

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Журналъ, издаваемый VI Отдѣломъ

ИМПЕРАТОРСКАГО РУССКАГО ТЕХНИЧЕСКАГО ОБЩЕСТВА.

Теорія дуги переменнаго тока и ея примѣненія.

Статья Д. Рожанскаго.

Новѣйшія изслѣдованія вольтовой дуги выяснили первостепенное значеніе для ея возникновенія и устойчиваго существованія двухъ факторовъ: тепловаго состоянія отрицательнаго кратера (Миткевичъ, Штаркъ, Томсонъ) и теплопроводности электродовъ (Гранквистъ). Хотя это явленіе и не можетъ еще считаться всесторонне изученнымъ, однако и то, что до сихъ поръ намъ извѣстно объ немъ, позволяетъ набросать въ грубыхъ чертахъ его картину.

Главнымъ условіемъ существованія вольтовой дуги является наличность накаленнаго отрицательнаго кратера. Проводники перваго рода при высокихъ температурахъ обладаютъ способностью посылать въ окружающее пространство атомы отрицательнаго электричества или, какъ ихъ называютъ обыкновенно, — электроны. По новѣйшимъ воззрѣніямъ на природу электрическихъ явленій матеріальные атомы состоятъ изъ электроновъ и положительныхъ зарядовъ, которые образуютъ системы, обладающіе устойчивымъ равновѣсіемъ. Въ непроводникахъ электричества электроны настолько прочно связаны съ атомомъ, что обыкновенное электрическое поле можетъ только отклонить ихъ изъ положенія равновѣсія, но не можетъ разорвать связей, удерживающихъ ихъ въ этомъ положеніи. Поэтому-то въ изоляторахъ электрическое поле можетъ вызвать только смѣщеніе электричества, но не электрической токъ. Въ проводникахъ перваго рода значительное число электроновъ совершенно свободно, или настолько слабо связано съ атомами, что сравнительно незначительныя силы могутъ вызвать перемѣщеніе ихъ внутри тѣла, т. е. тотъ потокъ электроновъ, который мы называемъ электрическимъ токомъ. Эти потоки электроновъ могутъ существовать только внутри тѣла, въ междоатомныхъ промежуткахъ; за предѣлы тѣла электроны не могутъ выходить при обыкновенныхъ условіяхъ, такъ какъ кинетическая энергія ихъ недостаточна для того, чтобы преодолѣть притяженіе положительныхъ атомовъ. При повышеніи температуры кинетическая энергія атомовъ и свободныхъ электро-

новъ возрастаетъ, и при высокихъ температурахъ скорость послѣднихъ уже настолько велика, что электроны имѣютъ возможность вылетать изъ сферы дѣйствія положительныхъ атомовъ. Если тѣло заряжено положительно, то электрическое поле у поверхности его гонитъ электроны назадъ, если же зарядъ у тѣла отрицательный, то электрическое поