тем самым уточнить измерения в пермеаметрах.

Работа с магнитометром требует особой тщательности как при установке прибора, так и в процессе измерений. Во время работы магнитометр не должен подвергаться влиянию каких-либо внешних переменных полей. В помещении, где устанавли-

магнитометр, не должно быть, по возможности, больших масс магнитных материалов, особенно подвижных.

Forschungslaboratorium Siemens

Заслуживает внимания по своей оригинальной конструкции магнитометрическая установка в магнитной исследовательской лаборатории Сименса.

По своей конструкции магнитометр может быть назван электродинамическим. На рис. 9 представлено схематическое устройство магнитометра, а на рис. 10 общий вид установки. Вместо постоянных магнитов, как в обычном магнитометре, применены две одинаковых рамки с обмотками, подвешенных на одной нити. Обмотки рамок навиты в разные стороны, благодаря чему система является астатической. Верхняя рамка помещена в просвете кольцевой катушки К,

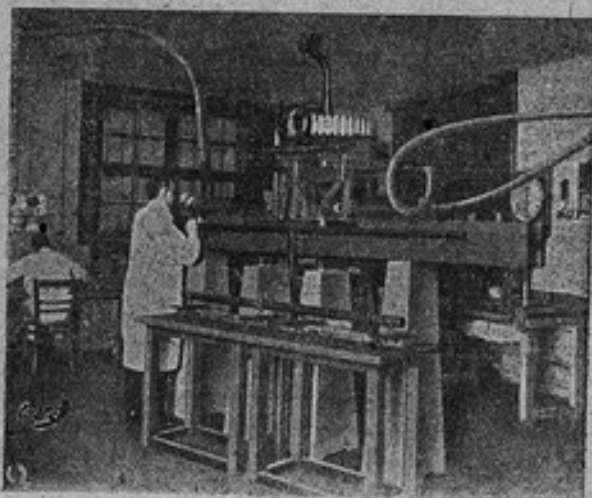
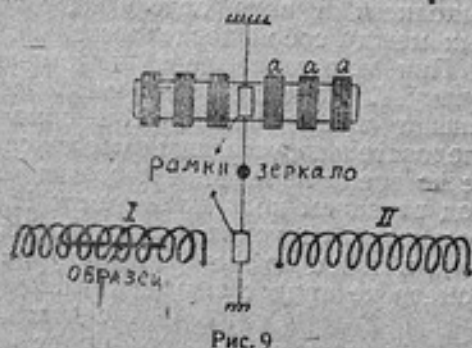


Рис. 10

расположенной горизонтально, нижняя — между двумя прямолинейными цилиндрическими катушками. Катушка I является

намагничивающей, катушка *II*—компенсационная. Обе катушки идентичны по размерам и по числу витков на сантиметр длины. Обмотка катушек выполнена из медных трубок прямоугольного сечения. Внутри трубок может циркулировать вода, охлаждающая обмотку, благодаря чему возможна большая нагрузка током и получение сильных магнитных полей. Кольцевая катушка выполнена в виде отдельных секций (*aa* на рис. 9), соединенных между собой последовательно.

При испытании образец помещают в намагничивающую катушку *I*. Компенсационную и намагничивающую катушки соединяют последовательно. В обмотках рамок, соединенных последовательно, устанавливают некоторую силу тока, поддерживая ее во время измерений постоянной. Отклонение нижней рамки под влиянием поля испытуемого образца компенсируют полем кольцевой катушки, действующим на верхнюю рамку. Силу тока в кольцевой катушке регулируют до тех пор, пока магнитометр не придет в нулевое положение. В этом случае можно

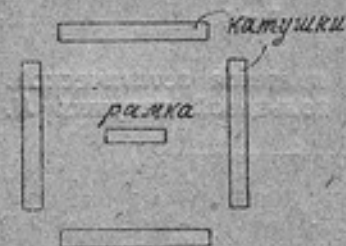


Рис. 11

считать, что поле кольцевой катушки будет равно полю, создаваемому испытуемым образцом. Напряжение поля, создаваемое кольцевой катушкой, рассчитывают по ампервиткам и ее размерам. Для компенсации влияния образца на верхнюю рамку устроено специальное приспособление. Верхнюю рамку окружают четыре катушки (на рис. 10 черные катушки), расположенные под прямыми углами (см. рис. 11 вид сверху). Сила тока в этих катушках регулируется таким образом, чтобы создаваемое ими результирующее магнитное поле компенсировало поле от образца.

Нулевой метод измерений, применяемый в описанной установке, имеет несомненное преимущество по сравнению с методом непосредственных отчетов.

4. Баллистические измерения. Physikalisch-Technische Reichsanstalt

Определение кривых намагничивания в пермеаметрах. Нормально определение основной кривой намагничивания производят в пермеаметрах при напряженностях поля начиная примерно от 0,5 эрстеда в сторону увеличивающихся значений. При более низких напряженностях измерения в пермеаметрах обычной конструкции не гарантируют достаточно надежных результатов, так как сравнительно большая масса ярма пермеаметра исключает возможность полного размагничивания испытуемого образца, что особенно важно при измерениях в слабых магнитных полях.

Пермеаметры для круглых цилиндрических образцов. Образцы для испытаний применяют цилиндрические диаметром 6 мм, длиной 33 и 18 см. Два пермеаметра, имеющиеся в лаборатории Р. Т. Р., обычной конструкции типа Гопкинсоновского пермеаметра с намагничивающей катушкой, помещенной в просвете прямоугольной железной рамы (ядро), и измерительной, которую надевают на образец и вместе с ним вставляют в пермеаметр (рис. 12).

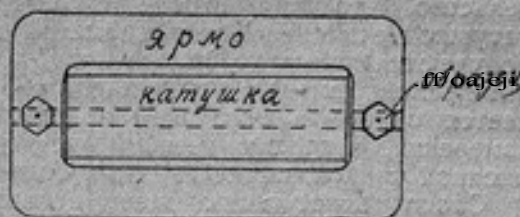


Рис. 12

Для испытания образцов прямоугольного сечения в самое последнее время построен пермеаметр особой конструкции. Описание его и метод измерений изложены ниже.

Определение основной и гистерезисной кривых намагничения. Различают основную кривую, так называемую нулевую, и коммутационную. Первая получается, исходя из предварительно размагниченного состояния образца (относительно) путем последовательного изменения силы намагничивающего тока от некоторого минимального значения i_1 до $i_2 > i_1$, затем от i_2 до $i_3 > i_2$ и т. д. При каждом изменении напряженности намагничивающего поля измеряют гальванометром соответствующее изменение индукции.

Коммутационная кривая получается также начиная от некоторой минимальной напряженности поля. При этой напряженности производят магнитную подготовку образца, затем переключают направление намагничивающего тока и в это время наблюдают отклонение гальванометра, пропорциональное удвоенной индукции. Далее увеличивают силу намагничивающего тока, производят при ней магнитную подготовку и снова наблюдают отклонение гальванометра, переключая ток. Таким путем определяют и другие точки основной кривой намагничения, как геометрическое место вершин нормальных гистерезисных циклов.

Первый способ имеет тот недостаток, что ошибки отдельных измерений складываются, понижая тем самым вообще точность измерений. Кроме того, при изменении индукции небольшими скачками, как это имеет место в данном случае, в большей степени сказывается не учитываемое гальванометром магнитное последствие образца. Влияние этих факторов на результаты в известной степени устраняется путем дополнительного измерения максимальной индукции способом коммутирования и

некоторых пересчетов, сущность которых будет ясна из последующего. Известным плюсом этого метода является то обстоятельство, что при работе с определенной измерительной катушкой отклонения гальванометра для отдельных измерений получаются примерно одного порядка при надлежащем выборе интервалов изменения индукции, т. е. точность отчетов получается одного и того же порядка. Время, затрачиваемое на измерения, несколько меньше, чем при определении коммутационной кривой, вычисления же отнимают больше времени.

Способ коммутации имеет большое преимущество в том отношении, что отдельные измерения независимы друг от друга. В этом случае не обнаруживается влияние магнитного последствия, если перед каждым измерением материал приведен в нормальное циклическое состояние магнитной подготовкой.

Определение гистерезисного цикла можно производить также двумя способами: последовательными скачками, подобно тому как при определении нулевой кривой, или же каждый раз возвращаться к вершине цикла и от нее переходить к какой-либо другой точке цикла. В первом случае напряженность намагничивающего поля изменяют от H_{\max} до $H_1 < H_{\max}$, от H_1 до $H_2 < H_1$ и т. д., каждый раз наблюдая отклонения гальванометра, по которым вычисляют изменения индукции. Вторым методом предусматривает, что отдельные точки цикла определяются, исходя каждый раз из вершины цикла. При максимальной напряженности поля делают магнитную подготовку, затем быстро изменяют напряженность от H_{\max} до $H_1 < H_{\max}$ и наблюдают отклонение гальванометра, пропорциональное изменению индукции от B_{\max} до B_1 . Далее проходят цикл, изменяя напряженность поля от H_1 до $-H_{\max}$ и от $-H_{\max}$ до $+H_{\max}$. Делают магнитную подготовку при H_{\max} , изменяют напряженность поля от $+H_{\max}$ до $+H_2 < H_1$ и т. д., подобным же путем снимают все точки цикла. Последний метод, по сравнению с методом последовательных скачков, имеет тот недостаток, что по намагничивающей катушке пермеметра почти все время проходит максимальный ток, что вызывает нагревание образца и изменение его магнитных свойств. Все остальные соображения, высказанные по поводу способа определения нулевой и коммутационной кривых, приложимы и в данном случае для определения гистерезисных кривых.

В лаборатории Р. Т. Р. принят способ определения нулевой кривой намагничения и соответственно метод последовательных скачков при снятии гистерезисного цикла. Измерения заключаются в следующем. Прежде всего измеряют коэрцитивную силу испытуемого образца на магнитометре (см. магнитометрические измерения). Далее следует определение баллистической

постоянной гальванометра при помощи магнитного эталона (см. выше). Затем намагничивающую обмотку пермеаметра включают во вторичную цепь прибора для размагничивания и описанным выше способом размагничивают образец. После размагничивания образца включают постоянный намагничивающий ток в цепь пермеаметра. Наблюдают отклонение гальванометра α_1 при изменении намагничивающего тока от нуля до i_1 . Далее увеличивают силу тока от i_1 до $i_2 > i_1$ и в этот момент наблюдают отклонение гальванометра и т. д. доходят до i_{\max} . Вслед за тем производят наблюдение, относящиеся к гистерезисному циклу. Дойдя до $+H_{\max}$, уменьшают силу тока от $+i_{\max}$ до $+i_n < i_{\max}$, наблюдая при этом отклонение гальванометра α_n , пропорциональное изменению индукции от B_{\max} до B_n и т. д. Далее при максимальной напряженности поля определяют индукцию B_{\max} путем переключения максимального тока. Сумма всех последовательных отклонений гальванометра при определении гистерезисного цикла пропорциональна удвоенной максимальной индукции B'_{\max} . Следовательно:

$$B'_{\max} = \frac{C \sum \alpha}{2 \sin \theta}$$

Если полученная таким путем индукция отличается от B_{\max} определенной при переключении тока, вычисляют постоянную гальванометра применительно к B_{\max} , а именно:

$$C_1 = \frac{B_{\max}}{\frac{\sum \alpha}{2}}$$

Тогда, принимая за максимальную индукцию B_{\max} , вычисляют, по имеющимся отклонениям гальванометра для нулевой кривой, соответствующие изменения индукции, а затем и величины индукций, пользуясь приведенной постоянной C_1 .

Степень расхождения B_{\max} и B'_{\max} служит контролем, насколько надежно произведено определение гистерезисной кривой. При вычислении индукций для нулевой кривой, исходя из B_{\max} , может оказаться, что в большинстве случаев и наблюдается, некоторый избыток или недостаток при вычислении индукции для первой точки нулевой кривой, что следует отнести за счет неточности измерений и магнитного последствия. Влияние этих факторов в большей степени сказывается в пределах индукций до 10 000 гауссов, и чем меньше индукция, тем больше это влияние. Полученный избыток или недостаток разносят на все измерения для индукций до 10 000 гауссов, обратно пропорционально индукции, прибавляя полученные

величины к соответствующим индукциям или вычитая их, в зависимости от знака остатка. Допустим, что остаток составляет 176, тогда:

$$\frac{176}{10\,000} = \frac{x}{10\,000 - B}$$

где B — индукция, для которой определяется та часть x , которая должна быть прибавлена к вычисленной индукции или отнята от нее.

$$x = \frac{176 \cdot 10\,000 - 176 \cdot B}{10\,000} = 176 - \frac{176}{10\,000} B.$$

Внеся эту поправку, а также поправку на поток в воздушном зазоре между измерительной катушкой и образцом, находят истинную индукцию для каждой точки кривой намагничивания.

Для кривой гистерезисного цикла вносят только поправки на поток в воздухе.

Далее определяют остаточную индукцию. Измеренная непосредственно в пермеамetre остаточная индукция B_r , вследствие размагничивающего действия ярма, всегда несколько меньше истинной. Пользуясь имеющейся кривой магнитного сдвига для материала, подобного испытываемому, исправляют измеренную остаточную индукцию B_r . Допустим, что исправленная таким образом индукция равна B_r .

На основании экспериментальных исследований установлено, что между максимальной проницаемостью μ_{\max} , остаточной индукцией B_r и коэрцитивной силой H_c существует некоторая зависимость, которая приближенно может быть выражена со-

отношением $\mu_{\max} = \frac{B_r}{2 H_c}$, справедливым для большинства материалов, имеющих нормальную форму гистерезисного цикла. Более точные соотношения, даны Гумлихом и Шмидтом:

$$\mu_{\max} = (0,476 + 0,0057 H_c) \frac{B_r}{H_c},$$

если H_c относительно велика, порядка десятков эрстедов; для мягких же материалов упрощенная формула $\mu_{\max} = \frac{B_r}{2 H_c}$ дает достаточно удовлетворительные результаты, если H_c порядка 0,5—5 эрстедов.

Максимальная проницаемость для большинства обычных материалов наблюдается при индукциях 5000—7000 гауссов и так

как максимум в большинстве случаев не особенно острый, то проницаемость мало изменяется в этой области в зависимости от индукции. Вычислив μ_{\max} , определяют напряженность поля для какой-либо индукции, из данных опыта, в области максимальной проницаемости:

$$H = \frac{B}{\mu_{\max}}$$

где B —индукция, взятая из опыта, H —истинная напряженность поля для этой индукции.

Из данных же опыта известна напряженность поля H^1 , вычисленная по постоянной намагничивающей катушки и соответствующая индукции B . Тогда поправка к вычисленной напряженности поля $\Delta H = H^1 - H$. Пользуясь этой поправкой, строят кривую магнитного сдвига, — вернее определяют ее наклон, соединяя начало координат с точкой, имеющей координаты (ΔH_c и B). Поправку для коэрцитивной силы определяют тем же путем $\Delta H_c = H^1_c - H_c$, где H_c — истинная коэрцитивная сила, измеренная на магнитометре, H^1_c — определенная из данных опыта в пермеамetre. Так как характер кривых магнитного сдвига весьма причудлив и неупорядочен, одной точки для ее построения не достаточно. В данном случае приходится пользоваться имеющейся кривой сдвига для материала, подобного испытываемому и, имея наклон кривой магнитного сдвига для испытываемого образца, очерчивать остальную часть подобно имеющейся кривой, что, конечно, вносит неизбежную неточность в дальнейшие результаты вычисления напряженности поля. Построив кривую магнитного сдвига для индукций, полученных при испытании образца в пермеамetre, находят соответствующие поправки к напряженностям поля, вычисленным по постоянной намагничивающей катушки и силе тока в ней. Эти поправки служат для вычисления истинных напряженностей поля:

$$H = H^1 + \Delta H$$

где ΔH — поправка, H^1 — вычисленная напряженность поля. ΔH берут с соответствующим знаком.

Пермеамetre для испытаний полосовых образцов. Трудность надежного испытания полосовых и листовых образцов в обычных пермеаметрах с ярмом объясняется тем, что для таких образцов нельзя получить кривых магнитного сдвига, как это делается с цилиндрическими образцами, которые испытывают в пермеамetre, затем на магнитометре, обтачивая их предварительно, как эллипсоид вращения. Сконструированный и построенный лабораторией Р. Т. Р. пермеамetre для испытаний полосовых

образцов (работа еще не опубликована) включает в себе применение магнитного потенциометра Роговского для измерения напряженности поля. Схематически эскиз пермеаметра представлен на рис. 13. Намагничивающие катушки K разбиты на три части: центральную и две катушки по концам. Между цент-

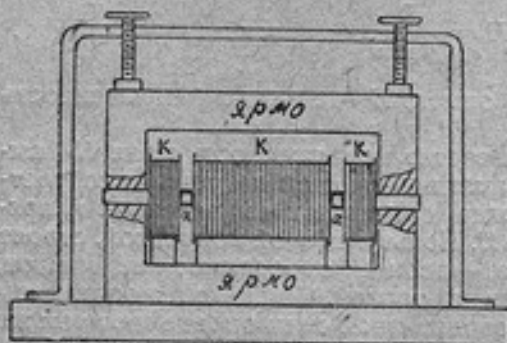


Рис. 13

тральной и крайними катушками оставлен небольшой кольцевой промежуток, в который вставляют магнитный потенциометр. Применяют два типа потенциометров: один — в виде изогнутой гибкой ленты из изолирующего материала с равномерно распределенной по длине обмоткой, другой — в виде буквы П. В последнем случае основа, на которую наматывают обмотку,

— жесткая из пертиакса. Последняя конструкция является более надежной в смысле неизменности размеров и более равномерного распределения витков обмотки по длине, что весьма существенно для магнитного потенциометра. Потенциометры градуируют предварительно обычным способом. Индукцию измеряют при помощи баллистического гальванометра и обмотки, навитой на образец на том же протяжении, которое занимает потенциометр, приставленный к образцу.

Испытания листовой электротехнической стали. Определение основной кривой намагничивания листовой электротехнической стали производят в пермеамetre Гумлиха и Роговского, имеющем магнитную цепь, аналогичную прибору Эпштейна (описание прибора см. ETZ, 1912, стр. 262), благодаря чему можно испытывать те же образцы, что и в приборе Эпштейна. Метод измерений как индукции, так и напряженности поля — баллистический. Измерения производят при напряженностях поля не ниже 5 Aw/cm , так как при более низких полях, вследствие несовершенства магнитной цепи и большого рассеяния, результаты получаются мало надежные. Применительно к нормам для листовой электротехнической стали испытания должны производиться при 25, 50, 100 и 300 Aw/cm . Вследствие того, что напряженность поля не вычисляют, а непосредственно измеряют при помощи специальных измерительных катушек, невозможно точно подогнать силу намагничивающего тока так, чтобы получились

круглые значения напряженности поля; практически всегда будет между ними небольшое расхождение. Тогда, измеренную индукцию, допустим B , для напряженности поля H , пересчитывают применительно к круглому заданному значению напряженности поля. Отдельные участки основной кривой намагничивания при напряженностях поля от 25 Aw/cm и выше, с известным приближением, можно принять за прямую линию и, следовательно, рассчитать, пользуясь прямолинейной зависимостью между напряженностью поля и индукцией, изменение индукции ΔB на единицу напряженности поля. Изменение индукции на 1 Aw/cm напряженности поля определяют из соотношения:

$$\frac{\Delta B_2 + \Delta B_1}{2} : H,$$

где ΔB_2 и ΔB_1 — изменение индукции для двух каких-нибудь интервалов напряженности поля.

Полученную величину, умножая на недостающее или избыточное число, на которое измеренная напряженность поля отличается от заданной, прибавляют или вычитают из измеренной индукции. В виду того, что измеренная напряженность поля обычно мало отличается от заданной, подобный метод пересчета не вносит заметных ошибок в измерения. Вообще же, с точки зрения метрологической, он не может быть признан вполне совершенным и более правильные результаты следует ожидать, если снимается полная кривая в заданном промежутке напряженностей поля с достаточным числом отдельных наблюдений при разных напряженностях поля.

5. Определение коэффициентов размагничивания

Эллипсоиды вращения. Коэффициент размагничивания эллипсоида вращения определяется вычислением по геометрическим размерам, а именно:

$$N = \frac{4\pi}{p^2 - 1} \left[\frac{p}{\sqrt{p^2 - 1}} \ln(p + \sqrt{p^2 - 1}) - 1 \right]$$

где N — коэффициент размагничивания, $p = \frac{l}{d}$, если l — длина, d — малая ось эллипсоида.

При испытаниях эллипсоидов вращения в разомкнутой цепи в открытом соленоиде пользуются коэффициентом размагничивания, вычисляемым по вышеуказанной формуле, полагая, что коэффициент размагничивания остается постоянным, независимо от индукции образца, в частности и при очень малых индукциях.

Основанием для такого предположения служат исследования так называемой „идеальной“ кривой намагничения. Теоретические соображения и экспериментальные исследования, касающиеся идеальной кривой, изложены в работах Гумлиха и Штейнгауза (см. Arch. f. El.; т. 4, 1915, стр. 89 и 149).

Под идеальной кривой понимают основную кривую намагничения, полученную после обработки образца переменным магнитным полем с постоянно убывающей амплитудой от некоторой величины до нуля. Экспериментальное получение идеальной кривой осуществляется следующим образом. Образец помещают в длинный соленоид, имеющий две независимых обмотки. Размеры соленоида должны быть таковы, чтобы создаваемое им поле было достаточно равномерным по длине на участке, занимаемом образцом. Образец в соленоиде укрепляется так, чтобы один конец его от середины оставался свободным и с него можно было бы сдвигать измерительную катушку. Соленоид устанавливают так, чтобы влияние земного поля на образец было исключено. Одну из обмоток соленоида включают в цепь постоянного тока. Устанавливают некоторую силу тока, соответствующую минимально-возможному полю, создаваемому обмоткой (с точки зрения возможности измерения индукции). Вторую обмотку включают в цепь вторичной обмотки прибора для размагничивания и при включенном постоянном токе осуществляют процесс размагничивания образца, изменяя силу переменного тока от некоторого максимума до нуля. Величина начальной напряженности переменного поля должна быть значительно больше напряженности постоянного поля (порядка 100 эрстедов). Затем, при помощи съемной измерительной катушки, надетой на образец и замкнутой на гальванометр, измеряют индукцию в образце, сдвигая катушку с образца. При сдвигании измерительная катушка не должна удаляться из области равномерного поля соленоида. Далее увеличивают несколько силу намагничивающего постоянного тока, снова включают во вторую обмотку переменный ток и проделывают ту же операцию, что и в первом случае. После обработки переменным током измеряют индукцию в образце, как указано выше. Таким путем измеряют индукцию при нескольких напряженностях намагничивающего постоянного поля. Измеренная по отклонению гальванометра индукция должна быть исправлена на величину потока в воздушном зазоре между образцом и измерительной катушкой. В расчет поправки на поток в воздухе вводят вместо неизвестной величины напряженности поля в зазоре между образцом и катушкой напряженность внешнего поля H' , создаваемого намагничивающей обмоткой. Такая замена вполне допустима и не оказывает заметного влияния на результаты.

На основании полученных данных строят кривую зависимости $B=f(H')$, которая может быть названа неисправленной идеальной кривой намагничения, так как она получена при испытании образца в разомкнутой магнитной цепи. Пользуясь коэффициентом размагничивания эллипсоида, определенным по геометрическим размерам, вычисляют истинную напряженность поля для ряда точек неисправленной идеальной кривой и строят уже исправленную идеальную кривую. Оказывается, что в области слабых полей идеальная кривая вначале идет вертикально, совпадая с осью индукций, до индукций порядка 1000—2000 гауссов, т. е. как будто бы внутреннее поле в образце равно нулю. На рис. 14 изображены неисправленная идеальная кривая (кривая I) и исправленная (кривая II).

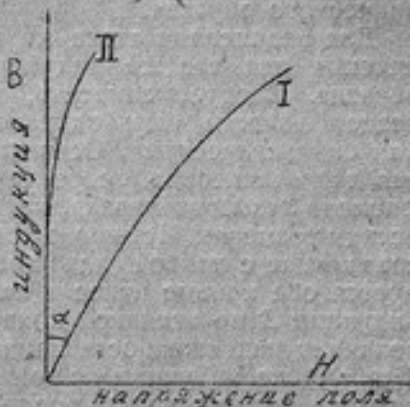


Рис. 14

Опыт показывает, что в области очень слабых полей кривая I имеет прямолинейный характер и наклон ее как раз таков, что $\operatorname{ctg} \alpha = \frac{N}{4\pi}$, если

N — коэффициент размагничивания, вычисленный по геометрическим размерам. Если по оси ординат отложены интенсивности намагничения образца, то $\operatorname{ctg} \alpha = N$. Вертикальная часть идеальной кривой простирается до индукции примерно 1000—2000 гауссов. Указанные исследования идеальной кривой с эллипсоидами вращения послужили в дальнейшем основанием для определения коэффициентов размагничивания цилиндрических и полосовых образцов.

Цилиндрические стержни. Определение коэффициентов размагничивания цилиндрических стержней производится двояким путем. Коэффициент размагничивания цилиндрического стержня с определенным отношением размеров (отношение длины к диаметру) можно считать постоянным лишь до индукций не выше 10000 гауссов. Для определения коэффициентов размагничивания при различных индукциях в широких пределах производят сравнительные испытания цилиндров и эллипсоидов вращения. Сначала испытывают длинный цилиндрический стержень в открытой цепи в пустотелом соленоиде. Испытания производят или магнитометрическим методом или баллистическим и состоят

они в определении основной кривой намагничивания. После испытания цилиндрического образца его обтачивают, как эллипсоид вращения, сохраняя то же отношение размеров, что и у цилиндрического образца.

Для эллипсоида снова определяют основную кривую намагничивания для тех же индукций, что и для цилиндрического образца. Следует заметить, что методы испытаний обоих образцов должны быть одинаковыми—или магнитометрическими или баллистическими. Основная кривая намагничивания, полученная для эллипсоида, исправляется, принимая во внимание коэффициент размагничивания, который рассчитывается по геометрическим размерам. Истинную кривую намагничивания для эллипсоида сравнивают с кривой для цилиндрического образца. Рекомендуется обе кривые нанести на одну диаграмму. Для некоторой индукции B по истинной кривой эллипсоида находят истинную величину напряженности намагничивающего поля, некоторую H . Для той же индукции по кривой для цилиндрического стержня находят напряженность поля H' , представляющую напряженность внешнего намагничивающего поля, создаваемого намагничивающей катушкой. Истинная напряженность поля H и внешняя H' для данной индукции B связаны соотношением:

$$H = H' - NI = H' - N \frac{B - H}{4\pi}$$

где N — коэффициент размагничивания цилиндрического стержня, и I — интенсивность намагничивания.

Коэффициент размагничивания определяется:

$$N = \frac{(H' - H) 4\pi}{B - H}$$

Таким же путем находят коэффициент размагничивания и для других индукций.

Следует помнить, что коэффициент размагничивания, определенный на основании магнитометрических измерений, отличается от коэффициента, определенного баллистическим методом. Объясняется это тем, что при испытании цилиндрического образца баллистическим методом измеряется максимальная индукция в центре образца, где навита измерительная обмотка, магнитометр же дает отклонение, пропорциональное некоторой средней индукции всего образца. Вследствие этого коэффициент размагничивания, так называемый магнитометрический, применим в дальнейшем лишь для магнитометрических измерений, а баллистический только для баллистических измерений.

Непосредственное определение коэффициента размагничивания цилиндрических образцов. Непосредственное определение коэффициента размагничивания выполняют при очень слабых полях (сотые доли эрстеда), используя идеальную кривую намагничения, способом, описанным выше для эллипсоидов вращения. Полученная зависимость индукции B от напряженности внешнего намагничивающего поля H' представляет несправленную идеальную кривую намагничения. Как указано выше, исправленная (в отношении коэффициента размагничивания) идеальная кривая при слабых полях располагается вертикально, совпадая с осью ординат, если на этой оси откладывать индукцию или интенсивность намагничения. Тогда можно принять, что в выражении:

$$H = H' - NI = H' - N \frac{B - H}{4\pi}$$

истинная напряженность поля внутри образца $H = 0$ и

$$H' = NI = N \frac{B}{4\pi} \text{ или } N = \frac{H'}{I} = \frac{H' 4\pi}{B}$$

Некоторые расхождения в величине N , полученной для разных H , всегда могут иметь место вследствие неточности измерений. Средняя величина из всех наблюдений принимается за истинный коэффициент размагничивания цилиндрического образца.

Определение коэффициента размагничивания следует производить при напряженностях поля, при которых идеальная индукция не превышает 1000—2000 гауссов, так как только в этой области идеальная кривая совпадает с осью ординат.

Методы обработки материала для его идеализирования применяют разные. В лаборатории Р. Т. Р пользуются переменным током, как описано выше. В исследовательской лаборатории Крупна проф. Вюршмидтом разработан способ так называемого сотрясения (Erschütterung). После того как включен постоянный ток, соленоид, в котором находится образец, постукивают деревянным молотком и затем измеряют индукцию, сдвигая измерительную катушку с образца, так же, как и в первом случае. Постукивание продолжают до тех пор, пока не будет наблюдаться дальнейшее увеличение индукции, измеряемой при сдвигании измерительной катушки. Эту индукцию принимают за идеальную. В остальном метод определения коэффициента размагничивания ничем не отличается от вышеизложенного.

Способ идеализирования материала путем сотрясений следует признать все же менее надежным, мало удобным и требующим больше времени, чем способ обработки переменным током.

Полосовые образцы. На основании исследований с пучками проволок и с сплошными полосовыми образцами обнаружено, что для магнитно-мягких материалов можно считать коэффициент размагничивания полосового образца равным коэффициенту размагничивания цилиндрического образца такой же длины, как и полосовой образец. Диаметр эквивалентного цилиндра вычисляют в этом случае по площади, равновеликой площади полосового образца. Для определения коэффициента размагничивания пакета, составленного из тонких полос листового материала, применяют такой же метод расчета.

Экспериментально коэффициент размагничивания полосовых образцов находят тем же способом, что и для цилиндрических образцов, используя идеальную кривую намагничивания.

6. Измерения начальной магнитной проницаемости

Измерения начальной магнитной проницаемости сводятся к определению основной кривой намагничивания материала в очень слабых полях порядка сотых и тысячных эрстеда. На основании экспериментально полученных данных вычисляют магнитную проницаемость для разных значений напряженности магнитного поля и строят зависимость $\mu = f(H)$. Путем экстраполяции затем определяют начальную проницаемость, т.е. проницаемость при напряженности поля, равной нулю.

За исключением кольцевых образцов в большинстве случаев измерения производят в разомкнутой магнитной цепи. Сюда относятся испытания эллипсоидов вращения, цилиндрических и полосовых образцов.

Кольцевые образцы. Кольцевой образец обматывают двумя равномерно распределенными обмотками. Одна обмотка служит для намагничивания, вторая, соединяемая с баллистическим гальванометром, — для измерения индукции. Кольцевые образцы применяют главным образом при испытании листового материала. При штамповке колец необходимо обращать внимание на то, чтобы она производилась острым инструментом, так как в противном случае механические напряжения, возникающие на краях образца, заметно ухудшают его магнитные свойства. Радиальная ширина кольца должна быть по возможности большой, чтобы механические напряжения на краях сказывались в минимальной степени на средних магнитных характеристиках всего испытуемого материала. Вместе с тем общие размеры кольца должны быть таковы, чтобы радиальная ширина кольца была небольшой по сравнению с средним диаметром кольца, чем обеспечивается большая однородность распределения напряженности поля, намагничивающего кольцо. Соблюдая общ

вышеуказанные требования, приходится брать достаточно большого диаметра кольцо (примерно 30 см при радиальной ширине кольца не менее 3 см). Во многих случаях по тем или иным причинам приходится отказываться от испытаний таких размеров колец и применять кольца меньшего диаметра и меньшей радиальной ширины, учитывая, что влияние вышеуказанных факторов будет иметь место в той или иной степени. Иногда, чтобы устранить вредное влияние штамповки, образцы перед испытанием подвергают надлежащей термической обработке (отжиг), вполне восстанавливающей магнитные свойства материала. Следует оговориться, что путем термической обработки можно не только восстановить магнитные свойства материала, но даже улучшить их по сравнению с теми, которые наблюдались до штамповки. Учитывая вышеизложенное, необходимо признать, что для получения истинных характеристик материала, кольцевые образцы следует брать большего диаметра по сравнению с радиальной шириной, а радиальную ширину во всяком случае не менее 3 см.

Приготовление кольцевых образцов и обмотка их проволокой вызывает большие затраты, вследствие чего всегда стараются избежать, где это возможно, испытаний материала в форме колец. Чтобы частично упростить работу по приготовлению кольцевых образцов для испытаний, ограничиваются навиванием на кольцо только одной обмотки — измерительной. Вместо же намагничивающей обмотки применяют трубчатый медный длинный проводник, проходящий вертикально сквозь центр кольца и расположенный перпендикулярно к плоскости кольца (магнитная лаборатория *Forschungslaboratorium Siemens's*). При небольшом диаметре кольца (порядка 5-6 см) и достаточно длинном проводнике (несколько метров) напряженность намагничивающего кольцо поля может быть вычислено с практически достаточной точностью, исходя из силы тока в проводнике и расстояния центра проводника от средней окружности кольца. Следует указать, что распределение напряженности намагничивающего поля по радиальной ширине кольца, при таком способе намагничивания, не может быть вполне однородным. И результаты измерений будут относиться к некоторой средней напряженности поля в кольце. Для практических же целей, имея в виду небольшую радиальную ширину кольца (порядка 7-8 мм), это обстоятельство не имеет большого значения.

При испытаниях кольцевых образцов не обращают внимания на расположение кольца по отношению к земному полю, считая, что это влияние ничтожно.

Испытания кольцевых образцов производят следующим образом. Образец сначала тщательно размагничивают при помощи

прибора для размагничивания. После размагничивания измеряют индукцию при нескольких напряженностях намагничивающего поля обычным баллистическим методом. Измеренная индукция должна быть исправлена на поток в воздушном зазоре между измерительной обмоткой и образцом. Напряженность поля вычисляют по намагничивающим ампер-виткам и диаметру кольца. Определив индукцию и напряженность поля, вычисляют магнитную проницаемость μ , строят графически зависимость $\mu = f(H)$ и путем экстраполяции определяют проницаемость μ_0 , соответствующую $H=0$.

Эллипсоиды вращения и цилиндрические стержни. Эллипсоиды вращения и цилиндрические стержни испытывают в разомкнутой магнитной цепи. Образец помещают в длинный прямолинейный соленоид, обмотка которого включается в цепь постоянного тока. Размеры намагничивающего соленоида (отношение длины к среднему диаметру обмотки) должны быть таковы, чтобы напряженность поля, создаваемого обмоткой, была достаточно равномерна по длине на участке, занимаемом испытуемым образцом. Ось соленоида должна быть расположена перпендикулярно плоскости магнитного меридиана. На образец в средней его части надевают измерительную обмотку с большим числом витков, порядка 2000—3000 витков (в зависимости от сечения образца, его проницаемости и чувствительности гальванометра), соединяемую с баллистическим гальванометром. Обычным баллистическим методом определяют основную кривую намагничивания в слабых полях для нескольких значений напряженности намагничивающего поля H^1 . Индукцию B^1 измеряют баллистическим гальванометром, напряженность поля H^1 вычисляют по силе намагничивающего тока и постоянной катушки (число эрстедов на 1 ампер). Вследствие того, что среднее сечение измерительной обмотки больше сечения испытуемого образца, индукция B^1 , измеренная по отклонению гальванометра, больше истинной. Чтобы определить истинную индукцию B , необходимо внести поправку на поток в воздушном зазоре между катушкой и образцом. Истинную индукцию B вычисляют по формуле:

$$B = B^1 - \left(\frac{Sk}{S_0} - 1 \right) H^1,$$

где Sk и S_0 — соответственно сечения измерительной обмотки и образца в квадратных сантиметрах и H^1 — напряженность магнитного поля в воздушном зазоре между измерительной обмоткой и образцом в эрстедах.

Напряженность H^1 , вследствие размагничивающего действия образца, будет несколько меньше напряженности внешнего поля H^0 . Как показывают исследования, разница между ними,

при достаточно большом отношении размеров образца (порядка $\frac{l}{d} = 55$), незначительна и без значительной погрешности можно принять для расчета поправки на поток в воздушном зазоре вместо H^1 , величину внешнего намагничивающего поля H^1 , создаваемого обмоткой соленоида. Тогда:

$$B = B^1 - \left(\frac{S_k}{S_0} - 1 \right) H^1.$$

Магнитная проницаемость, вычисленная как отношение $\mu^1 = \frac{B}{H^1}$, изображается кривой в зависимости от напряженности внешнего поля H^1 . Путем экстраполяции находят начальную проницаемость μ_0^1 , соответствующую $H^1 = 0$. Полученная таким путем μ_0^1 отличается от истинной начальной проницаемости, отнесенной к напряженности поля H в образце.

Истинная начальная проницаемость:

$$\mu_0 = \mu_0^1 \cdot \frac{H^1}{H}$$

где:

$$H = H^1 - \frac{N(B-H)}{4\pi}$$

Из этих соотношений с достаточной точностью можно принять

$$\mu_0 = \frac{\mu_0^1}{1 - \frac{N}{4\pi} \cdot \mu_0^1}$$

Полосовые образцы листового материала. Измерения начальной проницаемости полосовых образцов листового материала в разомкнутой магнитной цепи производят так же, как и цилиндрических образцов или эллипсоидов вращения, в открытом пустотелом соленоиде (см. выше).

Представлялось интересным осуществить измерения начальной проницаемости с образцами, которые применяются для испытаний в приборе Эпштейна. В магнитной лаборатории Р. Т. Р. произведены подобные исследования на приборе Эпштейна (конструкция прибора Гумлиха и Роговского). Метод измерений — баллистический. Индукцию измеряют обычным методом при помощи баллистического гальванометра, соединяемого с обмоткой в 26 витков, навитой на пакет листовой стали в средней его части на протяжении 5 см. Напряженность намагничивающего поля также, непосредственно измеряют. Для этой цели

применены 4 плоских катушки с большим числом витков, соединенные между собой последовательно. Длина каждой катушки 5 см. Располагаются они со всех четырех сторон пакета стали в центральной части. Вследствие того, что измеряемые напряженности поля очень малы, обычные баллистические гальванометры оказываются не достаточно чувствительными и приходится применять панцирный гальванометр, который соединяют с измерительными катушками. Измеренную напряженность поля вычисляют по формуле:

$$H' = \frac{C\alpha}{2sn}$$

где sn — произведение сечения на число витков измерительных катушек в кв. сантиметрах, C — постоянная гальванометра в максвеллах на 1 деление шкалы и α — отклонение гальванометра при переключении тока в намагничивающих обмотках прибора.

Как известно, напряженность поля, измеренная в приборе Гумлиха и Роговского, больше истинной и нуждается в исправлении. Истинное поле $H = H' \cdot k$, где k — некоторый коэффициент, экспериментально определяемый и зависящий от напряженности намагничивающего поля и качества испытуемого материала¹.

Зная индукцию и истинную напряженность поля, вычисляют проницаемость, строят зависимость $\mu = f(H)$ и путем экстраполяции находят μ_0 .

Описанный метод имеет тот большой недостаток, что для измерений требуется панцирный гальванометр, работа с которым представляет большие затруднения, очень кропотлива и требует больших предосторожностей. К этому следует прибавить, что определение поправок к измеренным напряженностям поля в приборе Гумлиха и Роговского не обеспечивает достаточно надежных результатов для малых напряженностей поля, с которыми приходится работать при измерении начальной проницаемости, и, кроме того, эти поправки для разных сортов испытуемого материала различны.

Измерения начальной проницаемости, особенно с листовым материалом, требуют особо тщательного внимания и предосторожностей. Размагничивание образца должно быть полным. Чтобы удостовериться, в какой степени образец размагничено, сдвигают с образца измерительную катушку, соединенную с баллистическим гальванометром, и наблюдают отклонение. Если образец полностью размагничено, гальванометр не должен

¹ ETZ, 1912, стр. 262.

давать отклонения. Подобный контроль возможен только, конечно, при испытании образцов в открытой цепи в пустотелом соленоиде. Ось соленоида с образцом должна быть расположена перпендикулярно к плоскости земного меридиана.

Величина начальной проницаемости некоторых материалов в сильной степени зависит от того, через какой срок после размагничивания произведены измерения. Обычно с течением времени после процесса размагничивания наблюдается уменьшение проницаемости. Наиболее заметно это обнаруживается у листовой трансформаторной стали.

При измерениях образец не должен подвергаться каким-либо механическим воздействиям, ударам, сотрясениям, что влияет на магнитные свойства материала.

Метод д-ра Schoen'a. Методика измерений с испытуемым образцом ничем не отличается от измерений по нормальному баллистическому методу. Существенное отличие заключается в некоторых предварительных экспериментах и расчетах. Для испытаний применяют цилиндрические образцы и эллипсоиды вращения. Нормально применяются образцы диаметром 6 мм

с отношением длины к диаметру $\frac{l}{d} = 55$. Испытание производят в длинном прямолинейном пустотелом соленоиде, как описано выше для нормального баллистического метода.

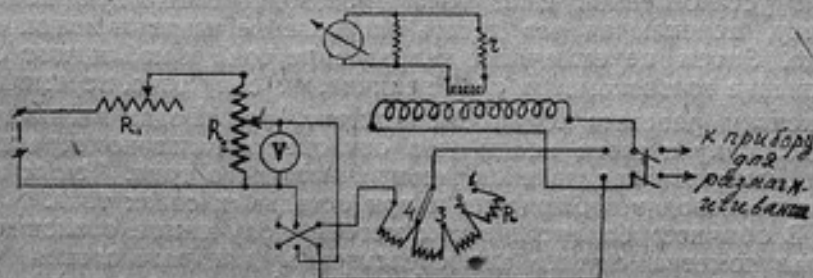


Рис. 15

Схема соединений вспомогательных приборов для такой установки представлена на рис. 15. Питание намагничивающей цепи производится потенциометрически от регулируемого реостата R_2 , который в свою очередь последовательно с другим реостатом R_1 включен в сеть аккумуляторной батареи 40 вольт. Благодаря потенциометрической схеме можно получить более удобную плавную регулировку силы тока в намагничивающей

цепи, а также возможность легко ее измерять. Реостат R в цепи намагничивающей катушки имеет 4 секции с постоянными выводами и сделан из манганина, благодаря чему достигается строгое постоянство силы тока в намагничивающей цепи. Сопротивления отдельных секций точно подогнаны так, что вместе с сопротивлением намагничивающей обмотки имеют 1×10^4 ; 2×10^4 ; 3×10^4 ; 5×10^4 омов при установке реостата на 4, 3, 2 и 1 контакты.

Перед началом измерений, регулируя реостаты R_1 и R_2 , по вольтметру устанавливают определенное напряжение (обычно 15 или 30 вольт) в зависимости от того, при каких напряжениях поля хотят производить измерения. Для каждого из применяемых напряжений заранее подсчитаны силы тока и напряженность поля в катушке для четырех положений реостата R . Вторичная обмотка соединена через добавочное сопротивление r и шунт r_B к баллистическому гальванометру.

Измерения заключаются в следующем. После установки намагничивающей катушки относительно земного магнитного поля ее включают на вторичную обмотку прибора для размагничивания и обычным путем производят размагничивание испытуемого образца, помещенного в намагничивающей катушке.

Далее, переключают намагничивающую обмотку в цепь питающего постоянного тока, ставят рукоятку реостата R на 1-й контакт, вводя тем самым максимальное сопротивление. При установленной силе тока производят магнитную подготовку, переключая раз десять направление намагничивающего тока. Затем переключают направление тока и наблюдают отклонение гальванометра α_B . Увеличивают силу тока, перемещая рукоятку реостата R на 2-й контакт, производят магнитную подготовку и снова наблюдают отклонение гальванометра при переключении направления намагничивающего тока. Таким путем производят наблюдения и при остальных силах тока.

В обычном баллистическом методе полученные отклонения гальванометра служат непосредственно для вычисления индукций. В предложенном д-ром Schoen'ом методе поступают иначе.

При переключении намагничивающего тока, когда в катушке находится испытуемый образец, изменение потока, сцепляющегося со вторичной обмоткой, определяется соотношением:

$$\Delta \Phi_B = 2 B S_0 n_2 = C \alpha_B,$$

где B — индукция в образце в гауссах, S_0 — сечение образца в кв. сантиметрах, n_2 — число витков вторичной обмотки, C — постоянная гальванометра в максвеллах на одно деление шкалы, и α_B — отклонение гальванометра при переключении тока.

Допустим теперь, что образец вынут из катушки. Подберем такую силу тока в намагничивающей цепи, чтобы отклонение гальванометра при переключении тока было таким же, как и в случае, когда образец находился в катушке, т. е. α_B . Тогда изменение потока, сцепляющегося в этом случае со вторичной обмоткой:

$$\Delta \Phi_H = 2 H_1 S_0 n_2 = C \alpha_B,$$

где H_1 — напряженность поля, создаваемого намагничивающей катушкой в эрстедах при некоторой силе тока I_1 , соответствующее отклонению α_B , S_k — сечение вторичной обмотки в кв. сантиметрах.

Сопротивление вторичной цепи в этом последнем опыте должно быть таким же, как и при измерениях с образцом.

Так как отклонения в обоих случаях одинаковы, то изменения потоков $\Delta \Phi_B$ и $\Delta \Phi_H$ равны между собой, т. е. $B S_0 n_2 = H_1 S_k n_2$ или $B S_0 = H_1 S_k$.

Напряженность магнитного поля H_1 вычисляют по постоянной намагничивающей катушки:

$$H_1 = k \cdot I_1,$$

где k — постоянная катушки (число эрстедов на 1 ампер).

Напряженность магнитного поля намагничивающей катушки, при испытании образца, некоторое H' , вычисляют аналогичным путем:

$$H' = k \cdot I_1',$$

где I_1' — сила тока в намагничивающей катушке при испытании образца.

Магнитную проницаемость, отнесенную к внешнему намагничивающему полю H' , вычисляют, как обычно:

$$\mu' = \frac{B}{H'}$$

Пользуясь вышеприведенными соотношениями, получим:

$$\mu' = \frac{H_1 S_k}{H' S_0} = \frac{I_1 d_k^2}{I_1' d_0^2}$$

где d_k и d_0 — соответственно средний диаметр обмотки вторичной катушки и диаметр испытуемого образца.

Так как напряженность поля H_1 прямо пропорциональна (линейная зависимость) силе тока, то нет надобности каждый раз при испытаниях образцов подбирать экспериментально силу тока, соответствующую данному отклонению гальванометра α_B .

Достаточно один раз с определенной намагничивающей и вторичной катушками и определенным сопротивлением вторичной цепи произвести измерения отклонений гальванометра при переключении силы тока в намагничивающей катушке. Из этих измерений находят зависимость $\alpha_B = c \cdot I_1$ или $I_1 = c\alpha_B$.

В магнитной лаборатории Р. Т. Р. принято всегда производить испытания образцов с определенным отношением размеров: $\frac{l}{d_0} = 55$ и большую частью определенного диаметра

$d_0 = 6$ мм, так как для таких образцов имеются сравнительные испытания с эллипсоидами вращения. Если же испытывается образец диаметром отличным от 6 мм, производят некоторые пересчеты, применительно к цилиндрическому образцу диаметром 6 мм, а затем к эллипсоиду вращения.

Допустим, что испытывается образец диаметром d_0 и при переключении некоторой силы тока I_1 в намагничивающей цепи получено отклонение α_B . Если бы испытывался образец диаметром 6 мм, то при таком же соотношении размеров $\frac{l}{d_0}$, как

и для испытуемого образца, отклонение гальванометра, пропорциональное индукции образца, получилось бы равным:

$$\alpha_B^1 = \alpha_B \cdot \frac{0,6^2}{d_0^2} = \alpha_B \cdot \frac{0,36}{d_0^2}$$

Сила тока в намагничивающей катушке без образца, соответствующая отклонению α_B^1 , на основании вышеприведенных рассуждений, будет равна:

$$\text{прим. } I_1^1 = c \cdot \alpha_B \cdot \frac{0,36}{d_0^2} = I_1 \cdot \frac{0,36}{d_0^2}$$

если ток I_1 соответствует отклонению α_B .

Последнюю формулу для I_1^1 можно представить в следующем виде, умножив числителя и знаменателя правой части на отношение $\frac{0,36}{0,36}$:

$$I_1^1 = \frac{I_1}{I_1} \cdot \frac{d_k^2}{d_0^2} \cdot \frac{0,36}{0,36}$$

Заменяя $I_1 \cdot \frac{0,36}{d_0^2} = I_1^1$, получим:

$$I_1^1 = \frac{I_1^1}{I_1^1} \cdot \frac{d_k^2}{0,36}$$

Для определенной вторичной катушки dk есть постоянная величина, следовательно:

$$\mu^1 = K \cdot \frac{I'}{I_1}, \text{ где } K = \frac{dk^2}{0.36}$$

Для каждого значения силы намагничивающего тока I' , а следовательно и напряженности поля, при которых производят испытание образца, заранее можно подсчитать коэффициент $\frac{K}{I_1}$ в формуле для μ^1 .

Тогда для данной величины силы намагничивающего тока I' :

$$\mu^1 = A \cdot I',$$

где: $A = \frac{K}{I_1} = \frac{dk^2}{0.36 I_1}$

Вычисленная таким образом проницаемость будет отличаться от истинной, так как, как указано выше, она относится к напряженности внешнего намагничивающего поля, а не к напряженности поля в самом образце.

Для того, чтобы определить истинную проницаемость, необходимо учесть влияние размагничивания образца, т.е. ввести в расчеты коэффициент размагничивания или же произвести некоторые пересчеты применительно к испытанию эллипсоида с малой осью равной 6 мм и с таким же отношением размеров, как и цилиндрический образец. Если бы испытывался эллипсоид вращения, то отклонение гальванометра отличалось бы от полученного при испытании 6 мм цилиндрического образца; оно было бы несколько меньше.

Чтобы не определять каждый раз коэффициента размагничивания испытуемых цилиндрических образцов, лабораторией Р. Т. Р. проделана работа по сравнительным испытаниям в разомкнутой магнитной цепи цилиндрических образцов и эллипсоидов вращения в слабых полях для различных материалов. Из материалов с разными магнитными свойствами были приготовлены цилиндрические образцы, диаметром 6 мм. с одним и

тем же отношением размеров $\left(\frac{l}{d} = 55\right)$. Образцы были испы-

таны баллистическим методом. При нескольких напряженностях внешних намагничивающих полей наблюдали отклонения гальванометра при переключении направления намагничивающего тока. Затем из тех же образцов вытачивали эллипсоиды вращения с малой осью, равной 6 мм, сохраняя прежнее отношение размеров. Эллипсоиды вращения были испытаны так же,

как и цилиндрические образцы. При тех же напряженностях намагничивающего поля наблюдали отклонения гальванометра при переключении намагничивающего тока. На основании полученных наблюдений определяли отношения отклонения гальванометра с эллипсоидом к отклонению с цилиндрическим образцом для определенной напряженности поля и одного и того же материала. По этим данным построены кривые зависимости

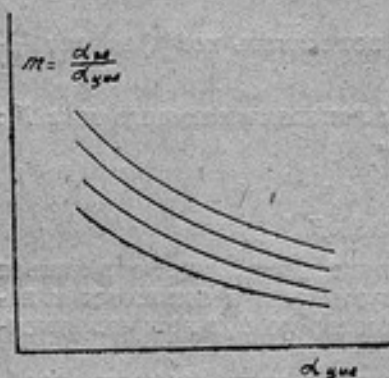


Рис. 16

$$\alpha_c = f(m), \text{ где } m = \frac{\alpha_{\text{el}}}{\alpha_c}$$

α_{el} и α_c — соответственно отклонения с эллипсоидом и цилиндром для нескольких напряженностей поля и образцов из разных материалов. На рис. 16 представлены подобные кривые. Каждая относится к одной и той же напряженности внешнего поля и к образцам из материалов с разными магнитными свойствами. Пользуясь этими кривыми, находят отклонение, которое получилось бы, если бы испытывался эллипсоид вращения

с малой осью 6 мм и с таким же отношением размеров, как и испытываемый цилиндрический образец:

$$\alpha_{\text{el}} = \alpha_B^1 m = \alpha_B \frac{0,36}{d_0^2} m$$

Зная отклонение α_{el} , вычисляют силу тока:

$$I'' = C \alpha_B \cdot \frac{0,36}{d_0^2} \cdot m$$

и затем магнитную проницаемость, по формуле: $\mu^1 = A I''$ для четырех напряженностей внешних намагничивающих полей. По этим данным строят кривую $\mu^1 = f(H^1)$ и экстраполированием находят μ_0^1 .

Так же, как и при обычном баллистическом способе измерений, необходимо величину μ_0^1 исправить, вводя поправки на поток в воздушном зазоре между образцом и измерительной катушкой и учесть размагничивающее действие образца, в данном же случае эллипсоида вращения, применительно к которому произведены все вычисления.

$$\mu_0^1 \text{ кор} = \mu_0 - \Delta \mu_0; \Delta \mu_0 = I \left(\frac{0,36}{C_0} \right) B$$

где S_k и S_0 — сечения катушки и испытуемого цилиндрического образца.

Истинная начальная проницаемость:

$$\mu_0 = \frac{\mu_{0 \text{ cor}}}{1 - \frac{N}{4\pi} \mu'_{0 \text{ cor}}}$$

если N — коэффициент размагничивания эллипсоида с соответствующим отношением размеров.

Как следует из вышесказанного, определение магнитной проницаемости по формуле $\mu^1 = A \cdot I''$ предусматривает, что постоянная гальванометра сохраняет одну и ту же величину как при определении зависимости силы тока в намагничивающей обмотке и отклонения гальванометра без образца в катушке, так и при самых испытаниях образцов. Хотя сопротивление вторичной цепи, на которую замкнут гальванометр, одно и то же в обоих случаях, однако некоторые небольшие колебания в величине постоянной гальванометра всегда могут иметь место (влияние температуры, кручение подвеса гальванометра и др.), тем более, что эти измерения производятся не в одно и то же время. Поэтому, при каждом испытании образца необходимо производить градуировку гальванометра и, если окажется, что постоянная отличается от величины, которую она имела при определении зависимости тока и отклонения гальванометра в опыте без образца, необходимо в формулу для μ^1 внести поправочный член. В данном случае, однако, нет надобности полностью определять постоянную гальванометра, достаточно только перед испытанием образца и после испытания измерить отклонения гальванометра, переключив его предварительно на схему для градуировки и давая импульс от магнитного эталона, применяемого в Р. Т. Р. для градуировки гальванометра (см. выше). Допустим, что полученное среднее отклонение β отличается от отклонения α , определенного в опыте без образца. Тогда формула для вычисления μ^1 примет вид:

$$\mu^1 = \frac{\alpha}{\beta} \cdot A \cdot I''$$

если β и α получены для одних и тех же условий, т. е. при одинаковом сопротивлении вторичной цепи и одинаковых условиях затухания гальванометра. Если градуировка производится при помощи катушки взаимной индукции, то также и при одной и той же силе тока в первичной цепи этой катушки.

При учете поправки на поток в воздухе вносится маленькая неточность тем, что при вычислении потока в воздушном зазоре

между образцом и измерительной катушкой принимается напряженность внешнего поля, создаваемая намагничивающей катушкой, в действительности же, вследствие размагничивающего действия образца, в зоне, близкой к поверхности образца, напряженность поля будет несколько меньше. Практически, однако, эта неточность не вносит заметной ошибки в измерении проницаемости, тем более, что при отношении размеров испытуемого образца, равном 55, размагничивающее действие относительно не велико.

Такого же порядка неточность вызывается пересчетами отклонений гальванометра, если испытывается образец диаметром отличным от 6 мм. Пересчитывается отклонение, которое обуславливается не только потоком индукции, но также и потоком в воздушном зазоре между катушкой и образцом, вследствие чего пересчитанное отклонение несколько больше, чем то, которое получилось бы, если бы испытывался непосредственно образец диаметром 6 мм. Частично это компенсируется тем, что при вычислении поправки на поток в воздухе принимается сечение испытуемого образца, а не образца диаметром 6 мм, т. е. берется несколько большая поправка. Практически это также не влияет заметно на результаты.

Сам по себе метод подсчета, так как этим он главным образом отличается от обычного баллистического, весьма прост, и так как большинство вычислений можно сделать заранее, собственно вычисления проницаемости занимают весьма немного времени.

В смысле точности этому методу следует отдать некоторое предпочтение перед обычным баллистическим, так как, во первых, в расчеты не входит непосредственно постоянная гальванометра, а лишь отношение двух величин, вообще говоря,

мало отличающихся друг от друга (отношение отклонений $\frac{\alpha}{\beta}$).

Далее, зависимость отклонений гальванометра от силы тока определяется только один раз и может быть произведена с большой точностью.

Точность измерений начальной проницаемости образцов в разомкнутой магнитной цепи понижается с уменьшением отношения размеров испытуемого образца, вследствие чего рекомендуется брать большое отношение размеров (не меньше 50). Кроме того, чем больше проницаемость материала, тем менее точны измерения. Это следует из соотношения:

$$H = H^0 - N \cdot \frac{B - H}{4\pi}; \text{ откуда } \frac{H}{H^0} = \frac{1}{1 + \frac{N(\mu - 1)}{4\pi}}$$

Чем больше μ и N , тем больше отличается истинная напряженность поля в образце H от внешней напряженности поля катушки H^1 .

Измерение начальной магнитной проницаемости на переменном токе. Описываемый ниже метод и устройство предназначаются для измерений начальной магнитной проницаемости образцов

с большим отношением размеров $\left(\frac{l}{d}, l — \text{длина, } d — \text{диаметр}\right)$.

Нормально применяемые размеры образцов: диаметр $d=1$ мм, длина $l=500$ мм. Принципиальная схема соединений вспомогательных приборов представлена на рис. 17. Намагничивающая

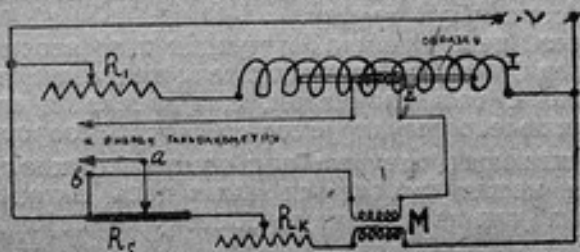


Рис. 17

катушка Γ представляет пустотелую фарфоровую трубу длиной 1 м, внутренний диаметр около 2 см, на которую навита в один слой обмотка из константановой голой ленты. Постоянная намагничивающей катушки, т.е. величина поля в эрстедах при силе тока в обмотке в 1 ампер, равна $1,05_e$ ($H=1,05_e \cdot I$, где I — сила тока в амперах, H — в эрстедах). Последовательно с намагничивающей обмоткой соединен магазин сопротивления R_1 , безиндукционный и беземкостный. Назначение этого магазина — устанавливать желаемую силу тока в намагничивающей цепи. Намагничивающая цепь питается через трансформатор, с коэф-

фициентов трансформации $\frac{1}{1}$, от генератора переменного тока

20 герц. Относительно низкая частота применяется, чтобы избежать при испытании образцов влияния поверхностного эффекта. От того же источника переменного тока, параллельно, питается вторая цепь, состоящая из безиндукционного магазина сопротивления R_k , первичной обмотки взаимной индукции M и проволочного сопротивления R_s . Проволочное сопротивление выполнено из марганцовой ленты, намотанной на барабан. По

ленте передвигается скользящий контакт. Сопротивление ленты заранее измерено и на барабане нанесены деления, позволяющие производить необходимые отчеты при измерениях (подробнее см. ниже).

Вторичная цепь измерительной установки состоит (предполагая сначала, что точки a и b соединены между собой и отведений к проволочному сопротивлению нет) из вторичной измерительной обмотки II , надетой на образец, вторичной обмотки взаимной индукции и вибрационного гальванометра. Измерительная катушка имеет 1934 витка из эмалированной медной проволоки диаметром 0,2 мм. Обмотка навита на тонкостенную стеклянную трубку внутренним диаметром 1,2 мм. Длина обмотки 8 см. Катушка для прочности помещена в толстостенную стеклянную трубку.

В первичной цепи взаимной индукции и во вторичной измерительной цепи имеются переключатели направления тока. Последовательно с гальванометром, для изменения его чувствительности, включено регулируемое добавочное сопротивление r_d .

Намагничивающая катушка при помощи двухполюсного переключателя может включаться или в цепь питающего переменного тока или на вторичную обмотку прибора для размагничивания.

Сопротивление R_1 в намагничивающей цепи выполнено в виде магазина с постоянными выводами: 1000; 4000; 9000; 19000; 49000 и 99000 омов. Сопротивление R_2 в цепи взаимной индукции — штепсельный магазин с максимальным сопротивлением 100000 омов. Для более тонкой регулировки в этой же цепи включен последовательно курбельный магазин сопротивления с 4 декадами (1×9 ; 10×9 ; 100×9 и 1000×9 омов). Взаимная индукция $M = 1,00 \times 10^{-4}$ генри, омическое сопротивление первичной обмотки $R_M = 74$ омам.

На рис. 18 изображена рабочая схема описанной установки.

Измерения и расчеты. Испытуемый образец помещается внутрь намагничивающей катушки в центральную часть и при помощи центрирующего приспособления устанавливается вдоль оси катушки. При установке образца следует обращать внимание на то, чтобы образец не испытывал никаких механических напряжений, могущих исказить результаты магнитных измерений.

Намагничивающая катушка с образцом ориентируется относительно земного магнитного поля (ось катушки должна быть строго перпендикулярна к плоскости магнитного меридиана), чтобы исключить возможность его влияния на испытуемый образец.

Дальше следует размагничивание образца. Для этой цели намагничивающую обмотку при помощи переключателя включают на вторичную обмотку прибора для размагничивания.

После размагничивания образца намагничивающую обмотку переключают в цепь питающего переменного тока и приступают к измерению магнитной проницаемости. Регулируя возбуждение генератора, устанавливают напряжение около 40 вольт. По вольтметру, который может включаться в измерительную цепь, отчитывают напряжение E_1 , подводимое к первичной цепи (намагничивающей). В магазине R_1 устанавливают некоторое сопротивление, в соответствии с заранее выбранной напряженностью намагничивающего поля, создаваемой катушкой. При намагничивании образца во вторичной обмотке, надетой на образец, индуцируется электродвижущая сила E_2 , которая может быть компенсирована равной ей по величине и противоположной по направлению электродвижущей силой, индуцируемой во вторичной обмотке взаимной индукции. Компенсация осуществляется регулировкой сопротивлений R_k в первичной цепи взаимной индукции. При полной компенсации вибрацион-

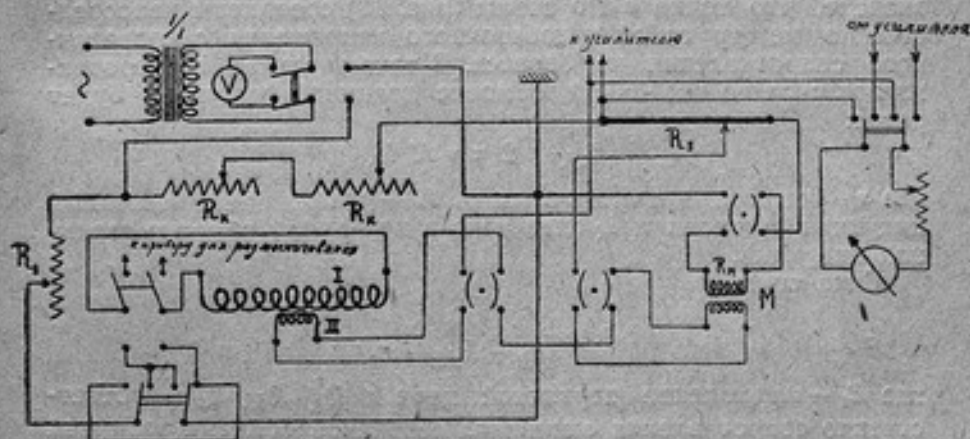


Рис. 18

ный гальванометр не будет давать отклонений. Практически, вследствие не одинаковых потерь во вторичной измерительной обмотке и вторичной обмотке взаимной индукции, соответствующие напряжения на зажимах этих обмоток будут сдвинуты друг относительно друга не точно на 180° , и добиться полного равновесия (нулевого положения гальванометра) не удастся, если, как указано выше, предположить, что точки a и b вторичной цепи непосредственно соединены между собой (рис. 17). Для достижения полной компенсации необходимо во вторичную цепь подвести еще дополнительно небольшое напряжение, что осуществляется присоединением точек a и b

к проводочному регулируемому сопротивлению, включенному в первичной цепи взаимной индукции. Требуемая ориентировка вектора добавочного напряжения устанавливается, изменяя направление тока переключателем в цепи катушки M . Регулируя одновременно сопротивления R_R и R_S легко добиваются полной компенсации при максимальной чувствительности гальванометра, когда последовательно соединенное с ним сопротивление все выведено. При весьма небольшой силе тока в первичной цепи, измеряемой миллиамперами, можно с уверенностью принять, что напряжение, как первичной, так и вторичной цепи синусоидально, при условии, если напряжение питающего генератора синусоидально.

Электродвижущая сила, индуктирующаяся во вторичной измерительной обмотке, вычисляется, исходя из того условия, что она полностью компенсирована электродвижущей силой во вторичной обмотке взаимной индукции. Предполагается вначале, что точки a и b схемы (рис. 17) соединены непосредственно между собой и добавочного напряжения с проводочного сопротивления не берется. В таком случае электродвижущая сила во вторичной обмотке взаимной индукции будет равна:

$$E_{2M} = 2 \pi \nu M I_R,$$

где ν — частота питающего тока, M — коэффициент взаимной индукции в генри и I_R сила тока в первичной обмотке взаимной индукции.

Сила тока:

$$I_R = \frac{E_1}{R_R + R_M + R_S},$$

где E_1 — напряжение первичной цепи и R_R , R_M , R_S — соответственно сопротивления магазина, первичной обмотки взаимной индукции и проводочного реостата, в том положении, когда гальванометр не дает отклонений.

$$E_{2M} = 2 \pi \nu M \frac{E_1}{R_R + R_M + R_S}$$

Зная $E_{2M} = E_2^1$, если E_2^1 — электродвижущая сила индуктирующаяся во вторичной измерительной обмотке, можно вычислить величину максимальной магнитной индукции испытуемого образца:

$$E_2^1 = 4 f \nu n_2 S B_{\max} 10^{-8} \text{ вольт,}$$

где f — коэффициент формы кривой электродвижущей силы (для синусоиды $f = 1,11$), ν — частота тока, n_2 — число витков

вторичной измерительной обмотки, S — сечение испытуемого образца в кв. сантиметрах и B_{\max} — максимальная индукция образца в гауссах.

$$B_{\max} = \frac{E_2^2 \cdot 10^8}{4 f \nu \mu_2 S}$$

или:

$$B_{\max} = \frac{2 \pi \nu M E_1 \cdot 10^8}{4 f \nu \mu_2 S} \cdot \frac{1}{R_R + R_M + R_S}$$

Напряженность намагничивающего поля (максимальное значение) вычисляют по силе намагничивающего тока I_{\max} и постоянной катушки k (число эрстедов на 1 ампер)

$$H^1 = I_{\max} \cdot k.$$

Сила намагничивающего тока:

$$I_{\max} = I_g \sqrt{2} = \frac{E_1}{R_1} \sqrt{2},$$

где R_1 — сопротивление в последовательной цепи.

Сопротивление намагничивающей обмотки незначительно по сравнению с R_1 и его можно в расчет не вводить.

Зная B_{\max} и H^1_{\max} , легко вычислить магнитную проницаемость μ^1 :

$$\mu^1 = \frac{B_{\max}}{H^1_{\max}}$$

Определенная таким образом магнитная проницаемость будет отличаться от истинной, так как:

1) при вычислении E_2 , а следовательно и B_{\max} , не учтено добавочное напряжение, получаемое с проволочного сопротивления R_S ;

2) сечение вторичной измерительной обмотки больше сечения образца, вследствие чего вычисленная индукция больше истинной;

3) истинная напряженность намагничивающего поля, вследствие размагничивающего действия образца, будет меньше внешней напряженности поля, создаваемого намагничивающей обмоткой.



Итак, фиктивная неисправленная магнитная проницаемость:

$$\mu^1 = \frac{B_{\max}}{H^1_{\max}} = \frac{2 \pi \nu M E_1 10^8}{4 f \nu n_2 S E_1 \sqrt{2} k} \frac{R_1}{R_k + R_M + R_S}$$

$$= \frac{\pi M 10^8}{2 f n_2 S k \sqrt{2}} \frac{R_1}{R_k + R_M + R_S}$$

Для данной установки и определенных сечений образца и частоты тока, при которой производят измерения, первый множитель формулы для μ^1 постоянен и может быть заранее вычислен.

Пусть:

$$C = \frac{\pi M 10^8}{2 f n_2 S k \sqrt{2}}$$

тогда:

$$\mu^1 = C \cdot \frac{R_1}{R_k + R_M + R_S}$$

где R_M и R_S также постоянны, а меняются только R_1 и R_k .

Таким путем вычисляют магнитную проницаемость для нескольких значений напряженности намагничивающего поля H^1_{\max} . Обычно достаточно произвести измерения при четырех полях. Пользуясь полученными данными для μ^1 , строят кривую зависимости $\mu^1 = f(H^1_{\max})$ и экстраполированием находят μ^1_0 , соответствующую $H^1_{\max} = 0$.

Как указано выше, определенная таким образом начальная магнитная проницаемость нуждается в поправках.

Вследствие того, что сечение вторичной измерительной обмотки больше сечения образца, электродвижущая сила, индуцируемая в этой обмотке, обуславливается двумя потоками: потоком индукции в образце и потоком в воздушном зазоре между образцом и обмоткой. Поправки на поток в воздухе для μ^1_0 вычисляют по формуле:

$$\Delta \mu^1_0 = \left(\frac{S_k}{S_0} - 1 \right);$$

где S_k — сечение измерительной обмотки, и S_0 — сечение образца.

Строго говоря, вычисленная таким образом поправка будет несколько больше истинной, так как электродвижущая сила обусловленная потоком в воздухе, не совпадает по фазе с электродвижущей силой от потока индукции образца и составляет с ней угол $(90 - \varphi)$, если φ — угол между током и напряжением.

Следующая поправка должна учесть дополнительное напряжение, подводимое с проволочного сопротивления R_s . Геометрическая сумма напряжений на вторичной обмотке взаимной индукции E_{2M} и на проволочном сопротивлении E_s должна дать напряжение E_2 , равное по величине напряжению E_2^1 на вторичной измерительной обмотке, и сдвинутое относительно него на 180° . Вследствие этого, истинное напряжение, которое компенсирует напряжение вторичной измерительной обмотки, связано с напряжением E_{2M} соотношением (рис. 19):

$$E_{2M} = E_2 \cos \alpha,$$

где E_2 — напряжение, компенсирующее напряжение измерительной обмотки (от индукции образца) и α — угол между E_{2M} и E_2 (рис. 19).

$$E_2 = \frac{E_{2M}}{\cos \alpha}$$

Имея в виду, что r — активное (проволочного сопротивления), а $\omega M = 2\pi\nu M = x$ — реактивное сопротивление участка вторичной цепи между точками a и c (см. рис. 17), не трудно определить $\frac{1}{\cos \alpha}$:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{r}{\omega M}; \quad \cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} \\ \frac{1}{\cos \alpha} &= \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} = \sqrt{1 + \frac{r^2}{\omega^2 M^2}} \end{aligned}$$

Тогда:

$$E_2 = E_{2M} \cdot \sqrt{1 + \frac{r^2}{\omega^2 M^2}} = m E_{2M}$$

Коэффициент $m = \sqrt{1 + \frac{r^2}{\omega^2 M^2}}$ заранее вычисляют для различных значений r и на него следует умножать величину $(\mu_0^1 - \Delta\mu_0^1)$, чтобы получить начальную магнитную проницаемость, исправленную пока еще только в отношении индукции,

$$\mu_0^1 \operatorname{cor} = m (\mu_0^1 - \Delta\mu_0^1).$$

Далее необходимо привести эту величину к истинной напряженности намагничивающего поля. Истинная напряженность поля H определяется:

$$H = H^1 - \mathcal{N}I,$$



Рис. 19

где H' — внешняя напряженность поля намагничивающей катушки, N — коэффициент размагничивания образца и I — интенсивность намагничивания.

Истинная начальная проницаемость μ_0 определяется:

$$\begin{aligned} \mu_0 &= \frac{H'}{H} \cdot \mu_0^1 \cos = \frac{H + NI}{H} \cdot \mu_0^1 \cos = \\ &= \left(1 + \frac{NI}{H} \right) \cdot \mu_0^1 \cos = \left[1 + \frac{(B-H)N}{H \cdot 4\pi} \right] \cdot \mu_0^1 \cos = \\ &= \left[1 + (\mu_0 - 1) \frac{N}{4\pi} \right] \cdot \mu_0^1 \cos. \end{aligned}$$

С достаточной степенью точности вышеприведенное соотношение можно заменить таким:

$$\mu_0 = \left(1 + \mu_0 \frac{N}{4\pi} \right) \mu_0^1 \cos,$$

откуда:

$$\mu_0 = \frac{\mu_0^1 \cos}{1 - \frac{N}{4\pi} \cdot \mu_0^1 \cos}$$

Так как отношение размеров исследуемого образца велико $\frac{l}{d} = 500$, коэффициент размагничивания N для цилиндрического стержня может быть взят таким же, как и для эллипсоида вращения с одинаковым отношением размеров.

Для повышения чувствительности метода, что в некоторых случаях является необходимым, применяют обычную для низкой частоты усилительную двухламповую схему. В этом случае вибрационный гальванометр включают через усилитель на вторичную измерительную цепь. Схема усилительного устройства изображена на рис. 20. В качестве входного и выходного трансформаторов применены измерительные трансформаторы напряжения с характеристиками: выходной — 60 VA, 110/15000 V, 70 герц, выходной — 130 VA, 15000/110 V, 50 герц. Промежуточный трансформатор имеет на одном сердечнике две обмотки, каждая по 18000 витков. Так как сопротивления трансформаторов должны быть сравнимы с внутренним сопротивлением ламп, то при низких частотах требуются большие трансформаторы. Из этих соображений целесообразно применять еще более низкую частоту (ниже 20 герц). Анодный ток для усилительных ламп должен быть строго постоянным.

Малейшие колебания нарушают работу установки и не позволяют добиться нулевого положения гальванометра. Для обеспечения постоянства анодного тока пользуются батареей большой емкости. Усилительное устройство должно находиться в достаточно большом удалении от измерительного устройства. Также необходимо принять меры к устранению и всех прочих возможных электромагнитных влияний на измерительную установку. При соблюдении всех указанных предосторожностей установка нулевого положения гальванометра может быть обеспечена с точностью порядка 0,001 при наличии усилительного устройства, повышающего чувствительность метода примерно в 100 раз.

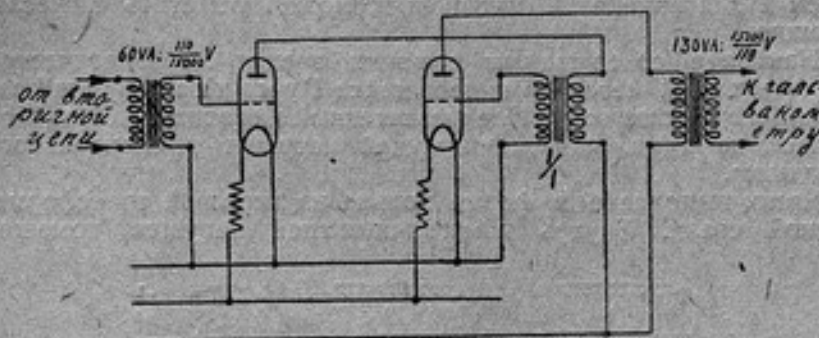


Рис. 20

На основании собственных экспериментальных работ на вышеописанной установке можно констатировать, что метод весьма удобен, прост в обращении, обеспечивает большую точность и требует весьма небольшого времени для выполнения измерений. Испытание одного образца (определение проницаемости при четырех напряженностях поля) занимает не больше 15-20 минут.

7. Измерения магнитной проницаемости в сильных магнитных полях

Измерения магнитной проницаемости в сильных магнитных полях, выше 1000 эрстедов, представляют практический интерес с точки зрения оценки магнитных свойств материалов, применительно к тем условиям, в которых работает материал в некоторых электромагнитных механизмах, как, например, роторы турбогенераторов, зубцы динамомашин.

Испытания в обычных пермеэметрах баллистическим методом при высоких напряженностях поля связаны с большими техническими затруднениями и редко находят практическое применение. В большинстве случаев для создания сильного магнитного поля пользуются в том или ином виде электромагнитами. Иногда для этой цели применяют прямолинейные соленоиды с обмоткой, охлаждаемой маслом или водой, что допускает большую нагрузку током. Испытания в таких случаях производят в разомкнутой магнитной цепи.

Из приборов и установок, предназначенных для измерений магнитной проницаемости в сильных магнитных полях, а вместе с тем и для измерений насыщения, можно отметить нижеследующие.

Наиболее совершенным с точки зрения метрологической представляется метод ярма-перешейка Гумлиха (Physikalisch-Technische Reichsanstalt). Предназначенный для этих целей прибор состоит из ярма, намагничивающей катушки и специального вкладыша.

Ярмо выполнено в форме кольца из листовой трансформаторной стали. Внутри намагничивающей катушки помещен

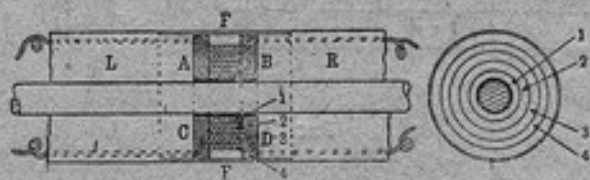


Рис. 21

вкладыш, представленный на рис. 21, состоящий из двух полых цилиндров *L* и *R* из магнитно мягкого железа такой длины, что в центральной части катушки между ними образуется промежуток (перешеек) 12 мм. Цилиндры скреплены между собой латунной трубкой *F*. В цилиндры вставляют испытуемый образец, диаметром 6 мм. В перешейке помещена катушка *ABCD* с 4 измерительными обмотками с одинаковым числом витков. Длина измерительной катушки без флянцев 6 мм. Вкладыш зажимают в ярме винтами. Концы обмоток, тщательно перевитые, выведены через отверстия, просверленные во вкладышах. Общий вид прибора представлен на рис. 22. Описанное устройство позволяет определять основную кривую намагничивания при напряженностях поля от 150 до 8000 эрстедов. Максимальная напряженность поля около 8000 эрстедов получается при сравнительно небольшой силе тока, порядка 8 ампер. Указанные пределы напряженности поля вполне отвечают потребностям

испытания практически интересных ферро-магнитных материалов, насыщение которых достигается даже при меньших напряженностях поля.

Аппаратура и метод ярма-перешейка предусматривают измерение при помощи баллистического гальванометра и магнитной индукции и напряженности намагничивающего поля. Первая

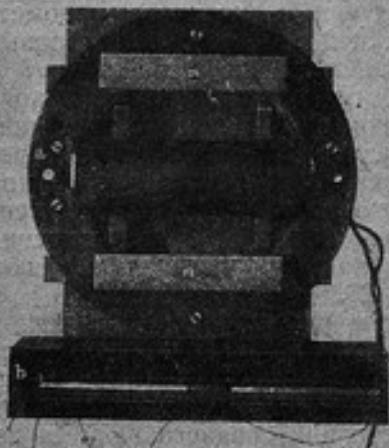


Рис. 22

обмотка измерительной катушки, непосредственно навитая на гильзу и соединенная с баллистическим гальванометром, служит для измерения индукции при переключении тока в намагничивающей катушке так же, как и в обычном баллистическом методе. Для измерения напряженности поля в кольцевых зонах, охватывающих образец по высоте перешейка, соединяют поочередно обмотки 1 со 2, 2 с 3 и 3 с 4 навстречу друг другу и последовательно с гальванометром. Допустим, что обмотки первая и вторая, соединенные навстречу друг другу, включены на гальванометр. При переключении тока в намагничивающей катушке отклонение гальванометра α_1 пропорционально потоку в кольцевом промежутке между обмотками. Считая, что распределение магнитного потока в этой зоне равномерно, что вполне

допустимо, имея в виду, что кольцевой промежуток не велик (порядок 1,0—1,5 мм), можно вычислить напряженность поля, относя его к среднему диаметру кольцевого промежутка. Напряженность поля вычисляют по формуле:

$$H_1 = \frac{C \alpha_1}{2n(s_2 - s_1)}$$

где C — постоянная гальванометра в максвеллах для данного сопротивления цепи, на которую замкнут гальванометр, n — число витков каждой из измерительных обмоток, s_2 и s_1 — средние сечения первой и второй обмоток в кв. сантиметрах.

Таким же путем, переключая направление тока (не меняя его величины) в намагничивающей катушке, определяют последовательно отклонения α_2 и α_3 , когда гальванометр соответственно включен на обмотки 2 и 3, 3 и 4. Полученные отклонения служат для вычисления напряженностей поля H_2 и H_3 в двух других зонах перешейка, более удаленных от поверхности образца. На основании полученных данных строят диаграмму распределения напряженности поля по высоте перешейка. На рис. 23 по оси абсцисс отложены расстояния от поверхности образца средних зон, для которых измерена напряженность поля. Истинную напряженность поля H_0 на поверхности образца, соответствующую измеренной индукции, определяют экстраполированием кривой рис. 23.

При вычислении индукции вводят, как обычно, поправку на поток в воздушном зазоре между образцом и измерительной обмоткой 1, при чем за напряженность поля H_B принимают среднюю величину между напряженностью поля на поверхности образца и на расстоянии среднего радиуса первой обмотки (из диаграммы).

Необходимые для вычисления напряженности поля величины $n(s_2 - s_1)$, $n(s_2 - s_2)$, $n(s_1 - s_3)$ измеряют магнитным способом, описанным выше в главе „Применение нормальных катушек“. Помимо непосредственного измерения разности $n(s_2 - s_1)$ и т. д. измеряют также отдельно постоянные каждой из обмоток ns_1 ; ns_2 ; ns_3 ; ns_4 , необходимые для вычислений средних диаметров кольцевых зон, для которых измеряют напряженность поля.

Для практических целей нет надобности при каждой напряженности поля производить измерения со всеми обмотками. Можно ограничиться таким измерением только при одной напряженности и в тех же условиях измерить напряженность обмотками 1—3 и вывести соответствующую поправку. В дальнейшем измерения напряженности поля производят только обмотками 1—3 и вводят одну и ту же процентную поправку, полученную из предыдущего измерения распределения поля по высоте перешейка.

Описанные метод и устройство достаточно просты, не требуют особых приспособлений и обеспечивают вполне надежные результаты. Существенным достоинством этого метода является

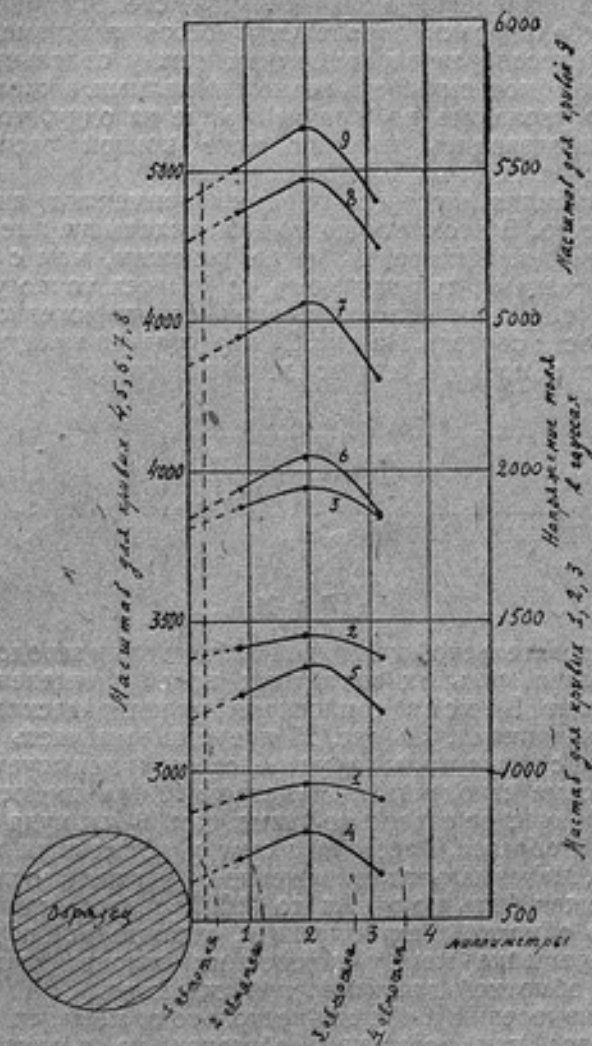


Рис. 23

возможность производить измерения при сравнительно слабых напряженностях поля порядка 150 эрстедов, что позволяет, в случае необходимости, выполнять и сравнительные испытания одних

и тех же образцов нормальным баллистическим методом в пермеамetre, а также и на магнитометре, применяя как цилиндрические образцы, так и эллипсоиды вращения.

Точность измерений в значительной степени определяется точностью градуировки (определения постоянных) измерительных обмоток. Целесообразно промежутки между отдельными измерительными обмотками брать возможно малыми, а число обмоток желательно увеличить по крайней мере на одну, чтобы более уверенно производить экстраполяцию кривой распределения напряженности поля по высоте перешейка.

Для испытания листовых образцов применяют аналогичное же устройство. В этом случае только вкладыши имеют прямоугольный вырез. Измерения менее надежны, чем с цилиндрическими образцами, так как здесь не удастся точно установить расстояние зоны, в которой измеряется напряженность поля, от поверхности образца. На рис. 24 представлен вкладыш с измерительными обмотками для полосовых образцов.

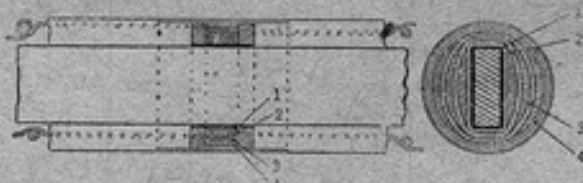


Рис. 24

В исследовательской магнитной лаборатории заводов Круппа для получения сильных магнитных полей применен большой электромагнит Вейсса с плоскими цилиндрическими полюсными наконечниками. На рис. 25 представлена часть этого электромагнита с измерительным устройством и испытуемым образцом. Полюсные наконечники диаметром 100 мм имеют центральное цилиндрическое отверстие диаметром 10 мм, куда вставляют испытуемый образец. Расстояние между полюсными наконечниками 15 мм. Максимальная напряженность магнитного поля вблизи образца может быть получена до 12 000 эрстедов при силе тока 20 ампер в обмотке электромагнита, охлаждаемой водой. На образец в перешейке между полюсными наконечниками надета катушка с обмоткой для измерения индукции.

Метод измерений индукции несколько отличается от обычно применяемого при испытании образцов на электромагнитах. Ток в обмотке электромагнита не переключают, оставляют его все время включенным, для измерения же индукции испытуемый образец при помощи крючка (см. рис. 25) выдергивают из электромагнита. Обозначим: B — индукция в образце, H — напряженность

поля, S_0 — сечение образца, S_R — сечение измерительной катушки. Полный поток, сцепляющийся с измерительной катушкой, когда образец находится в электромагните, определяется соотношением:

$$\Phi_1 = BS_0 + H(S_R - S_0)$$

или:

$$\Phi_1 = 4\pi IS_0 + HS_R$$

так как $B = 4\pi I + H$, где I — напряженность намагничивания.

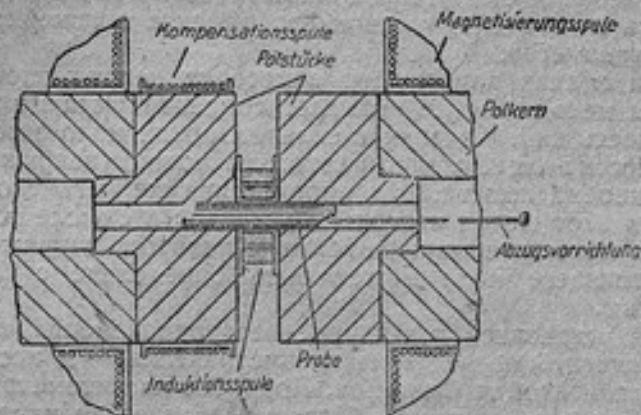


Рис. 25

После удаления образца из электромагнита оставшийся поток $\Phi_2 = HS_R$, если бы напряженность поля не изменилась. Изменение потока:

$$\Phi_1 - \Phi_2 = 4\pi IS_0$$

при выдергивании образца обуславливает отброс баллистического гальванометра, соединенного с измерительной обмоткой. Исследования показывают, что напряженность поля сравнительно мало изменяется при вынимании образца, и эта поправка может быть учтена в виде некоторого постоянного коэффициента, определенного опытным путем. При помощи специальной измерительной катушки небольшого размера (радиусом 10 мм) измерена напряженность поля в разных точках по высоте перешейка без образца и в присутствии образца и определена поправка на изменение поля (увеличение) при выдергивании образца. Определена также зависимость силы тока в обмотках электромагнита и напряженности поля между полюсными наконечниками для определенного расстояния между ними. Влияние магнитных свойств испытуемого образца на эту зависимость практически ничтожно.

Показанная на рис. 25 компенсационная обмотка, навитая на один из полюсных наконечников, имеет целью устранить вредное влияние колебаний силы тока в обмотке электромагнита, когда напряжение в питающей сети не постоянно, на устойчивость нулевого положения гальванометра. Компенсационная обмотка включена последовательно с гальванометром и навстречу измерительной обмотке. Число витков компенсационной обмотки экспериментально так подобрано, чтобы при наибольшем наблюдаемом колебании силы тока в намагничивающей цепи не обнаруживалось никакого индукционного эффекта в измерительной цепи гальванометра.

С точки зрения надежности измерения напряженности намагничивания метод этот не вызывает сомнений, имея в виду, что напряженность намагничивания в сильных полях мало зависит от напряженности поля и вследствие этого точно знать напряженность поля нет необходимости. Для определения же магнитной проницаемости этот метод несколько уступает в смысле точности измерений методу ярма-перешейка, в котором напряженность намагничивающего поля может быть определена с большей надежностью.

Третьей установкой для измерения проницаемости, которую следует отметить, является магнитометрическая — в исследовательской лаборатории Сименса. Подробно магнитометрическая установка описана в главе „Магнитометрические измерения“. Благодаря специальному устройству намагничивающей катушки (пустотелые трубки с проточной водой) удается, при силе тока в несколько сот ампер, получить достаточно сильное магнитное поле внутри намагничивающей катушки. Метод испытания образца в этом случае ничем не отличается от измерений при средних напряжениях поля.

8. Измерения потерь на гистерезис и токи Фуко. *Physikalisch-Technische Reichsanstalt*

Стандартным методом для лабораторных исследований является ваттметровый метод на приборе Эпштейна с двумя обмотками. Не останавливаясь на теории этого метода, как общеизвестного, укажем на некоторые детали, которые введены в методику магнитной лабораторией Р. Т. Р. и представляют метрологический интерес. Мощность, которую приходится измерять, вследствие большого сдвига между током и напряжением ($\cos \varphi = 0,2 - 0,1$), представляет малую величину, вследствие чего точность измерений обычными ваттметрами не велика. Для повышения точности измерений мощности применен динамометр с зеркальным отчетом при помощи трубы. Одна из обмоток

динамометра, имея в своей цепи добавочное сопротивление, включается параллельно к образцовому сопротивлению, включенному в свою очередь в намагничивающую цепь. Вторая обмотка динамометра присоединяется параллельно к второй обмотке прибора Эпштейна последовательно с добавочным сопротивлением. Перед измерением ваттметр каждый раз проверяют путем сличения его показания для определенной точки с показанием образцового электродинамического ваттметра. Вместе с этим определяют и постоянную динамометра для данных сопротивлений в его обмотках. Электродинамический же ваттметр, в свою очередь, поверен на переменном токе. Схема соединений приборов ваттметровой установки представлена на рис. 26. Частота

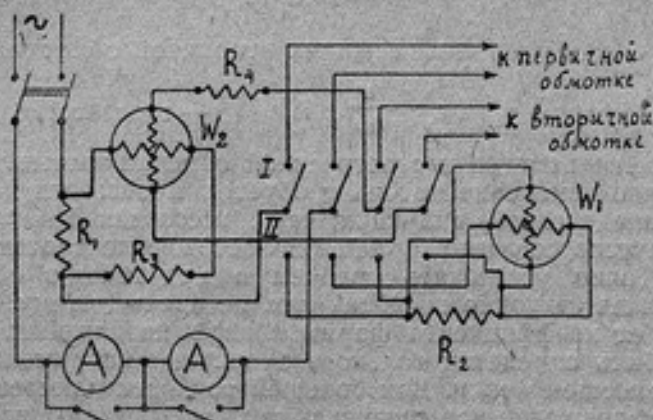


Рис. 26

тока измеряется вольтметром, включенным на униполярную машину, сцепленную с агрегатом, питающим прибор Эпштейна. Вольтметр проградуирован на частоту. Во время испытаний измеряют температуру образцов при помощи толуолового термометра, помещенного внутрь катушки прибора Эпштейна. Испытуемые образцы в приборе Эпштейна в углах отделяют картонными прокладками 0,5 мм толщиной, во избежание металлического контакта отдельных листов по высоте пакета. Коэффициент формы кривой напряжения измеряют при помощи специальной шайбы Rose и Kühns'a (описание см. E.T.Z., 1903 г., стр. 992). Зависимость коэффициента формы кривой от силы намагничивающего тока определена заранее для данной установки и, так как она остается справедливой независимо от свойств испытуемого материала, ею пользуются при всех текущих испытаниях.

Магнитную индукцию в испытуемом образце вычисляют, как обычно, по формуле:

$$B = \frac{E_2}{4f\gamma S n_2 10^{-8}},$$

где E_2 — электродвижущая сила во вторичной цепи прибора Эпштейна в вольтах, f — коэффициент формы кривой электродвижущей силы, γ — частота тока в герцах, S — сечение испытуемого образца в кв. сантиметрах и n_2 — число витков вторичной обмотки.

Электродвижущая сила:

$$E_2 = E_2^1 + \frac{E_2^{12}}{r_2^1},$$

где E_2^1 — напряжение на зажимах вторичной обмотки, измерен-

ное вольтметром, $r_2^1 = \frac{r_v \cdot r_w}{r_v + r_w}$, r_v и r_w — соответственно сопротивление вольтметра и ответвленной обмотки ваттметра.

Обычно измерение потерь требуется произвести для какой либо определенной индукции, чаще всего для $B_{\max} = 10000$ и 15000 гауссов, согласно нормам для листовой электротехнической стали. Точно установить требуемую индукцию в образце не представляется возможным, так как, по предыдущему, индукция зависит от коэффициента формы кривой напряжения, который может быть определен только в процессе эксперимента по намагничивающему току. Для большей точности измерений желательно напряжение устанавливать так, чтобы стрелка вольтметра была на целом числе делений, а это может не вполне совпасть с требуемой величиной напряжения. Вольтметр имеет поправки, которые должны быть приняты во внимание при определении действительного напряжения. Кроме этого вычисленная индукция исправляется на величину потока в воздушном зазоре между образцом и вторичной обмоткой. Поправка же эта зависит от силы намагничивающего тока. С достаточно большим приближением эти факторы могут быть учтены заранее, и определенная в конце концов индукция со всеми поправками будет мало отличаться от заданной индукции. В дальнейшем измеренные потери пересчитывают применительно к точному значению заданной индукции. Допустим, заданная индукция равна B . Измерения же произведены при индукции B_1 ; $B = B_1 \pm \Delta B$. Пользуясь общим выражением для потерь, можно написать:

$$\bar{P}_1 = K(\eta B_1^{1.6} + \epsilon_v B_1^2),$$

где \bar{P}_1 — потери на 1 герц.

Потери при заданной индукции B :

$$P = K[\eta(B_1 \pm \Delta B)^{1.6} + \xi_v(B_1 \pm \Delta B)^2].$$

Разлагая в ряд это выражение и ограничиваясь только линейными членами, получим:

$$P = P_1 \pm 1.6 \frac{\Delta B}{B_1} K \eta B_1^{1.6} \pm 2 \frac{\Delta B}{B_1} K \xi_v B_1^2.$$

Пренебречь членами второго порядка и выше можно, не внося заметных ошибок, если ΔB мало по сравнению с B . Для того, чтобы найти величины $K \eta B_1^{1.6}$ и $K \xi_v B_1^2$, необходимо произвести измерения при двух частотах и разделить потери на гистерезис и на токи Фуко на один период. $K \eta B_1^{1.6}$ — потери на гистерезис, $K \xi_v B_1^2$ — потери на токи Фуко на один период.

Индукция B_1 , вычисленная, исходя из установленного напряжения, должна быть предварительно исправлена на поток в воздушном зазоре. Поток в воздушном зазоре:

$$\Phi_K = (S_1 - S) H,$$

где S_1 и S — соответственно сечения вторичной обмотки и образца и H — напряженность намагничивающего поля. Напряжение во вторичной обмотке прибора, обусловленное этим потоком, сдвинуто по фазе относительно напряжения, обусловленного потоком в образце, на угол около $(90 - \varphi)$, где φ — угол между током и напряжением во вторичной обмотке. При индукциях 10 000 гауссов и выше угол φ близок к 90° , вследствие чего величина потока в воздухе, вызывающая индуктированное напряжение во вторичной обмотке, может быть принята равной Φ_K . Поток на единицу площади сечения образца:

$$\frac{\Phi_K}{S} = \left(\frac{S_1}{S} - 1 \right) H.$$

На эту величину следует уменьшить ранее вычисленную индукцию. Путем вычислений определяется максимальная индукция, соответственно с чем и напряженность поля должна быть взята максимальной, т.-е.:

$$H_{\max} = A \cdot I_{\max}.$$

где A — постоянная намагничивающих катушек прибора. При измерении потерь по амперметру можно измерить лишь действующее значение силы тока. Чтобы перейти к максимальному, потребовалось бы знать кривую тока, которая в приборе Эпштейна

сильно отличается от синусоиды. Чтобы избежать подобного рода вычислений, в лаборатории Р. Т. Р. произведены испытания разных сортов листовой электротехнической стали на постоянном токе и на переменном, определены зависимости силы тока и индукции в обоих случаях. Из этих измерений можно найти для

разных индукций отношения $\frac{I}{I_e}$, где I — сила намагничивающего постоянного тока и I_e — действующее значение переменного тока. Для дальнейших расчетов принята средняя величина, некоторая $m = \frac{I}{I_e}$. Тогда поправка на поток в воздухе:

$$\Delta \Phi_H = \frac{\Phi_H}{S} = \left(\frac{S_1}{S} - 1 \right) K I_e m.$$

Так как по нормам испытания должны производиться при определенной температуре, измеренные потери необходимо пересчитать применительно к нормальной температуре 20° С. В данном случае это касается только потерь на токи Фуко. Измеренные полные потери на 1 герц необходимо увеличить на величину $(t - 20) \alpha_t K \xi \nu B_1^2$, где t — температура, при которой производились измерения, α_t — температурный коэффициент электрического сопротивления испытуемого образца, и $K \xi \nu B_1^2$ — потери на токи Фуко на 1 период.

Последняя поправка касается коэффициента формы кривой напряжения, если он при испытании отличается от синусоидального. От величины полных потерь в этом случае необходимо

вычесть $\left[1 - \left(\frac{f}{f_1} \right)^2 \right] P_f$, где $f = 1,11$, f_1 — коэффициент формы кривой при испытании образца и P_f — потери на токи Фуко.

Заключение

Как общее положение, следует отметить, рассматривая метрологию магнитных измерений в научно-исследовательских лабораториях Германии, весьма тщательно продуманное разрешение отдельных проблем, получающих в дальнейшем вполне законченное конкретное оформление, всесторонне изученное и проверенное богатым опытом. Вместе с тем приходится указать, что некоторые вопросы, имеющие довольно важное значение с точки зрения метрологии, оказываются отодвинутыми на второй

план. В частности, основной вопрос о единицах магнитных величин, эталонах и их воспроизведении в настоящее время не разрабатывается, оставаясь в той стадии, в которой он находился много лет тому назад. Некоторые вопросы методики магнитных измерений в лаборатории P. T. R., как основной в области магнитных измерений, не в достаточной степени разработаны, как, например, измерения потерь при малых индукциях, измерения потерь и проницаемости при высоких и повышенных частотах, методика испытаний постоянных магнитов в готовом виде.

METHODES ET APPAREILS DES MESURES MAGNETIQUES AUX LABORATOIRES DE RECHERCHES SCIENTIFIQUES DE L'ALLEMAGNE

Par E. G. Chramkov.

(Résumé)

L'article contient des résultats de la connaissance personnelle et de l'étude approfondie de l'auteur des questions concernant les mesures et les appareils magnétiques aux laboratoires scientifiques de l'Allemagne, notamment au Laboratoire magnétique de la Physikalisches-Technische Reichsanstalt, au Forschungslaboratorium de Siemens et au Laboratoire des Usines de Krupp.

Les méthodes en considération et les appareils se rapportent surtout aux questions ayant le plus grand intérêt métrologique ou la valeur actuelle pratique soit dans le domaine de recherches scientifiques soit dans l'application aux problèmes industriels.

On a éclairé le plus circonstancié les questions concernant la reproduction des unités magnétiques fondamentales: de l'intensité du champ magnétique et du flux magnétique, et l'application pratique des appareils reproduisant ces unités: les bobines normales de l'intensité du champ magnétique, celles du flux magnétique et l'étalon magnétique pour la graduation de galvanomètres balistiques.

Quant aux méthodes, on a examiné les mesures magnétométriques au magnétomètre astatique de Kohlrausch et Holborn (P.T.R.) pour les essais de matériaux ferromagnétiques (les déterminations de la courbe d'aimantation, celle de cycle hystérique et de la force coercitive). On a donné aussi une description sommaire d'un magnétomètre dynamométrique astatique du Laboratoire de Siemens offrant un grand intérêt par le principe de sa construction.

La question de la haute importance dans la technique de mesures magnétiques c'est un essai de matériaux magnétiques aux petites intensités

du champ magnétique. Il faut noter ici la méthode balistique au courant continu et au circuit magnétique ouvert et la détermination des facteurs démagnétisants d'après la courbe idéale de l'aimantation (P. T. R.) liée avec cette méthode. On peut aussi noter la méthode du Dr. Steinhäus (P. T. R.) de la détermination de la perméabilité initiale magnétique au courant alternatif, avec des barreaux cylindriques rectilignes.

Parmi les méthodes employées pour les essais de matériaux magnétiques dans les champs magnétiques intenses, c'est la méthode de Gumlich, qui est la plus importante au point de vue métrologique, la méthode «joug-isthme» (P. T. R.). Elle est décrite ici avec plus d'ampleur.

Pour les essais de l'acier électrotechnique en tôles sur les pertes du hystérèse et des courants de Foucault la méthode de wattmètre avec l'appareil d'Epstein, aussi largement répandue dans d'autres pays, est la méthode-standard, suffisamment connue. On en a donné ici quelques détails qui sont introduits en pratique du Laboratoire magnétique de la P. T. R. et offrent un intérêt métrologique.

К УСТАНОВЛЕНИЮ ЭТАЛОНА НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ. ЭТАЛОННАЯ КАТУШКА «НІ»

Н. И. Спиридович

Среди научно-исследовательских работ эталонной магнитной лаборатории Главной Палаты мер и весов, согласно пятилетнему плану, намечена работа: установление и хранение эталона СССР единицы напряженности магнитного поля (эрстеда) и сравнение его с эталонами других стран.

Как одно из первых приближений к разрешению этого весьма важного и ответственного вопроса, в настоящее время эталонной магнитной лабораторией закончено исследование изготовленного по ее заданию пустотелого цилиндрического соленоида, и полученные результаты измерений, сопоставленные с результатом теоретических вычислений, дают нам основание принять этот соленоид как эталонную катушку напряженности магнитного поля под обозначением «НІ».

Главным требованием, предъявляемым к соленоиду, предназначенному служить эталоном напряженности магнитного поля, является тщательная механическая обработка и намотка проволоки, обеспечивающая с возможно наибольшей точностью получение однородного магнитного поля внутри соленоида на достаточном протяжении и дающая возможность определять напряженность магнитного поля, исходя из геометрических размеров, числа витков и силы тока в обмотке.

Магнитное поле соленоида будет однородным тогда, когда напряженность его в каждой точке по оси для определенного предела по величине и направлению одинаково.

В бесконечно длинном соленоиде, при равномерном расположении по всей его длине витков проводящей ток обмотки, поток силовых линий не меняет своей плотности и распределения в плоскостях поперечного сечения, и магнитное поле внутри соленоида во всех точках однородно.

Напряженность такого поля в эрстедах определяется уравнением

$$H = 0,4 \pi I \quad (1)$$

где π — число витков на сантиметр длины соленоида и I — сила тока в амперах.

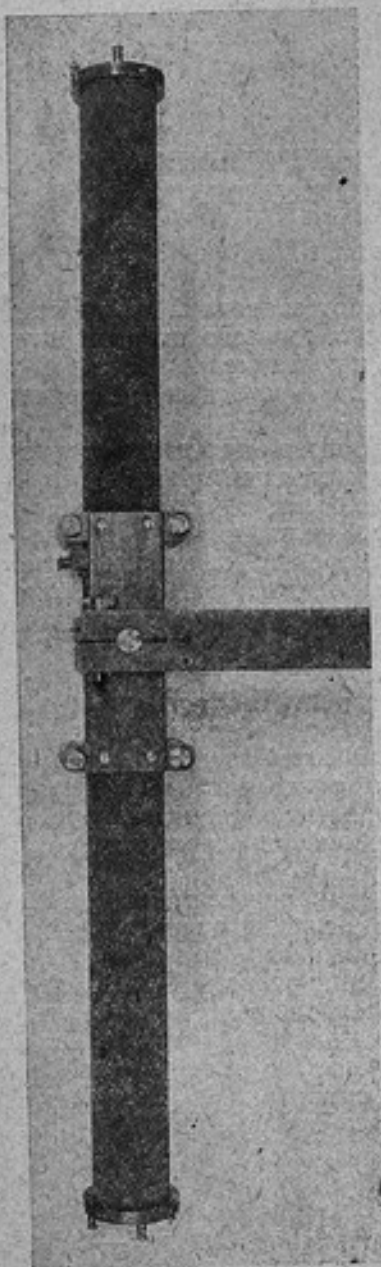


Рис. 1 — Fig. 1

Подобное однородное поле можно получить внутри кольцевой катушки, диаметр витков которой очень мал по сравнению с диаметром кольца.

В соленоиде конечной длины напряженность магнитного поля постепенно убывает по направлению к его основаниям, и достаточная однородность поля наблюдается только на некотором протяжении от среднего сечения прямолинейной цилиндрической катушки с равномерной обмоткой и незначительным по отношению к ее длине диаметром.

Эталонная катушка напряженности магнитного поля „НІ“ представляет собою прямолинейную пустотелую цилиндрическую трубу, изготовленную из бакелизированного картона, длиной в 150 см, с наружным диаметром трубы 8,87 см и внутренним 7 см (рис. 1).

По наружной поверхности цилиндра нанесена нарезка с шагом в 2,54 мм и навита в 4 слоя с равномерным распределением витков по всей его длине обмотка из медной проволоки, с двойной шелковой изоляцией, диаметром в 2,0/2,2 мм. Предельная точность постоянства диаметра цилиндра по длине $\pm 0,05$ мм и шага нарезки $\pm 0,01$ мм. Каждый слой обмотки навит отдельно, при чем направление витков во всех слоях одинаково. Первый слой витков положен в указанную выше нарезку, второй слой лег по канавкам, получившимся от витков первого слоя, третий и четвертый слой навить так же, как второй. Всего в четырех слоях обмотки положено 2323 витка, из них первый слой имеет 581 виток,

второй—580,5, третий—581 и четвертый—580,5. Концы каждого слоя подведены к зажимным винтам, расположенным по одному на каждом флянце.

Для совмещения осевого направления соленоида с плоскостью перпендикулярной к направлению магнитного меридиана,

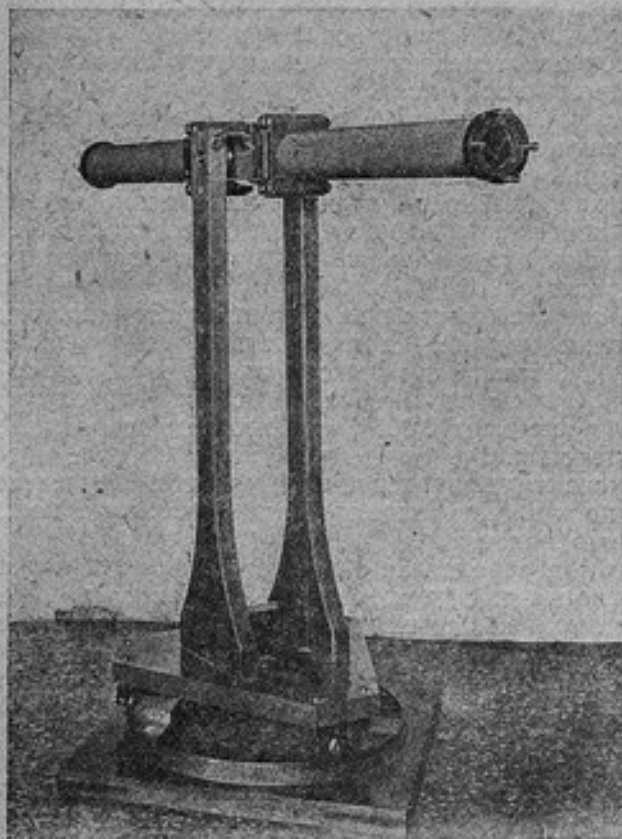


Рис. 2 — Fig. 2

соленоид снабжен особым приспособлением, дающим возможность изменять его положение в горизонтальной, а также и в вертикальной плоскостях (рис. 2 и 3).

По геометрическим размерам нашей катушки и по количеству намагничивающих ампер-витков сделан подробный расчет распределения напряженности магнитного поля внутри соленоида по длине и в радиальном направлении.

Расчет напряженности поля по длине для одного первого слоя обмотки производился по формуле:

$$H_x = 0,2 \pi n \left[\frac{x+b}{\sqrt{r^2 + (x+b)^2}} - \frac{x-b}{\sqrt{r^2 + (x-b)^2}} \right] \quad (2)$$

где n — число витков на 1 см длины (3,9246); b — половина длины катушки (74,02 см); r — средний радиус обмотки (4,502 см) и x — расстояние от центра катушки точки, для которой определяется напряженность поля.

Результаты вычислений приведены в таблице 1, а кривая распределения напряженности поля дана на рис. 4.

Из таблицы 1 видно, что на расстоянии 20 см от центра соленоида напряженность поля убывает всего лишь на 0,04%; далее изменение напряженности поля становится более выраженным, падая на 50 см от центра на 0,7%, а у оснований соленоида разница достигает 16,5%.

Расчет напряженности поля в радиальном направлении в разных сечениях катушки, произведенный по формуле Bestelmeyer'a,¹ показал, что максимальное увеличение поля на расстоянии 3,5 см по высоте от центра, на тех же 20 см по длине, не превышает 0,001% от величины напряженности поля на оси соленоида.

На основании приведенных результатов вычислений напряженность поля в центральном сечении соленоида можно принимать за однородное.

Затем была определена напряженность поля в центральной части соленоида для двух, трех и четырех слоев намагничивающей обмотки. Вычисления производились по формуле для многослойных катушек

$$H_x = 0,2 \pi n_1 n_2 \left[(x+b) \ln \frac{R + \sqrt{R^2 + (x+b)^2}}{r + \sqrt{r^2 + (x+b)^2}} - (x-b) \ln \frac{R + \sqrt{R^2 + (x-b)^2}}{r + \sqrt{r^2 + (x-b)^2}} \right] \quad (3)$$

где n_1 — число витков на 1 см по длине катушки; n_2 — число витков на 1 см по радиусу; x — расстояние от центра катушки точки, для которой определяется напряженность поля; b — половина длины катушки в сантиметрах; r — внутренний радиус катушки в сантиметрах; R — внешний радиус катушки в сантиметрах и H_x — напряженность поля в эрстедах.

¹ A. Bestelmeyer. Berechnung, Herstellung und Messung eines homogenen Magnetfeldes. Physik. Zeitschr., XII, s. 1107, 1911.

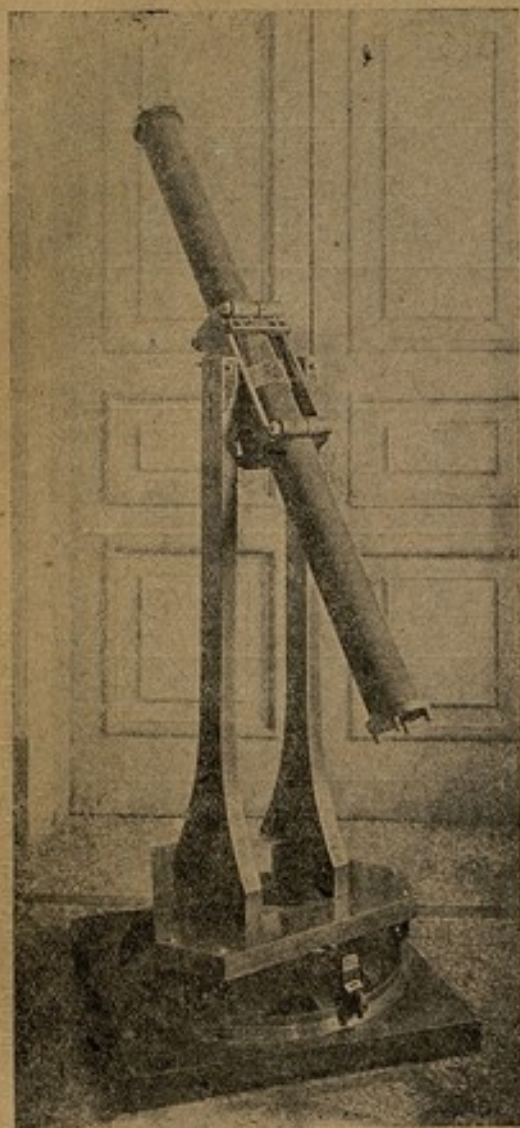


Рис. 3 — Fig. 3



Рис. 4 — Fig. 4

Таблица I — Tableau I

Расстояние от центра катушки в см Distances du centre de la bobine en cms	0	10	20	30	40	50	60	70
H в эрстедах en oersteds	4,92256	4,9220637	4,9203188	4,9165586	4,9084285	4,8878348	4,8121965	4,10098937
$H_0 - H_x$	0	0,000051	0,00224	0,00600	0,01413	0,03473	0,11036	0,81557
$\frac{H_0 - H_x}{H_0} \cdot 100\%$	0	0,01036	0,0455	0,1218	0,287	0,706	2,241	16,568
$\frac{H_x}{H_0} \cdot 100\%$	100	99,99	99,95	99,88	99,71	99,29	97,76	83,43

H_0 — | напряженность поля в центре
intensité du champ magnétique au centre.

Результаты приведены в таблице II.

Таблица II—Tableau II

Количество слоев намагничивающей обмотки соленоида Nombre des couches de l'enroulement magnétisant du solénoïde	n_1	n_2	x	b	r	R	Hx
2	3,923	5,908	0	74,02	4,4365	4,775	9,830
3	3,923	5,709	0	74,02	4,4365	4,962	14,750
4	3,9229	5,797	0	74,02	4,4365	5,1265	19,672

При сравнении величин напряженности поля H видно, что с прибавлением слоев намагничивающей обмотки, т.е. с увеличением каждый раз на одно и то же количество числа витков, напряженность поля увеличивается почти равномерно на 100%.

После теоретических вычислений катушка, предназначенная служить в качестве эталона напряженности магнитного поля, была подвергнута подробному экспериментальному исследованию.

1. Измерялось распределение напряженности магнитного поля внутри соленоида по оси, в обе стороны от центра через определенные расстояния, при помощи измерительных катушек и баллистического гальванометра.

- а) При одном слое витков намагничивающей обмотки.
- б) При двух слоях
- в) При трех слоях
- г) При четырех слоях

2. Измерялась напряженность магнитного поля в радиальном направлении на расстоянии одного, двух и двух с половиной сантиметров вверх и вниз от оси, по всей длине соленоида, теми же измерительными катушками.

Измерение распределения напряженности поля производилось на баллистической установке, схема которой дана на рис. 5; здесь KVI — катушка взаимной индукции, IK — испытуемая катушка.

При некоторой силе тока в обмотке соленоида наблюдалось, при изменении направления тока, отклонение гальванометра α . Напряженность поля в эрстедах вычислялась по формуле:

$$H = \frac{\alpha \cdot C}{2\pi_2 s_2} \quad (4)$$

где $\pi_2 s_2$ — произведение сечения вторичной катушки на количество витков и C — постоянная гальванометра в максвеллах на одно деление шкалы для данного сопротивления, на которое замкнут гальванометр.

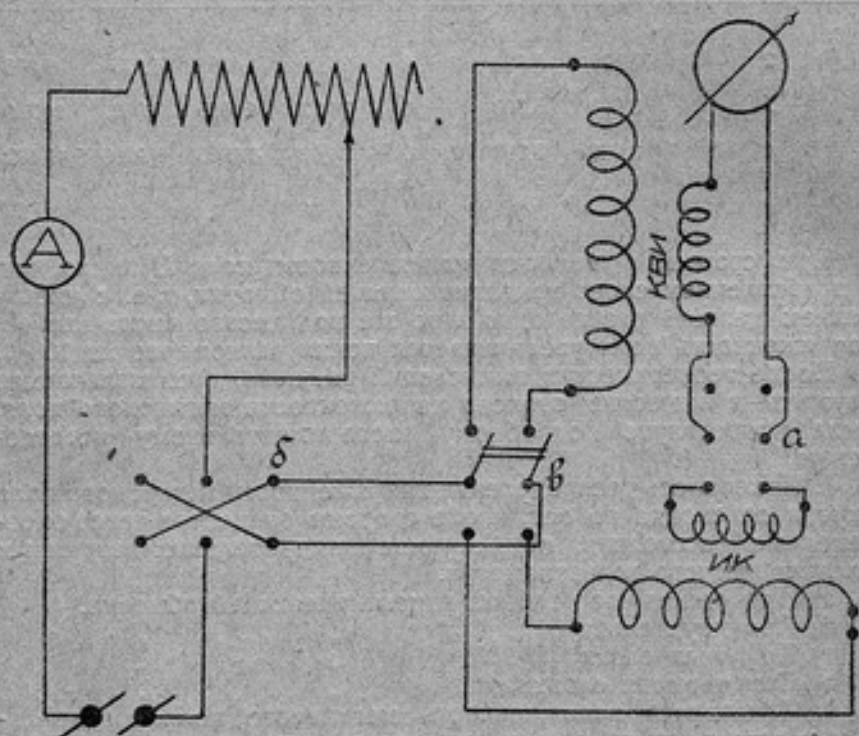


Рис. 5 — Fig. 5

Предварительно постоянная гальванометра определялась из отклонений последнего при коммутации тока в первичной цепи, при чем взамен исследуемого соленоида включалась катушка взаимной индукции (переключатель δ), коэффициент взаимной индукции которой $M = 0,01001$, международных генри определен

в Physikalisch-Technische Reichsanstalt с точностью $\pm 0,1\%$, и постоянная гальванометра C вычислялась по форме:

$$C = \frac{M \cdot 2I}{\alpha} \cdot 10^3 \quad (5)$$

Для удобства измерений применены две измерительных катушки; одной определялось распределение поля в правой половине соленоида от центра к основанию, второй измерялась левая часть. Обмотка этих катушек из проволоки диаметром в $0,12$ мм навита на полые мраморные цилиндрики длиной в 10 мм и с диаметром такого же размера.

С целью определения величины $n_2 s_2$ — произведение сечения катушки на число витков—эти катушки были проградуированы в лаборатории, для чего каждая из них укреплялась на стеклянном стержне и помещалась в центре пустотелой цилиндрической намагничивающей катушки (длина 100 см и внешний диаметр $11,3$ см). Напряженность поля катушки определялась по геометрическим размерам и силе тока в обмотке ($H = K \cdot I$), где K — постоянная катушки, I — сила тока в амперах. Эта катушка до последнего времени служила в качестве образцовой для градуировки измерительных катушек.

Искомая величина:

$$n_2 s_2 = \frac{C \cdot \alpha}{2 H} \quad (6)$$

где H — напряженность магнитного поля в эрстедах в центре намагничивающей катушки и α — отклонение гальванометра при переключении тока в намагничивающей обмотке.

Для катушки № 1: $n_2 s_2 = 1317 \pm 2$ или $0,15\%$.

Для катушки № 2: $n_2 s_2 = 1372 \pm 3$ или $0,21\%$.

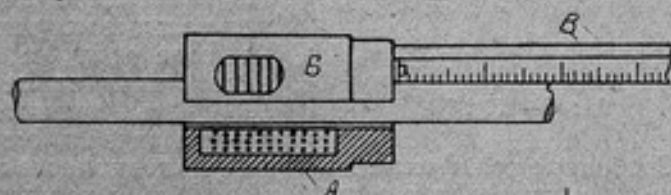


Рис. 6 — Fig. 6

Измерительные катушки А (рис. 6) заключены в фибровые футляры В с прорезями на поверхности. К футлярам, изготовленным точно по размерам катушек, прикреплены при помощи соединительных винтов узкие латунные линейки В, с нанесенными на них делениями, при чем нуль стоит на противоположном от катушки конце линейки.

Футляры с катушками и линейками одеты на медный стержень, проходящий внутри соленоида по всей его длине. При помощи особых приспособлений, прикрепленных к фляцам, медный стержень совмещается с продольной осью соленоида, и измерительная катушка центрируется с намагничивающей. Приспособления эти (рис. 7) состоят из рамок Г с вертикальными прорезами, в которых ходят микрометрические винты Д,

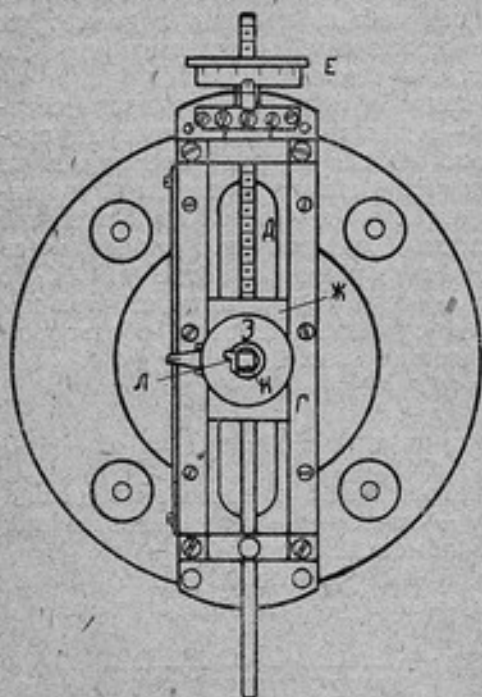


Рис. 7 — Fig. 7

заканчивающиеся на верхних своих концах барабанами Е с нанесенными на них делениями. На боковых поверхностях рамок имеются также деления для отчета расстояний от оси до периферии. Микрометрические винты снабжены салазками Ж с гнездами для соединительных эбонитовых муфт З, через которые пропущены концы медного стержня К и линейки Л.

Этот стержень натягивается для уничтожения провисания при помощи шайб М (рис. 8), сидящих на нарезных концевых частях стержня, и упорных винтов Н.

Эти же приспособления позволяют перемещать измерительные катушки внутри соленоида на разные расстояния от центра и измерять напряженность поля в радиальном направлении.

Свободные концы линеек Л (рис. 7) выходят через прорезы в указанных выше муфтах и шайбах наружу, и когда нуль на линейке совпадает с указателем на шайбе, измерительная катушка находится в центре соленоида. Выдвигая линейку можно перемещать катушку в любое положение.

Этим способом была измерена напряженность магнитного поля в центре соленоида и вдоль по оси через каждые 5 см, на протяжении 70 см в обе стороны от центра, при чем для одного слоя, для двух, трех и четырех слоев обмотки были произведены по три серии наблюдений с передвижением измерительной

катушки от центра к основаниям, обратно к центру и еще раз к концам соленоида. После этого была произведена еще одна серия измерений с перемещением правой измерительной катушки в левую сторону и левой в правую. Такой же порядок измерения применялся и для исследования распределения напряженности поля в радиальном направлении. Результаты измерений приведены в таблицах III и IV. Характер распределения напряженности поля для различного числа включенных слоев катушки выражен кривыми рис. 9 (стр. 82).

Из таблицы III видно, что при одном первом слое витков напряженность поля довольно равномерно распределяется по обоим сторонам от центра. В правой части катушки напряженность поля однородна на протяжении 40 см и равняется 4,93 эрстедам, отличаясь от величины напряженности поля в центре на 0,005 эрстеда или на 0,1%. В левой части на том же расстоянии 40 см наблюдаются незначительные колебания напряженности магнитного поля, не превышающие однако 0,015 эрстеда, что составляет разницу в 0,3% по отношению к напряженности поля в центре катушки. На расстоянии 50 см от центра напряженность поля уже значительно меньше, и на 65 см это снижение достигает 5,38% от первоначальной величины.

При нескольких слоях намагничивающей обмотки напряженность поля перестает быть однородной уже на меньшем расстоянии от центра, обнаруживая несколько больших колебания; но все же, при включении всех четырех слоев, понижение напряженности поля на расстоянии 25 см в обе стороны не превышает 0,04 эрстеда, что составит 0,2% от 19,77 эрстедов—величины напряженности поля в центре.

Остановившись на таблице IV нужно отметить, что измерения напряженности поля в радиальном направлении в разных сечениях соленоида вблизи центра дают очень небольшую

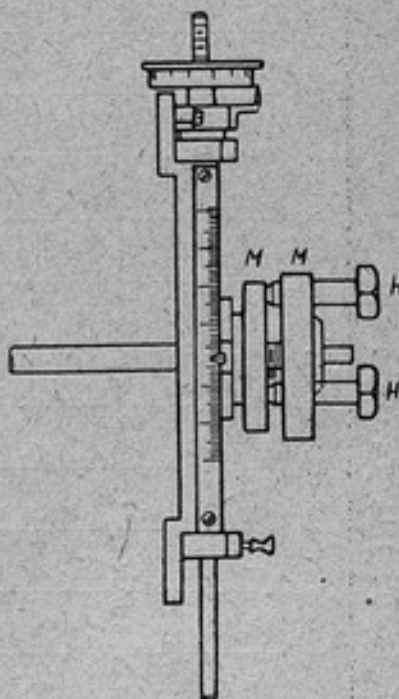


Рис. 8 — Fig. 8

Таблица III — Tableau III

Расстояние от центра катушки в с.м. Distances du centre de la bobine en cms	Левая сторона катушки—Côté gauche de la bobine													
	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
При одном слое намагничивающей обмотки Pour une couche de l'enroulement magnétisant	4,12	4,67	4,82	4,88	4,90	4,92	4,92	4,92	4,93	4,94	4,93	4,93	4,93	4,94
При двух слоях намагничивающей обмотки Pour deux couches de l'enroulement magnétisant	8,16	9,32	9,63	9,76	9,82	9,85	9,86	9,87	9,87	9,90	9,89	9,88	9,87	9,88
При трех слоях намагничивающей обмотки Pour trois couches de l'enroulement magnétisant	12,14	13,93	14,41	14,56	14,66	14,69	14,70	14,71	14,74	14,79	14,79	14,80	14,80	14,82
При четырех слоях намагничивающей обмотки Pour quatre couches de l'enroulement magnétisant	16,20	18,67	19,26	19,46	19,59	19,65	19,69	19,70	19,72	19,73	19,73	19,75	19,76	19,76

Интенсивность магнитного поля в ортедах
Intensité du champ magnétique en ортедах

— Н

Центр катушки Centre de la bobine		Правая сторона катушки — Côté droit de la bobine															
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70		
0																	
4,04—4,03		4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03
4,935																	
9,87—9,88		9,86	9,85	9,85	9,85	9,84	9,83	9,83	9,83	9,82	9,77	9,72	9,63	9,32	8,15		
9,875																	
14,82—14,79		14,78	14,77	14,74	14,74	14,74	14,71	14,70	14,69	14,69	14,60	14,55	14,39	13,93	12,19		
14,805																	
19,76—19,78		19,78	19,78	19,76	19,73	19,73	19,66	19,66	19,66	19,66	19,61	19,55	19,26	18,62	16,22		
19,77																	

Таблица III—Tableau III

(Продолжение)

Таблица IV—Tableau IV

Расстояние от середины катушки в см Distances du milieu de la bobine en cms	Левая сторона катушки Côté gauche de la bobine													
	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
На 1 см вверх от оси катушки A 1 cm au-dessus de l'axe de la bobine	4,13	4,69	4,83	4,87	4,92	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94
На 2 см вверх от оси катушки A 2 cm au-dessus de l'axe de la bobine	4,19	4,70	4,84	4,87	4,93	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94
На 2,5 см вверх от оси катушки A 2,5 cm au-dessus de l'axe de la bobine	4,24	4,71	4,84	4,87	4,92	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94
На 1 см вниз от оси катушки A 1 cm au-dessous de l'axe de la bobine	4,13	4,69	4,84	4,87	4,92	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94
На 2 см вниз от оси катушки A 2 cm au-dessous de l'axe de la bobine	4,13	4,69	4,84	4,87	4,92	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94
На 2,5 см вниз от оси катушки A 2,5 cm au-dessous de l'axe de la bobine	4,21	4,69	4,83	4,86	4,90	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93

Н₁ — Напряженность магнитного поля в эретах при одном слое намагничивающей обмотки
 H₁ — Intensité du champ magnétique pour une couche de renvoiement magnétisant en erets

Таблица IV — Tableau IV (Продолжение)

Центр катушки Centre de la bobine	Правая сторона катушки Côté droit de la bobine														
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
4,94 4,94 4,94	4,94	4,93	4,92	4,92	4,92	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,88	4,84	4,69	4,13
4,94 4,94 4,94	4,94	4,93	4,93	4,93	4,93	4,92	4,91	4,91	4,91	4,90	4,90	4,89	4,83	4,68	4,20
4,94 4,94 4,94	4,94	4,93	4,92	4,91	4,91	4,91	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,89	4,82	4,70	4,20
4,94 4,93 4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,92	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,87	4,82	4,67	4,12
4,93 4,93 4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,90	4,90	4,90	4,88	4,82	4,68	4,18
4,93 4,93 4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,91	4,90	4,90	4,88	4,83	4,72	4,21

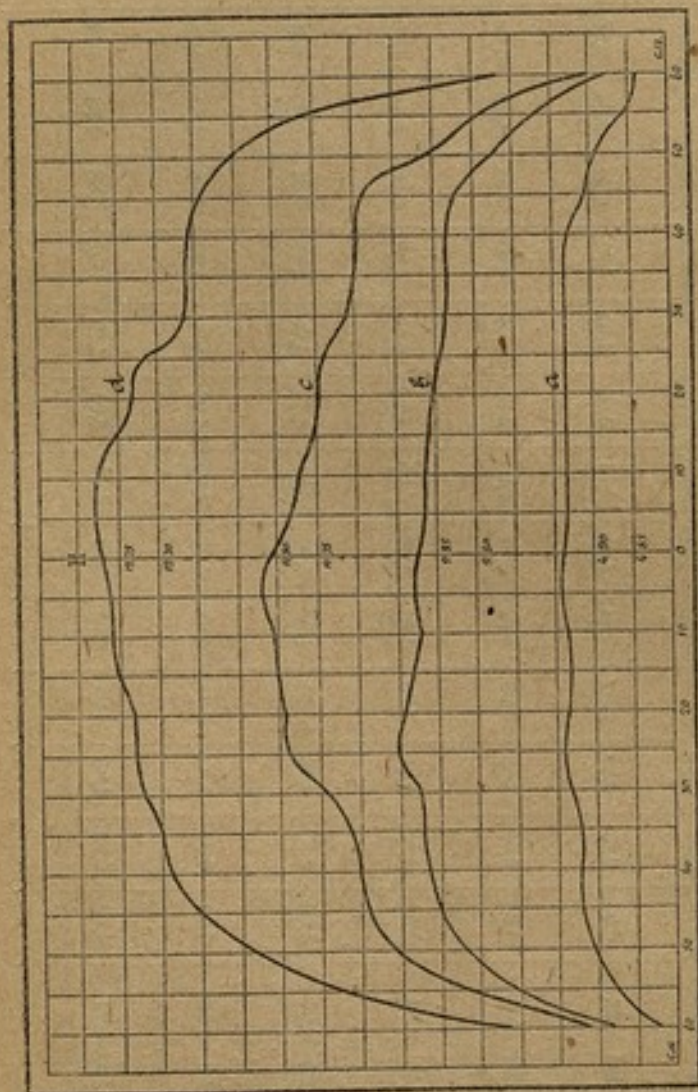


Рис. 9 — Fig. 9
 a — при одном слое намагничивающей обмотки
 pour une couche de l'enroulement magnétisant
 b — при двух слоях намагничивающей обмотки
 pour deux couches de l'enroulement magnétisant
 c — при трех слоях намагничивающей обмотки
 pour trois couches de l'enroulement magnétisant
 d — при четырех слоях намагничивающей обмотки
 pour quatre couches de l'enroulement magnétisant

разницу по сравнению с полем на оси. В центральном сечении, при максимальном расстоянии, на которое еще возможно было установить измерительные катушки, а именно 2,5 см вверх и вниз от оси, напряженность поля изменяется всего на 0,005 эрстеда, т. е. на 0,1%. Практически в области магнитных измерений однородным полем внутри катушки не приходится пользоваться больше, чем на 20 см в обе стороны от центра, т. е. всего на протяжении 40 см.

Если принять за напряженность магнитного поля в центре нашей катушки среднюю из величин напряженности поля на расстоянии 20 см в ту и другую сторону от центрального сечения, то будем иметь в эрстедах:

Для одного (первого) слоя:
 $H = 4,932 \pm 0,016$ или 0,34 %.

Для двух слоев:
 $H = 9,869 \pm 0,032$. 0,35 %.

Для трех слоев:
 $H = 14,785 \pm 0,054$. 0,37 %.

Для четырех слоев:
 $H = 19,759 \pm 0,067$. 0,34 %.

где относительная ошибка $\frac{\Delta H}{H}$ получена путем суммирования следующих относительных ошибок.

1) Непосредственных ошибок при измерении напряженности поля H из ряда 4 серий наблюдений:

При одном слое: 0,03%.

При двух слоях: 0,04%.

При трех слоях: 0,06%.

При четырех слоях: 0,03%.

2) Ошибки при определении постоянной катушки взаимной индукции, равной 0,1%.

3) Непосредственной ошибки при определении $n_1 s_1$, полученной из ряда измерений, равной 0,21%.

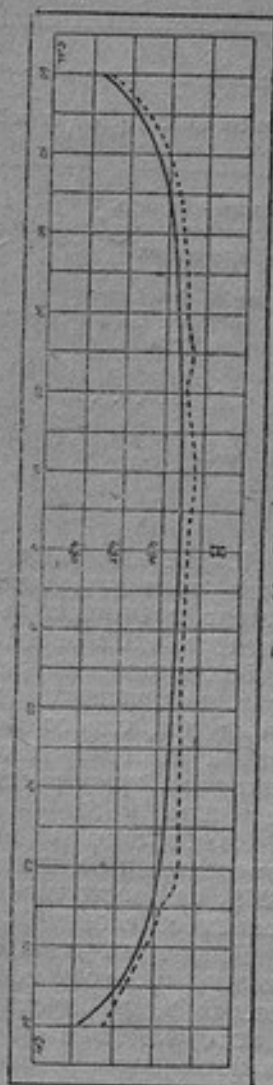


Рис. 10—Fig. 10

Таблица V—

Расстояние от центра катушки в см Distances du centre de la bobine en cms		Левая сторона ка Côté gauche de la				
		70	60	50	40	30
Напряженность магнитного поля H в эрстедах	H вычисленное . . .	4,107	4,212	4,888	4,908	4,916
	H_1 измеренное . . .	4,12	4,82	4,90	4,92	4,93
Intensité du champ magnétique H en oersteds						
$H_1 - H$		+0,013	+0,008	+0,012	+0,012	+0,014
$(\frac{H_1 - H}{H} \cdot 100)$		+0,316	+0,16	+0,24	+0,24	+0,28

Полученная нами средняя величина измеренной напряженности поля при одном слое намагничивающей обмотке: 4,932 эрстеда, превышает вычисленную величину напряженности поля в центре: 4,922 эрстеда на 0,01 эрстеда, что составляет 0,2%.

Для сравнения распределения напряженностей магнитного поля, полученных предварительным вычислением и измерениями для одного первого слоя намагничивающей обмотки на разных расстояниях от центра приведены таблица V и рис. 10. Сплошная кривая соответствует вычислениям, пунктирная—измерениям.

Из таблицы V видно, что разница между вычисленными и измеренными величинами очень незначительна и не превышает 0,28% на расстоянии 30 см в обе стороны от центра; только на концах соленоида $H_1 - H$ несколько увеличивается.

Говоря об однородном магнитном поле I. Würschmidt¹ указывает, что к концам катушки напряженность поля уменьшается вдвое против середины и что при узких катушках, у которых длина по крайней мере в 10 раз больше диаметра, напряженность поля в середине почти однородна, а на расстояниях $\frac{1}{4}l$ — $\frac{3}{4}l$ полудлины от центра, в зависимости от отношения $\frac{l}{d}$, убывает на один процент.

¹ I. Würschmidt, Theorie des Entmagnetisierungsfaktors und der Scherung von Magnetisierungskurven. Braunschweig F. Vieweg und Sohn. 1925; s. 2.

Таблица VI—Tableau VI

Расстояние от центра катушки в см Distances du centre de la bobine en cms	$\frac{H_x}{H_0} \cdot 100$		
	$H_0 = 4,922$	$H'_0 = 4,935$	
		Левая сторона Côté gauche	Правая сторона Côté droit
0	100	100	100
10	99,99	99,90	99,90
20	99,95	99,90	99,90
30	99,88	99,90	99,90
40	99,71	99,70	99,90
50	99,29	99,29	99,09
60	97,76	97,93	98,07
70	83,43	83,22	82,88

H_x — { напряженность поля на разных расстояниях от центра
intensité du champ magnétique aux diverses distances du centre

H_0 — { напряженность поля в центре, вычисленная
intensité du champ magnétique au centre, calculée

H'_0 — { напряженность поля в центре, измеренная
intensité du champ magnétique au centre, mesurée

ETABLISSEMENT DE L'ETALON D'INTENSITE DU CHAMP
MAGNETIQUE. ETALONNAGE DE LA BOBINE «HI»

Par N. I. Spiridovitch.

(Résumé)

A l'heure actuelle il est terminé au Laboratoire des Etalons magnétique de la Chambre Centrale des Poids et Mesures une étude d'un solénoïde cylindrique. Les résultats des mesures concordants avec ceux des calculs ont permis d'accepter ce solénoïde comme une bobine-étalon de l'intensité du champ magnétique, désignée «HI».

Le traitement et enroulement du fil garantissent, avec une précision la plus haute possible, homogénéité du champ magnétique dans le solénoïde, sur l'étendue suffisante le long de l'axe, ce qui permet de déterminer l'intensité du champ magnétique d'après les dimensions géométriques, le nombre de tours et l'intensité du courant dans l'enroulement.

La bobine-étalon «HI» a une forme d'un tube cylindrique rectiligne creux en carton bakélite, ayant la longueur de 150 cm, le diamètre extérieur de 8,87 cm et celui intérieur de 7 cm.

A la surface extérieure du cylindre une taille est filetée avec le pas de 2,54 mm, sur laquelle est enroulé uniformément, en quatre couches sur toute sa longueur, le fil de cuivre, avec une double isolation de soie, ayant le diamètre de 2,0/2,2 mm. Chaque couche de fil est enroulé séparément dans la même direction des tours. En tout, on a fait enroulé 2333 tours, la première couche ayant 583 tours. Le solénoïde est muni d'un mécanisme spécial pour faire coïncider sa direction axiale avec le plan perpendiculaire à la direction du méridien magnétique.

D'après le calcul de l'intensité du champ magnétique dans le solénoïde le long de l'axe et en direction radiale on peut voir qu'à la distance de 20 cm de la section centrale du solénoïde l'intensité du champ décroît seulement de 0,04%, et dans la direction radiale elle ne se varie, sur la même étendue de 20 cm, plus de 0,001%.

Après les calculs théoriques la bobine fut soumise aux études expérimentales minutieuses à l'aide des bobines de mesure spéciales et de galvanomètre balistique.

L'intensité du champ magnétique fut mesurée pour une, deux, trois et quatre couches de l'enroulement magnétisant, au centre du solénoïde et le long de l'axe, par chaque 5 cm, sur l'étendue de 70 cm de deux côtés du centre et dans la direction radiale à la distance de 1, 1,5, 2 et 2,5 cm au-dessus et au-dessous de l'axe sur toute longueur du solénoïde.

Pour chaque combinaison de couches on a exécuté trois séries de mesures en déplaçant les bobines de mesure du centre aux bouts, puis inversement des bouts au centre et, encore une fois, du centre aux bouts du solénoïde. Après cela les bobines de mesure ont changé de place; la bobine droite fut placée du côté gauche du solénoïde et la gauche—du côté droit et on a exécuté encore une série des mesures.

Les résultats des mesures ont démontré que pour la seule première couche de l'enroulement l'intensité du champ est répartie assez uniformément de deux côtés du centre. Du côté droit de la bobine l'intensité du champ est homogène sur l'étendue de 40 cm et est égale à 4,93 oersteds, en différant de la valeur de l'intensité du champ au centre de 0,005 oersteds, c'est-à-dire de 0,1%. Du côté gauche sur la même étendue de 40 cm les variations de l'intensité du champ magnétique sont de 0,015 oersteds, c'est-à-dire de 0,3% par rapport à l'intensité du champ au centre de la bobine.

Pour plusieurs couches de l'enroulement magnétisant, l'intensité du champ magnétique cesse d'être homogène déjà à la plus petite distance du centre, néanmoins, pour toutes les quatre couches l'abaissement de l'intensité du champ, à la distance de 25 cm de deux côtés, ne dépasse pas 0,04 oersteds, ce qui fait 0,2% de 19,77 oersteds—la valeur de l'intensité du champ au centre.

À la section centrale, à la distance maximale, à laquelle on a pu placer les bobines au-dessus et au-dessous de l'axe et qui est égale à 2,5 cm, l'intensité du champ ne varie que de 0,005 oersteds, c'est-à-dire de 0,1%.

En prenant pour l'intensité du champ magnétique au centre de la bobine la moyenne des valeurs obtenues sur l'étendue de 20 cm de l'un et de l'autre côté de la section centrale, l'auteur a trouvé les valeurs suivantes en oersteds:

Pour la première couche: $H = 4,932 \pm 0,016$ ou 0,34%

* deux couches: $H = 9,869 \pm 0,032$ * 0,35%

* trois couches: $H = 14,785 \pm 0,054$ * 0,37%

* quatre couches: $H = 19,759 \pm 0,067$ * 0,34%

où l'erreur relative $\frac{\Delta H}{H}$ est calculée comme la somme des erreurs relatives suivantes:

a. Les erreurs directes des mesures de l'intensité du champ H pour quatre séries des observations.

b. Les erreurs de détermination de la constante de la bobine d'induction mutuelle.

c. L'erreur de la détermination de $n_2 s_2$ —le produit de la section de la bobine mesure par le nombre de ses tours.

La moyenne obtenue de l'intensité mesurée du champ magnétique pour une seule couche de l'enroulement magnétisant, 4,932 oersteds, dépasse la valeur calculée au centre, 4,922 oersteds, de 0,01 oersteds, c'est-à-dire de 0,2%.

La variation de l'intensité du champ magnétique du centre aux bases de la bobine, le long de l'axe sur l'étendue de 30 cm, exprimée en pour cent au rapport de la valeur de l'intensité du centre prise pour 100%, ne dépassant pas 0,1%, l'intensité du champ magnétique de la bobine «HI» peut être regardée comme uniforme avec la précision de + 0,1%.

L'uniformité de l'intensité du champ magnétique du solénoïde et la différence insignifiante entre l'intensité du champ calculée et celle mesurée permettent d'adopter ce solénoïde comme une bobine-étalon de l'intensité du champ magnétique désignée par «HI» et ayant à son centre la valeur pour une seule couche de l'enroulement magnétisant et pour le courant de 1 ampère:

$$H = 4,922 \text{ oersteds.}$$

L'auteur complète le texte par les figures et les tableaux.

Figure 1. Tube cylindrique creuse du carton bakérisé avec quatre couches de l'enroulement magnétisant de 2323 tours, adoptée comme une bobine-étalon de l'intensité du champ magnétique et désignée par «HI».

Figures 2 et 3. Mécanisme de rotation de la bobine dans la direction horizontale et verticale, pour obtenir la coïncidence de l'axe du solénoïde avec le plan perpendiculaire à la direction du méridien magnétique.

Fig. 4. Courbe de la répartition de l'intensité du champ magnétique le long de l'axe de la bobine pour une couche de l'enroulement magnétisant, calculée.

Fig. 5. Schéma de l'installation balistique pour la mesure de l'intensité du champ magnétique; ici *KBH* figure la bobine de l'induction mutuelle, *HK* — la bobine mesurée.

Fig. 6. Bobine de mesure en étui de fibre avec une règle, mise à une barre de cuivre placée dans le solénoïde.

Fig. 7 et 8. Mécanisme spécial pour obtenir la coïncidence de la barre de cuivre avec l'axe horizontal du solénoïde et pour centrer la bobine de mesure avec celle magnétisante. Le même mécanisme permet le déplacement de la bobine de mesure dans le solénoïde à diverses distances du centre, le long de l'axe et des rayons.

Fig. 9. Courbes de la répartition de l'intensité du champ magnétique le long de l'axe de la bobine pour une, deux, trois et quatre couches de l'enroulement magnétisant, observées.

Fig. 10. Courbes de la répartition de l'intensité du champ magnétique le long de l'axe de la bobine pour une couche de l'enroulement magnétisant, calculée (continue) et observée (pointillée).

Tableau I. Résultats des calculs de la répartition de l'intensité du champ magnétique de la bobine le long de l'axe, en partant du centre aux bases, par 10 cm. Les calculs sont faits d'après les dimensions géométriques du solénoïde et les ampère-tours magnétisants.

Tableau II. Résultats des calculs de la répartition de l'intensité du champ magnétique dans la section centrale du solénoïde, pour deux, trois et quatre couches de l'enroulement magnétisant.

Tableau III. Résultat des mesures de l'intensité du champ magnétique le long de l'axe du solénoïde, par 5 cm, en partant du centre aux bases, pour une, deux, trois et quatre couches de l'enroulement magnétisant.

Tableau IV. Résultat des mesures de l'intensité du champ magnétique à la distance de 1, 2 et 2,5 cm au-dessus et au-dessous de l'axe du solénoïde sur toute sa longueur.

Tableau V. Comparaison des valeurs calculées et mesurées de l'intensité du champ magnétique pour une couche de l'enroulement magnétisant, prises par 10 cm de deux côtés du centre le long du solénoïde, et la différence obtenue en pour cent.

Tableau VI. Variation de l'intensité du champ magnétique, calculée et mesurée aux divers points le long de l'axe en partant du centre aux bouts de la bobine, exprimée en pour cent par le rapport à la valeur de l'intensité du champ au centre prise pour 100%.

К ВОПРОСУ ОБ УСТАНОВЛЕНИИ ЭТАЛОНОВ МАГНИТНОГО МОМЕНТА В АБСОЛЮТНЫХ ЕДИНИЦАХ

Б. М. Яновский

В последнее время международным Консультативным Электрическим Комитетом поднят вопрос о переходе от международных электрических единиц к абсолютным единицам, производным от с. g. s. электромагнитных единиц и об установлении эталонов электрических единиц в абсолютной мере. В виду того, что электрические единицы тесно связаны с магнитными, естественно встает вопрос о переходе к абсолютным магнитным единицам и об установлении для них соответствующих эталонов. В настоящее время общепринятых и узаконенных магнитных единиц не существует и в разных областях знания пользуются разными единицами. В электротехнике магнитные величины являются производными от электрических величин и поэтому выражаются в международных единицах. В области же земного магнетизма пользуются абсолютной системой единиц. Для установления однородности магнитных измерений необходимо перейти к одной определенной системе единиц. Поэтому переход к абсолютной системе магнитных единиц позволит решить и эту задачу.

Настоящая работа является первой попыткой к установлению эталонов магнитных величин в абсолютных единицах.

Абсолютные методы магнитных измерений, установленные еще в первой половине XVIII века Гауссом и Ламоном, относятся только лишь к определению напряженности магнитного поля земли и к определению магнитного момента постоянного магнита прямолинейной формы. Поэтому всякая попытка измерения магнитных величин в абсолютных единицах должна иметь в своем основании измерения этих величин. В настоящем случае за основание было принято измерение магнитного момента постоянного магнита в форме эллипсоида вращения, который мог бы служить эталоном магнитного момента.

Вопрос об установлении эталонов магнитного момента был поднят акад. Левинсон-Лессингом, который предложил в качестве таких эталонов цилиндры из горных пород — диабазы, змеевика, базальта и талько-хлористого сланца, обладающих

очень большой устойчивостью по отношению к размагничивающим силам¹. Но ввиду очень малой величины магнитного момента этих цилиндров и ввиду не подходящей формы, решение вопроса об использовании таких эталонов для практических целей оказалось очень затруднительным.

Применение же эллипсоидов из кобальтовой стали в качестве эталонов разрешало все эти задачи, так как, с одной стороны, величина магнитного момента была довольно значительна, примерно в 100 раз больше, чем величина магнитного момента цилиндра из диабазы, а с другой — эллипсоидальная форма позволила применять их в качестве эталонов магнитного потока. Устойчивость же таких эллипсоидов, судя по опытам, произведенным в эталонной магнитной лаборатории Главной Палаты мер и весов в течение последних лет с образцами, изготовленными из той же самой стали, — должна быть вполне достаточной для того, чтобы их можно было принять в качестве эталонов.

Эллипсоиды были изготовлены из кобальтовой магнитной стали Крупновского завода марки Coerzit 1 с 30% содержанием кобальта.

Магнитные характеристики этой стали следующие:

Остаточная индукция в замкнутой магн. цепи	10400 гауссов
Коэрцитивная сила	175 эрстед
Начальная проницаемость	14

Эллипсоиды изготавливались в мастерских Главной Палаты мер и весов под руководством И. И. Квариберга. Термическая же обработка производилась в эталонной магнитной лаборатории.

Для приведения в устойчивое состояние магнитного момента эллипсоиды после закалки были подвергнуты нагреванию при 100°С в течение 40 часов и после намагничивания в равномерном магнитном поле частично размагничены переменным полем с убывающей до нуля амплитудой. Максимальная амплитуда переменного поля была около 50 гауссов.

Всего было изготовлено четыре эллипсоида с отношением осей равным 0,1 и длиной в 100, 90, 80 и 70 мм. В таблице I приведены данные эллипсоидов, полученные из непосредственных измерений в лаборатории калибров и ареометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов.

¹ Е. Шражков — Доклады Академии Наук, стр. 98, 1929.

Таблица I—Tableau I

Номера эллипсоидов Nos des ellipsoïdes	1	2	3	4		
Диаметр; <i>с.м.</i> Diametre; <i>с.т.</i>	$\left. \begin{array}{l} \text{на расстоянии } +5 \text{ м.м.} \\ \text{от центра} \\ \text{à la distance de } +5 \text{ м.т.} \\ \text{du centre} \end{array} \right\}$	0,6872	0,7790	0,8929	0,9375	
		$\left. \begin{array}{l} \text{в центре} \\ \text{au centre} \end{array} \right\}$	0,6930	0,7883	0,8990	0,9467
			$\left. \begin{array}{l} \text{на расстоянии } -5 \text{ м.м.} \\ \text{от центра} \\ \text{à la distance de } -5 \text{ м.т.} \\ \text{du centre} \end{array} \right\}$	0,6860	0,7828	0,8911
Длина; <i>с.м.</i> Longueur; <i>с.т.</i>	6,9380	8,0004		9,043	9,9810	
Площадь сечения в центре; <i>с.м.²</i> Section au centre; <i>с.т.²</i>	0,37719	0,48806	0,63476	0,7035		
Средняя площадь сечения на протя- жении 5 м.м. от центра Section moyenne à l'étendue de 5 м.т. du centre	0,3725	0,4821	0,6283	0,6978		
Объем измеренный; <i>с.м.³</i> Volume, mesuré; <i>с.т.³</i>	1,7630	2,6120	3,8062	4,6912		
Объем вычисленный; <i>с.м.³</i> Volume, calculé; <i>с.т.³</i>	1,744	2,602	3,827	4,687		
Разность между измеренным и вычи- сленным объемом в % Différence entre volumes mesuré et calculé; pour cent	+1,1	-0,4	-0,6	+0,1		

Обозначим магнитный момент эллипсоида через M , а объем его через v , тогда из определения магнитного момента можно написать:

$$M = \int I dV$$

где I — напряженность намагничения. Интегрирование распространяется на весь объем эллипсоида. В эллипсоиде напряженность намагничения должна быть одинаковой во всех точках объема, поэтому для нашего случая:

$$M = Iv.$$

Отсюда, зная M и v , можно найти I :

$$I = \frac{M}{v} \dots \dots \dots (1)$$

Вместо напряженности намагничения введем величину индукции B , которая связана с напряженностью соотношением:

$$B = 4\pi I + H,$$

где H — напряженность внешнего магнитного поля. Для случая постоянного магнита это поле есть внутреннее размагничивающее поле магнита, равное $-NI$, где N — коэффициент размагничивания эллипсоида, поэтому:

$$B = 4\pi I - NI = I(4\pi - N)$$

Подставляя вместо I величину из уравнения (1), получим:

$$B = (4\pi - N) \frac{M}{v} \dots \dots \dots (2)$$

Если умножим B на площадь сечения S в центре эллипсоида, то получим полный остаточный магнитный поток Φ в центральном сечении эллипсоида, т. е.:

$$\Phi = (4\pi - N) S \cdot \frac{M}{v} \dots \dots \dots (3)$$

Следовательно, определив M абсолютным методом в абсолютных единицах, получим величину магнитной индукции и магнитного потока в абсолютных же единицах, так как все остальные величины, входящие в формулу (3), определяются в абсолютных единицах: S и v — из непосредственных измерений, а N вычисляется по известной формуле для эллипсоида:

$$N = 4\pi \frac{\beta^2}{1-\beta^2} \left[\frac{1}{2\sqrt{1-\beta^2}} \operatorname{tg} \frac{1+\sqrt{1-\beta^2}}{1-\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right] \dots (3a)$$

где β — отношение малой оси эллипсоида к большой. В нашем случае это отношение для первых трех эллипсоидов равно 0,1, а для № 4: 0,095, и соответственно коэффициенты размагничивания: 0,255 и 0,240. В этом заключается преимущество эллипсоидальной формы эталонов магнитного момента, так как они могут служить не только эталонами магнитного момента, но и эталонами магнитного потока, благодаря чему область применения их значительно расширяется.

Метод определения магнитного момента

Определения магнитных моментов эллипсоидов абсолютным методом производилось в Слуцкой магнитной обсерватории из абсолютном магнитометре.

Методика определения заключается в следующем (рис. 1):

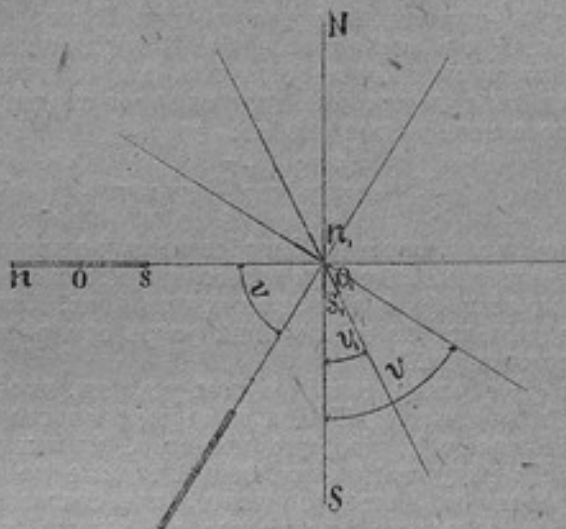


Рис. 1

пусть n_1s_1 — магнит, подвешенный в магнитометре, занимает первоначально положение в магнитном меридиане NS .

На некотором расстоянии от этого магнита помещается на шине измеряемый магнит ns , причем ось измеряемого магнита должна находиться в плоскости, проходящей через ось магнита n_1s_1 и продолжение ее должно проходить через центр магнита n_1s_1 . Расстояние R , на которое помещается магнит ns считается между центрами магнитов ns и n_1s_1 , т. е. $R = OO_1$. Под влиянием магнита ns , магнит n_1s_1 отклонится на некоторый угол v_1 . Вращая магнит ns вместе с шиной вокруг точки O_1 , можно достичь такого положения, когда ось магнита ns станет перпендикулярной к оси магнита n_1s_1 . Такое положение двух взаимодействующих магнитов называется вторым Ламоновым положением. Условия равновесия магнита n_1s_1 во втором Ламоновом положении выражается следующим уравнением:

$$\frac{H}{M} = \frac{2}{R^2 \sin v} \left[1 + \frac{p}{R^2} + \frac{q}{R^4} + \dots \right]$$

где H — горизонтальная составляющая земного поля, M — магнитный момент магнита ms , R — расстояние между центрами магнитов, ν — угол отклонения магнита ms от магнитного меридиана, p и q — некоторые постоянные коэффициенты, зависящие от размеров и формы магнитов и распределения в них магнитных масс.

Вывод этой формулы был дан самими Ламоном,¹ затем Хвольсоном² и в последнее время Шмидтом.³

Из этой формулы получается значение магнитного момента, если ограничиться двумя первыми членами сходящегося ряда, заключенного в квадратные скобки:

$$M = \frac{HR^3 \sin \nu}{2} \left[1 - \frac{p}{R^2} - \frac{q}{R^4} \right] \dots \dots (4)$$

Таким образом, если известно H в абсолютных единицах, измеряя угол отклонения ν на заданном расстоянии R , можно определить магнитный момент M в абсолютных единицах. Коэффициенты p и q определяются из наблюдений углов отклонения на трех заданных расстояниях.

Формула (4) справедлива при том условии, что все входящие в нее величины M , H , R и ν не меняют своих значений за время наблюдений. Но, как известно, магнитный момент и расстояние между магнитами, отчитываемые по шине, зависят от температуры, далее горизонтальная составляющая земного поля и положение магнитного меридиана, от которого отчитывается угол ν , непрерывно меняются в течение суток. вследствие вариации земного поля, поэтому в формулу (4) необходимо ввести некоторые поправочные члены, зависящие от температуры и суточных вариаций. После введения этих поправок формула (4) принимает следующий вид:

$$M_t = \frac{1}{2} H_t R_t^3 \sin(\nu + \Delta \nu_1) \left[1 - \frac{p}{R_t^2} - \frac{q}{R_t^4} \right] \times \\ \times \left[1 - (p + 3m)(t - \tau) + \frac{C\sigma}{H}(n - n^1) \right] \dots \dots (5)$$

где p — температурный коэффициент магнитного момента, m — коэффициент расширения шины, t — нормальная температура, τ — температура наблюдения, n — нормальное положение магнитометра (бифилара), n^1 — положение бифилара в момент наблюдений, $C\sigma$ — чувствительность бифилара и $\Delta \nu$ — поправка угла отклонения на изменение меридиана за время наблюдений.

¹ Lamont, Handbuch des Erdmagnetismus. Berlin 1849, стр. 21.

² О. Д. Хвольсон, Mem. de l'Ac. Imp. de St-Petersb. (7) 31, 1883.

³ A. Schmidt, Terr. Magn. and Atm. Electr. 17, стр. 181, 1912; 18, стр. 65, 1913.

Формулу (5) можно привести к прежнему виду, если поправки на температуру и изменение элементов земного магнетизма ввести непосредственно в измеряемый угол v . Пусть Δv_τ обозначает поправку угла отклонения на изменение температуры на $(t-\tau)^\circ$, Δv_n — поправку на изменение горизонтальной составляющей, тогда выражение (5) примет следующий вид, если за нормальную температуру принять 20°C , а за нормальное положение магнитометра 150.

$$M_{20} = 0.5 H_{150} R_{20}^3 \sin(v + \Delta v_1 + \Delta v_\tau + \Delta v_n) \left[1 - \frac{p}{R^2} - \frac{q}{R^4} \right] \quad (6)$$

Поправка Δv_1 на изменение меридиана за время между отчетами угла отклонения определяется из наблюдений положений вариационного прибора (унифиляра) в моменты наблюдений. Если a_1, a_2, a_3 и a_4 последовательные отчеты унифиляра, то при выбранной нами системе отчетов углов:

$$\Delta v_1 = \frac{a_3 + a_4 - (a_1 + a_2)}{4} C_y$$

где C_y — чувствительность унифиляра.

Поправка Δv_τ в секундах на температуру определяется из формулы (5), если продифференцировать обе ее части по $(t-\tau)$, т. е.:

$$\Delta v_\tau = - \frac{(p + 3q) \operatorname{tg} v}{\sin^2 1''} (t-\tau) \dots \dots \dots (7)$$

Если продифференцировать обе части того же уравнения по $(n-n')$, то получим поправку Δv_n :

$$\Delta v_n = \frac{C_\theta \operatorname{tg} v}{H \sin^2 1''} (n-n') \dots \dots \dots (8)$$

При больших углах отклонений необходимо ввести, как показал Ламон, еще поправку на неправильное положение отклоняемого магнита. Уравнение равновесия (4) справедливо при тех условиях, что ось отклоняющего магнита проходит через центр отклоняемого, оси обоих магнитов находятся в одной плоскости и расстояние R соответствует расстоянию между центрами магнитов. Так как в действительности такого случая никогда не бывает, то для устранения происходящей отсюда ошибки наблюдения углов отклонения производятся с двух противоположных расстояний отклоняющего магнита, т. е. наблюдают угол v , когда магнит ms находится на восточной

стороне, а затем — на западной. В первом случае будет угол v' , во втором v'' . При небольших углах отклонения и при малых разностях $\Delta v = v'' - v'$ средний угол $v = \frac{v' + v''}{2}$ соответствует истинному с большой точностью. Если же угол v больше 45° и разность углов Δv выражается в десятках минут, необходимо к средней величине v прибавить еще поправку Δv_2 , имеющую такой вид:

$$\Delta v_2 = -60 \sin 1'' \left(\frac{1}{8} \operatorname{tg} v + \frac{1}{6} \operatorname{ctg} v \right) \Delta v^2.$$

Нормальное значение горизонтальной составляющей H_{150} при определениях магнитных моментов эллипсоидов непосредственно не измерялось, а было принято из абсолютных измерений Слуцкой обсерватории. Точно также расстояние R , на котором устанавливался измеряемый магнит, было принято из определений произведенных ранее в Главной Палате мер и весов.

Определение постоянных коэффициентов

Температурный коэффициент μ был определен при помощи измерения углов отклонения при разных температурах. Из формулы (7) находим:

$$\mu + 3\alpha = \frac{\Delta v_{\tau}'' \sin 1''}{\operatorname{tg} v (t - \tau)}$$

где $\Delta v_{\tau}''$ обозначает разность углов отклонения ($v_t - v_{\tau}$) в секундах при температурах t и τ .

Средние результаты непосредственных измерений углов отклонения и вычисленное значение температурных коэффициентов приведены в следующей таблице II.

Таблица II — Tableau II

Эллипсоиды Ellipsoïdes	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
v_t	$7^\circ 54' 55''$	$12^\circ 38' 54''$	$18^\circ 35' 23''$	$24^\circ 25' 9''$
v_{τ}	$7^\circ 52' 07''$	$12^\circ 34' 37''$	$18^\circ 29' 18''$	$24^\circ 17' 47''$
t	11°_t	12°_t	13°_t	15°_t
τ	34°_τ	35°	33°_τ	33°_τ
$\mu + 3\alpha$	0,000253	0,000250	0,000261	0,00026261

Постоянные коэффициенты p и q определялись путем измерения углов отклонения, помещая эллипсоиды на трех разных расстояниях от отклоняемого магнита. Расстояния эти при 20° С были следующие:

$$R_1 = 40,0102 \text{ см};$$

$$R_2 = 31,7610 \text{ см};$$

$$R_3 = 30,0078 \text{ см}.$$

Если обозначить через v_1 , v_2 и v_3 углы отклонения соответствующие расстояниям R_1 , R_2 и R_3 и подставить их в формулу (6), то получится три уравнения, которые легко приводятся к двум уравнениям с двумя неизвестными, p и q , а именно:

$$1 - \frac{p}{R_1^2} - \frac{q}{R_1^4} = \frac{R_1^3 \sin v_1}{R_3^3 \sin v_3}$$

$$1 - \frac{p}{R_2^2} - \frac{q}{R_2^4} = \frac{R_2^3 \sin v_2}{R_3^3 \sin v_3}$$

Из этих уравнений легко определяются p и q . Углы v_1 , v_2 , v_3 должны быть исправлены на температуру, вариации склонения и горизонтальной составляющей и введены поправки на внецентричность магнитов. Результаты наблюдений углов отклонения на разных расстояниях эллипсоидов от отклоняемого магнита помещены в общей таблице, значения же постоянных p и q , вычисленные из этих данных, приведены в нижеследующей таблице III.

Таблица III — Tableau III

Эллипсоиды Ellipsoïdes	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
p	- 17 ₀	- 38 ₀	- 31 ₀	- 36 ₀
q	+ 5290	+ 14600	+ 7630	+ 7010
$p : R^2$	- 0,01096	- 0,02429	- 0,01961	- 0,02271
$q : R^4$	+ 0,00206	+ 0,00570	+ 0,00298	+ 0,00273

Определение магнитного момента эллипсоидов

Для определения магнитного момента эллипсоидов был произведен ряд измерений углов отклонений при $R = 40,0102$ см, которые были затем исправлены на температуру, вариации горизонтальной составляющей и склонения и на внецентренность отклоняемого магнита. Каждое измерение угла отклонения состояло, как было указано выше, из четырех отчетов отклоняемого магнита при четырех разных положениях эллипсоида по следующей схеме:

Марки	Шина	Отчет
<i>o</i>	<i>w</i>	v_1
<i>o</i>	<i>o</i>	v_2
<i>w</i>	<i>o</i>	v_3
<i>w</i>	<i>w</i>	v_4

где слово „марка“ обозначает положение северного конца эллипсоида, а слово „шина“ — положение шины относительно отклонения магнита.

Угол отклонения v (неисправленный) получался как полуразность средних отсчетов двух первых и двух последних, т.е.

$$v = \frac{\frac{v_1 + v_2}{2} - \frac{v_3 + v_4}{2}}{2}$$

Из полученного таким образом ряда измерений была взята средняя величина угла отклонений и по формуле (6) был вычислен магнитный момент.

Для учета вариаций склонения и горизонтальной составляющей, в каждый момент отчета положения отклоняемого магнита, производились другим наблюдателем отчеты по вариационным приборам (бифиляру и унифиляру) Слуцкой обсерватории. Результаты наблюдений углов отклонения приведены в таблице IV (стр. 102).

Определив магнитный момент, по формулам (2) и (3) легко вычислить значения остаточной индукции и остаточного потока. Таблица V дает результаты вычислений магнитного момента, остаточной индукции и остаточного потока.

Таблица V—Tableau V

Эллипсоиды Ellipsoides	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
H_{120} { средн. oersteds	0,15544	0,15544	0,15544	0,15544
R_{20} { см cm	40,0102	40,0102	40,0102	40,0102
ν	7° 53 55"	12° 37 38"	18° 33 19"	24° 23 09"
M_{20}	679,54 ± 0,11	1067,9 ± 0,2	1557,7 ± 0,2	2014,2 ± 0,2
I_{20}	385,45	408,84	409,25	429,35
B_{20}	4745,3	5033,2	5038,3	5292,2
Φ_{20}	1789,9	2456,5	3198,1	3722,9

Градуировка баллистического гальванометра при помощи эллипсоидов

Зная магнитный поток эллипсоидов в абсолютных единицах, можно проградуировать простым способом баллистический гальванометр в абсолютных же единицах. Для этой цели необходимо сбросить катушку, соединенную последовательно с баллистическим гальванометром, с центральной части эллипсоида и заметить отброс баллистического гальванометра. Пусть катушка имеет n витков и отброс гальванометра при сбрасывании этой катушки α , тогда величина:

$$C = \frac{\Phi n}{\alpha} \dots \dots \dots (9)$$

будет магнитный поток, соответствующий одному делению шкалы гальванометра или, иначе, постоянная баллистического гальванометра, выраженная в единицах магнитного потока.

Выражение (9) справедливо в том случае, если витки катушки плотно облегают среднюю часть эллипсоида, т.-е. если нет воздушного зазора между витками и телом эллипсоида. В действительности же витки намотаны не на тело, а на каркас катушки, и потому зазор всегда будет существовать; вследствие этого при сбрасывании катушки будут захватываться силовые линии между витками и телом эллипсоида, и в формулу (9) необходимо ввести поправку на эти линии. Так как направление силовых линий вне эллипсоида противоположно направлению линий

Таблица IV—

Месяц и число Date	№ эллипсоида Nos des ellipsoïdes	R_{20}	τ	n'	$\Delta t -$ $20 - \tau$	$\Delta n' -$ $150 - n'$	V Наблюденный Observé
8/III	4	31 ₀₀₀₀	14 ₀	147 ₀	- 5 ₀	+ 2 ₀	56° 30' 41"
9/III	»	»	15 ₀	150 ₀	- 4 ₀	+ 0 ₀	56 29 56
	»	»	16 ₀	155 ₀	- 3 ₀	+ 5 ₀	56 25 04
15/III	3	31 ₀₆₁₀	13 ₀	133 ₀	- 6 ₀	- 16 ₀	40° 00' 40"
15/III	2	»	13 ₀	142 ₀	- 6 ₀	- 7 ₀	26 06 52
17/IV	»	»	14 ₀	128 ₀	- 5 ₀	- 21 ₀	26 10 04
17/III	1	31 ₀₀₀₀	11 ₀	132 ₀	- 8 ₀	- 17 ₀	16° 04' 24"
8/III	4	30 ₀₀₀₀	14 ₀	149 ₀	- 5 ₀	- 0 ₀	83 09 49
9/III	»	»	16 ₀	154 ₀	- 3 ₀	+ 4 ₀	82 35 19
15/III	3	30 ₀₀₀₀	13 ₀	135 ₀	- 6 ₀	- 15 ₀	49° 47' 07"
15/III	2	30 ₀₀₀₀	13 ₀	144 ₀	- 6 ₀	- 6 ₀	31° 29' 32"
17/IV	»	»	14 ₀	123 ₀	- 5 ₀	- 26 ₀	31 36 34
17/III	1	30 ₀₀₀₀	11 ₀	135 ₀	- 8 ₀	- 14 ₀	19° 09' 54"

Таблица IV—

Месяц и число Date	№ эллипсоида Nos des ellipsoïdes	R_{20}	τ	n'	$\Delta t =$ $20' - \tau$	$\Delta n' =$ $150 - n'$	V Наблюдаемый Observé
8/III	4	40 ₀₁₀₂	14 ₀₂	148 ₀₄	+ 5 ₀₂	- 1 ₀₂	24° 25' 27"
"	"	"	15 ₀₀	149 ₀₂	+ 5 ₀₀	- 0 ₀₇	24 25 25
"	"	"	15 ₀₄	152 ₀₃	+ 4 ₀₀	+ 2 ₀₂	24 24 28
9/III	"	"	16 ₀₄	155 ₀₄	+ 3 ₀₀	+ 5 ₀₂	24 23 22
21/III	"	"	32 ₀₉	138 ₀₄	- 12 ₀₉	- 11 ₀₀	24 20 14
"	"	"	33 ₀₄	140 ₀₀	- 13 ₀₄	- 9 ₀₄	24 19 09
"	"	"	33 ₀₂	142 ₀₉	- 13 ₀₂	- 7 ₀₁	24 19 08
15/III	3	40 ₀₁₀₂	13 ₀₀	136 ₀₀	- 6 ₀₀	- 13 ₀₄	18° 36' 45"
"	"	"	14 ₀₀	141 ₀₀	- 6 ₀₀	- 8 ₀₁	18 35 48
17/III	"	"	11 ₀₇	134 ₀₈	- 8 ₀₂	- 15 ₀₀	18 37 04
21/III	"	"	33 ₀₂	138 ₀₂	+ 13 ₀₂	- 11 ₀₀	18 30 26
"	"	"	33 ₀₄	136 ₀₀	+ 13 ₀₄	- 14 ₀₀	18 31 35
15/III	2	40 ₀₁₀₂	13 ₀₀	139 ₀₀	- 6 ₀₀	- 11 ₀₀	12° 39' 53"
"	"	"	14 ₀₀	139 ₀₄	- 6 ₀₀	- 10 ₀₀	12 39 08
17/III	"	"	11 ₀₀	133 ₀₀	- 8 ₀₀	- 16 ₀₀	12 40 30
23/III	"	"	34 ₀₉	145 ₀₀	+ 14 ₀₀	- 4 ₀₀	12 35 29
"	"	"	35 ₀₀	140 ₀₀	+ 15 ₀₀	- 9 ₀₀	12 35 18
28/III	"	"	12 ₀₄	132 ₀₄	- 7 ₀₀	- 17 ₀₀	12 40 56
17/IV	"	"	14 ₀₄	131 ₀₂	- 5 ₀₀	- 18 ₀₀	12 40 54
17/III	1	40 ₀₁₀₂	11 ₀₀	131 ₀₀	- 8 ₀₀	- 18 ₀₂	7° 56' 15"
"	"	"	11 ₀₀	132 ₀₀	- 8 ₀₁	- 17 ₀₀	7 55 48
23/III	"	"	35 ₀₀	139 ₀₀	+ 15 ₀₀	- 11 ₀₀	7 52 40
"	"	"	35 ₀₀	140 ₀₀	+ 15 ₀₀	- 9 ₀₀	7 52 44
"	"	"	34 ₀₂	142 ₀₇	+ 14 ₀₀	- 7 ₀₂	7 52 07

индукции внутри эллипсоида, то поправка будет со знаком минус. Обозначим плотность силовых линий у поверхности эллипсоида через H и пусть S' — площадь сечения витков катушки, S'' — средняя площадь сечения эллипсоида на протяжении длины катушки, тогда $S' - S''$ будет площадь зазора, а $H(S' - S'')$ — поток в этом зазоре. Общий же магнитный поток, захватываемый катушкой, будет:

$$\Phi = H(S' - S''),$$

поэтому постоянная гальванометра выразится следующим образом:

$$C = \frac{\Phi n - H(S' - S'') n}{\alpha} \dots \dots \dots (10)$$

За величину H вблизи поверхности эллипсоида можно принять величину внутреннего размагничивающего поля, равного напряженности намагничивания умноженной на коэффициент размагничивания, т. е.:

$$H = NI,$$

поэтому:

$$C = \frac{\Phi n - NI(S' - S'') n}{\alpha}$$

Подставляя сюда вместо Φ и I , соответствующие им выражения из уравнений (1) и (3), получим:

$$C = \frac{(4\pi - N) SM n}{v\alpha} - \frac{NM(S' - S'') n}{v\alpha}$$

или:

$$C = \frac{4\pi M n S}{v\alpha} \left[1 - \frac{N}{4\pi} - \frac{NS'}{4\pi S} + \frac{NS''}{4\pi S} \right] \dots \dots (11)$$

Средняя площадь сечения эллипсоида S'' на протяжении длины катушки в 1 см была вычислена из измерений диаметра в центре эллипсоида и на расстоянии 5 мм в ту и другую сторону от центра. Средний диаметр из трех измерений был принят за диаметр средней площади сечения. Измерения диаметров произведены в лаборатории калибров Главной Палаты мер и весов.

Катушки для сбрасывания были изготовлены из слоновой кости длиной в 1 см и обмотаны в два ряда проволокой диаметром 0,05 мм с двойной шелковой изоляцией.

Все данные, относящиеся к определению постоянной гальванометра, в единицах магнитного потока помещены в табл. VI.

Таблица VI—Tableau VI

Эллипсоиды Ellipsoïdes	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
S' ; cm^2	0,4803	0,6333	0,7604	0,8425
S'' ; cm^2	0,3725	0,4821	0,6283	0,6978
n	93	104	80	68
α ; mm	130,4	201,8	200,5	198,6
Φn ; maxwells	166463	255475	255850	253159
$\Delta(\Phi n)$	— 986	— 1633	— 1096	— 1013
$\Phi n - \Delta(\Phi n)$; maxwells	165477	253842	254754	253141
C ; $\frac{\text{maxwells}}{mm}$	1269,0	1257,7	1270,6	1269,6

Среднее значение постоянной гальванометра, за исключением эллипсоида № 2

Moyenne de la constante du galvanomètre, excepté l'ellipsoïde № 2

$$C = 1269,7 \pm 0,5$$

Та же постоянная гальванометра, при том же самом внешнем сопротивлении цепи гальванометра одновременно была определена при помощи катушки взаимной индукции, коэффициент которой M равный 0,01 генри был известен из определений в Р. Т. Reichsanstalt'e.

В этом случае:

$$C = \frac{MI}{\alpha} 10^8 \dots \dots \dots (11a)$$

где I — сила тока, выраженная в амперах в первичной обмотке катушки и α — отклонение гальванометра. Данные этих определений следующие (таблица VII).

Таблица VII—Tableau VII

C ; $\frac{\text{maxwells}}{mm}$	1271,8	1271,3	•	1265,4	1267,0
------------------------------------	--------	--------	---	--------	--------

Среднее }
Moyenne } $C = 1268,8 \pm 1,6$

Сравнивая обе постоянные гальванометра, определенные двумя совершенно различными способами, видим, что разность между ними, равная 0,9, составляет всего лишь 0,07%, тогда как коэффициент взаимной индукции, при помощи которого определена постоянная гальванометра во втором случае, известен лишь с точностью до 0,1%. Кроме того из таблиц VI и VII видно, что колебания в отдельных наблюдениях во втором случае значительно больше, чем в первом, за исключением эллипсоида № 2. Отклонение постоянной гальванометра для эллипсоида № 2, составляющее около 1% от средней величины, по всей вероятности, вызвано неравномерностью намагничивания. Эту неравномерность можно объяснить неоднородностью материала, которая могла получиться при закалке эллипсоида. На неравномерность намагничивания эллипсоида № 2 указывают также коэффициенты p и q , которые, как видно из таблицы III, имеют совершенно другие значения по сравнению с коэффициентами для остальных эллипсоидов. Поэтому при вычислении среднего значения постоянной гальванометра эллипсоид № 2 не был принят во внимание.

Точность определения магнитного момента и постоянной гальванометра

Точность определения магнитного момента абсолютным методом получим, если продифференцируем выражение (6):

$$\frac{dM_{20}}{M_{20}} = \frac{dH_{150}}{H_{150}} + \frac{3dR_{20}}{R_{20}} + \operatorname{ctg} v dv'' \sin 1'' - \frac{dp}{R^2 B} - \frac{dq}{R^4 B}$$

$$\text{где } B = 1 - \frac{p}{R^2} - \frac{q}{R^4}$$

Отсюда средняя ошибка в определении магнитного момента:

$$\Delta M_{20} = + M_{20} \times$$

$$\sqrt{\left(\frac{\Delta H_{150}}{H_{150}}\right)^2 + 9\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \operatorname{ctg}^2 v (\Delta v)''^2 \sin^2 1'' + \left(\frac{\Delta p}{R^2 B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta q}{R^4 B}\right)^2} \dots (12)$$

Абсолютная величина горизонтальной составляющей в Слуцкой магнитной обсерватории известна с точностью $\pm 0,00001$ эрстеда,

поэтому $\frac{\Delta H_{150}}{H_{150}} = 0,000065$. Расстояние между центрами магнитов

на образцовом приборе магнитной обсерватории можно определять, пользуясь мерой поверенной в Главной Палате мер и

весов с точностью до 0,0001 см, следовательно, $\frac{3\Delta R}{R} = 0,0000075$ при $R = 40$ см.

Ошибку в определении угла отклонения Δv можно получить из ряда непосредственных наблюдений по формуле теории вероятностей:

$$\Delta v = + \sqrt{\frac{\sum (\Delta v_i)^2}{n(n-1)}}$$

где Δv_i — отклонение отдельных измерений от средней величины и n — число наблюдений.

Значения этих ошибок, вычисленных таким образом, для всех четырех эллипсоидов, даны в таблице IV, они колеблются от $\pm 2''{,}5$ до $\pm 4''{,}8$.

Значения коэффициентов p и q при точности измерения расстояния R до $\pm 0,0001$ см и угла отклонения до $\pm 5''$ можно определить с точностью: $\Delta p = \pm 0,1$ и $\Delta q = \pm 100$.

Подставляя все эти значения ошибок в формулу (12) получим следующие средние возможные ошибки при определении магнитного момента:

Эллипсоиды:	№ 1	№ 2	№ 3	№ 3
ΔM :	$\pm 0,020$	$\pm 0,17$	$\pm 0,15$	$\pm 0,19$
$\frac{\Delta M}{M} 100$:	$\pm 0,10\%$	$\pm 0,011\%$	$\pm 0,014\%$	$\pm 0,013\%$

Погрешность в определении постоянной баллистического гальванометра при помощи эллипсоидов получится, если продифференцировать выражение (11).

После некоторых преобразований получим:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta M}{M} - \frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta S}{S} - \frac{\Delta \alpha}{\alpha} - \frac{\Delta N}{4\pi} + \frac{N}{4\pi} \left(\frac{\Delta S''}{S} - \frac{\Delta S'}{S} \right) \dots \dots (13)$$

Средняя относительная ошибка будет корень квадратный из суммы квадратов отдельных относительных ошибок. Относительная ошибка в определении магнитного момента, как видели, в среднем равна $\frac{\Delta M}{M} = \pm 0,00012$.

Ошибка в определении объема, согласно данных ареометрической лаборатории, где эти определения производились, не

превышает $\pm 0,01\%$. Точно также ошибка в определении площади поперечного сечения S эллипсоида, по данным лаборатория калибров, не превышает $\pm 0,05\%$.

Ошибки в определении площади сечения витков катушки S' и среднего сечения эллипсоида можно принять равной $\pm 0,5\%$

Но так как эта величина множится на $\frac{N}{4\pi} = 0,02$, то $\frac{N \Delta S'}{4\pi S} =$
 $= \frac{N \Delta S'}{4\pi S'} = 0,0001$.

Ошибка в определении коэффициента размагничивания эллипсоидов, если вычислять его по формуле (3а) не должна превосходить двух единиц третьего знака, т.е. $\pm 1\%$. Так как в нашем случае $N=0,25$, то можно принять, что $\Delta N = \pm 0,002$,

откуда $\frac{\Delta N}{4\pi} = 0,0002$.

Отброс гальванометра α можно измерить с точностью $\Delta \alpha = \pm 0,1$ мм; так как в нашем случае α около 100 мм; то $\frac{\Delta \alpha}{\alpha} = 0,001$.

Возводя все эти ошибки в квадрат и извлекая квадратный корень из суммы квадратов, получим среднюю возможную погрешность в определении постоянной гальванометра:

$$\frac{\Delta C}{C} = \pm 0,0012 \text{ или } 0,12\%$$

Если же подсчитать среднюю относительную ошибку в определении постоянной гальванометра при помощи катушки взаимной индукции, то уравнение (11а) дает:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta I}{I} - \frac{\Delta \alpha}{\alpha}$$

Как было выше установлено, $\frac{\Delta M}{M} = 0,001$ и $\frac{\Delta \alpha}{\alpha} = 0,001$.

Что же касается ошибки в измерении силы тока, то обычный способ при помощи амперметра не дает ее меньше $0,2\%$, т.е.

$\frac{\Delta I}{I} = 0,002$, поэтому:

$$\frac{\Delta C}{C} = + 0,0024 \text{ или } 0,24\%$$

Как видим, способ определения постоянной гальванометра при помощи эталонов-эллипсоидов дает точность в два раза большую по сравнению со способом при помощи катушки взаимной индукции. Такой же результат дают нам и непосредственные определения ошибок измерений постоянной гальванометра обоими способами, что можно видеть из табл. VI и VII. В одном случае абсолютная ошибка $\pm 0,5$, и в другом $\pm 0,6$.

О хранении эталонов

Для того, чтобы эллипсоидами можно было пользоваться, как эталонами магнитного момента, необходимо, чтобы магнитный момент сохранял свое значение, т.е. чтобы изменения в его величине, по крайней мере за промежуток времени между двумя измерениями на образцовом приборе, не превосходили величины возможной ошибки измерений. Как было указано выше, для этой цели эллипсоиды были соответствующим образом обработаны; но какова бы ни была эта обработка, при пользовании эллипсоидами и при самом процессе хранения могут возникнуть такие условия, что магнитный момент изменит свое значение на довольно заметную величину, превосходящую ошибки измерений.

Исследования, производившиеся в магнитной лаборатории Главной Палаты мер и весов, показали, что способ стабилизации постоянного магнита переменным полем с убывающей до нуля амплитудой обеспечивает постоянство магнитного потока и магнитного момента при том условии, если напряжение внешних магнитных полей, действующих на магнит, не превосходит для вольфрамовой стали двух-трех эрстедов, а для кобальтовой—пяти-шести эрстедов.

Наиболее сильные магнитные поля, которые могут действовать на магнит, это—поля создаваемые другими магнитами и железными массами с большой проницаемостью, намагничиваемыми самим магнитом. Поэтому хранение магнитов должно быть организовано таким образом, чтобы предохранить от влияния других магнитов и железных масс. Для этой цели эллипсоиды помещаются в деревянный ящик на расстояниях друг от друга от 20 до 30 см и в 30 см от стенок ящика, так что ящик имеет размеры: длина 140 см, высота 60 см и ширина 70 см.

Расстояние от 20 до 30 см было выбрано из расчета, что на этих расстояниях напряженность магнитного поля, создаваемая магнитом на перпендикуляре к его оси, меньше 0,1 эрстеда, и поэтому каждый эллипсоид будет находиться в поле других эллипсоидов напряженностью не выше 0,2 эрстеда.

Действительно, как известно, приближенно можно написать:

$$H = \frac{M}{R^3},$$

так как наибольший магнитный момент $M = 2000$, и если поставить условие, чтобы $H \leq 0,1$ эрстеда, то R должно быть ≥ 30 см.

Помещение эллипсоидов вдали от стенок (на расстоянии 30 см) было сделано для предохранения их от случайных соприкосновений с железными предметами и постоянными магнитами.

Ящик с эллипсоидами хранится в свободном от постоянных магнитов помещении и вдали от железных масс и электрических токов.

Измерение магнитного момента на стандартном приборе предполагается производить два раза в год.

Таким образом если удастся установить, что магнитный момент эллипсоидов сохраняет свое значение в течение продолжительного времени, то можно будет подобные эллипсоиды применить в качестве эталонных образцов магнитного момента в абсолютных единицах и пользоваться ими для градуировки всех магнитных измерительных приборов.

В заключение считаю долгом выразить глубокую благодарность заведующему магнитным отделом Слуцкой обсерватории Р. В. Худишвилли, любезно предоставившему пользование образцовым прибором обсерватории, и старшему физика П. И. Гусеву за весьма ценные указания при производстве наблюдений.

SUR L'ETABLISSEMENT DES ETALONS DU MOMENT MAGNETIQUE
EN UNITES ABSOLUES

Par B. M. Janovsky

(Résumé)

On a choisi, en qualité d'étalons du moment magnétique, les ellipsoïdes de rotation, faits d'acier magnétique à cobalt, ayant les dimensions: les longueurs de 100, 90, 80 et 70 mm et les diamètres de 9,5, 9,8 et 7 mm. La détermination du moment magnétique en unités absolues a été exécutée avec l'appareil étalonné de l'Observatoire Magnétique de Sloutzk par la méthode de déclinaisons. D'après la valeur du moment magnétique M et le volume de l'ellipsoïde v il était calculé l'intensité d'aimantation I par la formule:

$$I = \frac{M}{v}$$

En profitant de la relation connue entre l'induction résiduelle B de l'aimant et l'intensité d'aimantation de l'aimant:

$$B = 4 \pi I - N I,$$

où N est le facteur démagnétisant de l'ellipsoïde, et entre le flux magnétique Φ et l'induction:

$$\Phi = B \cdot S,$$

où S est la section de l'ellipsoïde, on a pu trouver le flux magnétique dans la section médiane de l'ellipsoïde:

$$\Phi = \frac{(4 \pi - N) M S}{v}$$

La détermination du volume v et de la section S de l'ellipsoïde a été exécutée au Laboratoire aréométrique et au Laboratoire de Calibres de la Chambre Centrale des Poids et Mesures. En tirant du milieu de l'ellipsoïde la bobine de n spires insérée dans le circuit du galvanomètre balistique et en observant une élévation du galvanomètre α , on peut déterminer la constante C du galvanomètre balistique en unité absolue du flux magnétique. S'il n'y a pas interstice aérienne entre les spires de la bobine et le corps de l'ellipsoïde, la valeur C peut être exprimée par:

$$C = \frac{\Phi n}{\alpha} = \frac{(4 \pi - N) M S n}{v \alpha}$$

Si l'aire des spires a une autre valeur que la section de l'ellipsoïde, il faut introduire une correction dans la formule précédente pour le flux entre les spires et le corps de l'ellipsoïde. Dans ce cas:

$$C = \frac{4 \pi M n S}{9 \alpha} \left[1 - \frac{N}{4 \pi} = - \frac{NS'}{4 \pi S} + \frac{4 NS''}{4 \pi S} \right]$$

où S' est l'aire des spires et S'' — la section moyenne de l'ellipsoïde sur l'étendue de la longueur de la bobine.

Après avoir exécuté toutes les mesures et calculé d'après cette formule la constante du galvanomètre, on a obtenu la valeur moyenne de cette constante:

$$C = 1269,7 + 0,5 \text{ maxwells par } 1 \text{ mm.}$$

La détermination de la constante du galvanomètre, faite en même temps à l'aide de la bobine d'induction mutuelle, a donné la valeur moyenne:

$$C = 1268,8 + 1,6 \text{ maxwells par } 1 \text{ mm.}$$

La différence entre deux valeurs déterminée par les méthodes tout-à-fait différentes n'est que de 0,07%, tandis que l'erreur possible dans le premier cas peut atteindre à + 0,12% et celle dans le second cas — à + 0,24%.

Comme on voit, la première méthode de mesure absolue donne la précision plus haute que la méthode ordinaire de la bobine d'induction mutuelle, et si la valeur du moment magnétique des ellipsoïdes reste constante, on pourra employer les ellipsoïdes comme des étalons de l'unité absolue du moment magnétique et les employer pour étalonnage des appareils de mesures magnétiques.

МАГНИТНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ, ПРОИЗВЕДЕННЫЕ ЛЕТОМ 1929 ГОДА В РАЙОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА И КАЗАКСТАНА

Б. М. Яновский и Н. И. Спиридович

В плане работ магнитной лаборатории Главной Палаты мер и весов на 1929 г., как и в прошлом году, стояла работа по определению элементов земного магнетизма на опорных магнитных пунктах. Выбор пунктов наблюдения был произведен по согласованию с Магнитным бюро при Главной геофизической обсерватории и в дальнейшем был утвержден Всесоюзным геомагнитным совещанием, происходившим в апреле 1929 г.

Работа 1929 г. являлась непосредственным продолжением работ, начатых магнитной лабораторией в 1928 г. и по существу ничем не отличалась от работ предыдущего года.

За время с 17 мая по 28 июня было произведено определение элементов земного магнетизма на 9 опорных магнитных пунктах и 7 промежуточных.

Наблюдения производились теми же приборами, а именно: горизонтальная составляющая и склонение определялись магнитным теодолитом Chasselon-Mougeaux № 5, наклонение стрелочным инклинометром Dover'a № 231, а для астрономических наблюдений служил отражательный круг Репсольда и средний хронометр Ericson'a № 1342.

Наблюдения на опорных пунктах состояли в определении горизонтальной составляющей, магнитного склонения и магнитного наклонения четырьмя приемами, в определении азимута миры и поправки хронометра двумя приемами: утром и вечером.

Наблюдения на промежуточных пунктах состояли в определении каждого из указанных элементов одним приемом.

Методика наблюдений и вычислений оставалась точно такой же, как и в предыдущую экспедицию. Описание ее помещено в статье о результатах работ 1928 г. (Временник Главной Палаты мер и весов, выпуск 3 (15), 1929 г., стр. 230).

Перед поездкой и после поездки были определены переводный множитель для горизонтальной составляющей и поправки склонения для двух стрелок инклинометра.

Результаты этих определений помещены в таблицах I и II. Поправки склонения, а также температурный и индукционный

коэффициенты магнита были приняты те же, что и в прошлом году, а именно:

$$\mu + 2\sigma = 0,000435$$

$$\mu + 3\tau = 0,000439$$

$$\nu = 0,0057$$

$$\Delta D = -0,8$$

Результаты наблюдений помещены в табл. III, IV, V. При вычислениях поправки на вариации земного поля не вводились, вследствие чего данные этих таблиц представляют значения элементов земного магнетизма в момент наблюдений.

Таблица I—Tableau I

Переводный множитель A_0 и магнитный момент M_0
Facteur de conversion A_0 et moment magnétique M_0

До поездки Avant le départ			
Месяц и число Date	Время наблюдения Heure d'observation	A_0	M_0
2.V.1929	13 ^h 35 ^m — 14 ^h 08 ^m	0,32410	2839,8
"	14 00 — 14 34	0,32417	2839,0
3.V.1929	11 00 — 11 34	0,32428	2839,3
"	11 28 — 12 05	0,32426	2839,4
	Среднее—Moyenne	0,32420	2839,4
После поездки Après le retour			
Месяц и число Date	Время наблюдения Heure d'observation	A_0	M_0
12.XI.1929	10 ^h 03 ^m — 10 ^h 38 ^m	0,32438	2835,7
"	11 22 — 11 55	0,32438	2835,1
	Среднее—Moyenne	0,32438	2835,4

При вычислениях принят переводный множитель . . . } $A_0 = 0,32429$
Facteur adopté dans les calculs . . . }

Таблица II—Tableau II
 Поправки наклоения.—Corrections pour l'inclinaison

Месяц и число Date	Время наблюдения Heure d'observation	Истинное наклоение Inclinaison vraie	Наблюдаемое наклоение Inclinaison observée	Поправка Correction
До поездки—Avant le départ				
Стрелка № 1—Aiguille No 1				
2.V.1929	12 ^h 20 ^m —13 ^h 26 ^m	71° 42,0'	71° 39,0'	+ 3,0'
"	9 54 — 10 30	71 43,8	71 42,4	+ 1,4
"	11 32 — 12 12	71 43,2	71 41,2	+ 2,0
Среднее — Moyenne . . .				+ 2,1'
Стрелка № 3—Aiguille No 3				
3.V.1929	12 ^h 21 ^m —12 ^h 41 ^m	71° 43,1'	71° 44,1'	- 1,0'
"	13 07 — 13 45	71 42,0	71 43,6	- 1,6
Среднее — Moyenne . . .				- 1,3'
После поездки—Après le retour				
Стрелка № 1—Aiguille No 1				
17.I.1930	10 ^h 49 ^m —11 ^h 04 ^m	71° 44,8'	71° 44,3'	+ 0,5'
"	11 31 — 11 45	71 44,8	71 41,4	+ 3,4
"	12 22 — 12 35	71 44,5	71 43,0	+ 1,5
Среднее — Moyenne . . .				+ 1,8'
Стрелка № 3—Aiguille No 3				
12.XI.1929	11 ^h 0 ^m —11 ^h 40 ^m	71° 44,3'	71° 47,1'	- 2,7'
17. I. 1930	10 22 — 10 45	71 44,8	71 45,8	- 1,2
"	11 10 — 11 26	71 44,7	71 46,7	- 1,0
"	12 05 — 12 20	71 44,3	71 47,1	- 2,0
Среднее — Moyenne . . .				- 1,7'
Средняя поправка принятая для стрелки Correction moyenne adoptée pour aiguille				№ 1 } No 1 } + 2,0'
Средняя поправка принятая для стрелки Correction moyenne adoptée pour aiguille				

Таблица III—
Астрономические наблюдения—

Пункты наблюдений Points d'observations	Широта Latitude °	Долгота от Гринвича Longitude de Greenwich	Месяц и число Date
1. Бузулук — Bouzoulouk	52° 47' 30"	3 ^h 28 ^m 55 ^s	17.V
"	"	"	18.V
2. Казалинск — Kazalinsk	45 46 00	4 8 24	21.V
"	"	"	22.V
3. Челкар — Tchelkar	47 50 00	3 58 28	23.V
"	"	"	23.V
4. Эмба — Emba	48 49 00	3 52 28	26.V
"	"	"	26.V
5. Актюбинск — Aktiubinsk	50 17 00	3 48 36	29.V
"	"	"	29.V
6. Орск — Orsk	51 12 00	3 54 11	3.VI
"	"	"	5.VI
7. Верхнеуральск — Verkhneouralsk	53 52 30	3 56 53	11.VI
"	"	"	12.VI
"	"	"	—
8. Златоуст — Zlatoust	55 10 00	3 58 39	19.VI
9. Бугуруслан — Bougourouslan	53 40 00	3 29 55	21.VI
"	"	"	21.VI
10. Таналык — Tanalyk	51 46 30	3 55 03	6.VI
11. Уртазым — Ourtazym	53 11 30	3 55 25	—
12. Н.-Кизильское — N. Kizilskoie	52 43 00	3 55 35	7.VI
13. Магнитная — Magnitnaia	53 38 00	3 56 01	8.VI
14. Ахуново — Akhunovo	54 08 30	3 58 33	—
15. Филимоново — Philimonovo	54 42 30	4 00 21	—
16. Мнас — Mlass	54 59 00	4 00 27	15.VI

Таблица III—

Пункты наблюдений Points d'observations	Месяц и число Date	Азмут миры	
		Время наблюдений (местное) Heure d'observations (locale)	Число наблюдений Nombre des observations
1. Бузулук — Bouzoulouk	17.V	18 ^h 02 ^m — 18 ^h 13 ^m	6
•	18.V	7 09 — 7 29	6
2. Казалинск — Kazalinsk	21.V	18 29 — 18 46	6
•	22.V	6 17 — 6 23	6
3. Челкар — Tchelkar	23.V	17 51 — 18 08	6
•	23.V	19 05 — 19 11	6
4. Эмба — Emba	26.V	5 59 — 6 06	6
•	•	—	—
5. Актобьянск — Aktubinsk	29.V	6 02 — 6 09	6
•	29.V	18 56 — 19 03	6
6. Орск — Orsk	3.VI	18 53 — 18 59	6
•	3.VI	7 56 — 7 52	6
7. Верхнеуральск — Verkhneouralsk	11.VI	18 33 — 18 56	6
•	12.VI	19 21 — 19 27	6
•	13.VI	5 58 — 6 19	6
8. Златоуст — Zlatoust	19.VI	6 01 — 6 19	6
9. Бугуруслан — Bougourouslan	21.VI	7 23 — 7 41	6
•	21.VI	19 20 — 19 35	6
10. Таналык — Tanalyk	6.VI	5 29 — 5 48	6
11. Уртэзым — Ourtazym	6.VI	16 10 — 16 17	6
12. Н-Кизильское — N. Kizilskoie	7.VI	11 14 — 11 20	6
13. Магнитная — Magnitnaia	8.VI	9 01 — 9 07	6
14. Ахуново — Akhunovo	14.VI	4 48 — 4 55	6
15. Филимоново — Philimonovo	15.VI	5 23 — 6 01	3
16. Миас — Miass	15.VI	16 41 — 16 48	4

Таблица IV—Tableau IV

Пункты наблюдений Points d'observations	Месяц и число Date	Время наблюдения (по 2-му поясу) Heure d'observations (2-me zone)	T	ν	t	τ	Δ	H
Бузулук — Bouzoulouk	17.V	15 ^h 56 ^m — 16 ^h 24 ^m	2,4686	28° 53,5'	26,2°	25,2°	10'	0,18905
	18.V	7 8 — 7 42	2,4687	28 53,2	23,7	23,3	*	0,18904
	18.V	7 58 — 8 21	2,4684	28 51,6	25,3	24,4	*	0,18916
	18.V	13 7 — 13 38	2,4674	28 49,0	30,0	28,5	*	0,18917
Казалинск — Kazalinsk	21.V	13 37 — 13 7	2,2440	23 40,8	20,1	19,0	0'	0,22779
	21.V	13 51 — 14 22	2,2435	23 40,5	20,2	18,5	*	0,22795
	22.V	7 7 — 7 35	2,2443	23 47,5	20,1	17,4	*	0,22740
	22.V	8 21 — 8 45	2,2453	23 43,1	21,5	19,6	*	0,22758
Челяр — Tchelkar	23.V	11 50 — 12 22	2,3021	24 59,6	25,0	23,0	10'	0,21658
	23.V	12 45 — 13 24	2,3035	25 00,4	24,5	23,5	*	0,21635
	23.V	16 39 — 17 00	2,3019	25 00,6	21,3	21,0	*	0,21646
	23.V	17 17 — 17 42	2,3018	25 02,4	19,0	18,5	*	0,21636
Эмба — Emba	25.V	10 39 — 11 05	2,3396	25 40,5	27,8	26,4	10,5'	0,21036
	25.V	12 49 — 12 15	2,3392	25 39,5	27,2	26,9	*	0,21041
	26.V	6 19 — 6 51	2,3328	25 52,9	17,2	16,6	*	0,21017
	26.V	7 3 — 7 32	2,3342	25 50,6	18,0	17,5	*	0,21019
Актюбинск — Aktubinsk	29.V	6 18 — 6 49	2,3738	27 01,6	09,0	08,8	11,5'	0,20246
	29.V	7 35 — 8 05	2,3775	27 00,4	12,8	11,9	*	0,20224
	30.V	14 53 — 15 22	2,3795	26 49,5	22,6	22,1	10'	0,20205
	30.V	16 8 — 16 47	2,3795	26 49,9	21,7	2,2	*	0,20263
Орек — Orsk	3.VI	8 42 — 9 11	2,4191	27 38,2	27,3	26,0	10,5'	0,19666
	3.VI	9 58 — 10 31	2,4181	27 35,2	27,3	26,5	*	0,19688

(Продолжение)

Таблица IV — Tableau IV

Пункты наблюдений Points d'observations	Месяц и число Date	Время наблюдения (по местному часам) Heure d'observations (2-е издание)	T	θ	t	τ	Δ	H
Орск — Orsk	3.VI	14 47 ^m 15 ^h 17 ^m	2,4170	27° 35,6'	27,3°	29,9°	10,5'	0,19698
"	3.VI	5 16 16	2,4154	27 37,0	24,7	23,9	"	0,19701
Верхнеуральск—Verkhneouralsk	11.VI	8 39 9 52	2,50	29 56,1	21,7	20,0	10,5	0,18351
"	12.VI	16 8 16 8	2,4975	29 51,9	20,8	19,4	11,5	0,18388
"	12.VI	16 48 17 12	2,4972	29 52,0	18,4	17,9	"	0,18394
"	13.VI	5 54 6 22	2,4971	29 53,9	17,8	17,5	12'	0,18378
Златоуст — Zlatoust	18.VI	8 8 8 38	2,3558	31 23,6	20,0	17,6	9	0,17574
"	18.VI	9 21 9 42	2,5524	31 22,0	19,3	19,5	"	0,17593
"	19.VI	10 30 10 54	2,5489	31 20,6	17,0	17,2	"	0,17624
"	19.VI	10 30 10 57	2,5519	31 18,0	21,8	21,3	"	0,17620
Бугуруслан — Bougouroustan	21.VI	8 16 8 46	2,5096	30 0,8	24,6	24,0	10'	0,18255
"	21.VI	9 55 10 23	2,5087	29 59,4	23,6	23,0	"	0,18263
"	21.VI	10 57 11 27	2,5074	30 01,5	22,5	22,7	"	0,18262
"	21.VI	16 13 16 52	2,5066	29 59,4	23,7	23,2	"	0,18276
Таналык — Tanalyk	6.VI	4 48 4 49	2,4422	28 45,1	12,5	11,9	10'	0,19130
Уртазым — Ourtazym	6.VI	13 13 13 47	2,4475	28 23,1	25,3	24,4	9	0,19199
Н.-Кизильское — N.-Kizil'skoe	7.VI	2 2 10 27	2,4566	28 38,2	26,0	24,5	12	0,19052
Магнитная — Magnitnaia	8.VI	8 5 8 32	2,4031	29 37,4	25,8	24,5	11	0,18485
Ахунново — Akhunovo	11.VI	2 48 4 29	2,5137	30 22,4	16,9	14,8	10	0,18139
Филлимоново — Phillimonovo	11.VI	2 47 3 19	2,5180	30 33,6	15,4	15,3	6	0,18005
Миасс — Miass	15.VI	15 36 16 4	2,5077	30 01,0	23,3	23,3	10	0,18265

Таблица V—

Пункты наблюдений Points d'observations	Склонение—Inclinaison				
	Месяц и число Date	Время наблюдения (по 2-му поясу) Heure d'observa- tions (2-me zone)	Наблюден. склонение Inclinaison observée	Поправка Correction	Исправлен- ное скло- нение Inclinaison corrigée
1. Бузулук — Bou- zoulouk	17.V	12 ^h 58 ^m — 13 ^h 35 ^m	+ 9° 42,5'	- 0,8'	+ 9° 41,7'
•	17.V	14 03 — 14 46	+ 9 44,4	*	43,6
•	18.V	8 58 — 9 30	+ 9 47,9	*	47,1
•	18.V	15 03 — 15 42	+ 9 48,5	*	42,7
•	—	—	—	—	—
2. Казаньск — Kaza- linsk	21.V	16 57 — 17 07	+ 7 19,6	- 0,8	+ 7 18,8
•	21.V	17 13 — 17 22	+ 7 18,7	*	17,9
•	22.V	4 57 — 5 34	+ 7 23,7	*	22,9
•	22.V	5 59 — 6 32	+ 7 24,2	*	23,4
•	—	—	—	—	—
•	—	—	—	—	—
•	—	—	—	—	—
3. Челкар — Tchelkar	23.V	7 58 — 8 51	+ 8 38,6	- 0,8	+ 8 37,8
•	23.V	9 13 — 9 51	+ 8 33,0	*	32,2
•	23.V	13 57 — 14 10	+ 8 32,9	*	32,1
•	23.V	14 22 — 14 34	+ 8 34,5	*	33,7
•	—	—	—	—	—
•	—	—	—	—	—
4. Эмба — Emba . .	25.V	12 42 — 12 54	+ 6 58,1	- 0,8	+ 6 57,3
•	26.V	4 34 — 4 49	+ 7 05,6	*	04,8
•	26.V	4 56 — 5 10	+ 7 05,8	*	05,0
•	—	—	—	—	—
•	—	—	—	—	—
•	—	—	—	—	—

Таблица V—

Пункты наблюдений Points d'observations	Склонение—Inclinaison				
	Месяц и число Date	Время наблюдения (по 2-му поясу) Heure d'observa- tions (2-me zone)	Наблюден. склонение Inclinaison observée	Поправка Correction	Исправлен- ное скло- нение Inclinaison corrigée
5. Актюбинск — Ak- tubinsk	29.V	4 ^h 32 ^m — 4 ^h 47 ^m	+ 9° 23,5'	-0,8'	+ 9° 22,7'
"	29.V	4 52,5 — 5 05	+ 9 23,4	"	22,6
"	29.V	16 44 — 16 58	+ 9 17,3	"	16,5
"	29.V	17 22 — 17 34	+ 9 17,6	"	16,8
"	—	—	—	—	—
6. Орск — Orsk	3.VI	6 27 — 7 16	+ 9 14,4	-0,8	+ 9° 13,6
"	3.VI	7 36 — 8 11	+ 9 12,4	"	11,6
"	3.VI	15 22 — 15 34	+ 9 14,0	"	13,2
"	3.VI	16 22 — 16 38	+ 9 11,1	"	10,3
"	—	—	—	—	—
"	—	—	—	—	—
7. Верхнеуральск — Verkhneouralsk	11.VI	7 20 — 7 51	+ 12 48,0	-0,8	+ 12° 47,2
"	11.VI	10 30 — 11 04	+ 12 19,5	"	18,7
"	11.VI	14 56 — 15 33	+ 12 22,2	"	21,4
"	12.VI	18 10 — 18 21	+ 12 22,2	"	21,4
"	13.VI	4 40 — 5 10	+ 12 29,6	"	28,8
"	—	—	—	—	—
"	—	—	—	—	—
8. Златоуст — Zlato- oust	18.VI	6 05 — 6 41	+ 12 16,2	-0,8	+ 12° 15,4
"	18.VI	7 08 — 7 39	+ 12 14,9	"	14,1
"	18.VI	14 28 — 15 03	+ 12 06,3	"	05,8
"	19.VI	4 36 — 5 12	+ 12 16,1	"	15,3
"	—	—	—	—	—
"	—	—	—	—	—

Таблица V—

Пункты наблюдений Points d'observations	Склонение—Inclinaison				
	Месяц и число Date	Время наблюдения (по 2-му поясу) Heure d'observa- tions (2-me zone)	Наблюден. склонение Inclinaison observée	Поправка Correction	Исправлен- ное скло- нение Inclinaison corrigée
9. Бугуруслан—Bou- gourousslan	21.VI	7 ^h 15 ^m — 7 ^h 47 ^m	+ 9° 18,8'	-0,8'	+ 9° 18,0'
•	21.VI	9 11 — 9 40	+ 9 26,6	•	25,8
•	21.VI	14 42 — 15 20	+ 9 38,8	•	+ 9 38,0
•	21.VI	17 33 — 17 43	+ 9 32,0	•	31,8
•	—	—	—	—	—
•	—	—	—	—	—
•	—	—	—	—	—
10. Таналык—Тана- лык	6.VI	5 00 — 5 10	+ 9 59,5	-0,8	+ 9 58,7
•	—	—	—	—	—
11. Уртазым—Ourta- zym	6.VI	13 57 — 14 07	+ 10 40,0	-0,8	+ 10 39,2
•	—	—	—	—	—
12. Н.-Кизильское— N.-Kizil'skole	7.VI	9 34 — 9 42	+ 11 23,4	-0,8	+ 11 22,6
•	—	—	—	—	—
13. Магнитная—Mag- nitnaia	8.VI	7 18 — 7 35	+ 11 09,3	-0,8	+ 11 08,5
•	—	—	—	—	—
14. Ахуново—Akhou- povo	14.VI	3 05 — 3 20	+ 11 26,7	-0,8	+ 11 25,9
•	—	—	—	—	—
15. Филимоново—Phi- l'monovo	15.VI	3 42 — 3 53	+ 11 20,1	-0,8	+ 11 19,3
•	—	—	—	—	—
16. Миас—Miass	15.VI	14 35 — 15 09	+ 17 04,7	-0,8	+ 17 03,9
•	—	—	—	—	—

OBSERVATIONS MAGNETIQUES FAITES EN ETE DE 1929 DANS LA REGION DE L'OURAL MERIDIONAL ET DE KASAKSTAN

Par B. M. Janovsky et N. I. Spiridovitch

Parmi les travaux du Laboratoire des Etalons magnétique projetés pour l'an 1929 il se trouve celui de la détermination du magnétisme terrestre aux points d'appui magnétiques. Le choix des points d'observations fut fait d'accord avec le Bureau Magnétique de l'Observatoire Central Géophysique et fut approuvé par la Conférence Géomagnétique de l'U. R. S. S. en avril de 1929.

Le travail de 1929 a été une suite des travaux commencés par le Laboratoire des Etalons magnétiques en 1928 et, en somme, ne différait en rien de ceux de l'année précédente.

Dans la période de 17 mai jusqu'à 28 juin on a fait la détermination d'éléments de magnétisme terrestre aux 9 points d'appui et aux 7 points d'intervalle.

Les observations ont été faites à l'aide des mêmes appareils; la horizontale component et la déclinaison furent déterminées à l'aide du théodolite magnétique de Chasselon — Moureaux, N^o 5, l'inclinaison — avec l'inclinomètre de Dover, N^o 231. On se servit pour des observations astronomiques du cercle de réflexion de Repsold et du chronomètre moyen d'Ericson N^o 1342.

La série des observations aux points d'appui consistait en déterminations de la component horizontale de la déclinaison et de l'inclinaison magnétique à quatre reprises; et en déterminations de l'azimut de la mire et des corrections du chronomètre à deux reprises: le matin et le soir.

Les observations aux points d'intervalle consistaient en déterminations de chacun des éléments susindiqués à une seule reprise.

Les méthodes des observations et des calculs restaient les mêmes. Leur description se trouve dans l'article sur les résultats des travaux de 1928 (Wrémennik de la Chambre Centrale des Poids et Mesures, livraison 3(15), 1929, p. 230).

Le facteur de conversion pour la component horizontale et les corrections pour l'inclinaison, pour deux aiguilles de l'inclinomètre, ont été déterminés deux fois: avant et après l'expédition.

Les résultats de ces déterminations sont reproduits aux tableaux I et II. Les corrections de l'inclinaison aussi bien que les coefficients thermique et d'induction de l'aimant ont été prises les-mêmes, c'est-à-dire:

$$\begin{aligned}\mu + 2\sigma &= 0,000435 \\ \mu + 3m &= 0,000439 \\ \nu &= 0,0057 \\ \Delta D &= -0,8\end{aligned}$$

Les résultats des observations sont donnés aux tableaux III, IV et V. On n'introduisait pas dans les calculs des corrections pour la variation du champ terrestre, c'est pourquoi les données de ces tableaux ne représentent que des valeurs d'éléments du magnétisme terrestre obtenues aux moments des observations.

СРАВНЕНИЕ ЭТАЛОННЫХ КАТУШЕК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ГЛАВНОЙ ПАЛАТЕ И В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ В ПАРИЖЕ В 1930 ГОДУ.

М. Ф. Маликов

Непосредственное сравнение катушек сопротивления Главной Палаты мер и весов с эталонами международного ома различных государств впервые было осуществлено в 1929-30 гг. во всех национальных лабораториях, за исключением Laboratoire Central d'Electricité.¹ Этот пробел пополнен в последнюю мою поездку в Париж летом 1930 г.

17 июня, отправляясь в Париж, я взял с собой из Главной Палаты для перевозки на руках две эталонные катушки сопротивления в 1 ом, № 49 и № 50, изготовленных в мастерских Главной Палаты в мае 1928 г. Из этих катушек катушка № 50 участвовала в международных сравнениях 1929-30 гг. и обнаружила замечательное постоянство своего сопротивления.

Изменение сопротивления катушек с температурой в пределах от 17° до 30° С выражается следующими формулами:

$$\text{Для № 49: } R_t = R_{20} + [19.3 (t - 20) - 0.58 (t - 20)^2] \cdot 10^{-6}$$

$$\text{для № 50: } R_t = R_{20} + [18.3 (t - 20) - 0.53 (t - 20)^2] \cdot 10^{-6}$$

По приезде в Париж катушки были доставлены 2 июля в Laboratoire Central d'Electricité, где они между 10 и 20 июля сравнивались с эталоном лаборатории.

27 июля катушки были мной доставлены обратно в Главную Палату вместе с сертификатом лаборатории.

Сравнения катушек с эталоном международного ома Главной Палаты мер и весов перед их отправкой за границу и после возвращения из-за границы дали результаты приведенные на стр. 132.

Из последнего столбца таблицы видно, что сопротивление катушки № 50 совсем не изменилось при перевозке, а катушка № 49 изменила свое сопротивление на незначительную величину в 2 микрома.

¹ Международные сравнения электрических эталонов Главной Палаты мер и весов СССР. Доклад для Консультативного Электрического Комитета, сессии 1930 г. Издание Главной Палаты № 90, стр. 54—63.

№№ катушек	Сопротивление при 20° С в международных омах			
	Перед отправкой 7—12.VI.1930	По возвращении 31.VII.1930	Среднее	Δ
49	0,999964	0,999962	0,999963	- 2.10 ⁻⁶
50	0,999925	0,999925	0,999925	0
Среднее . . .	0,999944	0,999943	0,999944	- 1.10 ⁻⁶

Сопоставление результатов сравнений катушек в Laboratoire Central d'Electricité и в Главной Палате приводит к следующим результатам:

№№ катушек	Сопротивление при 20° С в международных омах		
	Laboratoire Central d'Electricité	Главная Палата	Δ Г. П. — Л. С. Е.
49	0,999907	0,999963	+ 56.10 ⁻⁶
50	0,999863	0,999925	+ 62.10 ⁻⁶
Среднее . . .	0,999885	0,999944	- 59.10 ⁻⁶

Отсюда следует, что международный ом Главной Палаты меньше международного ома Laboratoire Central d'Electricité на 59 микромов. В основу измерений в Laboratoire Central d'Electricité положена Вашингтонская единица 1910 г.

Полученный результат находится в полном соответствии с результатом сравнений катушек Laboratoire Central d'Electricité в Р. Т. Reichsanstalt, произведенных в 1929 г.¹ Последние сравнения дали для разности между единицами Л. С. Е. и Р. Т. Р. величину 53 микрома; на основании сравнений катушек Главной Палаты для той же разности получается величина 54 микрома, т. е. практически та же самая величина.

¹ P. Janet. Comparaisons internationales d'unités électriques, effectuées par le Laboratoire Central d'Electricité. Доклад Консультативному Электрическому Комитету, сессия 1930 г.

COMPARAISONS DES BOBINES ETALONS DE RESISTANCE ELECTRIQUE FAITES A LA CHAMBRE CENTRALE DES POIDS ET MESURES ET AU LABORATOIRE CENTRAL D'ELECTRICITE EN 1930

Par. M. F. Malikov

Les comparaisons directes des bobines de résistance de la Chambre Centrale des Poids et Mesures avec les étalons de l'ohm international des différents états furent effectuées, pour la première fois, en 1929—30, à tous les laboratoires nationaux, excepté le Laboratoire Central d'Electricité. Cette lacune fut complétée pendant mon dernier voyage à Paris, l'été de 1930.

Le 17 juin, partant pour Paris, j'ai pris avec moi, pour les transporter à la main, deux bobines-étalons de résistance de 1 ohm, No 49 et No 50, exécutées aux ateliers de la Chambre Centrale en mai 1928. L'une de ces bobines No 50 a pris part aux comparaisons internationales de 1929—30 et manifesté une stabilité remarquable.

Le changement de résistance des bobines en rapport avec le changement de température, étudié pour les limites entre 17 et 30 C, est exprimé par les formules suivantes:

$$\text{Pour No 49: } R_t = R_{20} + [19,3 (t - 20) - 0,58 (t - 20)^2] \cdot 10^{-6};$$

$$\text{Pour No 50: } R_t = R_{20} + [18,3 (t - 20) - 0,53 (t - 20)^2] \cdot 10^{-6}.$$

Les bobines sont parvenues le 2 juillet au Laboratoire Central d'Electricité, où elles ont été comparées, entre le 10 et le 20 juillet, avec l'étalon du Laboratoire Centrale. Le 27 juillet je les rapportai à la Chambre Centrale avec le certificat du Laboratoire Central.

Les comparaisons des bobines avec l'étalon de l'ohm international de la Chambre Centrale des Poids et Mesures, avant leur départ et après leur retour, ont donné les résultats suivants:

Bobines	Résistance à 20°C en ohms internationaux			
	Avant le départ 7—12 juin 1930	Après le retour 31 juillet 1930	Moyenne	Différence
No 49	0,999964	0,999962	0,999963	$-2 \cdot 10^{-6}$
No 50	0,999925	0,999925	0,999925	0
Moyennes	0,999944	0,999943	0,999944	$-1 \cdot 10^{-6}$

¹ Les comparaisons internationales des étalons électriques de la Chambre Centrale des poids et mesures de l'U.R.S.S.—Rapport au Comité Consultatif d'Electricité, session de 1930. Publication N°90 de la Chambre Centrale, pp. 22—32.

On peut voir de la dernière colonne du tableau que la résistance de la bobine No50 n'a subi aucune variation pendant le transport; quant à la bobine No49, elle n'a changé de valeur que de 2 microhms.

La mise en parallèle des résultats des comparaisons, faites au Laboratoire Central de l'Electricité et à la Chambre Centrale, est représentée dans le tableau suivant:

Bobines	Résistance à 20° C en ohms internationaux		
	Laboratoire Central d'Electricité	Chambre Centrale	• Différence C. C. — L. C. E.
No 49	0,999907	0,999963	+ 56 · 10 ⁻⁶
No 50	0,999863	0,999925	+ 62 · 10 ⁻⁶
Moyennes	0,999885	0,999944	+ 59 · 10 ⁻⁶

Il en résulte que l'ohm international de la Chambre Centrale est de 59 microhms inférieur à celui du Laboratoire Central d'Electricité.

Les valeurs données par le Laboratoire Central de l'Electricité sont exprimées en fonction de l'unité moyenne de Washington (1910).

Le résultat obtenu se trouve en parfaite concordance avec celui des comparaisons des bobines du Laboratoire Central d'Electricité, faites à la P. T. Reichsanstalt en 1929.¹ Les dernières comparaisons ont donné pour la différence entre les unités du L.C.E. et de la P.T.R. la valeur de 53 microhms, tandis que d'après les comparaisons des bobines de la Chambre Centrale cette différence a la valeur de 54 microhms, c'est-à-dire pratiquement la même valeur.

¹ P. Janet. Comparaisons internationales d'unités électriques, effectuées par le Laboratoire Central d'Electricité. Rapport au Comité Consultatif d'Electricité, session de 1930.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ВИХРЕВЫХ ТОКОВ В ИНДУКЦИОННЫХ СЧЕТЧИКАХ

С. В. Горбацевич

В нижеследующем описывается нахождение распределения потоков в индукционных счетчиках. Объектами исследований были взяты русские конструкции. Последнее обстоятельство диктовалось желательностью детального изучения их работы, как функции тех потоков и токов, которые имеют место в любом индукционном приборе. К сожалению, число типов русских счетчиков чрезвычайно мало, и поэтому сравнительные оценки их производить затруднительно. Тем не менее полученные данные позволяют проследить некоторые закономерности в изменениях различных электрических и магнитных величин, а также указать на очень существенные дефекты русских счетчиков. Прежде чем приступить к изложению результатов опыта, ниже изложена краткая теория индукционных счетчиков и описание счетчика типа В зав. „Электроприбор“, с которым больше всего производились измерения.

Индукционный счетчик, основанный на принципе вращающегося магнитного поля, может применяться только на переменном токе. Рис. 1 показывает в простейшем виде схему счетчика: алюминиевый диск 3 вращается в поле двух электромагнитов 1 и 2; обмотка одного электромагнита 1 состоит из большого числа витков тонкой проволоки, подключаемых к цепи напряжения (параллельно всей измерительной цепи); обмотка другого электромагнита 2 состоит из небольшого числа витков более толстой проволоки, включаемых в цепь тока (последовательно с измеряемой цепью). В этой своей обычной форме индукционный счетчик аналогичен двухфазному асинхронному мотору, в котором ротором служит алюминиевый диск 3.

Рис. 2 представляет собой диск счетчика; четырехугольные фигуры a_1 , b и a_2 — следы потоков, проходящих через диск. В соответствии с рис. 1, a_1 и a_2 суть следы одного и того же потока, проходящего через диск в двух противоположных направлениях.

Потоки Φ_i и Φ_k , проходя через диск, индуцируют в нем электродвижущие силы, являющиеся производными этих потоков по времени:

$$E = - \frac{d\Phi}{dt}$$

В том случае, если потоки во времени изменяются синусоидально и имеют между собой разность фаз ψ , можно написать следующее:

$$\Phi_{it} = \Phi_i \sin \omega t$$

$$\text{и } \Phi_{kt} = \Phi_k \sin (\omega t - \psi)$$

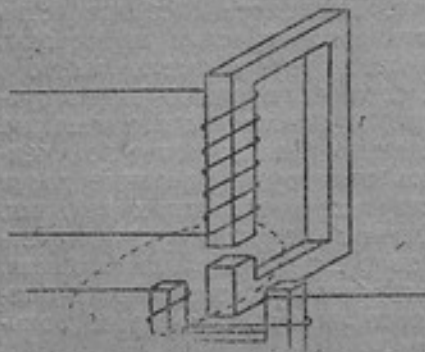


Рис. 1—Fig. 1

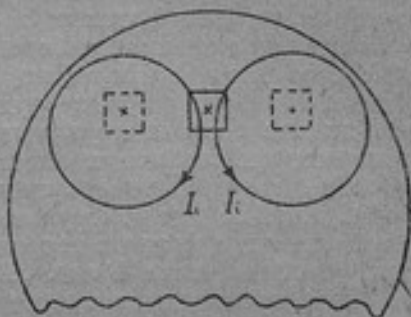
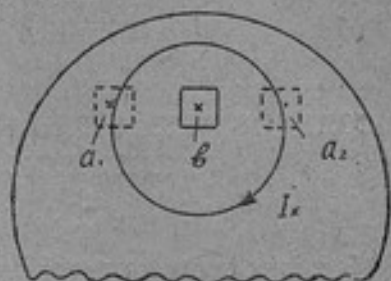


Рис. 2—Fig. 2

Если представить себе часть диска как виток, пронизываемый потоком, то индуцированная в нем электродвижущая сила будет иметь вид:

$$E_{it} = - C \omega \Phi_i \cos \omega t \text{ и } E_{kt} = - C \omega \Phi_k \cos (\omega t - \psi)$$

Здесь C — коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора единиц. Если E выражено в вольтах и Φ в максвеллах, то $C = \sqrt{2} \cdot 10^{-8}$. Индуцированные электродвижущие силы создают в диске токи, находящиеся почти в фазе с вызвавшими их электродвижущими силами, если пренебречь собственной индуктивностью диска. Эти токи будут пропорциональны толщине диска δ и его проводимости σ . Имея в виду вышенаписанные выражения для электродвижущих сил, можем написать для токов следующие выражения:

$$I_{it} = - C_1 \delta \sigma f \Phi_i \cos \omega t \text{ и } I_{kt} = - C_1 \delta \sigma f \Phi_k \cos (\omega t - \psi),$$

$$\text{где } f = \frac{\omega}{2\pi}$$

При заданной толщине и материале диска формулы для индуктированных токов принимают вид:

$$I = C_2 \Phi f,$$

где I и Φ максимальные или эффективные значения.

В рассматриваемом случае через диск проходят два потока одинаковой частоты, сдвинутые друг по отношению к другу в пространстве и во времени. Ток I_i от потока Φ_i проходит частью в сфере потока Φ_k ; такую же картину имеем с токами I_k .

Мгновенный элементарный вращающий момент от взаимодействия элемента тока и потока будет иметь вид:

$$dD_i = r I_i B_i \sin \alpha da dl \cos \alpha.$$

В этом выражении I и B_i плотность тока и индукция, r —расстояние от центра диска до точки приложения силы, dl —длина элемента, da —ширина элемента и α —угол между плечом силы и элементом тока.

Среднее значение момента будет иметь вид:

$$dD = r I B \sin \alpha da dl \cos \alpha \cos \gamma,$$

где γ —угол сдвига между I и B , а I и B —значения эффективные. Общий вращающий момент представит собой сумму элементарных моментов по всей площади диска:

$$D = \int \int r I B \sin \alpha da dl \cos \alpha \cos \gamma$$

Так как $j \equiv I B \equiv \Phi$, то $D \equiv I \Phi$

Из рассмотрения рисунка 2 видно, что вращающий момент создается взаимодействием токов I_i с потоком Φ_k и токов I_k с потоком Φ_i ; взаимодействия же токов, индуктированных в диске, с их собственными потоками не будет, так как для них $\cos \gamma = 0$, где γ есть угол сдвига между $(I_i \Phi_k)$ и $(I_k \Phi_i)$.

Рис. 3 представляет диаграмму потоков счетчика (рис. 1 и 2) для случая, когда угол сдвига между потоками равен ψ и индуктивность диска равна 0. E_i и E_k —индуктированные в диске электродвижущие силы. Вращающий момент будет равен:

$$D_i = D_{ik} + D_{ki}.$$

где $D_{ik} = C'_{ik} \Phi_{ki}$ и $D_{ki} = C'_{ki} \Phi_{ik}$

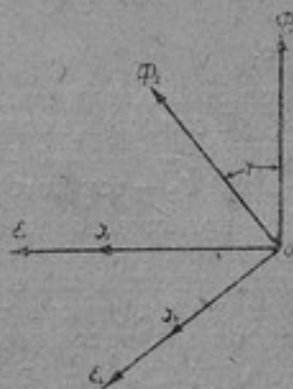


Рис. 3—Fig. 3

Как видно из индексов в выражениях для D_{KI} и D_{IK} мгновенные значения их имеют разные знаки. Переходя к средним значениям, получаем:

$$D = C'I_j \Phi_K \cos \gamma_{IK} - C''\Phi_j I_K \cos \gamma_{KI},$$

где $\gamma_{IK} \neq \gamma_{KI}$

Из диаграммы рис. 3 имеем:

$$\gamma_{IK} = 90 - \psi \text{ и } \gamma_{KI} = 90 + \psi$$

откуда получаем:

$$\begin{aligned} D &= C'I_j \Phi_K \sin \psi + C''I_K \Phi_j \sin \psi = \\ &= C_1 C' \Phi_j \Phi_K / \sin \psi + C_1 C'' \Phi_j \Phi_K / \sin \psi = \\ &= C \Phi_j \Phi_K f \sin \psi \end{aligned}$$

Это есть самое общее выражение для вращающего момента индукционного счетчика.

Основное требование, которому должен удовлетворять всякий счетчик, заключается в том, чтобы вращающий момент был пропорционален мощности сети, т.е.:

$$C \Phi_j \Phi_K f \sin \psi = E I \cos \varphi.$$

Это равенство может быть выполнено тогда, когда

$$a f \Phi_K = E, \quad b \Phi_j = I \text{ и } \sin \psi = \cos \varphi,$$

т.е.

$$\varphi + \psi = 90^\circ.$$

Рассмотрим диаграммы токовой цепи и цепи напряжения (рис. 4, а и б). В диаграмме а нанесенные величины имеют следующие значения: Φ_j — рабочий поток, I_m — намагничивающий ток, I_2 — ток в диске, I_R — ток потерь и I — полный ток, то же в диаграмме б: E_K — приложенное напряжение, Φ_E — рабочий поток, Φ — полный поток, значение углов α и β видно из диаграммы. Зная сдвиг между током и напряжением сети, можно наложить одну диаграмму на другую; в таком случае получится общая диаграмма работы индукционного счетчика. В двух крайних случаях, когда углы $(E_K I) = 0$ и $(E_K I) = 90^\circ$, $\beta - \alpha = 90^\circ$.

Последнее соотношение должно выполняться для любого сдвига между током и напряжением. Таким образом, сдвиг 90° представляет собой разность углов, из которых один — между приложенным напряжением и рабочим потоком цепи напряжения, а другой — между током и рабочим потоком цепи тока. Обычно

в счетчиках бывает большее или меньшее отклонение от сдвига 90° и степень приближения к нему свидетельствует о качестве счетчика (рис. 4).

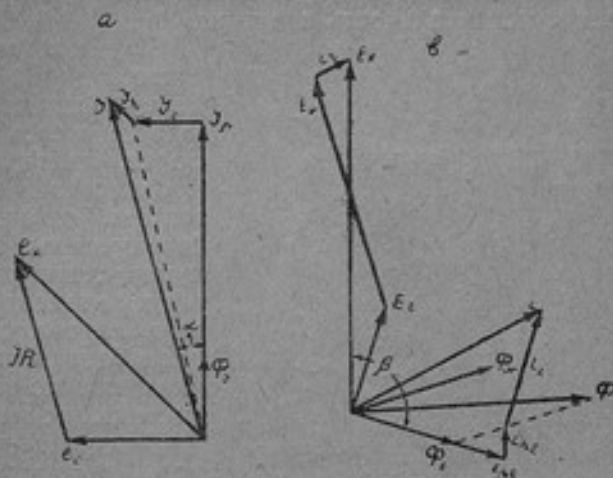


Рис. 4—Fig. 4

Описание счетчика типа В завода «Электроприбор»

Счетчик принадлежит к индукционному типу с бегущим магнитным поле (рис. 5). Магнитная цепь параллельной обмотки собирается из двух частей, одна из которых, жестко скрепленная со стойкой, имеет форму буквы G (деталь 1), другая, прикрепляемая к первой винтами, имеет форму обернутой буквы Т. Катушка параллельной обмотки насажена на деталь 1.

Для регулировки счетчика на сдвиг фаз в щель между деталями 1 и 2 помещена медная пластинка, играющая роль коротко-замкнутого витка, укрепляемая винтом на детали 2 и могущая передвигаться вверх и вниз вдоль щели. Эта пластинка изменяет величину и фазу магнитного потока, ответвляющегося в деталь 2 от главного потока параллельной обмотки, проходящего по детали 1. Магнитная цепь последовательной обмотки (деталь 3), имеющая форму повернутой буквы С, прикрепляется латунными угольниками к детали 2. На боковые части детали 3 насажены две последовательных катушки счетчика (деталь 4). Для дополнительной регулировки сдвига фаз между потоками обмоток счетчика на деталь 3 или на деталь 4 насаживаются коротко-замкнутые витки.

Для регулирования чувствительности счетчика служит железный винт в детали 1, передвигающийся параллельно касательной к окружности диска счетчика, который при малых нагрузках сообщает некоторый дополнительный момент и тем увеличивает чувствительность счетчика.

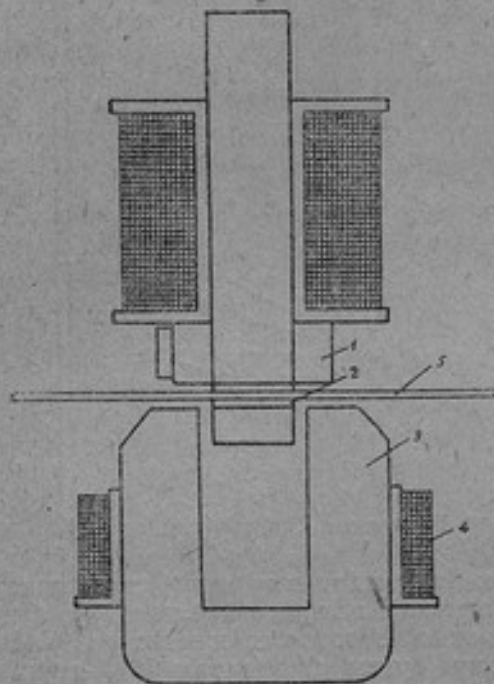


Рис. 5—Fig. 5

Для предотвращения самохода на верхней части оси диска помещается железная проволочка, притягиваемая к тормозному язычку из железа, помещенному сверху параллельной катушки счетчика. Вращающимся элементом счетчика является алюминиевый диск (деталь 5), движение которого тормозится постоянным магнитом.

Для учета числа оборотов диска служит счетный механизм барабанного типа, соединенный с осью счетчика рядом зубчатых колес. Все детали счетчика, монтируемые на железной стойке и помещены в железный кожух, закрываемый крышкой.

Измерение магнитных потоков производилось на компенсационном приборе переменного тока фирмы Тислей и Ко. Принцип, применявшийся для нахождения потоков — измерение электродвижущих сил, индуктированных исследуемым потоком в специально намотанной для этого катушке.

Эта электродвижущая сила:

$$E = 4k\Phi n 10^{-8},$$

где k — коэффициент, зависящий от формы кривой. Так как Φ опережает E на 90° , то повернув вектор E на 90° , получим Φ и по направлению. Величины потоков, как будет видно ниже, были таковы, что минимальное число витков, равное двадцати.

давало электродвижущую силу, достаточную для вполне надежных измерений. Компенсационный прибор (рис. 6) представляет собой цепь последовательно соединенных сопротивлений, по которым проходит ток; для удобства отчетов разностей потенциалов на этих сопротивлениях, пропускаемый ток доводится до 50 мА. К компенсационному прибору подводятся концы измерительных катушек, причем между компенсационным прибором и измерительной катушкой включен вибрационный гальванометр. Подаваемое на гальванометр напряжение может меняться переключением сопротивлений. Для отсутствия колебаний в вибрационном гальванометре недостаточно совпадения встречных электродвижущих сил по величине, но необходимо совпадение их и по фазе. Для этой цели ток на компенсационный прибор подается от фазорегулятора двухфазного тока. Поворачиванием ротора фазорегулятора во вращающемся поле двухфазного тока, изменяется фаза тока, а, следовательно, и подаваемое на гальванометр напряжение. Питание фазорегулятора производилось вначале от трансформатора на 120/80 вольт; ток в его вторичной питающей обмотке расщеплялся на двухфазный введением емкостного и омического сопротивлений. К сожалению, уравнивание электродвижущих сил по фазе не было удобным благодаря тому, что вращающееся поле фазорегулятора не есть круговое. Осциллограммы, снятые при повороте статора фазорегулятора через каждые 5°, показывают, что вершины синусоид отнюдь не располагаются по прямой, параллельной оси X — 0 . Мало того, как показывают и осциллограммы и опыт, это поле не есть точно и эллиптическое, но имеет в некоторых местах впадины. Невозможность получить круговое поле объясняется тем, что величины емкостей и омических сопротивлений, при помощи которых производится расщепление тока на двухфазный, не могут быть регулируемы в широких пределах, благодаря контактному характеру их включений. Все эти обстоятельства ведут к тому, что поворот ротора фазорегулятора в очень сильной степени меняет ток компенсационного прибора, примерно, в пределах от 4 до 6 мА. Естественно, что самые большие изменения тока происходят тогда, когда амплитуда магнитного поля изменяется наиболее резко. Это бывает, главным образом, в местах впадин. Здесь незначительные повороты ротора приводят пластину вибрационного гальванометра в очень сильные колебания. Эти обстоятельства вынудили искать другие пути для создания кругового поля. Задача, казалось, должна была быть разрешена применением схемы Скотта. В ней, два трансформатора T_1 и T_2 с одинаковыми вторичными напряжениями и первичными, относящимися, как основание и высота **равностороннего**

треугольника, включаются определенным образом в трехфазную сеть. При экспериментировании оказалось, что и эта схема не дает кругового поля, но что работа становится все же более благоприятной в виду отсутствия резких скачков в величинах амплитуд поля. На применении схемы Скотта и пришлось остановиться, так как другие возможности ограничивались как средствами, так и временем. Кроме того, и на точность это влиять не может, а делает лишь более трудным производство измерений.

Для устойчивости режима во время работы питание счетчиков и трансформатора производилось от отдельного агрегата Боаса, состоящего из двигателя и двух синхронных генераторов тока и напряжения. Сдвиг между током и напряжением достигается ручным поворотом статора генератора напряжения. Это давало возможность исследовать счетчик при различных сдвигах.

Что касается тех электрических и магнитных величин, которые определялись в опытах, то наряду с потоками измерялись токи и напряжение в обмотках тока и напряжения. Это позволяло иметь точное представление о режиме, при котором измерялись потоки. Включение нормальных сопротивлений в $10\ \Omega$ и $0,1\ \Omega$ последовательно в цепь напряжения и в цепь тока давало возможность измерять сдвиги между током и напряжением в каждой из этих цепей. Наконец, наличие переключателя C у компенсационного прибора позволяло подводить к нему от 6 до 9 величин, благодаря чему была возможность быстрого чередования последующих измерений; это гарантировало до некоторой степени постоянство режима, что очень важно для суждения о результатах опытных данных.

В таблицах I—III приведены цифровые данные, относящиеся к счетчику № 422, типа $B1$, завода Электроприбор и найденные для электродвижущих сил индуктированных полным, рабочим и частичным потоками цепи напряжения. Кроме того, в них приведены величины потоков, вычисленные по формуле:

$$E = 4,44 f \Phi n \cdot 10^{-8},$$

где в коэффициент 4,44 входит множитель k , принятый за 1,1, как это получается для синусовиды. Правда, вибрационный гальванометр учитывает только волну 1-го порядка, а в то же время потоки не являются синусоидальными. Можно все же наперед сказать, что при больших сравнительно величинах потоков, получающихся при измерениях, ошибка от несинусоидальности потоков не окажет влияния на характер процесса, вытекающий из расчетов при $k=|1|$.

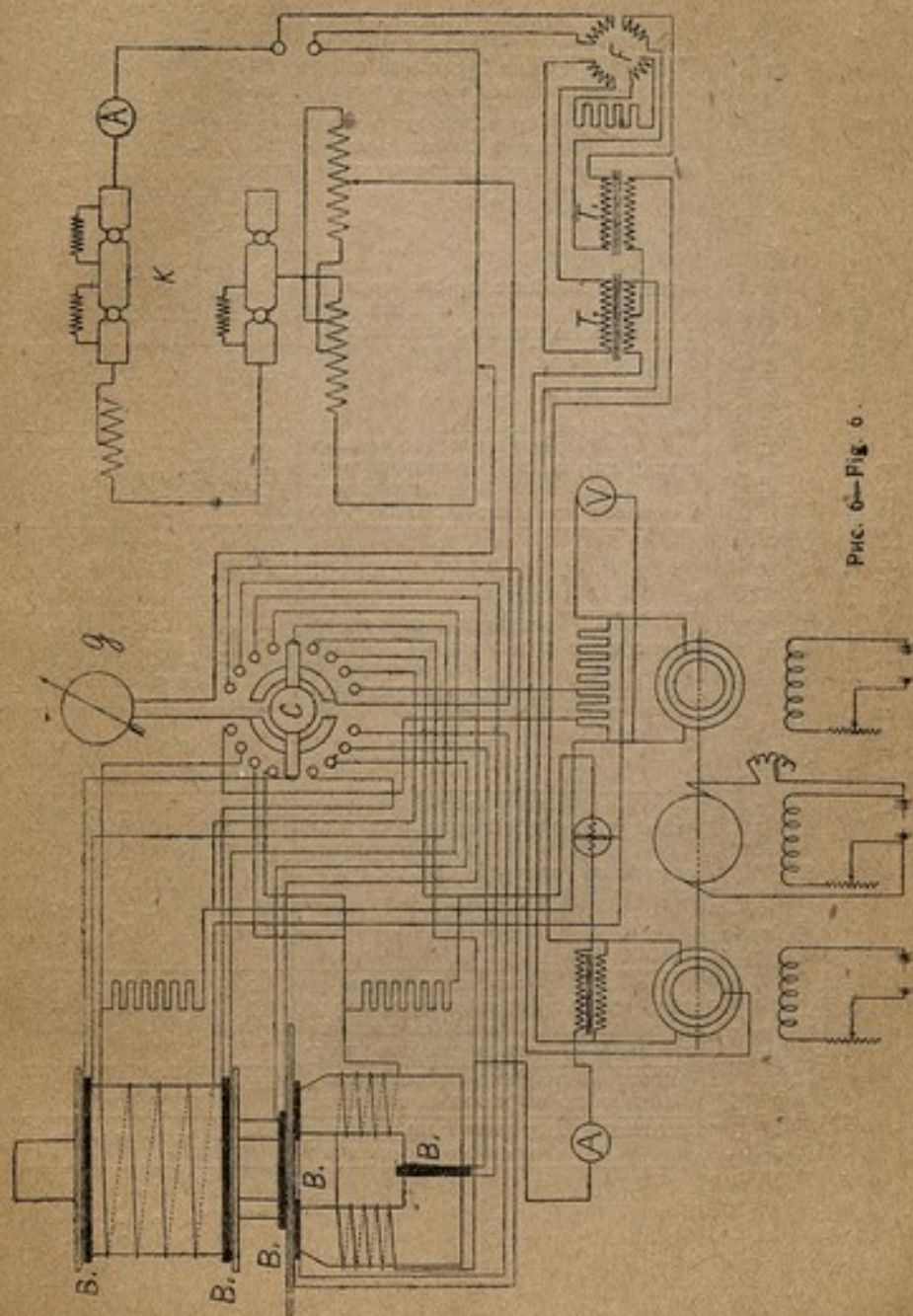


Рис. 6—Fig. 6.

Таблица I — Tableau I

Данные измерений полного, рабочего и частичного потоков цепи напряжения счетчика № 422 типа В1, завода Электроприбор.

Измерительные катушки для всех потоков имеют по 25 витков.

Регулирующая пластишка (коротко-замкнутый виток) занимает среднее положение.

Résultats des mesures des flux: total, de travail et partiel, du circuit de tension du compteur No 422, type B1, usine «Electroприбор». Des bobines de mesure ont 25 spires pour tous les flux. La plaque régulatrice du déphasage se trouve en position moyenne.

cos φ	Сила тока в счетчике		Напряжения счетч. по вольтметру		Тензион сур ле комптеур (voltmètre)		ЭДС индукт. полный токком в измерит. катушке		F. e. m. induite par le flux total dans la bobine de mesure		φ ₁		φ ₂		φ ₃		φ ₄		φ ₅		Напряжения на замыках обратного сопротивления		Тензион сур ле bornes de la bobine de résistance étalonée		ЭДС индукт. частичная токком в измер. катушке		F. e. m. induite par le flux partiel dans la bobine de mesure		Напряжения счетчика по компенсационному		Тензион сур ле комптеур (potentiomètre)		φ ₆		Полный токком; максвеллы		Flux total; maxwells		Рабочий токком; максвеллы		Flux de travail; maxwells		Частичный токком; максвеллы		Flux partiel; maxwells																																																	
	3	80	100	3228	3874	4596	5184	5768	6413	30°	17	8	7	11	6	7	42°	5	4	4,5	0,5	0,1100	0,1369	0,1659	0,1944	0,2251	0,2530	0,2839	0,3150	0,3648	0,4213	0,1377	0,1779	0,2195	0,2647	0,3150	0,3648	0,4213	74°	57	66,5	67,5	63,5	66	69	0,1842	0,2291	0,2717	0,3134	0,3551	0,3932	0,4302	32	15	6	5,5	9,5	7,5	5,0	79,89	100,35	120,51	140,40	161,74	180,03	200,54	35°	12	3	2	5,5	3	0,5	7905	7270	8725	10170	11675	12989	14443	1982	2447	2987	3502	4055	4558	5116	4126	5160	6116	7059	7998	8855	9915
1,0	3	80	100	3228	3874	4596	5184	5768	6413	30°	17	8	7	11	6	7	42°	5	4	4,5	0,5	0,1100	0,1369	0,1659	0,1944	0,2251	0,2530	0,2839	0,3150	0,3648	0,4213	0,1377	0,1779	0,2195	0,2647	0,3150	0,3648	0,4213	74°	57	66,5	67,5	63,5	66	69	0,1842	0,2291	0,2717	0,3134	0,3551	0,3932	0,4302	32	15	6	5,5	9,5	7,5	5,0	79,89	100,35	120,51	140,40	161,74	180,03	200,54	35°	12	3	2	5,5	3	0,5	7905	7270	8725	10170	11675	12989	14443	1982	2447	2987	3502	4055	4558	5116	4126	5160	6116	7059	7998	8855	9915

Таблица I—Tableau I

Сила тока в счетчике Intensité du courant dans le compteur	5	80	100	120	140	160	180	200	%	Напряжение счетч. по вольтметру Tension sur le compteur (voltmètre)	Э/С индукт. полный поток в капсуле катушке Э/С индукт. рабочий поток в капсуле катушке F. c. m. induite par le flux total dans la bobine de mesure	%	Напряжение на зажимах образцового сравнения Tension sur les bornes de la bobine de résistance étalonée	Э/С индукт. частичный поток в капсуле катушке F. c. m. induite par le flux partiel dans la bobine de mesure	%	Напряжение счетчика по компенсат. принципу Tension sur le compteur (potenti- mètre)	%	Полный поток; максвеллы Flux total; maxwells	Частичный поток; максвеллы Flux de travail; maxwells	Э/С индукт. полный поток; максвеллы Flux partiel; maxwells
	5	80	100	120	140	160	180	200	56,5	80,09	0,1833	53°	0,1382	0,1105	0,1833	53°	80,09	5798	1900	4128
*	100	3237	1391	1667	1985	2234	2532	2840	56,5	100,45	0,2279	53	0,1777	0,1391	0,2279	53	100,45	7290	2057	5133
*	120	3861	1667	1667	1985	2234	2532	2840	56,5	119,25	0,2685	52	0,2178	0,1667	0,2685	53	119,25	8696	3004	6046
*	140	4406	1985	1985	1985	2234	2532	2840	57	140,14	0,3107	51	0,2637	0,1985	0,3107	53	140,14	10126	3522	6998
*	160	5130	2234	2234	2234	2234	2532	2840	56,5	160,33	0,3502	51,5	0,3120	0,2234	0,3502	52,5	160,33	11553	4025	7887
*	180	5757	2532	2532	2532	2532	2532	2840	57	179,24	0,3889	50,5	0,3647	0,2532	0,3889	53	179,24	12066	4562	8759
*	200	6386	2840	2840	2840	2840	2840	2840	56,5	200,19	0,4238	51	0,4235	0,2840	0,4238	52	200,19	14382	5117	9612

(Продолжение)

Таблица I — Tableau I

Сила тока в счетчике Intensité du courant dans le compteur	Напряжение счетч. по вольтметру Tension sur le compteur (volts)		ЭЦ намот. нормам потоком в намерт. катушке F. é. m. induite par le flux total dans la bobine de mesure		ЭЦ намот. рабочим потоком в намерт. катушке F. é. m. induite par le flux de travail dans la bobine de mesure		Напряжение на зажимах образцового смотанная Tension sur les bornes de la bobine de résistance étalonée		ЭЦ намот. рабочим потоком в намерт. катушке F. é. m. induite par le flux partiel dans la bobine de mesure		Напряжение счетчика по компенсац. прибору Tension sur le compteur (potenti- mètre)		Полный поток; максвеллы Flux total; maxwells	Рабочий поток; максвеллы Flux de travail; maxwells	Частичный поток; максвеллы Flux partiel; maxwells
	5	80	0,2591	65°	0,1109	76°	0,1383	- 40°	0,1832	66,5°	80,00	+ 69,5°			
•	100	0,3232	64	0,1373	75	0,1758	- 40	0,2272	64,5	100,22	+ 68	7279	2474	5117	
•	120	0,3860	62,5	0,1666	74	0,2182	- 40	0,2694	64	120,00	+ 67,5	8684	3002	6067	
•	140	0,4521	62,5	0,1970	74	0,2645	- 39,2	0,3117	64	140,53	+ 68	10184	3550	7020	
•	160	0,5132	44,5	0,2242	55,5	0,3120	- 57,5	0,3521	46	160,42	+ 50	11586	4040	7929	
•	180	0,5783	61,5	0,2534	73	0,3620	- 40	0,3881	63	180,29	+ 67,5	13033	4578	8741	
•	200	0,6432	63,5	0,2854	73,5	0,4230	- 38,5	0,4285	64	200,69	+ 68,5	14486	5142	9651	

Связь емкости
Déphasage capacité

0,3

cos φ

Таблица III — Tableau III

Тоже. Регулирующая пластинка админута — Le pêne. La plaque régulatrice en dedans

$\cos \varphi$	Сила тока в счетчике	Интенсiтe du courant dans le compteur	Напряжeние счет. по вольтметру	Тензион сур ле комптеур (voltmètre)	\mathcal{E} С нилукт. полным потоком	в измерит. катушке	F. é. m. induite par le flux total dans la bobine de mesure	δ_1	\mathcal{E} С нилукт. рабочим потоком	в измерит. катушке	F. é. m. induite par le flux de travail dans la bobine de mesure	δ_2	Напряжeние на зажимах образцово-порo сопровождеия	Тензион сур les bornes de la bobine de résistance étalonée	δ_3	\mathcal{E} С нилукт. рабочим потоком	в измерит. катушке	F. é. m. induite par le flux partiel dans la bobine de mesure	δ_4	Напряжeние счетчика по компенсации прибору	Тензион сур le compteur (potentiomètre)	δ_5	Полный поток; максвеллы	Flux total; maxwells	Рабочий поток; максвеллы	Flux de travail; maxwells	Частичный поток; максвеллы	Flux partiel; maxwells
1,0	5	80	0,2579	- 5°	0,1089	+ 6,5°	0,1385	+ 69°	0,1844	- 3,0°	80,24	0°	5650	1962	4153													
*	*	120	0,3850	- 5	0,1648	+ 6	0,2174	+ 69	0,2699	- 3,5	119,60	0	8761	2951	6079													
*	*	160	0,5193	- 5,5	0,2247	+ 5,5	0,3127	+ 69,5	0,3552	- 4	161,22	0	11695	4049	8000													
*	*	200	0,6396	- 6	0,2832	+ 5,5	0,4190	+ 70,5	0,4293	- 4,5	230,58	0	14405	5103	9670													

Изложенные цифровые данные, относящиеся только к цепи напряжения счетчика VI , оказалось возможным использовать для выяснения некоторой характеристики в изменении потоков. Препяе всего представлялось интересным проследить характер изменения потоков от приложенного напряжения. Кривые для $\Phi_{\text{пол}} = f(E)$ и $\Phi_{\text{раб}} = F(E)$ не показали сколько-нибудь заметного отклонения от прямой. Это произошло не столько благодаря действительной пропорциональности между этими величинами, сколько благодаря невозможности применить соответственные масштабы при сравнительно больших потоках.

Иная картина представилась при графическом рассмотрении зависимости $\Phi_i/V = F_i(E)$. Кривые $\Phi_i/V = F_i(E)$ должны были бы выразиться прямой параллельной оси абсцисс, если на последней откладывать приложенное напряжение E . На самом же деле оказалось, что при всех тех режимах, при которых производились измерения, отношение полного потока к напряжению неизменно уменьшалось, а отношение рабочего потока к напряжению увеличивалось с повышением напряжения. Для объяснения этого явления обратимся к диаграмме потоков и напряжений счетчика (рис. 7). Эта диаграмма, имеющая качественный характер, построена для двух различных приложенных к счетчику напряжений. Для возможности сравнения этих случаев тонкие линии представляют величины, измеренные при более высоком приложенном напряжении и отнесенные к номинальному

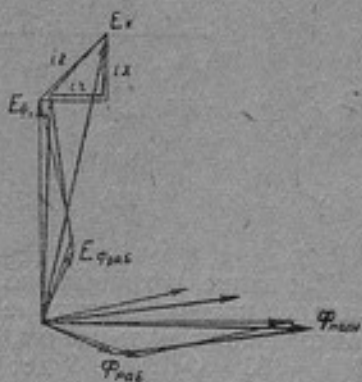


Рис. 7—Fig. 7

(первому из измеренных) напряжению, т. е. умножены на $\frac{E_{KN}}{E_K}$,

здесь E_{KN} есть номинальное напряжение, E_K — любое из других, при которых производится измерение. Естественно, что полная аналогия получится, если мы все диаграммные величины будем относить просто к одному вольту. Из диаграммы видно, что уменьшение общего потока, а следовательно и обратной электродвижущей силы им индуктированной, при данном приложенном напряжении, имеет следствием относительное увеличение падения напряжения от проходящего по катушке тока.

Что касается перераспределения активной и реактивной составляющих этого падения напряжения, то о нем можно сделать выводы из рассмотрения потерь катушки напряжения, вычисленных при разных режимах (таблица IV).

Таблица IV—Tableau IV

Потери в катушке напряжения счетчика № 422 типа B1
Pertes dans la bobine de tension du compteur No 422, type B1

Приложенное напряжение Tension sur les bornes du compteur E	Потери Pertes W	$\frac{W}{V} \cdot 100$
80	0,39	0,49
120	0,94	0,78
160	1,70	1,06
200	2,83	1,43

Как видно из кривых рис. 8, так и из приведенных в таблице IV данных, потери растут не совсем пропорционально квадрату приложенного напряжения, а несколько скорее. Таким образом $W/V \cdot 100 = \Phi(E)$ не будет представлять собой прямой линии при выбранном, конечно, соответственно большом масштабе. Из изложенного следует, что активная составляющая падения напряжения, а следовательно и активная составляющая тока, покрывающая железные и омические потери, увеличивается с повышением напряжения. Что касается омических потерь в меди, то при неизменной (практически) температуре они пропорциональны квадрату тока; поэтому всю неквадратичность потерь нужно, повидимому, отнести за счет железных потерь пропорциональных $B^{1.6}$ при частоте $f = \text{const}$. Упомянутое увеличение активной составляющей тока влечет за собой увеличение угла магнитного запаздывания, а следовательно, и ухудшение магнитных свойств железа. Последнее обстоятельство связано с относительным уменьшением намагничивающей составляющей тока при повышении напряжения, а следовательно, с уменьшением полного потока. Уменьшение полного потока, как видно из таблиц I—III и кривых рис. 9—13, достигает 1% в своем отклонении от пропорциональности.

Вопрос об относительном увеличении рабочего потока имеет более важное значение, так как рабочий поток принимает непосредственное участие в создании вращающего момента. Данные и кривые показывают, что при относительном увеличении его отклонения от пропорциональности достигают 2% при повышении напряжения до 200 вольт. Происходит это увеличение

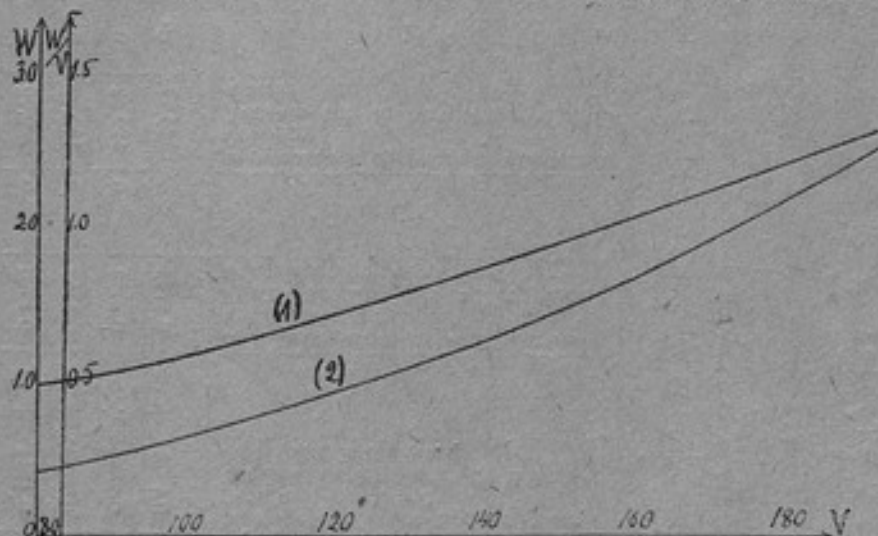


Рис. 8. 1—кривая отношения потерь в катушке напряжения к приложенному напряжению в зависимости от приложенного напряжения
2—кривая потерь в катушке напряжения в зависимости от приложенного напряжения.

Fig. 8. 1—courbe du rapport des pertes dans la bobine de tension à la tension imprimée en fonction de la tension imprimée.
2—courbe des pertes dans la bobine de tension en fonction de la tension imprimée.

потому, что поток токовой цепи, будучи направлен под определенным углом к рабочему потоку цепи напряжения, производит на него уменьшающее действие. Естественно, что это действие тем меньше, чем меньше рабочий поток, т.е. чем меньше приложенное напряжение. При производстве опытов ток в токовой катушке счетчика поддерживался постоянным, равным 5А. Таким образом, наличие потока токовой катушки, хотя и в малой степени, но влияет на измерение рабочего потока напряжения при различных режимах.

В таблицах V и VI приведены данные, представляющие результаты измерений другого счетчика № 815 той же конструкции.

Таблица V—Tableau V

Данные измерения полного, рабочего и частичного потоков цепи напряжения счетчика № 815, типа В, завода «Электроприбор».

Измерительная катушка для рабочего потока имеет 25 витков; измерительные катушки для полного и частичного потоков — по 20 витков.

Регулирующая пластинка (коротко-замкнутый виток) занимает среднее место.

Résultats des mesures des flux: t. total, de travail et partiel, du circuit de tension du compteur No 815, type В.

usine «Electroprilors».

La bobine de mesure pour le flux de travail a 25 spires; les bobines de mesure pour le flux intégral et partiel ont 20 spires.

La plaque régulatrice du déphasage se trouve en position moyenne.

Cos φ	Сила тока в счетнике		Напряжение счетч. по вольтметру		Тензия на счетчик (вольтметр)		ЭЦ индукт. полным потоком		F. e. m. induite par le flux total dans la bobine de mesure		φ ₂		Напряжение на зажимах обратной сопротивления		Тензия sur les bornes de la bobine de résistance étalonée		φ ₃		ЭЦ индукт. частичным потоком		F. e. m. induite par le flux partiel dans la bobine de mesure		φ ₄		Напряжение счетчика по компенсации		Тензия sur le compteur (potenti-mètre)		φ ₅		Полный поток; максимал		Рабочий поток; максимал		Частичный поток; максимал	
	5	80	120	160	200	0,2558	0,3857	0,5130	0,6370	0,1131	+ 5,5	+ 5,5	0,1378	+ 69	0,1765	— 2,5	79,72	0°	5761	2038	3045	8687	3119	5831	11554	4195	7588	14347	5305	9207						
1,0	5	80	120	160	200	0,2558	0,3857	0,5130	0,6370	0,1131	+ 5,5	+ 5,5	0,1378	+ 69	0,1765	— 2,5	79,72	0°	5761	2038	3045	8687	3119	5831	11554	4195	7588	14347	5305	9207						

Таблица V — Tableau V (Продолжение)

Сила тока в счетчике Intensité du courant dans le compteur	Напряжение сети, по вольтметру Tension sur le compteur (voltmètre)	ЭДС индукт. полным потоком в камерит, катушке F. é. m. induite par le flux total dans la bobine de mesure	ЭДС индукт. рабочим потоком в камерит, катушке F. é. m. induite par le flux de travail dans la bobine de mesure	Напряжение на зажимах образцово- вого сопротивления Tension sur les bornes de la bobine de résistance étalonée	ЭДС индукт. частичным потоком в камерит, катушке F. é. m. induite par le flux partiel dans la bobine de mesure	Напряжение счетчика по компенсаци- онному принципу Tension sur le compteur (potenti- mètre)	Число 0	Полный поток; максвеллы Flux total; maxwells	Рабочий поток; максвеллы Flux de travail; maxwells	Частичный поток; максвеллы Flux partiel; maxwells	Самит. индукт. Déphasage capacit.			
											0,5	0,5		
5	80	0,2571	- 4,5 ⁰	0,1135	+ 6 ⁰	0,1397	+ 72,5 ⁰	0,1789	- 2,5 ⁰	89,18	0	5790	2043	4029
*	120	0,3861	- 5,0	0,1731	+ 5,5	0,2108	+ 73	0,2609	- 3,0	120,08	0	8690	3119	5876
*	160	0,5100	- 5,5	0,2318	+ 5	0,3078	+ 73	0,3354	- 3,5	159,57	0	11487	4177	7554
*	200	0,6432	- 6,0	0,2968	+ 4	0,4215	+ 73,5	0,4125	- 4,5	201,30	0	14487	5348	9290
5	80	0,2562	- 5	0,1143	+ 5,5	0,1384	+ 71	0,1756	- 3	79,95	0	5770	2050	3954
*	120	0,3834	- 5	0,1726	+ 5,5	0,2155	+ 71,5	0,2566	- 3	119,50	0	8635	3110	5779
*	160	0,5146	- 6	0,2349	+ 4,5	0,3097	+ 72	0,3364	- 3,5	160,80	0	11590	4232	7577
*	200	0,6412	- 6	0,2974	+ 4,5	0,4177	+ 72,5	0,4095	- 4	200,90	0	14441	5358	9223

(Окончание)

Таблица V — Tableau V

Сила тока в счетчике Intensité du courant dans le compteur		Напряжение счетч. по вольтметру Tension sur le compteur (voltmètre)		ЭДС индукт. полным потоком ЭДС индукт. рабочим потоком		в измерит. катушке F. é. m. induite par le flux de travail		dans la bobine de mesure		в измерит. катушке F. é. m. induite par le flux partiel		ЭДС индукт. частичным потоком dans la bobine de mesure		в измерит. катушке F. é. m. induite par le flux partiel		в измерит. катушке F. é. m. induite par le flux partiel		напряжения счетчика по компенсации Tension sur le compteur (potenti- mètre)		Полная мощность максвеллы Flux total; maxwells		Рабочая мощность максвеллы Flux de travail; maxwells		Частичная мощность максвеллы Flux partiel; maxwells			
5	80	5	80	5	80	5	80	5	80	5	80	5	80	5	80	5	80	0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°		
0,3	5	80	0,2584	- 4,5	0,1144	+ 5,5	0,1403	+ 73,5 ⁰	0,1797	- 2°	80,60	0°	5820	2061	4047	0°	8720	3123	5912	0°	11655	4234	7689	0°	14351	5314	9246
0,3	*	120	0,3872	- 5	0,1733	+ 5,5	0,2200	+ 73,5	0,2525	- 3,5	120,63	0	8720	3123	5912	0	11655	4234	7689	0	14351	5314	9246	0	5788	2067	3964
0,3	*	160	0,5175	- 5,5	0,2350	+ 5	0,3136	+ 74	0,3414	- 4	161,35	0	11655	4234	7689	0	14351	5314	9246	0	5788	2067	3964	0	8698	3121	5827
0,3	*	200	0,6372	- 6,5	0,2949	+ 4	0,4179	+ 74,5	0,4105	- 4	200,10	0	14351	5314	9246	0	5788	2067	3964	0	8698	3121	5827	0	11577	4234	7595
0,3	5	80	0,2570	- 4,5	0,1147	+ 6	0,1386	+ 71	0,1760	- 3	80,19	0	5788	2067	3964	0	8698	3121	5827	0	11577	4234	7595	0	14414	5351	9234
0,3	0	120	0,3862	- 5	0,1732	+ 5,5	0,2190	+ 72	0,2587	- 3	120,40	0	8698	3121	5827	0	11577	4234	7595	0	14414	5351	9234	0	5788	2067	3964
0,3	0	160	0,5140	- 5,5	0,2350	+ 5	0,3108	+ 72	0,3372	- 4	160,32	0	8698	3121	5827	0	11577	4234	7595	0	14414	5351	9234	0	5788	2067	3964
0,3	*	200	0,6400	- 6	0,2970	+ 4,5	0,4196	+ 72,5	0,4100	- 4,5	201,20	0	11577	4234	7595	0	14414	5351	9234	0	5788	2067	3964	0	8698	3121	5827

Таблица VI — Tableau VI

Тоже. Регулирующая пластинка единута — Le même. La plaque régulatrice en dedans

$\cos \varphi$	Сила тока в счетнике	Интензитэ дн courant dans le compteur	Напряжение счетч. по вольтметру	Тензион сур ле комптеур (voltmètre)	α_{10} в намерит. катушке а/с индукт. полным потоком	в намерит. катушке а/с индукт. рабочим потоком	в намерит. катушке а/с индукт. частным потоком	в намерит. катушке а/с индукт. частным потоком в намерит. катушке F. e. m. induite par le flux partiel dans la bobine de mesure	β_2	Напряжение на зажимах образцо- вого сопротивления	Тензион сур les bornes de la bobine de résistance étalonée	β_3	в намерит. катушке а/с индукт. частным потоком F. e. m. induite par le flux partiel dans la bobine de mesure	β_4	Напряжение счетчика по компенсац. прибору	Тензион сур ле комптеур (potenti- mètre)	β_5	Полный поток; максвеллы Flux total; maxwells	Рабочий поток; максвеллы Flux de travail; maxwells	Частичный поток; максвеллы Flux partiel; maxwells
1,0	5	80	0,2565	- 4,5	0,1134	+ 5	0,1384	+ 69	0,1774	- 2	79,82	0	5777	2043	3996					
"	"	120	0,3860	- 5	0,1739	+ 4,5	0,2181	+ 69	0,2500	- 3	120,40	0	8604	3117	5856					
"	"	160	0,5147	- 5,5	0,2339	+ 4	0,3100	+ 69,5	0,3394	- 3	160,85	0	11592	4215	7644					
"	"	200	0,6430	- 6	0,2966	+ 3,5	0,4209	+ 69,5	0,4127	- 4	201,36	0	14482	5344	9295					

Таблица VI — Tableau VI

(Продолжение)

$\cos \varphi$	Сила тока в счетчике	Индукт. полная мощность	Индукт. полная мощность	φ_1	Индукт. рабочая мощность	φ_2	Напряженность на зажимах образца	Тензион на сопротивление	φ_3	Индукт. рабочая мощность	φ_4	Напряженность счетчика по компенсации	Тензион на счетчик (потенциометр)	Полная мощность максвеллы	Рабочая мощность максвеллы	Частичная мощность максвеллы
0,5	5	80	0,2451	- 4,5°	0,1127	+ 5°	0,1389	+ 72°	0,1778	- 2,0°	79,70	0°	57,46	2030	4004	
0,5	5	120	0,3867	- 5°	0,1730	+ 4,5°	0,2205	+ 72,5°	0,2620	- 2,5°	120,40	0	87,10	3117	5900	
0,5	5	160	0,5130	- 5°	0,2323	+ 4,5°	0,3121	+ 73°	0,3400	- 3°	160,79	0	115,54	4186	7658	
0,5	5	200	0,6407	- 6°	0,2960	+ 3,5°	0,4227	+ 73°	0,4135	- 4°	201,30	0	144,30	5333	9313	
0,5	5	80	0,2573	- 4,5°	0,1143	+ 5°	0,1377	+ 71°	0,1762	- 2,5°	79,91	0	57,95	2050	3969	
0,5	5	120	0,3870	- 5°	0,1740	+ 5°	0,2178	+ 71°	0,2602	- 3°	120,22	0	87,16	3133	5868	
0,5	5	160	0,5128	- 5,5°	0,2333	+ 4,5°	0,3083	+ 71,5°	0,3367	- 3,5°	160,27	0	115,05	4204	7583	
0,5	5	200	0,6431	- 6°	0,2983	+ 4°	0,4198	+ 72°	0,4122	- 4°	201,70	0	144,82	5375	9283	

Таблица VI — Tableau VI

(Окончание)

Cos φ	Сила тока в счетчике Intensité du courant dans le compteur		Напряжение счетч. по вольтметру Tension sur le compteur (voltmètre)		ЭДС индукт. полным потоком в камере, катушке F. e. m. induite par le flux de travail dans la bobine de mesure		ЭДС индукт. рабочим потоком в камере, катушке F. e. m. induite par le flux de travail dans la bobine de mesure		Напряжения на зажимах образцового сопротивления Tension sur les bornes de la bobine de résistance étalonée		ЭДС индукт. частичным потоком в камере, катушке F. e. m. induite par le flux partiel dans la bobine de mesure		Напряжения счетчика по компенсационному прибору Tension sur le compteur (potentiomètre)		φ°	Полный поток; максвеллы Flux total; maxwells		Рабочий поток; максвеллы Flux de travail; maxwells		Частичный поток; максвеллы Flux partiel; maxwells		
	5	80	5	80	5	80	5	80	5	80	5	80	5	80		5	80	5	80	5	80	
0,3 Слаб индукт. Déphasage Induct.	5	80	0,2571	0,1157	+ 4,5	0,1390	+ 72,5	0,1796	- 2	80,20	0°	5790	2049	4040	0°	5790	2049	4040	0°	5790	2049	4040
	5	120	0,3846	0,1721	- 5	0,2193	+ 73	0,2620	- 3	120,17	0	8662	3101	5900		8662	3101	5900		8662	3101	5900
	5	160	0,5117	0,2328	- 5,5	0,3117	+ 74	0,3400	- 3	160,80	0	11524	4195	7658		11524	4195	7658		11524	4195	7658
	5	200	0,6419	0,2961	- 6	0,4232	+ 74	0,4150	- 4	201,40	0	14457	5335	9347		14457	5335	9347		14457	5335	9347
0,3 Слаб емкостн. Déphasage Capact.	5	80	0,2554	0,1136	- 5	0,1377	+ 70,5	0,1751	- 3	79,70	0	5752	2047	3944	0	5752	2047	3944	0	5752	2047	3944
	5	120	0,3830	0,1736	- 5,5	0,2174	+ 71	0,2586	- 3,5	120,23	0	8626	3128	5924		8626	3128	5924		8626	3128	5924
	5	160	0,5131	0,2341	- 5,5	0,3106	+ 71,5	0,3386	- 3,5	160,84	0	11556	4218	7626		11556	4218	7626		11556	4218	7626
	5	200	0,6440	0,2987	- 6	0,4223	+ 72,5	0,4141	- 4	202,32	0	14504	5382	9327		14504	5382	9327		14504	5382	9327

Обмотка напряжения, образцовое сопротивление и делитель были включены по схеме предыдущего счетчика; образцовое сопротивление равно 10 омам.

Рассмотрение кривых зависимости $\frac{\Phi_{\text{пол.}}}{E}$ и $\frac{\Phi_{\text{раб.}}}{E}$ в функции от E (рис. 14—18)¹ показывает, что они в своих изменениях со-

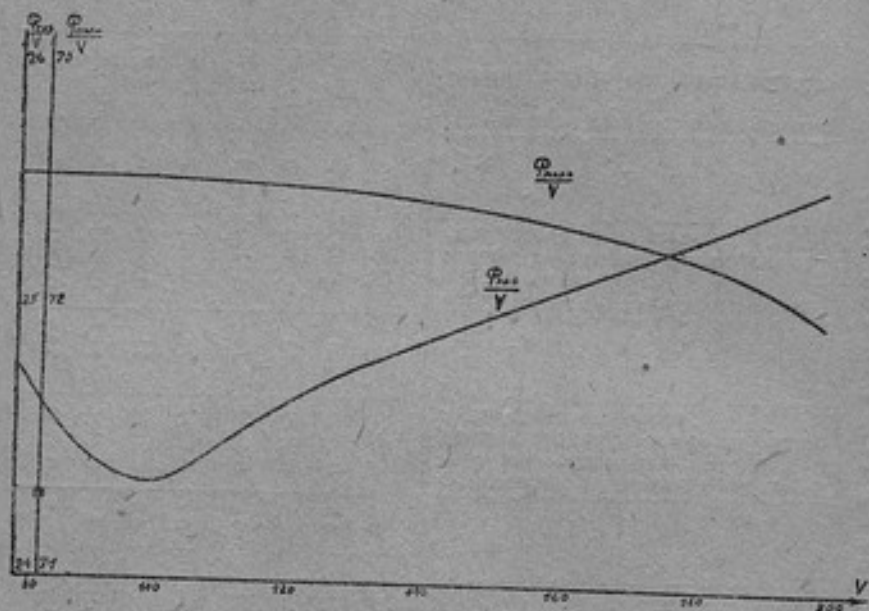


Рис. 9. Кривые $\frac{\Phi_{\text{пол.}}}{E} = f(E)$ и $\frac{\Phi_{\text{раб.}}}{E} = F(E)$ при $\cos \varphi = 1,0$ для счетчика № 422 типа B1.

Fig. 9. Courbes $\frac{\Phi_{\text{tot}}}{E} = f(E)$ et $\frac{\Phi_{\text{trav}}}{E} = F(E)$ à $\cos \varphi = 1,0$ pour le compteur No 422 du type B1.

вершенно аналогичны кривым для предыдущего счетчика (рис. 9—13). Этого и следовало ожидать, так как никакой конструктивной разницы между счетчиками нет и магнитопроводы их

¹ На рис. 18 возрастающая кривая относится к случаю $\frac{\Phi_{\text{раб.}}}{V}$, убывающая — к случаю $\frac{\Phi_{\text{пол.}}}{V}$.

совершенно одинаковы. Главной целью вышеприведенных измерений было изучить влияние регулирующей пластинки (короткозамкнутого витка) на величину и фазу потока. Именно, для этого и были сделаны испытания для многих режимов работы при двух положениях пластинки (см. рис. 14—18).

Влияние регулирующей пластинки (короткозамкнутого витка) на фазу будет рассмотрено в дальнейшем, после приведения

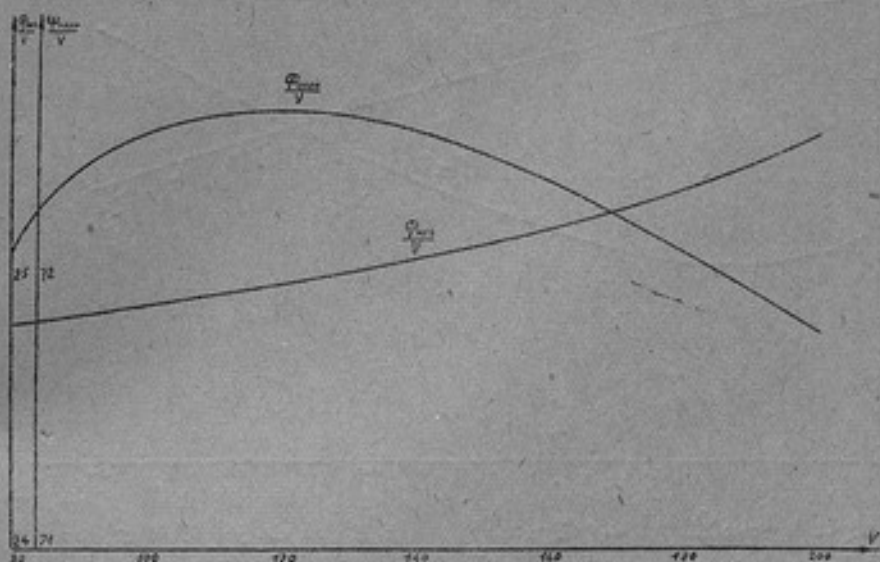


Рис. 10. Кривые $\frac{\Phi_{\text{полн.}}}{E} = f(E)$ и $\frac{\Phi_{\text{раб.}}}{E} = F(E)$ при $\cos \varphi = 0,5$ (инд.) для счетчика № 422 типа В 1.

Fig. 10. Courbes $\frac{\Phi_{\text{tot.}}}{E} = f(E)$ et $\frac{\Phi_{\text{trav.}}}{E} = F(E)$ à $\cos \varphi = 0,5$ (ind) pour le compteur No 422 du type В 1.

данных исследований токовой цепи. Что касается величины потока, то, как это следует из кривых, его изменение при двух различных положениях пластинки, отнесенное к одному вольту,

составляет всего лишь $0,2 \frac{\text{maxwell}}{\text{volt}}$. Эта незначительность изме-

нения чрезвычайно важна и о ней будет сказано при рассмотрении вопроса о достижении 90° сдвига в счетчике.

Данные, полученные в токовой цепи, приведены в таблицах VII и VIII.

Измерительная катушка полного потока имела 25 витков, рабочего потока 40 витков; образцовое сопротивление, включенное в цепь тока, равно $0,1\Omega$ (см. схему рис. 6).

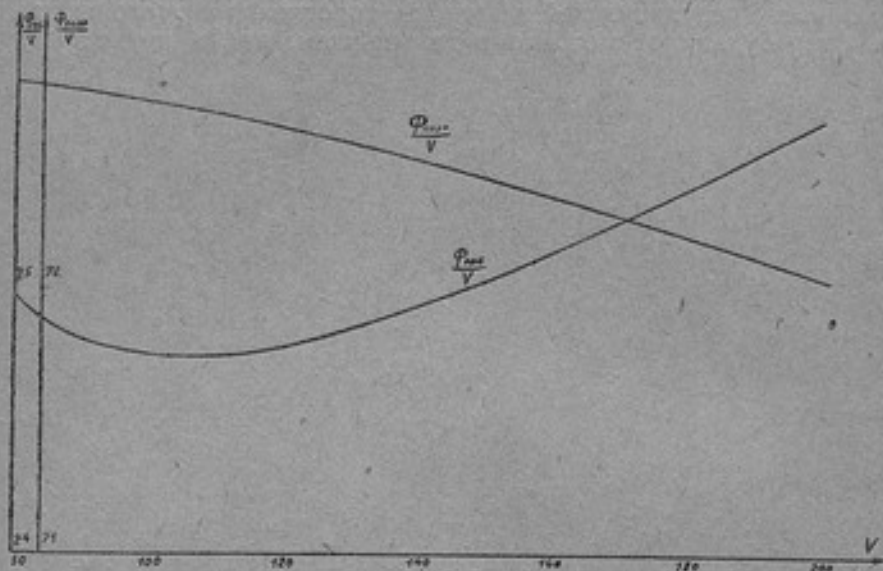


Рис. 11. Кривые $\frac{\Phi_{\text{полн.}}}{E} = f(E)$ и $\frac{\Phi_{\text{р.б.}}}{E} = F(E)$ при $\cos \varphi = 0,3$ (инд.) для счетчика № 422 типа В1.

Fig. 11. Courbes $\frac{\Phi_{\text{tot.}}}{E} = f(E)$ et $\frac{\Phi_{\text{trav.}}}{E} = F(E)$ à $\cos \varphi = 0,3$ (ind.) pour le compteur No 422 du type В1.

Для рассмотрения вопроса о том, насколько хорошо индукционный счетчик типа В1 удовлетворяет условию $\varphi + \psi = \beta - \alpha = 90^\circ$, метод черчения диаграмм при большом числе снятых точек не достигает цели. Поэтому был избран другой путь, заключающийся в том, что вычерчиваются:

- 1) кривая угла β в функции от напряжения.
- 2) кривая угла α в той же функции.

Здесь β —угол между приложенным напряжением и рабочим потоком напряжения и α —угол между током и рабочим потоком главной токовой цепи. Разность площадей ~~вышеупомянутых~~

кривых и будет показывать большее или меньшее отклонение счетчика от сдвига 90° , так как ординаты этой разностной площади и будут представлять самый сдвиг. Правда, это наталкивается на затруднение, вытекающее из того, что благодаря малым размерам счетчика невозможно одновременно производить измерения потоков в цепях тока и напряжения. Тем

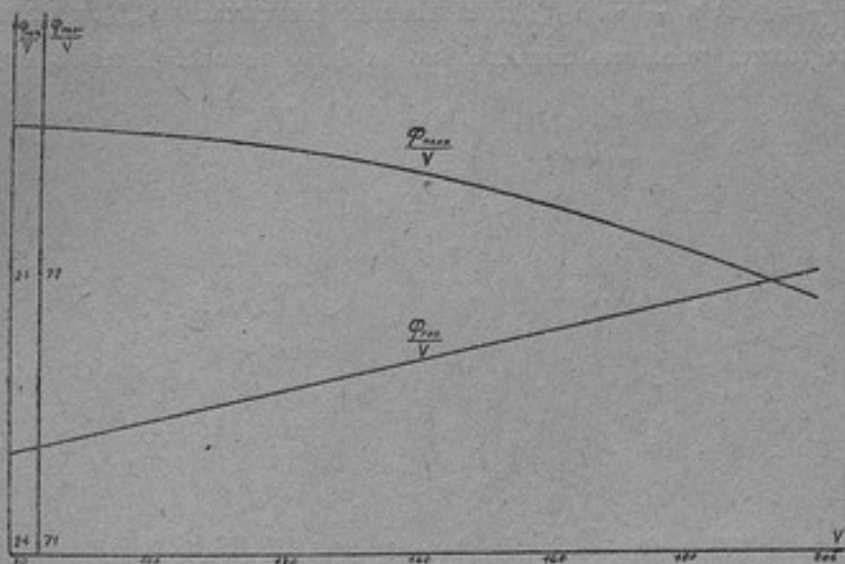


Рис. 12. Кривые $\frac{\Phi_{\text{полн.}}}{E} = f(E)$ и $\frac{\Phi_{\text{раз.}}}{E} = F(E)$ при $\cos \varphi = 0,5$ (емк.) для счетчика № 422 типа B1.

Fig. 12. Courbes $\frac{\Phi_{\text{tot.}}}{E} = f(E)$ et $\frac{\Phi_{\text{trav.}}}{E} = F(E)$ à $\cos \varphi = 0,5$ (cap.) pour le compteur No 422 du type B1.

не менее, можно считать это затруднение теряющим свою остроту, так как при тщательном экспериментировании нельзя ожидать сколько-нибудь значительного отклонения в показаниях фазных сдвигов потоков. В данном случае необходимо было бы иметь кривую α в функции напряжения в интервале от 80—200 вольт и кривую β в функции токов главной токовой цепи. Будем, следовательно, считать, что результаты, полученные для угла α при 120В, будут верны при всех иных напряжениях в упомянутом интервале и результаты, полученные для угла β при 5А, будут верны при всех других величинах токов.

Это предположение, повидимому, имеет основание быть правильным потому, что почти все кривые потоков цепи напряжения в функции напряжения и в цепи главного тока в функции тока имеют прямолинейный характер. Действительное отклонение от прямолинейности, которое можно заметить в кривых $\frac{\Phi_e}{e} = f(E)$ и $\frac{\Phi_I}{I} = F(I)$, достигающее максимально 2%, конечно, не может повлиять значительно на фазу потока. Имея в виду

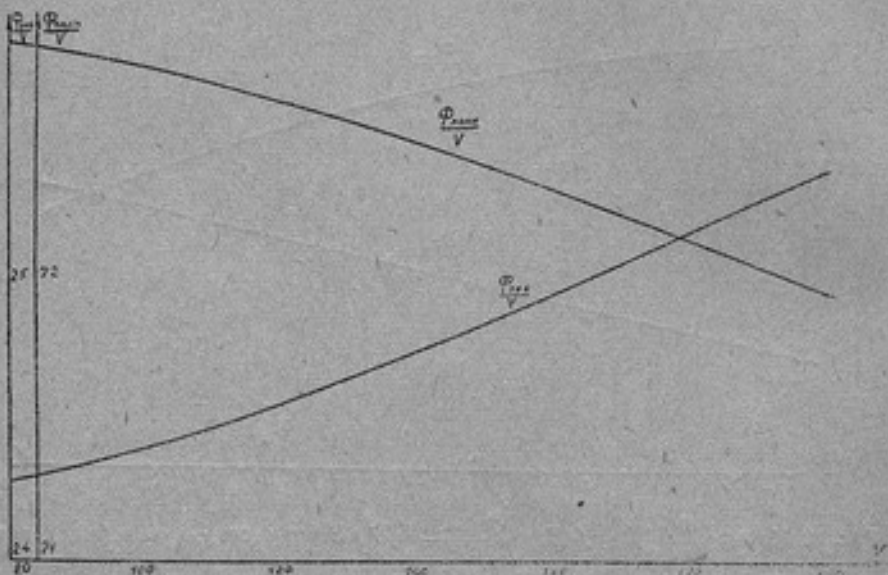


Рис. 13. Кривые $\frac{\Phi_{\text{полн.}}}{E} = f(E)$ и $\frac{\Phi_{\text{раб.}}}{E} = F(E)$ при $\cos \varphi = 0,3$ (эмк.) для счетчика № 422 типа В 1.

Fig. 13. Courbes $\frac{\Phi_{\text{tot.}}}{E} = f(E)$ et $\frac{\Phi_{\text{trav.}}}{E} = F(E)$ à $\cos \varphi = 0,3$ (cap.) pour le compteur No 422 du type В1.

вышесказанное и построив все нужные кривые, можно из их различных комбинаций проследить характер сдвига $\beta - \alpha$, который должен приближаться к 90° . Кривые угла $\beta = f(E)$, где β — угол (Φ, E) не могут вызывать никаких сомнений, так как условия снятия точек для них не вызывали никаких затруднений во время опыта благодаря чисто конструктивным особенностям счетчика. Что касается кривых $\alpha = F(E)$, то таковые в опыте не

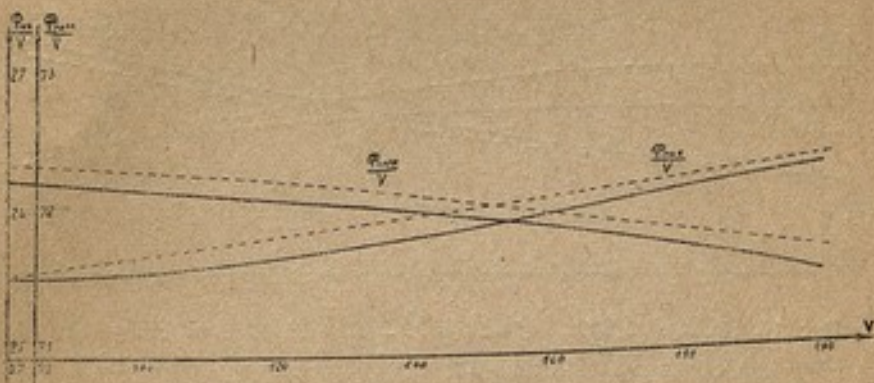


Рис. 14. Кривые $\frac{\Phi_{\text{полн.}}}{E} = f(E)$ и $\frac{\Phi_{\text{раб.}}}{E} = F(E)$ при $\cos \varphi = 1,0$ для счетчика No 815 типа B2.

Fig. 14. Courbes $\frac{\Phi_{\text{tot.}}}{E} = f(E)$ et $\frac{\Phi_{\text{trav.}}}{E} = F(E)$ à $\cos \varphi = 1,0$ pour le compteur No 815 du type B2.

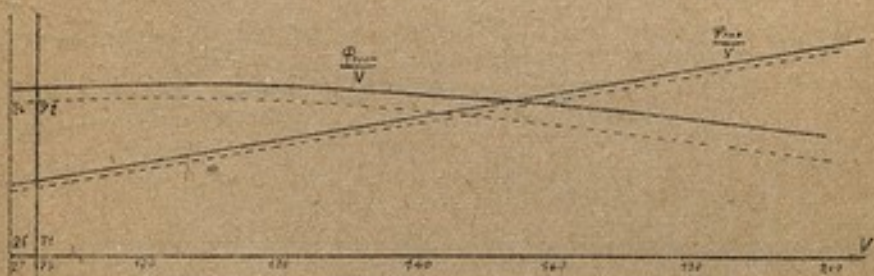


Рис. 15. Кривые $\frac{\Phi_{\text{полн.}}}{E} = f(E)$ и $\frac{\Phi_{\text{раб.}}}{E} = F(E)$ при $\cos \varphi = 0,5$ (инд.) для счетчика No 815 типа B1.

Fig. 15. Courbes $\frac{\Phi_{\text{tot.}}}{E} = f(E)$ et $\frac{\Phi_{\text{trav.}}}{E} = F(E)$ à $\cos \varphi = 0,5$ (ind.) pour le compteur No 815 du type B1.

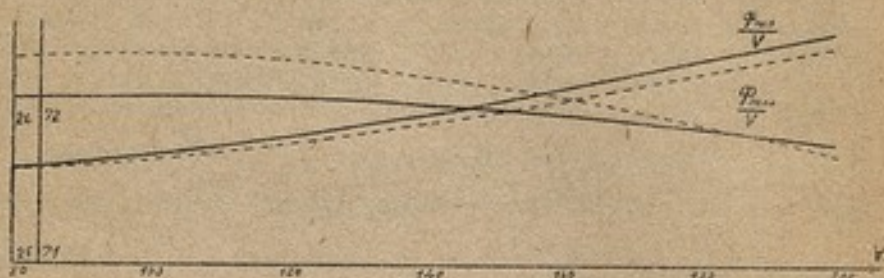


Рис. 16. Кривые $\frac{\Phi_{\text{полн.}}}{E} = f(E)$ и $\frac{\Phi_{\text{раб.}}}{E} = F(E)$ при $\cos \varphi = 0,3$ (инд.) для счетчика № 815 типа В1.

Fig. 16. Courbes $\frac{\Phi_{\text{tot.}}}{E} = f(E)$ et $\frac{\Phi_{\text{trav.}}}{E} = F(E)$ à $\cos \varphi = 0,3$ (ind.) pour le compteur No 815 du type В1.

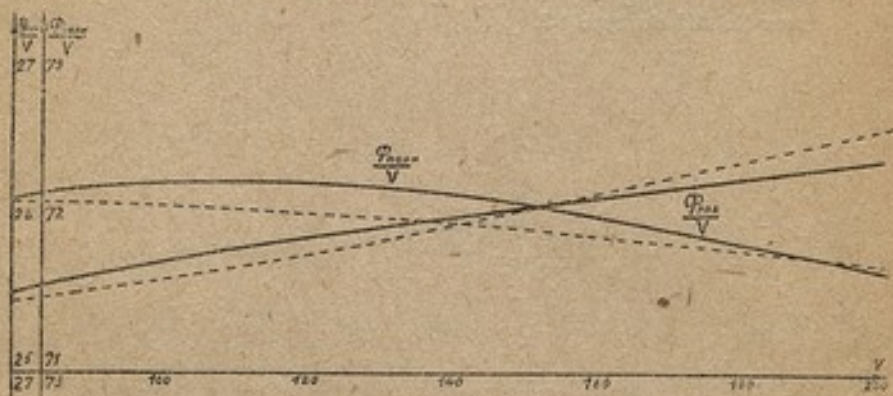


Рис. 17. Кривые $\frac{\Phi_{\text{полн.}}}{E} = f(E)$ и $\frac{\Phi_{\text{раб.}}}{E} = F(E)$ при $\cos \varphi = 0,5$ (емк.) для счетчика № 815 типа В1.

Fig. 17. Courbes $\frac{\Phi_{\text{tot.}}}{E} = f(E)$ et $\frac{\Phi_{\text{trav.}}}{E} = F(E)$ à $\cos \varphi = 0,5$ (cap.) pour le compteur No 815 du type В1.

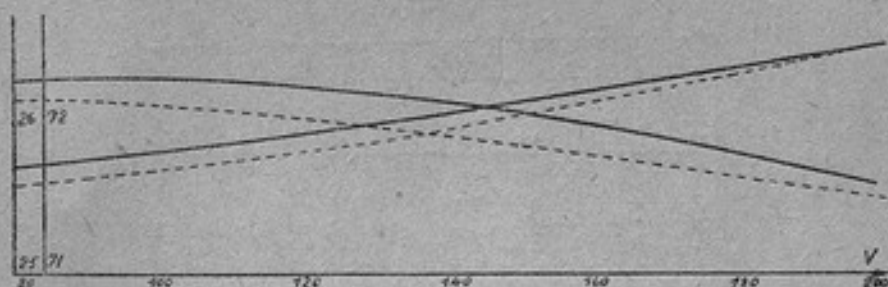


Рис. 18. Кривые $\frac{\Phi_{\text{полн.}}}{E} = f(E)$ и $\frac{\Phi_{\text{раб.}}}{E} = F(E)$ при $\cos \varphi = 0,3$ (емк.) для счетчика № 815 типа В1.

Fig. 18. Courbes $\frac{\Phi_{\text{tot.}}}{E} = f(E)$ et $\frac{\Phi_{\text{trav.}}}{E} = F(E)$ à $\cos \varphi = 0,3$ (cap.) pour le compteur No 815 du type В1.

находятся, а есть $\alpha = F(I)$, как и должно быть, потому что α есть сдвиг между током и рабочим потоком главной токовой цепи. Вследствие того, что $\alpha = F(I)$ находилось при 120 В в цепи напряжения, и так как по высказанному выше предположению эта зависимость не изменится и при других напряжениях, мы имеем возможность провести прямую, параллельную оси абсцисс (на ней должны быть отложены вольты от 80 до 200 В). В частности, для токов 5, 4, 3 и 2 А угол (Φ, I) будет составлять приблизительно 0° , так как электродвижущая сила, индуктированная рабочим потоком токовой цепи в специальной измерительной катушке при разомкнутой цепи напряжения, имеет сдвиг по отношению к току 90° . На рис. 19 и 20 изображены графики сдвигов между потоками счетчика № 422.

Совершенно, не изменяя существа дела, на этих графиках заштрихована площадка с ординатами, превышающими $\beta - \alpha$ над 90° , т. е. ординаты заштрихованной площадки дают отклонения $\beta - \alpha$ от 90° . Из заштрихованных площадок видно, что приближение сдвига к 90° ($\beta - \alpha = 90^\circ$) довольно хорошо достигается продвижением металлической пластинки. Правда, результаты нельзя считать удовлетворительными, так как цель не достигнута, но это может быть улучшено чисто конструктивно, как-то: увеличением числа пластин, их площади и т. д. Во всяком случае этот метод нужно считать более удачным, чем коротко-замкнутые витки на сердечнике токовой цепи, которые совершенно не допускают плавной регулировки. Наличие одной пластинки, как показывают полученные данные, почти не влияет на величину потока

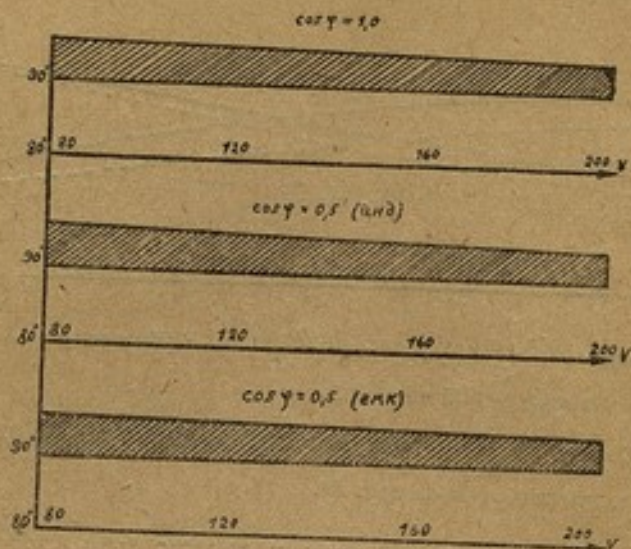


Рис. 19—Fig. 19

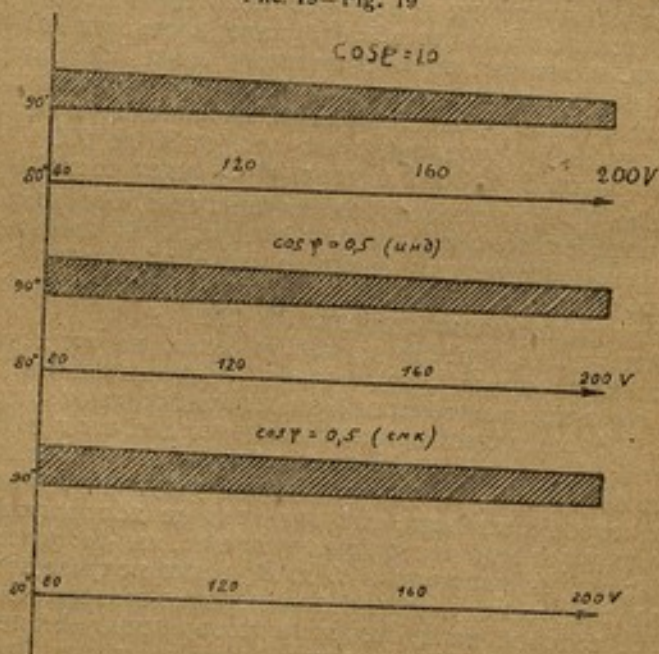


Рис. 20—Fig. 20

Таблица VII - Tableau VII

Данные измерения полноты и рабочего потока токовой цепи счетчика № 422, типа В1, завода «Электронприбор».
Коротко замкнутый виток находится на сердечнике.
Résultats des mesures des flux total et de travail du circuit d'intensité du compteur No. 422, type В1 usine «Electroprilbor»

La spire court-circuit se trouve sur le noyau.

Тензион на зажимах счетчика Tension sur les bornes du compteur	Сила тока в сети Intensité du courant dans le compteur	Напряжение на зажимах токовой катушки Tension sur les bornes de la bobine d'intensité	14	15	16	17	18	19	20
120	15	0,2302	141,5°	0,0955	78°	120,80	172°	0,2465	86,5°
"	10	0,1405	140	0,0632	75	121,13	175,5	0,1618	80,5
"	5	0,0687	140,5	0,0326	66	120,64	179,5	0,0802	84
"	4	0,0548	140	0,0273	60,5	120,46	179,5	0,0643	83
"	3	0,0413	140,5	0,0218	53,5	120,17	179,5	0,0483	81,5
"	2,5	0,0341	140	0,0190	48,5	120,15	180	0,0399	80
"	2	0,0274	140	0,0166	42	120,35	179,5	0,0321	78
"	1,5	0,0204	140	0,0143	33	120,33	178,5	0,0242	75
"	1,0	0,0137	140	0,0137	32	120,12	188,5	0,0176	70
"	0,75	0,0105	140	0,0126	24	120,60	167,5	0,0138	64,5
"	0,50	0,0071	140	0,0126	32	120,09	156,0	0,0114	60

Напряжение счетчика по компенсации
Tension sur les bornes du compteur (potentiomètre)

ЭДС индукт. полным потоком
в измер. катушке
F. é. m. induite par le flux total dans la bobine de mesure

Таблица VII — Tableau VII

Напряжение на образцов. сопротивл. Tension sur la bobine de résistance étalon du circuit de tension		119°		1,5175		0°		E. é. m. induite dans la bobine de mesure par le flux de travail du circuit d'intensité, à circuit de tension ouvert		Рабочий ток при разомкнутой цепи на- пряжения в измерит. катушке		Рабочий ток при разомкнутой цепи на- пряжения; максвеллы		Рабочий ток при разомкнутой цепи на- пряжения; максвеллы		Рабочий ток при разомкнутой цепи на- пряжения; максвеллы	
0,2190	—	119°	—	1,5175	—	0°	—	—	—	—	—	1075	4443	—	—	—	—
0,2198	—	116	—	0,9961	—	0	—	—	—	—	—	713	2915	—	—	—	—
0,2183	—	112	—	0,4078	0,0299	0	90°	—	—	—	—	367	1448	336	336	—	—
0,2178	—	114	—	0,3967	0,0238	0	88	—	—	—	—	307	1158	267	267	—	—
0,2176	—	112	—	0,2993	0,0178	0	89,5	—	—	—	—	246	870	200	200	—	—
0,2175	—	112	—	0,2475	0,0147	0	90	—	—	—	—	213	718	165	165	—	—
0,2187	—	110,5	—	0,1988	0,0118	0	90	—	—	—	—	186	579	132	132	—	—
0,2188	—	110	—	0,1482	0,0087	0	90	—	—	—	—	161	436	97	97	—	—
0,2193	—	123	—	0,0081	0,0058	0	76	—	—	—	—	154	317	65	65	—	—
0,2186	—	119	—	0,0748	0,0043	0	80	—	—	—	—	142	249	49	49	—	—
0,2179	—	136	—	0,0498	0,0029	0	62	—	—	—	—	142	205	33	33	—	—

(Продолжение)

Таблица VIII — Tableau VIII

Там же. Коротко-замкнутый виток снят с сердечника — Le même. La spire court-circuit est enlevée du noyau

Напряжение на зажимах счетчика Tension sur les bornes du compteur	Сила тока в счетчике Intensité du courant dans le compteur	Напряжение на зажимах токовой катушки Tension sur les bornes de la bobine d'intensité	φ_1	φ_2	Напряжение счетчика по компенсации прибора Tension sur les bornes du compteur (potentiomètre)	φ_3	φ_4
120	10	0,1392	+ 138°	- 75°	120,10	+ 176,5°	0,1621
"	5	0,0684	+ 130	- 65	120,65	+ 179,5	0,0807
"	4	0,0546	+ 139	- 61	120,08	+ 179,5	0,0646
"	3	0,0413	+ 139	- 53,5	120,52	- 179,5	0,0487
"	2,5	0,0343	+ 139	- 48	120,34	+ 180	0,0406
"	2	0,0273	+ 140	- 42	120,00	- 179	0,0325
"	1,5	0,0207	+ 140	- 34	120,67	- 178	0,0246
"	1,0	0,0139	+ 140	- 32	120,35	+ 170	0,0180
"	0,75	0,0105	+ 140,5	- 23	120,49	+ 174	0,0140
"	0,5	0,0071	+ 141	-	120,33	+ 158	0,0116

ЭДС индукт. полным потоком
в измерит. катушке
F. é. m. Induite par le flux total dans
la bobine de mesure

ЭДС индукт. рабочим потоком
в измер. катушке
F. é. m. Induite par le flux de travail
dans la bobine de mesure

Таблица VIII — Tableau VIII

Напряжение на образцов. сопротивл. ленин цепи напряжения Tension sur la bobine de résistance étalonée du circuit de tension	115°	110	112	112	111	110	110	122	118	134
Напряжение на образцов. сопротивл. ленин цепи тока Tension sur la bobine de résistance étalonée du circuit d'intensité	0,9942	0,4066	0,3974	0,2094	0,2492	0,1900	0,1495	0,0098	0,0750	0,0500
ЭДС индукт. рабочим током токо- вои цепи при разомкнутой цепи на- пряжения в измерит. катушке F. e. m. induite dans la bobine de mesure par le flux de travail en circuit d'intensité, à circuit de ten- sion ouvert	0,0907	0,0302	0,0240	0,0179	0,0148	0,0118	0,0090	0,0060	0,0045	—
Рабочий ток при разомкнутой цепи напряжения; максвеллы Flux de travail; maxwells	709	368	307	245	215	187	162	153	140	140
Полный ток; максвеллы Flux total; maxwells	2920	1454	1163	877	732	585	444	324	252	209
Рабочий ток при разомкнутой цепи напряжения; максвеллы Flux de travail, à circuit de tension ouvert; maxwells	683	340	270	202	167	133	100	67	50	—

(Продолжение)

(табл. V и VI). Это обстоятельство, как уже выше было указано, является очень ценным, так как цель пластинки заключается в изменении сдвигов потоков, а не их величин. Повидному, потоки, возникающие от вихревых токов, индуктированных в этой пластинке, теоретически сдвинутые по фазе на 90° от потока напряжения, имеют очень незначительную величину; этим только и можно объяснить их ничтожное влияние на величину результирующего потока. Этот факт способствует тому, что манипуляции с пластинкой не нарушают первого требования, указанного в курсе Schmie del'я. «Wirkungsweise und Entwurf der Motor-Elektrizitätszähler». Результаты изложенных выше измерений позволяют сделать некоторые выводы относительно достоинств и недостатков исследованной конструкции. Дело в том, что вращающий момент счетчиков типа V_1 оказался сравнительно низким. Измерения дали момент, равный приблизительно 2,1-2,2 грамм-сантиметра. Такой момент влечет за собой неустойчивость работы подвижной системы при малых нагрузках, уменьшает чувствительность счетчика и т. д. Эти обстоятельства заставили более детально остановиться на вопросе и попытаться найти способы увеличения момента, не изменяя, конечно, количества железа и оставаясь в рамках прежней конструкции.

Рассмотрим систему электромагнитов счетчика типа V_1 (рис. 21). Здесь b и b' — полюса цепи напряжения, a и a' — полюса цепи тока. Из начерченных путей линий магнитного поля видно, что часть потока токовой цепи имеет возможность замыкаться через полюс b' цепи напряжения; эта часть потока не является активной в деле создания вращающего момента. Цифровые данные измерений потоков показывают, что часть потока

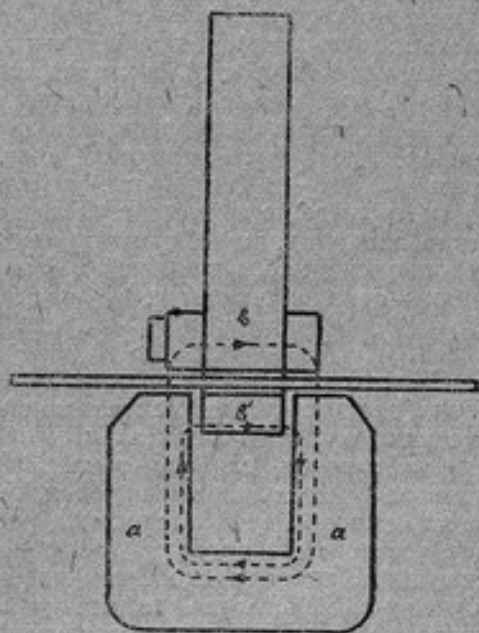


Рис. 21—Fig. 21

токовой цепи, проходящая через диск, составляет примерно от 20 до 22% от полного потока (табл. III и IV).

Совершенно естественно, поэтому, что первым этапом в увеличении вращающего момента должно быть увеличение рабочей части потока токовой цепи при том же полном потоке. Это может быть достигнуто увеличением расстояния между полюсами a и b' . Увеличение момента в этом случае будет продолжаться до тех пор, пока рабочий поток напряжения не станет уменьшаться благодаря увеличивающемуся сопротивлению пути потока через полюс b' . В указанном направлении и производились опыты в лаборатории переменного тока Главной Палаты мер и весов. Именно, ширина полюса уменьшалась с двух сторон от 2 до 3 мм. Увеличение вращающего момента составило примерно 20-23% прежней величины, т.е. вместо 2,15 см-г новый вращающий момент был равен 2,65 см-г. Дальнейшее уменьшение ширины b' влекло уменьшение вращающего момента, что происходило, повидимому, благодаря уменьшению рабочего потока цепи напряжения.

Приведенные выше данные, так же, как и вопрос об увеличении вращающего момента, были предложены для обсуждения в секции электроизмерительных приборов Технического совета Треста заводов слабого тока. В результате обсуждения, по просьбе представителей заводов, было принято решение произвести дальнейшее исследование распределения полей. На этот раз экспериментированию были подвергнуты несколько типов счетчиков, в том числе счетчики типа $C12$ и $C2A$ завода имени Кулакова. Помимо измерения прежних величин для новых счетчиков измерялся еще поток катушки напряжения у ее основания снизу. Это имело целью выяснить рассеяние магнитного поля по длине катушки. Наконец, в виду того, что счетчики завода имени Кулакова имеют некоторые отличия от счетчиков завода "Электроприбор" в магнитопроводе, в частности, бугель, проводящий рабочий поток токовой цепи, оказалось интересным учесть влияние бугеля как проводящей части магнитопровода.

Полученные результаты приведены в таблицах IX—XII. Измерительная катушка полного потока цепи напряжения имела 25 витков, рабочего потока — 20-витков. Обмотка напряжения, нормальное сопротивление и делитель были включены, как и прежде, по схеме рис. 6.

Все счетчики, данные которых приведены выше, имеют пределом применения номинально 5А и 120V. Конструктивное различие счетчиков завода им. Кулакова от счетчиков завода "Электроприбор" заключается лишь в наконечниках полюсов

Таблица IX — Tableau IX

Данные измерений полного и рабочего потоков цепи напряжения счетчика типа С2А.
 Résultats des mesures des flux total et de travail du circuit de tension du compteur, type С2А.

Среднее Moynne	cos φ	Сила тока в счетчике Intensité du courant dans le compteur	Напряжение на зажимах счетчика по компенсат. прибору (потенциометре) Tension sur les bornes du compteur	Напряжение на обмотке, сопротивл. Tension sur la bobine de résistance	ЭДС, индукт. полным потоком в верхней части катушки напряж. F. é. m. induite par le flux total à la par- tie supérieure de la bobine de tension	ЭДС, индукт. полным потоком в нижней части катушки напряж. F. é. m. induite par le flux total à la par- tie inférieure de la bobine de tension	ЭДС, индукт. рабочим потоком в измер. катушке F. é. m. induite par le flux de travail dans la bobine de mesure	Угол — 4°	Полн. поток сверху катушки напряж. Flux total à la partie supérieure de la bobine de tension	Полн. поток внизу катушки напряж. Flux total à la partie inférieure de la bobine de tension	Рабочий поток Flux de travail			
												0,5	4,0	
•	1,0	5	80,37	0	0,1365	73,5°	0,3185	+ 3°	0,3044	0,3032	0,0840	7172	6856	1513
•	•	•	120,10	0	0,2043	75	0,4747	+ 3	0,4549	0,4560	0,1270	10691	10246	2280
•	•	•	161,38	0	0,2795	75,5	0,6349	+ 3	0,6079	0,6095	0,1708	14300	13680	3090
•	•	•	202,74	0	0,3631	75,5	0,7901	+ 3,5	0,7586	0,7622	0,2147	17794	17086	3870
•	0,5	5	80,31	0	0,1352	70,5	0,3108	+ 3,5	0,3032	0,3032	0,0835	7135	6829	1504
•	Сдвиг индукт. Déphasage induct.	•	120,61	0	0,2037	75	0,4700	+ 3,5	0,4560	0,4560	0,1269	10721	10270	2290
•	•	•	161,28	0	0,2787	72	0,6365	+ 3,5	0,6095	0,6095	0,1706	14396	13727	3075
•	•	•	202,53	0	0,3646	72	0,7945	+ 3,5	0,7622	0,7622	0,2147	17894	17167	3860
•	4,0	5	80,80	0	0,1380	73,5	0,3140	+ 3,5	0,3028	0,3028	0,0836	7072	6819	1506
•	•	•	120,55	0	0,2070	73,5	0,4226	+ 3,5	0,4529	0,4529	0,1264	10844	10290	2285
•	•	•	161,73	0	0,2809	74,5	0,6342	+ 3,5	0,6072	0,6072	0,1715	14284	13675	3090
•	•	•	202,84	0	0,3666	75	0,7979	+ 4	0,7636	0,7636	0,2166	17970	17198	3900

Таблица X—Таблеаи X

Данные измерений полного и рабочего потоков цепи напряжения счетчика типа В1 □.

Résultats des mesures dex flux total et de travail du circuit de tension du compteur, type В1 □.

Положение регулировочной пластинки (коротко-замкнутый вилоч). Position de la plaque régulatrice du déphasage	cos φ	ЭЦС, индукт. полным потоком в верхней части катушки напряжен. F. e. m. induite par le flux total à la par- tie supérieure de la bobine de tension										ЭЦС, индукт. полным потоком в нижней части катушки напряжен. F. e. m. induite par le flux total à la par- tie inférieure de la bobine de tension										ЭЦС, индукт. рабочим потоком в измерит. катушке F. e. m. induite par le flux de travail dans la bobine de mesure										Полн. поток сверху катушки напряж Flux total à la partie supérieure de la bobine de tension										Полн. поток снизу катушки напряж Flux total à la partie inférieure de la bobine de tension										Рабочий поток Flux de travail									
		Сила тока в счетнике Intensité du courant dans le compteur	Напряжение на зажимах счетчика по коммутат. прибору Tension sur les bornes du compteur (потенциометре)	Напряжение на образцов. сопротивл. цели напряжения Tension sur la bobine de résistance étalonée dans le circuit de tension	φ ₁	φ ₂	φ ₃	φ ₄	φ ₅	φ ₆	φ ₇	φ ₈	φ ₉	φ ₁₀	φ ₁₁	φ ₁₂	φ ₁₃	φ ₁₄	φ ₁₅	φ ₁₆	φ ₁₇	φ ₁₈	φ ₁₉	φ ₂₀	φ ₂₁	φ ₂₂	φ ₂₃	φ ₂₄	φ ₂₅	φ ₂₆	φ ₂₇	φ ₂₈	φ ₂₉	φ ₃₀																											
Среднее Moyenne	1.0	80,45	0°	0,1359	- 65,5°	0,2600	+ 4,5°	0,2417	+ 3,5	0,1241	- 6,5°	5856	5444	2236	5	80,45	0°	0,1359	- 65,5°	0,2600	+ 4,5°	0,2417	+ 3,5	0,1241	- 6,5°	5856	5444	2236	5	80,45	0°	0,1359	- 65,5°	0,2600	+ 4,5°	0,2417	+ 3,5	0,1241	- 6,5°	5856	5444	2236																			
°	°	120,4	0	0,2112	- 67	0,3884	+ 4,5	0,3659	+ 4	0,1889	- 5,5	8748	8240	3403	°	120,4	0	0,2112	- 67	0,3884	+ 4,5	0,3659	+ 4	0,1889	- 5,5	8748	8240	3403	°	120,4	0	0,2112	- 67	0,3884	+ 4,5	0,3659	+ 4	0,1889	- 5,5	8748	8240	3403																			
°	°	161,38	0	0,3010	- 68	0,5170	+ 5	0,4889	+ 4	0,2551	- 5,5	11644	11014	4596	°	161,38	0	0,3010	- 68	0,5170	+ 5	0,4889	+ 4	0,2551	- 5,5	11644	11014	4596	°	161,38	0	0,3010	- 68	0,5170	+ 5	0,4889	+ 4	0,2551	- 5,5	11644	11014	4596																			
°	°	202,74	0	0,4060	- 68,5	0,6450	+ 6	0,6090	+ 5	0,3239	- 6,5	14527	13700	5636	°	202,74	0	0,4060	- 68,5	0,6450	+ 6	0,6090	+ 5	0,3239	- 6,5	14527	13700	5636	°	202,74	0	0,4060	- 68,5	0,6450	+ 6	0,6090	+ 5	0,3239	- 6,5	14527	13700	5636																			
Среднее Moyenne	0,5	80,31	0	0,1363	- 64,5	0,2391	+ 4,5	0,2435	+ 4	0,1242	- 7	5836	5484	2237	Среднее Moyenne	80,31	0	0,1363	- 64,5	0,2391	+ 4,5	0,2435	+ 4	0,1242	- 7	5836	5484	2237	°	80,31	0	0,1363	- 64,5	0,2391	+ 4,5	0,2435	+ 4	0,1242	- 7	5836	5484	2237																			
°	Сдвиг индукт. Déphasage induct.	120,61	0	0,2132	- 64,5	0,3885	+ 5	0,3663	+ 4	0,1869	- 7	8750	8250	3403	°	120,61	0	0,2132	- 64,5	0,3885	+ 5	0,3663	+ 4	0,1869	- 7	8750	8250	3403	°	120,61	0	0,2132	- 64,5	0,3885	+ 5	0,3663	+ 4	0,1869	- 7	8750	8250	3403																			
°	°	161,28	0	0,3016	- 65,5	0,5194	+ 5	0,4889	+ 4,5	0,2346	- 7	11698	11010	4587	°	161,28	0	0,3016	- 65,5	0,5194	+ 5	0,4889	+ 4,5	0,2346	- 7	11698	11010	4587	°	161,28	0	0,3016	- 65,5	0,5194	+ 5	0,4889	+ 4,5	0,2346	- 7	11698	11010	4587																			
°	°	202,53	0	0,4061	- 66	0,6495	+ 5,5	0,6112	+ 5	0,3233	- 6	14626	13768	5625	°	202,53	0	0,4061	- 66	0,6495	+ 5,5	0,6112	+ 5	0,3233	- 6	14626	13768	5625	°	202,53	0	0,4061	- 66	0,6495	+ 5,5	0,6112	+ 5	0,3233	- 6	14626	13768	5625																			

Таблица XI—Tableau XI

Данные измерений полного и рабочего потоков цепи напряжения счетчика типа В1.
 Résultats des mesures des flux total et de travail du circuit de tension du compteur, type В1.

Положение регуляторной пластинки (коротко-замкнутый венток). Position de la plaque régulatrice du déphasage		cos φ	Сила тока в счетчике	Интенсité du courant dans le compteur	Напряжение на зажимах счетчика по компоненту, прибору (потенциометре)	Tension sur les bornes du compteur	Напряжение на образцов. сопротивл. цепи напряжения	Tension sur la bobine de résistance étalonée dans le circuit de tension	φ ₂	φ ₁	φ ₃	φ ₄	φ ₅	φ ₆	Лин. поток сверху катушки напряж. Flux total à la partie supérieure de la bobine de tension	Лин. поток снизу катушки напряж. Flux total à la partie inférieure de la bobine de tension	Рабочий поток Flux de travail
Среднее Moyenne	1,0	•	5	•	77,87	0	0,1035	- 70°	-	0,2500	+ 5°	0,1275	- 7,5°	5620	-	2285	
•	•	•	•	•	120,76	0	0,2627	- 70°	-	0,3852	+ 5°	0,1980	- 7°	8670	-	3570	
•	•	•	•	•	161,29	0	0,2660	- 71°	-	0,5136	+ 5,5°	0,2660	- 6,5°	11550	-	4790	

Таблица XII — Tableau XII

Данные измерений полного и рабочего потоков цели напряжения счетчика типа С12.
 Résultats des mesures des flux total et de travail du circuit de tension du compteur, type С12.

Положение регулирующих пластин: (коротко-замкнутый виток). Position de la plaque régulatrice du déphasage	cos φ	Сила тока в счетчике Intensité du courant dans le compteur	Напряжение на зажимах счетчика по коммутационной прибору Tension sur les bornes du compteur (потенциометре)	Напряжения на образцов. сопротивл. и на напряжениях Tension sur la bobine de résistance étalonée dans le circuit de tension	φ ₂	ЭДС, индуцир. полным потоком в верхней части катушки напряж. F. é. m. induite par le flux total à la par- tie supérieure de la bobine de tension	φ ₃	ЭДС, индуцир. полным потоком в нижней части катушки напряж. F. é. m. induite par le flux total à la par- tie inférieure de la bobine de tension	φ ₄	ЭДС, индуцир. катушке в измерит. катушке F. é. m. induite par le flux de travail dans la bobine de mesure	φ ₅	Полн. поток верху катушки напряж. Flux total à la partie supérieure de la bobine de tension	Полн. поток низу катушки напряж. Flux total à la partie inférieure de la bobine de tension	Рабочий поток Flux de travail
Среднее Moyenne	1,0	5	77,87	0,0783	- 70°	0,2190	+ 3,5°	0,2190	+ 3,5°	0,0500	- 5°	4930	4600	900
*	*	*	120,76	0,1170	- 71,5	0,3390	+ 4	0,3227	+ 3,5	0,0766	- 7,5	7640	7270	1380
*	*	*	161,29	0,1550	- 73	0,4509	+ 3,5	0,4328	+ 3,5	0,1027	- 8,5	10110	9900	1847
Внутри En dedans	1,0	5	120,92	0,1168	- 71,5	0,3381	+ 4	0,3227	+ 3,5	0,0765	- 7	7620	7270	1380

токовой цепи и в ширине противоположуса напряжения (рис. 22). Сравнение данных полных и рабочих потоков цепей напряжения показывает, что полному потоку в счетчике типа *C2A* в 1,23 раза большему, чем в счетчике типа *B1* соответствует рабочий поток в 1,57 раза меньший. В процентном отношении рабочих потоков к полным имеем следующие данные при 120 V:

<i>C2A</i>	<i>C12</i>	<i>B1</i>	<i>B1</i> □
21,4	18,1	41,4	39

Эти соотношения показывают чрезвычайно низкую эффективность потока цепи напряжения в создании вращающего момента в счетчиках типов *C2A* и *C12*. Объяснение этому легко найти, если обратиться к рис. 22.* В нем противоположус гораздо уже, чем на рис. 21 (на 7 мм). Это обстоятельство создает гораздо большее сопротивление потоку напряжения, чем в счетчике типа *B1*, благодаря чему большое его количество должно шунтироваться.

Чтобы иметь возможность произвести более полные сравнения вышеуказанных типов, рассмотрим данные измерений потоков токовых цепей, приведенные в таблицах XIII—XVII и графики рис. 23—25. Измерительные катушки полного и рабочего потоков имели по 20 витков; образцовое сопротивление токовой цепи было равно 0,1 ома.

Измерения как полного, так и рабочего потоков производились при включенном и выключенном напряжении. Это давало возможность измерить поток токовой цепи без добавления части потока напряжения. Следует заметить, что в таблицах VII и VIII для счетчиков типа *C2A* и *C12* разница для потоков, и в частности для рабочего, получается не столь большая, если рассматривать режимы при включенном и выключенном напряжении.

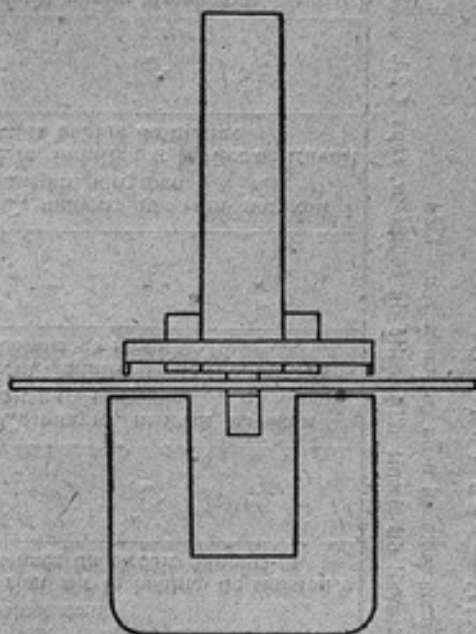


Рис. 22—Fig. 22

Таблица XIII—Tableau XIII

Данные измерений полного и рабочего потоков токовой цепи счетчика типа С2А.
 Résultats des mesures des flux total et de travail du circuit d'intensité du compteur, type С2А.

Сила тока в счетчике по амперметру (ampère-mètre)	Напряжение на клеммах счетчика по компенсационному прибору (потенциометру)	Тензион на клеммах счетчика напряжение на зажимах токовой катушки	Тензион sur les bornes de la bobine d'intensité	Напряжение на образцовом сопротивлении токовой цепи	Тензион sur la bobine de résistance étalonée du circuit d'intensité	ψ_3	ψ_4	ψ_5	ЭДС, индуцированная в катушке в момент измерения рабочего потока в мВ, индуцированная в катушке в момент измерения полного потока	ЭДС, индуцированная в катушке в момент измерения рабочего потока в мВ, индуцированная в катушке в момент измерения полного потока	ψ_6	Полный поток, максвеллы Flux total; maxwells	Рабочий поток, максвеллы Flux de travail; maxwells
5,1	120,86	0,0754	+ 49,5 ⁰	0,5089	+ 10 ⁰	0,0543	—	—	0,0298	0,0298	—	1222	671
3,7	121,17	0,0543	+ 48	0,3670	+ 9	0,0396	—	—	0,0211	0,0211	—	891	475
3,0	120,75	0,0443	+ 49,5	0,2991	+ 10,5	0,0315	—	—	0,0168	0,0168	—	708	378
2,5	120,40	0,0360	+ 48,5	0,2485	+ 11	0,0271	—	—	0,0140	0,0140	—	610	315
2,0	120,68	0,0303	+ 49	0,2029	+ 12	0,0230	—	—	0,0113	0,0113	—	518	254
1,5	120,72	0,0229	+ 47,5	0,1508	+ 13,5	0,0196	—	—	0,0084	0,0084	—	441	189
1,0	120,14	0,0166	+ 40	0,1076	+ 6	0,0197	—	—	0,0055	0,0055	—	443	123
0,5	120,89	0,0086	+ 38,5	0,0500	+ 12	0,0190	—	—	0,0029	0,0029	—	427	65

Таблица XIII — Tableau XIII

(Продолжение)

Сила тока в счетчике по амперметру (ampèremètre)	Напряжение на зажимах счетчика по коммутационному прибору Tension sur les bornes du compteur (potentiomètre)	ϕ_1	Напряжение на зажимах токовой катушки Tension sur les bornes de la bobine d'intensité	ϕ_2	Напряжение на образцов. сопротивл. токовой цепи Tension sur la bobine de résistance étalonée du circuit d'intensité	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	Рабочий поток, максвеллы Flux de travail; maxwells	Полный поток, максвеллы Flux total; maxwells	
1,0	120,64	0°	0,0166	+ 27°	0,1030	—	—	—	0,0057	524	128
10	120,73	0	0,1508	+ 46	1,0100	+	—	—	0,0583	2550	1313
3,7	0	0	0,0527	+ 49,5	0,3665	+	—	—	0,0206	954	463
3	0	0	0,0423	+ 51,5	0,2981	+	—	—	0,0164	761	369
2,5	0	0	0,0351	+ 52,5	0,2488	+	—	—	0,0133	628	299
2,0	0	0	0,0288	+ 53	0,2005	+	—	—	0,0110	511	247
1,5	0	0	0,0210	+ 54	0,1510	+	—	—	0,0076	369	171
1,1	0	0	0,0144	+ 46	0,1078	+	—	—	0,0048	245	108
0,5	0	0	0,0068	+ 53	0,0502	+	—	—	0,0023	112	51
1,0	0	0	0,0141	+ 32	0,1020	—	—	—	0,0050	243	112
10,0	0	0	0,1471	+ 47	0,001	+	—	—	0,0580	2670	1306

Таблица XIV — Tableau XIV

Данные измерений полного и рабочего потоков токовой цепи счетчика типа В1 □.
 Résultats des mesures des flux total et de travail du circuit d'intensité du compteur, type В1 □.

Сила тока в счетчике по амперметру (intensité du courant dans le compteur (ampèremètre))	Напряжение на зажимах счетчика по компенсан. прибору (Tension sur les bornes du compteur (potentiomètre))	ϕ_1	Напряжение на зажимах токовой катушки (Tension sur les bornes de la bobine d'intensité)	ϕ_2	Напряжение на образцов. сопротивл. токовой цепи (Tension sur la bobine de résistance étalonée du circuit d'intensité)	ϕ_3	<i>а/с.</i> индукт. полным потоком в измерит. катушке F. é. m. induite par le flux total dans la bobine de mesure	ϕ_4	<i>а/с.</i> индукт. рабочим потоком в измерит. катушке F. é. m. induite par le flux de travail dans la bobine de mesure	ϕ_5	Полный поток; максвеллы Flux total; maxwells	Рабочий поток; максвеллы Flux de travail; maxwells
3,7	121,17	0°	0,0535	+ 48*	0,3670	+ 9°	0,0598	— 68°	0,0348	— 25,5°	1346	1045
3	120,75	0	0,0435	+ 49,5	0,2991	+ 10,5	0,0515	— 63	0,0338	— 22,5	1159	1019
2,5	120,40	0	0,0359	+ 48,5	0,2485	+ 11	0,0453	— 60	0,0332	— 21	1020	996
2,0	120,68	0	0,0303	+ 49	0,2029	+ 12	0,0400	— 55	0,0330	— 18,5	900	990
1,5	120,72	0	0,0229	+ 47,5	0,1508	+ 13,5	0,0346	— 48	0,0328	— 16,5	779	984
1,1	120,14	0	0,0166	+ 40,0	0,1076	+ 6	0,0280	— 44,5	0,0314	— 14	630	942
0,5	120,89	0	0,0086	+ 38,5	0,0500	+ 12	0,0244	— 29	0,0311	— 12	550	963
1,0	120,64	0	0,0166	+ 27,0	0,1030	— 8,5	0,0252	— 48	0,0313	— 14	567	939

Таблица XIV — Tableau XIV

(Продолжение)

Сила тока в счетчике по амперметру (ampèremètre)	Напряжение на зажимах счетчика по коммутат. прибору Tension sur les bornes du compteur (potentiomètre)	ϕ_1	Напряжение на зажимах токовой катушки Tension sur les bornes de la bobine d'intensité	ϕ_2	Напряжение на образцов. сопротивл. токовой цепи Tension sur la bobine de résistance étalonée du circuit d'intensité	ϕ_3	<i>в.с.</i> , индукт. полным потоком в измерит. катушке F. c. m. induite par le flux total dans la bobine de mesure	ϕ_4	<i>в.с.</i> , индукт. рабочим потоком в измерит. катушке F. c. m. induite par le flux de travail dans la bobine de mesure	ϕ_5	Полный поток, максвеллы Flux total; maxwells	Рабочий поток, максвеллы Flux de travail; maxwells
10,0	120,73	0°	0,1508	+ 40°	1,0000	+ 8°	0,1425	—	0,0447	—	3209	1342
5	120,86	0	0,0755	— 49,5	0,5099	— 10	0,0789	+ 108	0,0366	—	1777	1090
10	0	0	0,1531	— 46,5	1,0010	— 8	0,1324	— 91	0,0276	—	2082	828
3,7	0	0	0,0546	— 50	0,3665	— 9,5	0,0485	— 89,5	0,0097	—	1092	291
3	0	0	0,0436	— 51,5	0,2981	— 10,5	0,0389	— 87,5	0,0078	—	876	234
2,5	0	0	0,0357	— 52	0,2488	— 11	0,0324	— 87	0,0062	—	729	186
2,0	0	0	0,0297	— 53	0,2005	— 12,5	0,0263	— 85	0,0052	—	592	156
1,5	0	0	0,0219	— 54	0,1510	— 13,5	0,0192	— 83	0,0037	—	432	111
1,1	0	0	0,0155	— 46	0,1078	— 6	0,0129	— 91	0,0019	—	290	57
0,5	0	0	0,0070	— 52,5	0,0502	— 12	0,0060	— 84	0,0010	—	135	30
1,0	0	0	0,0148	— 32	0,1023	— 8,5	0,0123	— 107	0,0024	—	277	—

Таблица XV — Tableau XV

Данные измерений полного и рабочего потоков токовой цепи счетчика типа C12.
 Résultats des mesures des flux total et de travail du compteur, type C12

Сила тока в счетчике по амперметру (ampèremètre)	Интенсивность тока в счетчике по коммутационному прибору (potentiomètre)	ϕ_1	Напряжение на зажимах токовой катушки Tension sur les bornes de la bobine d'intensité	ϕ_2	Напряжение на образцовом сопротивлении Tension sur la bobine de résistance токовой цепи	ϕ_3	ЭДС, индуцированная в катушке в момент измерения F. é. m. induite par le flux total dans la bobine de mesure	ϕ_4	ЭДС, индуцированная в катушке в момент измерения F. é. m. induite par le flux de travail dans la bobine de mesure	ϕ_5	Полный поток, максвеллы Flux total, maxwells	Рабочий поток, максвеллы Flux de travail, maxwells
5	120,70	0°	0,1599	37,5°	0,5039	11,5°	0,0718	78°	0,0318	80,5°	1617	715
4	120,55	0	0,1285	37,0	0,3995	11	0,0571	76	0,0248	78,5	1286	538
3	121,09	0	0,0942	37,5	0,3008	11	0,0448	72	0,0192	73	1000	432
2	120,29	0	0,0612	39	0,1991	15,5	0,0324	65	0,0136	63,5	720	306
1	121,04	0	0,0328	44	0,1078	16,5	0,0220	53	0,0090	46,5	395	202
5	0	0°	0,1599	37,5	0,5039	11,5	0,0631	86,5	0,0303	91,0	1421	682
4	0	0	0,1285	37	0,3995	11	0,0510	86	0,0238	91	1148	536
3	0	0	0,0942	37,5	0,3008	11	0,0377	86	0,0175	90	849	394
2	0	0	0,0612	39	0,1991	14,5	0,0244	83	0,0113	88	549	254
1	0	0	0,0328	44	0,1078	16,5	0,0130	79	0,0059	84	292	132

Таблица XVI—Tableau XVI

Данные измерения полного потока токовой цепи счетчика типа В 1.

Résultats des mesures du flux total du circuit d'intensité du compteur, type B 1.

Сила тока в счетчике по амперметру (intensité du courant dans le compteur (ampèremètre))	Напряжение на зажимах счетчика по компенсат. прибору (Tension sur les bornes du compteur (potentiomètre))	ϕ_1	Напряжение на зажимах токовой катушки (Tension sur les bornes de la bobine d'intensité)	ϕ_2	Напряжение на образцов. сопротив- лении токовой цепи (Tens. en sur la bobine de résistance étalonée du circuit d'intensité)	ϕ_3	ЭДС, индукт. полным потоком и измерит. катушке (F. é. m. induite par le flux total dans la bobine de mesure)	ϕ_4	Полный поток; максвеллы (Flux total; maxwells)
5	120,70	0°	0,0700	52,5°	0,5039	11,5°	0,0690	- 77°	1554
4	120,55	0	0,0560	52	0,3995	11	0,0550	- 75	1238
3	121,09	0	0,0417	53	0,3008	11	0,0420	- 71	945
2	121,29	0	0,0274	57	0,1991	14,5	0,0295	- 62,5	664
1	121,04	0	0,0143	63	0,1078	16,5	0,0187	- 47,5	421

Таблица XVII — Tableau XVII

Данные измерения рабочего потока токовой цепи счетчика типа В1.
 Résultats des mesures du flux de travail du circuit d'intensité du compteur, type В1.

Сила тока в счетнике по амперметру (ampèremètre)	Напряжение на зажимах счетника по вольтметру (voltmètre)	ϕ_1	Напряжение на образцовом сопротивлении токовой цепи Tension sur la bobine de résistance étalonée du circuit d'intensité	ϕ_2	ЭДС, индукт. рабочим потоком в измерит. катушке P. é. m. induite par le flux de travail dans la bobine de mesure	ϕ_3	Рабочий поток; максвеллы Flux de travail; maxwells
4	120	0°	0,3662	8,5°	0,0321	—	1445
•	120	0	•	•	0,0308	—	1387
•	0	0	•	•	0,0069	—	310
3	120	0	0,3017	11°	0,0320	—	1441
•	120	0	•	•	0,0308	—	1387
•	0	0	•	•	—	—	202

Таблица XVII — Tableau XVII (Продолжение)

Сила тока в счетчике по амперметру (ampèremètre)	Напряжение на зажимах счетчика по вольтметру Tension sur les bornes du compteur (voltmètre)	δ_1	Напряжение на образцовом сопротивлении токовой цепи Tension sur la bobine de résistance étalonée du circuit d'intensité	δ_2	д.с. индукт. рабочим потоком в измерит. катушке F. c. m. induite par le flux de travail dans la bobine de mesure	δ_3	Рабочий поток; максвеллы Flux de travail; maxwells
5	120	0°	0,4053	9°	0,0330	—	1486 *
»	— 120	0	»	»	0,0307	—	1382 *
»	0	0	»	»	0,0083	—	376 *
4	120	0	0,3966	8	0,0313	—	1409 *
»	— 120	0	»	»	0,0308	—	1387 *
»	0	0	»	»	0,0066	—	297 *
3	120	0	0,3010	10	0,0310	—	1396 *
»	— 120	0	»	»	0,0297	—	1397 *
»	0	0	»	»	0,0052	—	234 *

*) Отмеченные звездочкой наблюдения производились при снятом коротко - замкнутом витке.
Les observations annotées par astérisque ont été effectuées avec la spire court-circuit enlevée.

Так, для счетчика типа *C12* при 5A полный поток при включенном напряжении равен 715 maxwells, а при выключенном напряжении соответственно 682 maxwells, разница, следовательно, составляет 4,6%. Совсем иная картина получается при рассмотрении потока токовой цепи в счетчиках типа *B1* и *B1*□. Так, например, счетчик *B1*□ при 3,7A дает при выключенном напря-

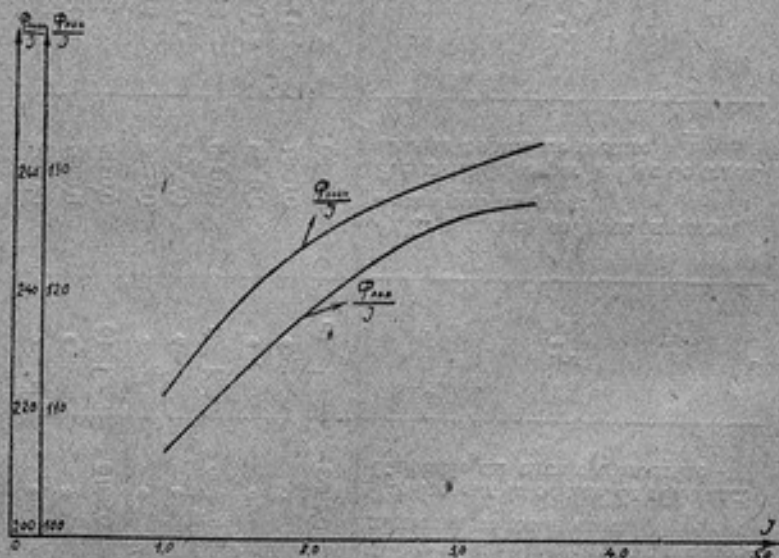


Рис. 23. Кривые $\frac{\Phi_{\text{полн.}}}{I} = f(I)$ и $\frac{\Phi_{\text{раб.}}}{I} = F(I)$ для счетчика типа *C2A*

Fig. 23. Courbes $\frac{\Phi_{\text{tot.}}}{I} = f(I)$ et $\frac{\Phi_{\text{trav.}}}{I} = F(I)$ pour le compteur du type *C2A*

жении величину потока токовой цепи, составляющую лишь 25% от потока, измеренного при включенном напряжении. Такая большая разница в измеренных величинах рабочих потоков счетчиков *B1* и *B1*□ свидетельствует о том, что в них через магниту токовой цепи приходит большое число линий потока напряжения. Такое же явление, хотя и в меньшей степени, мы имеем в счетчиках *C2A* и *C12*. Незначительная же разница в данных таблицах XIII и XV получилась потому, что самый метод измерения рабочих потоков исключал возможность учета попадающего туда потока напряжения. Рассмотрим для этого полюса электромагнитов с наложенными на них измерительными катуш-

ками (рис. 26 и 27). В первом случае поток напряжения, в виду симметричного расположения относительно этого потока полюсов токового электромагнита, в одинаковой степени пересекает как одну, так и другую катушку $a' - a$ (рис. 26). Индуцированные электродвижущие силы в этих катушках направлены в разные стороны, так как витки намотаны в противоположных

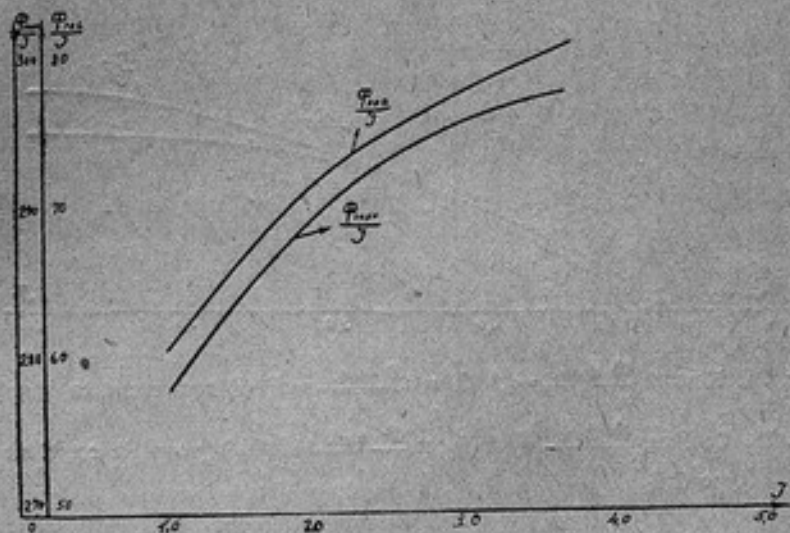


Рис. 24. Кривые $\frac{\Phi_{\text{полн.}}}{I} = f(I)$ и $\frac{\Phi_{\text{раб.}}}{I} = F(I)$ для счетчика типа B1□

Fig. 24. Courbes $\frac{\Phi_{\text{tot.}}}{I} = f(I)$ et $\frac{\Phi_{\text{trav.}}}{I} = F(I)$ pour le compteur du type B1□

направлениях. Разница, следовательно, в измеряемых потоках получается лишь вследствие неполной симметричности расположения катушек. Именно так располагались катушки при измерении потоков в счетчиках типов C2A и C72. Во втором же случае (рис. 10) в виду наличия одной только катушки, электродвижущая сила, индуцированная потоком напряжения, суммируется геометрически с электродвижущей силой, индуцированной токовым потоком, и в очень сильной степени искажает результат измерения. Таблица XVII дает результаты измерений потока с одной измерительной катушкой при включенном и выключенном напряжении и при включенном напряжении дважды в противоположных направлениях. Конечно, хотя и с известным приближением, зависящим от степени точности геометрических

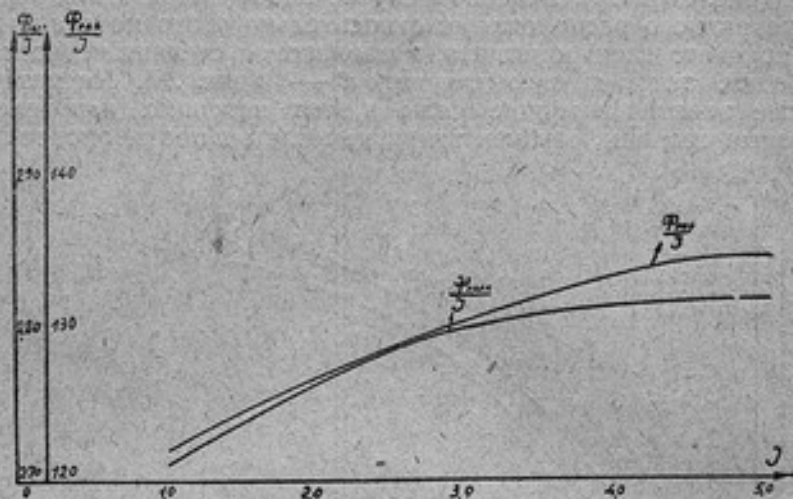


Рис. 25. Кривые $\frac{\Phi_{\text{полн.}}}{I} = f(I)$ и $\frac{\Phi_{\text{раб.}}}{I} = F(I)$ для счетчика типа C12

Fig. 25. Courbes $\frac{\Phi_{\text{tot.}}}{I} = f(I)$ et $\frac{\Phi_{\text{trav.}}}{I} = F(I)$ pour le compteur du type C12

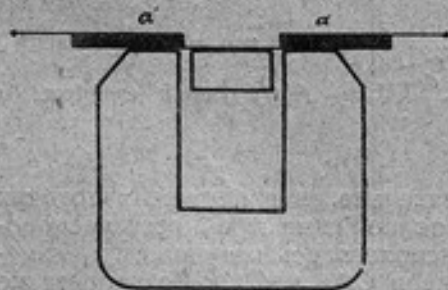


Рис. 26—Fig. 26

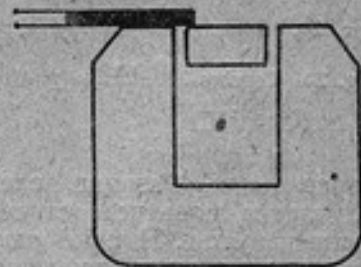


Рис. 27—Fig. 27

построений, можно определить величину и фазу рабочего потока токовой цепи из данных векторов при включенном дважды в противоположных направлениях напряжении. Искомый вектор получится, как половина диагонали параллелограмма, построенного на двух вышеупомянутых векторах. Действительно пусть \vec{a} —рабочий поток токовой цепи, \vec{b} —попадающий в измеритель-

ную катушку поток цепи напряжения (рис. 28). Очевидно, в одном случае мы измерим вектор \vec{z} , а в другом — \vec{z}' . Построив параллелограмм, получим искомый вектор как полусумму двух измеренных.

Обращаясь к указанным ниже величинам рабочих потоков, полученных в результате опытов и выраженных в процентах от полных, следует заметить высокое процентное отношение рабочего потока токовой цепи счетчиках типов С2А и С12 и низкое в счетчиках типов В1 и В1□.

С2А	С12	В1	В1□
48,5	48	24,5	26,5

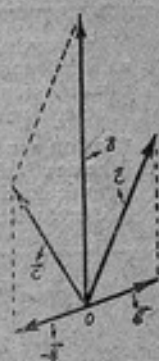


Рис. 28—Fig. 28.

Сравнивая эти данные с данными для потоков напряжения, приведенных на стр. 179, видим, что оба завода—им. т. Кулакова и „Электроприбор“—пошли разными путями к достижению определенного вращающего момента. Широкий противополож в счетчиках типа В1 дает возможность большего использования потока напряжения, шунтируя в то же время большую часть потока токовой цепи. Этим и должен объясняться чрезвычайно низкий процент рабочего потока токовой цепи. Правда, последующие выпуски счетчиков типа В1 дали больший момент, чем первые, но это объясняется предельным уменьшением между-железного пространства. Измерение вращающего момента с уменьшенным междужелезным пространством дало величину, равную 3,5 грамм-сантиметра. Что касается потоков, то при незначительном количественном изменении процентное соотношение почти не изменилось. Другое мы видим в счетчиках типов С12 и С2А. Из рис. 22 видно, что противополож сделан в них гораздо уже, чем в счетчиках типа В1 и на сердечник напряжения насажен бугель. Узкий противополож уменьшает рабочий поток напряжения, что видно из полученных данных. С другой стороны, увеличение расстояния между противоположом и полюсами токовой цепи увеличивают процент рабочего потока этой цепи по отношению к общему. Наконец, для уменьшения сопротивления пути рабочего потока насажен бугель, замыкающий этот поток после прохождения через диск. В таблице XVIII даны результаты измерений потока, замыкающегося через бугель.

Из вышеприведенных данных видно, что бугель играет очень большую роль в уменьшении сопротивления пути рабочего потока токовой цепи. Замыкающаяся через него часть рабочего

Таблица XVIII—Tableau XVIII

Напряжение на образцовом сопротивлении цепи тока Tension sur la bobine de résistance étalonée du circuit d'intensité	φ_1	ЭДС, индуцированная потоком бугеля F. é. m. induite par le flux de l'étrier	φ_2	Поток бугеля Flux de l'étrier
1,0009	8°	0,0358	75°	806
0,5018	8	0,0175	88	394
0,4000	12	0,0145	88,5	326
0,2982	13,5	0,0108	93,5	243
0,2483	4	0,0097	76,5	218
0,2006	7,5	0,0086	87,5	193

потока составляет 58%, т. е. больше половины всего рабочего потока. Таким образом и бугель и увеличение промежутков между противоположностью и полюсами электромагнитов токовой цепи способствует очень высокой эффективности токового потока. Вращающий момент, измеренный в счетчиках *C2A* и *C12* равен соответственно 4 и 3,5 грамм-сантиметра. Если первая цифра является удовлетворительной, то вторую желательно иметь большей. Вполне естественно поэтому попытаться найти такие небольшие изменения в магнитопроводах, которые позволили бы совместить как достоинства счетчиков *B1* в смысле большой эффективности потока напряжения, так и достоинства счетчиков *C2A* и *C12* в смысле большой эффективности потока токовой цепи.

Рассмотрим в связи с этим данные, предложенные японским ученым *Jit bo*. Из этих данных следует, что вращающий момент системы индукционного счетчика, состоящей из трех полюсов, выражается следующей формулой:

$$D = \frac{2\sigma c f}{g} \Phi_I \Phi_E \sin(\psi_I - \psi_E) G d$$

В этом выражении входящие символы имеют следующие значения: *D*—вращающий момент; σ —проводимость диска; *c*—толщина диска; *f*—частота переменного тока; *g*—ускорение силы

тяжести; Φ_I и Φ_E — потоки; $\psi_I - \psi_E$ — угол сдвига между потоками и G_d — геометрическая постоянная. Все величины взяты в абсолютной системе единиц. Что касается G_d , то последняя, называемая геометрической постоянной, зависит как от размеров магнитопровода, так и от относительного расположения его частей. При расчете счетчика геометрическая постоянная должна быть выбрана по возможности большой. Чрезвычайно важен поэтому выбор величин площадей полюсных наконечников и их взаимного расположения.

Для рассматриваемого случая трех полюсов или, что то же, трех следов потоков геометрическая постоянная выражается следующим образом:

$$G_d = 1 - K_x - K_i$$

$$\text{здесь } k_x = \frac{1}{\pi} \left\{ \sin 2\theta_b \left(1 + \frac{x^2}{2} \right) - 2\theta_b (x^2 - 1) \right\} \text{ при } x < 2,$$

$$k_x = 0 \text{ при } x > 2,$$

$$x = \frac{b}{a}, \quad k_i = \frac{\xi^2}{(1 + \eta)^2 + \zeta^2 \eta^2}; \quad \xi = \frac{b}{R}; \quad \zeta = \frac{a}{R}, \quad \eta = \frac{d}{R}$$

Здесь: b — расстояние между центрами потоков; a — радиус следа потока; d — расстояние от центра диска до центра среднего следа потока и R — радиус диска. Полученные Jimbo кривые, рис. 29, показывают зависимость $G_d = F(\xi)$ при $\eta = 0.6$

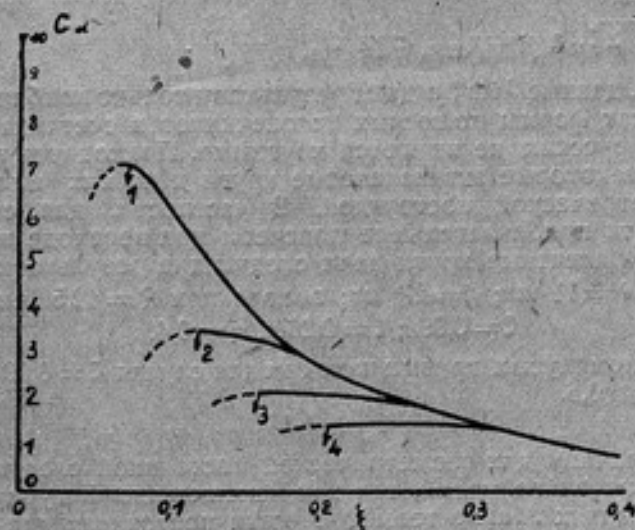


Рис. 29—Fig. 29

и $\zeta = 0,05; 0,10; 0,15; 0,20$, а кривые рис. 30 дают $G_d = F(\eta)$ для различных ζ от 0,10 до 0,20 при $\xi = \sqrt{2\zeta}$.

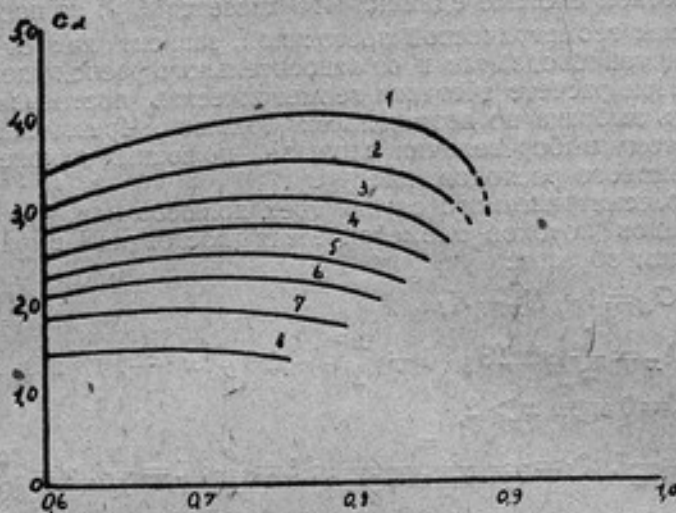


Рис. 30—Fig. 30

Из кривых следует, что G_d имеет максимальное значение при $\eta = \eta_m = 0,9 + 1,4\zeta$. Таким образом G_d имеет максимум при $\xi = \sqrt{2\zeta}$, а $\eta = \eta_{\max}$ при $G_d = \frac{0,38}{\zeta}$.

Правда, данные Jimbo дают результаты только приближительные, так как формы полюсных наконечников в счетчиках, в том числе и в русских, не являются круглыми. Приходится поэтому находить некоторые эквивалентные круги и из них выражение для геометрической постоянной. В частности, для счетчика типа B7 эти приближительные подсчеты при переходе на некоторые эквивалентные круги дали следующие результаты:

$a = 4$ мм; $b = 11$ мм; $d = 27$ мм; отсюда при $R = 42,5$ мм имеем $\zeta = 0,094$; $\xi = 0,26$ и $\eta = 0,4$.

Из вышеупомянутых кривых находим для случая $\zeta = 0,094 \approx 0,10$ и $\eta = 0,64 \approx 0,6$

$$G_d \approx 1,85$$

Эту величину для геометрической постоянной следует признать сравнительно малой, так как максимально фигурирующая в исследованиях Jimbo геометрическая постоянная для многих типов счетчиков превышает число семь.

В виду полной налаженности производства советских счетчиков трудно предпринимать какие-либо шаги к увеличению геометрической постоянной. Тем не менее при разработке новых конструкций следует иметь в виду этот очень ценный метод подсчета вращающего момента путем определения геометрической постоянной.

Применительно же к существующим русским конструкциям желательно рекомендовать на основании полученных данных следующее:

1) Делать скос на внутренней, а не на внешней стороне электромагнитов токовой цепи счетчика *B* (рис. 31).

2) Противополюс оставлять широким.

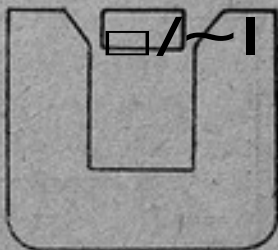
Первое условие уменьшит шунтирование потока токовой цепи, а второе позволит использовать в большей степени рабочий поток напряжения, чего нет в счетчиках завода им. т. Кулакова.

Наконец, насадка бугеля в счетчиках *B* должна повидимому уменьшить сопротивление пути рабочего потока токовой цепи.

Следует заметить еще, что скос на внутренней стороне делает большим расстояние между центрами следов потоков. Хотя это вызовет уменьшение геометрической постоянной, однако это уменьшение для постоянной счетчика *B1* будет незначительным, так как последняя находится в самой пологой части кривой.

Нахождение опытным путем распределения токов, индуктированных в дисках индукционных счетчиков переменным электромагнитным полем производилось на компенсационном приборе Гейгера. Причиной для выбора именно этого типа компенсационного прибора являлась, главным образом, простота работы на нем и довольно широкий интервал возможных измерений. Последний соответствовал как раз тем величинам электрических сил, которые имеют место в дисках счетчиков, подвергавшихся исследованию. Компенсация измеряемого напряжения на приборе Гейгера достигается тем, что к гальванометру, наряду с испытуемым напряжением E_x подводят напряжения P_1 и P_2 (рис. 32).

Гальванометр, следовательно, включается в цепь, в которой действуют три напряжения: E_x , P_1 и P_2 . Два последние представляют собой падения напряжения на двух калиброванных проволоках, сдвинутые по фазе друг по отношению к другу на 90° . Этот сдвиг достигается благодаря включению обмоток воздушного трансформатора T соответственно в цепь проволок M_1



—Рис. 31—Fig. 31

и M_2 . Середины измерительных проволок соединены проводником. Созданная таким образом точка одинакового потенциала дает возможность представить получающиеся падения напряжения на каждой из четырех измерительных частей проволок в прямоугольной координатной системе.

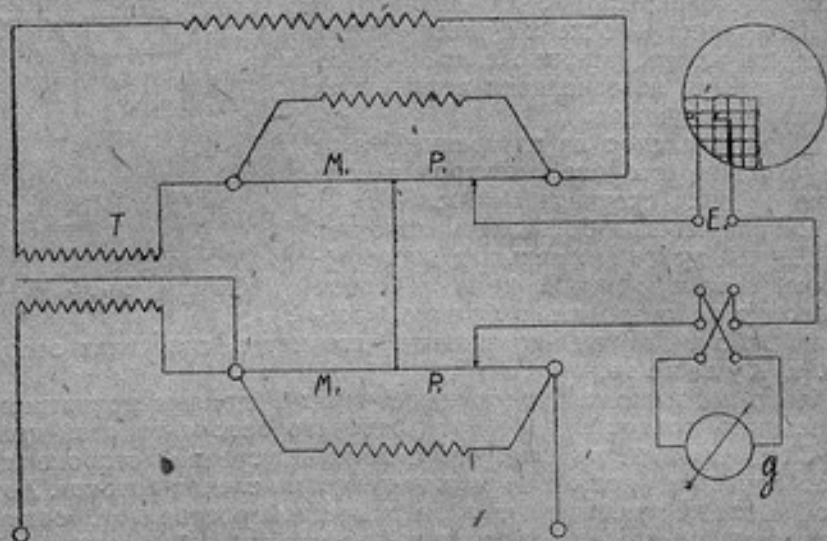


Рис. 32—Fig. 32

Все это позволяет измерять подводимое напряжение любой фазы. Последнее будет иметь вид:

$$E_x = \sqrt{P_1^2 + P_2^2} \quad \text{и} \quad igx = \frac{P_2}{P_1}$$

Длина измерительной проволоки равна 40 см. Все сопротивления подобраны такими, что при прохождении по компенсационному прибору тока силой 0,5 А падение напряжения по всей длине проволоки равно 40 мВ. При измерении токов диска компенсационной прибор питался током силы 0,05 А и, таким образом, предел измерений в сторону меньших электродвижущих сил увеличивался в 10 раз, т.е. падение напряжения по всей длине проволоки составляло 4 мВ.

Первый прием, который ни в какой мере не может служить для количественных оценок,—это нахождение в сравнительно малых пространствах плоскости диска (в сравнении с величиной диска) таких направлений, где электрические силы отсутствуют. Здесь совершенно необходимо также, как, впрочем, и во всех

других случаях, сведение площади отводящего контура до возможно малых пределов. Этому условию как раз удовлетворяет бифилярная форма контура в своем простейшем виде, т.е. два приложенные друг к другу и для удобства перевитые провода. Конечно, как вследствие низких частот, так и незначительности напряжений, существующих между двумя проводами, мы емкостными явлениями пренебрегаем. Сложнее обстоит дело в местах соприкосновения двух контактов с диском, т.е., вернее, в пространстве между двумя контактами. Можно считать, что при тщательном отводе проволоки от одного из контактов к другому электродвижущая сила в проводе и в части диска между контактами взаимно компенсируется. Будем поэтому считать, что результат измерения представит собой падение напряжения от проходящего тока между двумя точками контактов вдоль линии тока. В переменном электромагнитном поле выражение для линейного интеграла электрической силы по пути s принимает следующий вид:

$$\int E_s ds = \int -\frac{1}{c} \frac{dA}{dt} ds - \int \text{grad } \varphi_s ds \dots (1)$$

Так как в материале диска почти нет распределенной по объему и поверхности плотности зарядов при переменном токе, то последний член представляющий разность скалярных потенциалов между двумя точками, незначителен по сравнению со всей суммой второй части равенства (1). Следует подчеркнуть, что вопрос идет только о частях диска, достаточно удаленных от электромагнитов, где линии электрических сил в небольших промежутках плоскости диска можно с некоторой степенью достоверности считать параллельными. Это и дает основание брать линейный интеграл электрической силы вдоль прямой между двумя контактами при небольших расстояниях между последними. При приближении к полюсам электромагнитов эти расстояния должны соответственно уменьшиться. Так как линии токов полей стационарных и квазистационарных являются линиями замкнутыми и, следовательно, удовлетворяют уравнению:

$$\text{div } J = 0,$$

то вышенаписанное выражение для результата измерения однозначно, так как никакого пересечения токовых линий друг с другом нет.

Таким образом результаты линейного интеграла электрической силы $\int E_s ds$ мы считаем по прямой участка $a-b$ (рис. 32) сравнительно малого с величиной диска. Доказательством этого может служить то, что, как это следует из метода нахождения

максимумов и минимумов отклонений вибрационного гальванометра, мы попадаем на путь или самого интенсивного передвижения зарядов или на направление к нему почти перпендикулярное. Самое экспериментирование представляется довольно трудным, так как уравнивание вибрационного гальванометра должно достигаться изменением положения контактов на диске, или, что то же, изменением электродвижущей силы измеряемого источника. Тем не менее результаты измерения можно считать

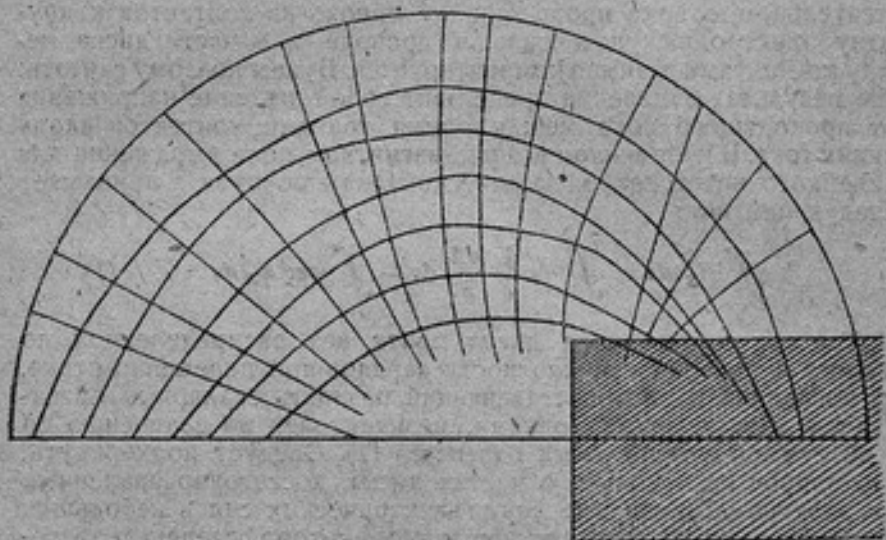


Рис 33—Fig. 33

надежными, так как несмотря на сравнительно малые расстояния точек, служивших для каждой новой эквипотенциальной линии, пересечения последних нигде не получилось. Из рис. 33 видно, что эквипотенциальные линии (пунктирные) наиболее удаленные от электромагнитов, представляют собой почти прямые, направленные к центру диска или к точке, близко лежащей около центра. Что же касается линий находящихся вблизи электромагнитов, то таковые претерпевают довольно сильные отклонения. Из рис. 33 видно далее, что эти линии имеют тенденцию пересекаться. Это впечатление происходит вследствие несовсем точного перенесения линий в увеличенном масштабе с диска на чертеж; кроме того, изменение вектор-потенциала по времени от точки к точке под полюсами электромагнитов больше, чем вне их и поэтому там возможны **большие**

сгущения эквипотенциальных линий. К сожалению, между железное пространство в счетчиках, с которыми производились опыты, очень мало и благодаря этому измерения в нем производить невозможно.

Совершенно естественно, что нахождение максимумов колебаний вибрационного гальванометра при тех же расстояниях контактов даст направление линий токов. Эти направления должны быть приблизительно перпендикулярны к эквипотенциальным линиям. Как показал опыт, нахождение этих максимумов менее надежно, чем нахождение минимумов. Меньшая надежность вызывается тем, что дуга на диске, по которой находится максимальное колебание вибрационного гальванометра, больше, чем дуга при напряжении минимального колебания гальванометра. Указанное обстоятельство вносит некоторый произвол при окончательной ориентировке в установлении точки. Приходится поэтому выбирать некоторое среднее положение, считая, что по обе стороны от него расхождение колебаний убывает в одинаковой степени. Описанные выше методы, как сказано, имели целью непосредственным путем определить картину линий. Какая бы то ни было количественная оценка при таком методе затруднительна, и возможно поэтому говорить только о качественных изменениях.

Для того, чтобы иметь представление о количественной стороне явления и на основании количественных данных проверить найденную картину токов, пришлось прибегнуть к следующему методу.

Весь диск разделялся на сетку квадратных ячеек длиной сторон около 10 *mm* (рис. 34). Величина сторон ячеек выбрана была такой малой для того, чтобы с большей или меньшей степенью достоверности можно было считать плотность тока J постоянной в данной промежутке. Более низкий предел ограничивался уменьшением точности измерений, которая в точках, удаленных от полюсов при 120 В и 5 А, понижалась до 5%.

Так как $\int E_c \, dl = J \frac{l}{\epsilon}$, то измерения по двум взаимно пер-

пендикулярным направлениям между серединами двух противоположных сторон, после соответствующего пересчета, дают величину и фазу составляющих плотности тока. Следует вторично подчеркнуть, что в промежутке между двумя контактами мы считаем линии электрических сил параллельными или, что то же, плотность тока неизменной. Построив по двум составляющим разной амплитуды и фазы, но одинакового периода, результирующую кривую, мы получим кривую изменения

Таблица XIX — Tableau XIX

№ квадратных ячеек на диске sur le disque	Результаты измерений в направлении параллельном железному стволу сердеч- ника напряжения		Résultats des mesures dans la direction de l'axe de la vis en fer du noyau de tension		$x = A \sin(\omega t + \alpha)$	x_0 $t = 0$	x_1 $t = \frac{T}{8}$	x_2 $t = \frac{2T}{8}$	x_3 $t = \frac{3T}{8}$
	a_1	a_2	$\sqrt{a_1^2 + a_2^2}$	$\frac{a_2}{a_1}$					
3	8,51	12,5 IV	15,0	1,47	$x = 15 \sin(\omega t - 56^\circ)$	-12,5	-3,0	+8,5	+15,0
4	7,1	10 IV	12,0	1,43	$x = 12 \sin(\omega t - 55)$	-10,0	-2,0	+7,0	+12,0
5	6,1	8 IV	10,5	1,33	$x = 10,5 \sin(\omega t - 53)$	-8,5	-1,5	+6,5	+10,5
6	4,51	7 IV	8,5	1,57	$x = 8,5 \sin(\omega t - 57,5)$	-7,0	-2,0	+4,5	+8,5
7	8,1	12 IV	14,5	1,50	$x = 14,5 \sin(\omega t - 56,5)$	-12,5	-3,0	+8,0	+14,0
8	2,51	2 IV	3,0	0,80	$x = 3,0 \sin(\omega t - 38,2)$	-2,0	+0,5	+2,5	+3,0
9	4,51	5,5 IV	7,0	1,22	$x = 7,0 \sin(\omega t - 50,5)$	-5,5	-0,5	+4,5	+7,0
10	5,1	7 IV	8,5	1,40	$x = 8,5 \sin(\omega t - 54,5)$	-7,0	-1,5	+5,0	+8,5
11	4,1	6 IV	7,0	1,50	$x = 7 \sin(\omega t - 56,5)$	-6,0	-1,5	+4,0	+7,0
13	9,1	16 IV	18,5	1,78	$x = 18,5 \sin(\omega t - 60,5)$	-16,0	-5,0	+9,0	+18,0
14	7,1	11 IV	13,0	1,58	$x = 13 \sin(\omega t - 57,5)$	-11,0	-3,0	+7,0	+12,5
15	5,1	8,5 IV	10,0	1,70	$x = 10 \sin(\omega t - 59,5)$	-8,5	-2,5	+5,0	+9,5
16	10,1	16,5 IV	19,5	1,65	$x = 19,5 \sin(\omega t - 59)$	-16,7	-4,5	+10,0	+19,0

(Продолжение)

Таблица XIX — Таблеа XIX

№№ квдратных ячеек на диске le disque Nos des cases sur	Результаты измерений в направлении параллельном железному винту сердеч- ника напряжения Résultats des mesures dans la direction de l'axe de la vis en fer du noyau de tension				x_0 $t = 0$	x_1 $t = \frac{T}{8}$	x_2 $t = \frac{T}{4}$	x_3 $t = \frac{3T}{8}$		
	a_1	a_2	$\sqrt{a_1^2 + a_2^2}$	$\frac{a_2}{a_1}$					α°	
17	71	11,5 IV	13,5	1,64	- 50,3°	$x = 13,5 \sin(\omega t - 50,3^\circ)$	- 11,5	- 3,5	+ 7,0	+ 13,0
18	51	9,5 IV	10,5	1,90	- 62	$x = 10,5 \sin(\omega t - 62^\circ)$	- 9,0	- 3,0	+ 4,5	+ 10,0
19	91	13 IV	16	1,44	- 55	$x = 16 \sin(\omega t - 55^\circ)$	- 13,0	- 3,0	+ 9,0	+ 16,0
20	6,5 I	10 IV	12	1,54	- 57	$x = 12 \sin(\omega t - 57^\circ)$	- 10,0	- 2,5	+ 6,5	+ 12,0
21	51	8 IV	9,5	1,60	- 58	$x = 9,5 \sin(\omega t - 58^\circ)$	- 8,0	- 2,0	+ 5,0	+ 9,0
22	71	10 IV	12	1,43	- 55	$x = 12 \sin(\omega t - 55^\circ)$	- 10,0	- 2,0	+ 7,0	+ 12,0
23	51	8 IV	9,5	1,60	- 58	$x = 9,5 \sin(\omega t - 58^\circ)$	- 8,0	- 2,0	+ 5,0	+ 9,0
24	51	7 IV	8,5	1,40	- 54,5	$x = 8,5 \sin(\omega t - 54,5^\circ)$	- 7,0	- 1,5	+ 5,0	+ 8,5
25	41	6,5 IV	7,5	1,63	- 58,5	$x = 7,5 \sin(\omega t - 58,5^\circ)$	- 6,5	- 2,0	+ 4,0	+ 7,5
26	41	6 IV	7,0	1,50	- 56,5	$x = 7,0 \sin(\omega t - 56,5^\circ)$	- 6,0	- 1,5	+ 4,0	+ 7,0
27	14 III	21,5 II	25,5	1,54	+ 113	$x = 25,5 \cos(\omega t + 23^\circ)$	+ 23,5	+ 9,5	- 10,0	- 23,5
28	7,5 I	9 IV	11,5	1,20	- 50,5	$x = 11,5 \sin(\omega t - 50,5^\circ)$	- 9,0	- 1,0	+ 7,5	+ 11,5
29	2,5 I	3 IV	4,0	1,20	- 50,5	$x = 4,0 \sin(\omega t - 50,5^\circ)$	- 3,0	- 0,5	+ 2,0	+ 4,0

Таблица XX—Tableau XX

№ квадратных ячеек на диске Nos des carrés sur le disque	Результаты измерений в направлении перпендикулярном железному винту сердечника напряжения Résultats des mesures dans la direction perpendi- culaire à l'axe de la vis en fer du noyau de tension		β°	$y = B \sin(\omega t + \beta)$	y_0 $t = 0$	y_1 $t = \frac{T}{8}$	y_2 $t = 2 \frac{T}{8}$	y_3 $t = 3 \frac{T}{8}$	
	b_1	b_2							
3	10 III	18 II	1,80	$+ 119^\circ$	$y = 20,5 \cos(\omega t + 29^\circ)$	+ 18,0	+ 5,5	- 10,0	- 19,5
4	6 III	10 II	1,67	+ 121	$y = 11,5 \cos(\omega t + 31^\circ)$	+ 10,5	+ 3,0	- 6,0	- 11,5
5	3 III	6 II	2,00	+ 116,5	$y = 6,5 \cos(\omega t + 26,5^\circ)$	+ 6,0	+ 2,0	- 3,0	- 6,0
6	2,5 III	5 II	2,00	+ 116,5	$y = 5,5 \cos(\omega t + 26,5^\circ)$	+ 5,0	+ 2,0	- 2,5	- 5,0
7	14 III	22 II	1,57	+ 122,5	$y = 26 \cos(\omega t + 32,5^\circ)$	+ 22,0	+ 5,5	- 14,0	- 25,5
8	12,5 III	21 II	1,68	+ 121	$y = 24,5 \cos(\omega t + 31^\circ)$	+ 21,0	+ 6,0	- 12,5	- 24,0
9	9 III	15,5 II	1,73	+ 120	$y = 18 \cos(\omega t + 30^\circ)$	+ 15,5	+ 4,5	- 9,0	- 17,5
10	6 III	11 II	1,83	+ 118,5	$y = 12,5 \cos(\omega t + 28,5^\circ)$	+ 11,0	+ 3,5	- 6,0	- 12,0
11	4 III	8 II	2,0	+ 116,5	$y = 9 \cos(\omega t + 26,5^\circ)$	+ 11,0	+ 4,0	- 5,5	- 12,0
13	4 III	7 II	1,75	+ 120	$y = 8,0 \cos(\omega t + 30^\circ)$	+ 7,0	+ 2,0	- 4,0	- 7,5
14	1,5 III	3,5 II	2,33	+ 113	$y = 3,5 \cos(\omega t + 23^\circ)$	+ 3,0	+ 1,5	- 1,5	- 3,0
15	1 III	3 II	3,00	+ 108,5	$y = 3,0 \cos(\omega t + 18,5^\circ)$	+ 3,0	+ 1,5	- 1,0	- 2,5
16	5 I	7 IV	1,40	- 54,5	$y = 8,5 \sin(\omega t - 54^\circ)$	- 7,0	- 1,5	+ 5,0	+ 8,5

Таблица XX—Таблеаи XX (Продолжение)

№№ квадратиков чек на диске Nos des carrés sur le disque	Результаты измерений в направлении перпендикулярном железному винту сердечника напряжения			Résultats des mesures dans la direction perpendi- culaire à l'axe de la vis en fer du noyau de tension			y_0 $t = 0$	y_1 $t = \frac{T}{8}$	y_2 $t = 2 \frac{T}{8}$	y_3 $t = 3 \frac{T}{8}$
	d_1	d_2	$\sqrt{d_1^2 + d_2^2}$	d_2	d_1	β°				
17	0,5 I	1,0 IV	1	2,0	— 63,5°	$y = \sin(\omega t - 63,5^\circ)$	— 1,0	— 0,5	+ 0,5	+ 1,0
18	0,5 I	1,0 IV	1	2,0	— 63,5°	$y = \sin(\omega t - 63,5^\circ)$	— 1,0	— 0,5	+ 0,5	+ 1,0
19	6,0 I	9,0 IV	11	1,50	— 56,5°	$y = 11 \sin(\omega t - 56,5^\circ)$	— 9,0	— 2,0	+ 6,0	+ 10,0
20	3,5 I	4,0 IV	5,5	1,10	— 48°	$y = 5,5 \sin(\omega t - 48^\circ)$	— 4,0	— 0,5	+ 4,0	+ 5,5
21	2,0 I	3,0 IV	3,5	1,50	— 56,5°	$y = 3,5 \sin(\omega t - 56,5^\circ)$	— 3,0	— 0,5	+ 2,0	+ 3,5
22	6,0 I	10,5 IV	12	1,74	— 60°	$y = 12 \sin(\omega t - 60^\circ)$	— 10,5	— 3,0	+ 6,0	+ 11,5
23	4,5 I	6,5 IV	8	1,44	— 55°	$y = 8 \sin(\omega t - 55^\circ)$	— 6,5	— 1,5	+ 4,5	+ 8,0
24	3,0 I	5,0 IV	6	1,67	— 59°	$y = 6 \sin(\omega t - 59^\circ)$	— 5,0	— 1,5	+ 3,0	+ 6,0
25	6,0 I	11,0 IV	12,5	2,08	— 64,5°	$y = 12,5 \sin(\omega t - 64,5^\circ)$	— 11,5	— 4,0	+ 5,5	+ 12,5
26	4,5 I	7,5 IV	8,5	1,67	— 59°	$y = 8,5 \sin(\omega t - 59^\circ)$	— 7,5	— 2,0	+ 4,5	+ 8,5
27	9,0 I	14,0 IV	16,5	1,55	— 57°	$y = 16,5 \sin(\omega t - 57^\circ)$	— 14,0	— 3,5	+ 9,0	+ 16,0
28	11,0 I	16,5 IV	20,0	1,50	— 56,5°	$y = 20 \sin(\omega t - 56,5^\circ)$	— 16,5	— 4,0	+ 11,0	+ 19,5
29	9,0 I	15,0 IV	17,5	1,67	— 59°	$y = 17,5 \sin(\omega t - 59^\circ)$	— 15,0	— 4,0	+ 9,0	+ 17,0

плотности тока. В нашем случае составляющие суть функции синусоидальные:

$$x = A \sin(\omega t + \varphi), \quad y = B \sin(\omega t + \varphi_0)$$

и поэтому результирующая кривая будет эллипс. В частном случае в зависимости от величин амплитуд и фаз эллипс может превратиться в круг или прямую.

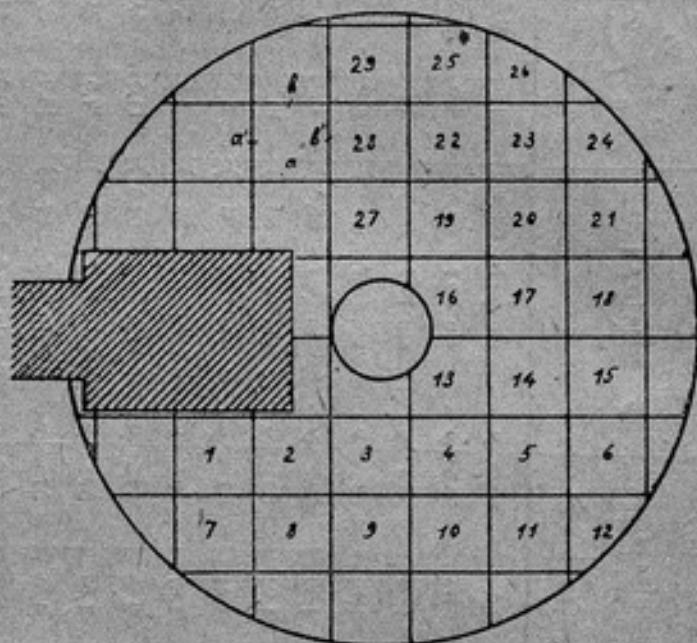


Рис. 34—Fig. 34

Компенсационный прибор Гейгера, на котором производились измерения, дает возможность находить фазу измеряемой величины и самую величину как отношение двух отчетов и корень квадратный из суммы их квадратов. Как было указано выше, отчеты производятся по двум калиброванным проволокам, и падения напряжения, получающиеся на них, находятся между собой в квадратуре. Как видно из таблиц XIX и XX, измеряемые напряжения в большинстве своем оказались порядка 0,1 мВ. Если считать, что отчеты по проволоке возможно производить с точностью до 0,5 мВ и что большинство найденных отчетов имеют величину, колеблющуюся около 10 мВ при питающей

компенсационный прибор токе $0,05\text{ A}$, то точность измерений составляет около 5% . Казалось бы, что точность измерения можно легко увеличить уменьшением тока, проходящего через компенсационный прибор, но трудность установки малых токов и, главное, невозможность следить за постоянством режима при малых токах заставляет остановиться на токе, равном $0,05\text{ A}$.

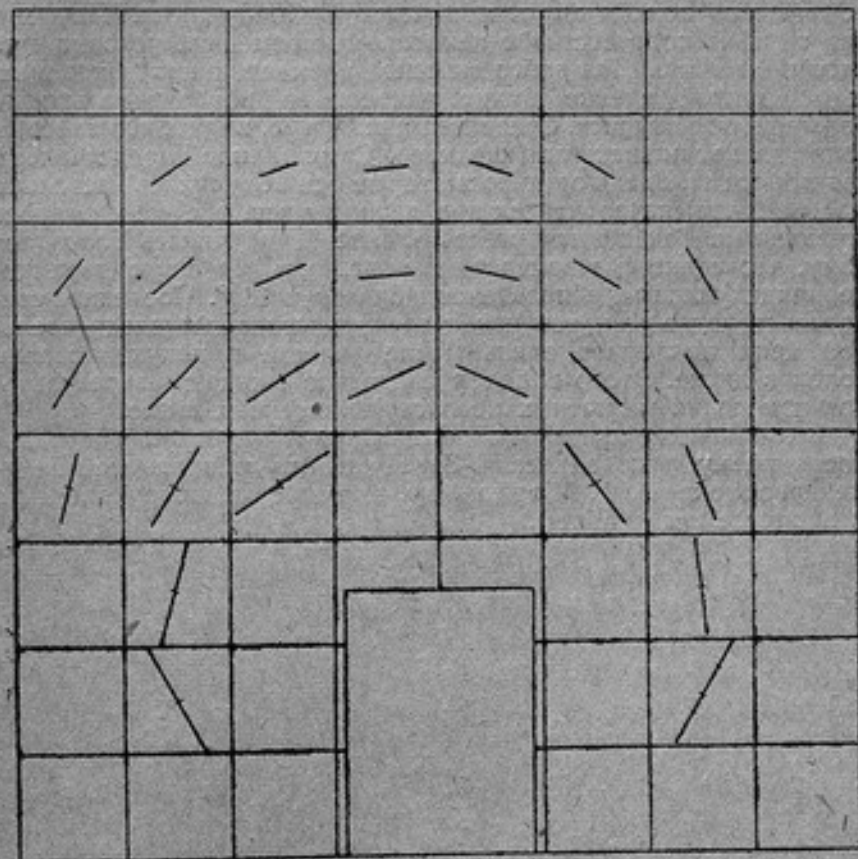


Рис. 35—Fig. 35

Во время опыта диск механически тормозился и, следовательно, измерения производились только над токами, участвующими в создании вращающего момента. Положение диска фиксировалось тем, что одна из нанесенных на нем прямых устанавливалась приблизительно параллельно одной из сторон основания полюса цепи напряжения (рис. 34). В таблицах XIX

и XX приведены данные измерений, относящиеся к счетчику В1. Измерения производились в двух взаимно перпендикулярных направлениях на серединах сторон каждого квадрата (рис. 34).

По вышеприведенным данным построена картина плотностей токов, вектора которых для данной точки описывают эллипс (рис. 35). Как и следовало ожидать, величины плотности токов убывают от полюса к противоположному концу диска. Начерченная картина соответствует некоторому времени t , условно принятому за $t=0$. Для этого момента времени линии токов в каждой данной ячейке будут направлены приблизительно по большой оси эллипса. Сравнивая рис. 33 и 35, видим, что картины токов имеют одинаковый характер. Сами эллипсы представлены своими осями. Вдали от полюса вторые оси получились настолько малыми, что начертить их при данном масштабе не оказалось возможным. Такая вытянутость эллипсов получилась благодаря тому, что сдвиг фаз измерявшихся величин по двум взаимно перпендикулярным направлениям близок к 180° . Последнее свидетельствует о том, что поток электромагнитов в последовательной цепи принимает очень малое участие в индуктировании токов в диске. Этого впрочем следовало ожидать из результатов измерения магнитных потоков, изложенных выше.

В заключение я позволю себе выразить глубокую благодарность моему руководителю—Заведующему лабораторией переменного тока Н. А. Маренину за непрерывное руководство в процессе всей работы.

RECHERCHES SUR LES CHAMPS MAGNETIQUES ET SUR LES COURANTS DE FOUCAULT DANS LES COMPTEURS A INDUCTION

Par S. V. Gorbátzevitch.

(Résumé)

La première partie de ce travail contient les recherches sur la répartition des courants magnétiques d'après leur intensité et direction dans les compteurs du type *B1* de l'usine «Electropribor» et dans ceux des types *C2A* et *C12* de l'usine «Koulakov». Pour ce but on a placé les bobines de mesure' enroulées spécialement, dans les régions de passage des flux et on a déterminé leurs intensité et direction d'après les forces électromotrices induites et d'après les angles de déphasage. De cette manière on a déterminé les flux totaux, partiels et de travail des circuits d'intensité et de tension dans les compteurs susindiqués.

Ces mesures avaient pour but d'éclaircir le degré de leur effet sur la production du moment de rotation et de trouver des voies pour augmenter ce dernier. Il s'ensuit des données des recherches que dans les compteurs de type *B1* la plus grande partie du flux du circuit d'intensité est shuntée par le contre-pôle du circuit de tension, et, au même temps, le flux du circuit de tension est utilisé au plus haut degré. Quant aux compteurs des types *C2A* et *C12*, nous y trouvons le contraire: la plus haute utilisation du flux du circuit d'intensité et la plus basse utilisation du flux du circuit de tension.

Donc, il serait tout naturel de réunir les qualités des compteurs du type *B1* et des compteurs des types *C2A* et *C12*. L'auteur croit qu'on puisse arriver à ce but en modifiant un peu, la forme des épanouissements polaires de l'électroaimant du circuit d'intensité.

Dans la seconde partie l'auteur entreprend un essai de trouver, par la voie expérimentale, la répartition des courants de Foucault induits par les flux alternatifs dans les disques des compteurs à induction.

Pour cela on a déterminé entre points séparés les chutes de voltage dans deux directions perpendiculaires et on a trouvé d'après ces chutes des courbes de la variation du vecteur de la densité du courant à chaque point choisi. Ces courbes, au courant sinusoïdal, doivent être elliptiques; elles sont représentées par leurs axes sur la figure 35, qui illustre la répartition des courants. On peut d'après elles tracer des lignes du courant pour le moment donné du temps. Malheureusement, l'espace sous les pôles présentant le plus d'intérêt, on n'a pas pu l'étudier à cause de la petitesse de l'intervalle entre le disque et les pôles.



НЕКРОЛОГ

В. В. Мечников

Эталонная фотометрическая лаборатория, а с нею и вся Главная Палата мер и весов, понесла тяжелую утрату: скончался Валериан Валерианович Мечников.

В. В. Мечников родился в 1905 г. в Петербурге. В 1922 г. окончил трудовую школу и поступил на электромеханический факультет б. II Петроградского политехнического института. В 1924 г., по закрытии этого института, был переведен на электромеханический факультет Ленинградского политехнического института. В 1929 г. он его окончил со званием инженера-электрика. В мае 1930 г. заразился скарлатиной и умер в Севастополе 9 мая, где и похоронен.

В семью научных работников Главной Палаты мер и весов В. В. Мечников вступил в марте 1928 г. в качестве лаборанта фотометрической лаборатории. Готовясь к научной деятельности в области метрологии, в частности в фотометрии, В. В. Мечников по общему правилу, естественно, должен был пройти известный предварительный лабораторный курс, притом не малое число лет. Энергия и таланты его были направлены к скорейшему овладению основными и подсобными знаниями. Поэтому его работы носили по преимуществу характер помощи и участия в работах более старших товарищей. В последнее время он едва успел приступить к самостоятельной работе: конструирование измерительной установки с большим шаровым фотометром. Из важных метрологических работ, в которых В. В. Мечников принял участие, следует отметить: установление первичного эталона люмена и его свидетелей, установление второй группы



В. В. Мечников

эталона люмена, установление эталона коэффициента яркости и др. В. В. Мечников в высокой степени добросовестно выполнял все лабораторные работы. Он обнаруживал все данные, говорящие за то, что уже в ближайшие годы он был бы крупным и талантливым метрологом.

В соответствии с известным направлением деятельности Главной Палаты мер и весов, — устанавливать определенное взаимодействие научной метрологии с запросами промышленности, — В. В. Мечников близко интересовался также осветительной техникой. Еще в студенческих кружках он сделал два научно-технических доклада: „Брак в ламповом производстве“ и „Насосы высокого вакуума в ламповом производстве“ и работы была выбрана также под отмеченным выше влиянием: „Электрическое освещение завода „Севкабель““. В этой работе выявилась широкая эрудиция В. В. Мечникова, техническая зрелость и склонность к смелому применению новых мыслей. Незадолго до смерти им была закончена рукопись брошюры, которая им составлялась совместно с М. В. Соколовым: „Электрическое освещение фабрик и заводов“. В этой брошюре основная часть написана В. В. Мечниковым.

В течение последнего времени В. В. Мечников состоял референтом журнала „Электричество“.

Мы потеряли очень ценного и талантливого научного работника.

П. Таходеев.

NÉCROLOGE.

Valérien Valérianovitch Metchnicov, Assistant au Laboratoire photométrique de la Chambre Centrale des Poids et Mesures. Mort le 9 mai 1930.

О Г Л А В Л Е Н И Е

1 (17) выпуска Трудов Всесоюзного Института метрологии и стандартизации (ВИМС).

	Стр.
<i>Е. Г. Шрамков.</i> Методы и аппаратура для магнитных измерений в научно-исследовательских лабораториях Германии	3
<i>Н. И. Спиридович.</i> К установлению эталона напряженности магнитного поля. Эталонная катушка «Н1»	67
<i>Б. М. Яновский.</i> К вопросу об установлении эталонов магнитного момента в абсолютных единицах	91
<i>Б. М. Яновский и Н. И. Спиридович.</i> Магнитные наблюдения, произведенные летом 1929 года в районе Южного Урала и Казахстана	115
<i>М. Ф. Маликов.</i> Сравнение эталонных катушек электрического сопротивления в Главной Палате и в Центральной Электрической Лаборатории в Париже в 1930 г.	131
<i>С. В. Горбачевич.</i> Исследование магнитных полей и вихревых токов в индукционных счетчиках	135
<i>Некролог.</i> В. В. Мечников	209

T A B L E D E S M A T I E R E S

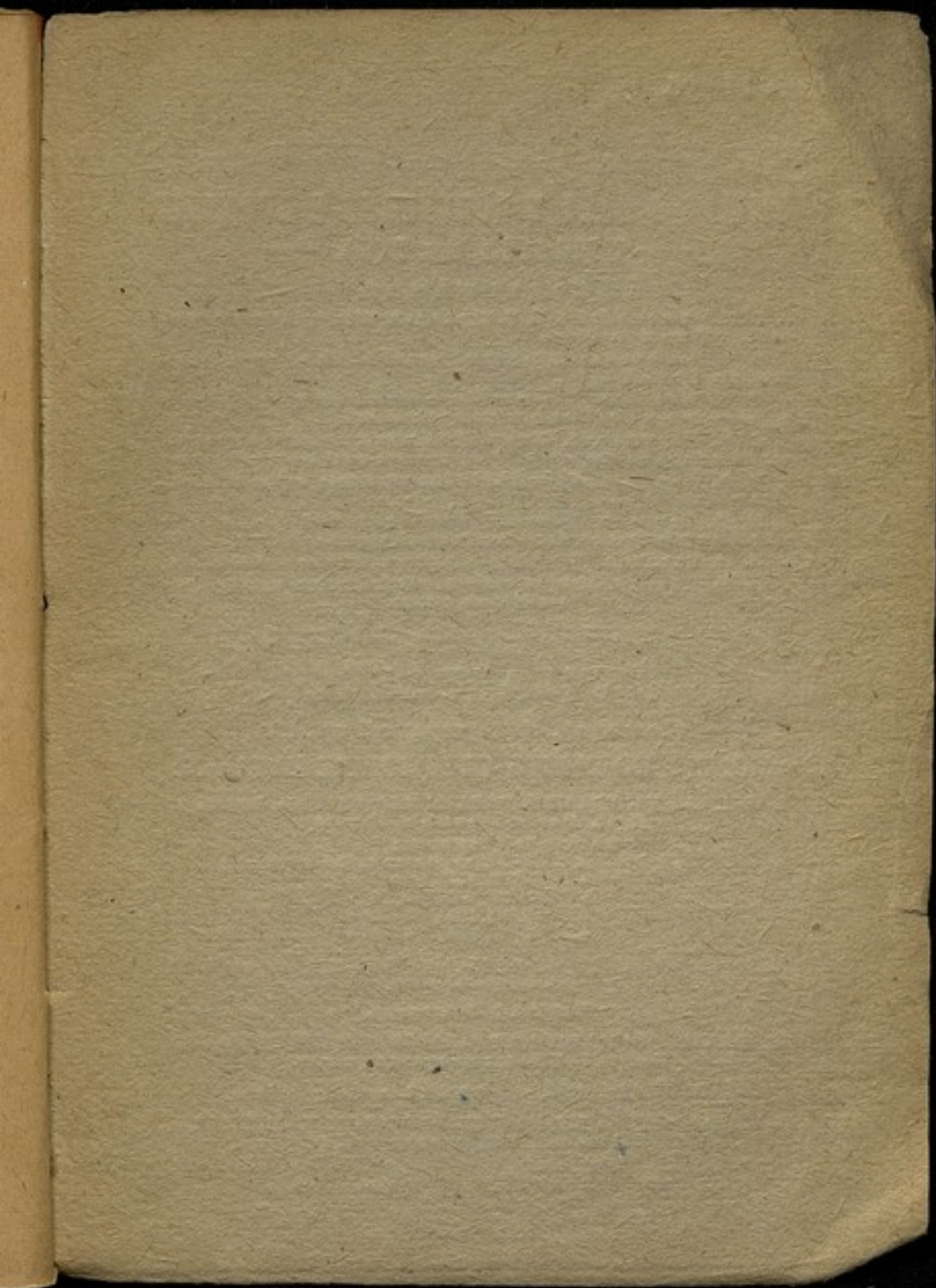
Les résumés des articles publiés dans la 1 (17) partie des «Travaux de l'Institut de Métrologie et Standardisation de l'U. R. S. S.».

	Pages.
<i>E. G. Chramkov.</i> Méthodes et appareils des mesures magnétiques aux laboratoires de recherches scientifiques de l'Allemagne	65
<i>N. I. Spiridovitch.</i> Etablissement de l'étalon d'intensité du champ magnétique. Etalonnage de la bobine «H1»	87
<i>B. M. Janovsky.</i> Sur l'établissement des étalons du moment magnétique en unités absolues	113
<i>B. M. Janovsky et N. I. Spiridovitch.</i> Observations magnétiques faites en été de 1929 dans la région de l'Oural Méridional et de Kasakstan	130
<i>M. I. Malikov.</i> Comparaisons des bobines-étalons de résistance électrique faites à la Chambre Centrale des Poids et Mesures et au Laboratoire Central d'Electricité en 1930	133
<i>S. V. Gorbachevitch.</i> Recherches sur les champs magnétiques et sur les courants de Foucault dans les compteurs à induction	207
<i>Nécrologe.</i> V. V. Metchnikov	210

Ответственный редактор М. Ф. Маликов. Технический редактор С. Н. Кюкун.
 Сдано в производство 4/VI—1932 г. Подписано к печати 28/XI 1932 г.
 «Ст. и рац.» № 275. Формат А₀ 148 × 210 мм 13 1/4 п. л. В листе 48,000 экз.
 Ленгортлит № 44491. Тираж 1000 экз. Заказ № 3465.

ОТДЕЛЬНЫЕ ИЗДАНИЯ:

- | | Цена |
|--|------------|
| 14. Доброхотов А. Н. Веса. 2-е издание. Руководство для поверителей. Ленинград, 1926 г. | 1 р. 75 к. |
| 15. Исаков Л. Д. На все времена, для всех народов. Ленинград, 1923 г. | — 75 » |
| 37. Коржинский А. В. Руководство по уходу за геодезическими инструментами. Л. 1925 г. | 1 » 75 » |
| 40. Мурашкинский В. Е. Оптика бинокля. Л. 1925 г. | 4 » 50 » |
| 44. Безикович Я. С. Математика. Руководство для поверителей. Л. 1926 г. | 2 » 50 » |
| 49. Адамович Н. И. Введение в метрологию и измерение длины. Л. 1927 г. | 2 » 20 » |
| 56. Мурашкинский В. Е., Мерц А. И., Майзель С. О., Мильк Г. А. Офтальмологическая оптика. Под редакцией проф. Л. Г. Беллярминова. Л. 1928 г. | 6 » 75 » |
| 75. Сидоров И. И. Манометры, их устройство и поверка. Л. 1930 г. | 2 » — » |
| 80. Пятилетний план работ Главной Палаты мер и весов. Л. 1930 г. | 3 » — » |
| 81. Михельсон Н. С. Номограммы поправок к ареометрам, 11 таблиц. Л. 1931 г. | 3 » 50 » |
| 86. Д. И. Менделеев. Опытное исследование колебания весов и возобновление прототипа или основной образцовой русской меры массы в 1893—1898 гг. С предисловием проф. М. А. Шателена. Л. 1931 года Большой том, in-quarto. | 10 руб. |
| 100. Mémoires de la Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'URSS présentés au Comité Consultatif d'Electricité et de Photométrie. Сообщения Главной Палаты мер и весов СССР Консультативному Комитету по электричеству и фотометрии. Л. 1932 г. | 3 р. |



Цена 10 руб.

ВЫШЛИ В СВЕТ И ПОСТУПИЛИ В ПРОДАЖУ

— ТРУДЫ ВИМСа, вып. 2 (18), —

СОДЕРЖАНИЕ:

В. Н. Божовский и Б. В. Дроздов. Исследование платина-палладиевых термомпар.

В. А. Яковлева. Определение констант эталонных ртутных термометров Toppelot.

Н. Х. Прейнич. Теория ошибок и приложения к ходам часов и хронометров и к обработке долготных наблюдений.

С. М. Терешкова. О постоянстве личных разностей в автоматическом и слуховом (по методу Кука) приемах радиосигналов времени.

Б. А. Ломакин. Спектральное количественное определение висмута и меди.

Н. П. Тарасов. Применение метода двуцветной фотографии к микрофотографической и металлографической съемкам.

Н. П. Тарасов. Деформация поверительных пунсонов от работы.

В. М. Латкин. Поверка приборов Абеля-Пенского по жидкостям постоянного состава.

В СКЛАДЕ ВИМСа

(Ленинград, Международный пр., 19)

МОЖНО ПОЛУЧИТЬ СЛЕДУЮЩИЕ ИЗДАНИЯ:

- I. «ВРЕМЕННОК ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР И ВЕСОВ», основанный Д. И. Менделеевым в 1894 году:
 - выпуски 1—7 разошлись;
 - 8—12, по одному рублю за выпуск;
 - 1 (13), 1925, цена 3 руб;
 - 2 (14), 1928, • 6 •
 - 3 (15), 1929, • 5 •
 - 4 (16), 1930, • 3 •
- II. Журнал «ПОВЕРОЧНОЕ ДЕЛО», годы 1916—1929, выпуски 4—20, комплект—24 рубля.
Выпуски 1—3 разошлись.
- III. БЮЛЛЕТЕНИ КОМИТЕТА ЭТАЛОНОВ И СТАНДАРТОВ (КЭС), выпуск 1—4, по одному рублю за выпуск.
- IV. ТРУДЫ КЭС, выпуски 1 и 2, по одному рублю.
- V. Журнал «ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ПОВЕРОЧНОЕ ДЕЛО», 1930 год, вып. 1—6, комплект 6 рублей.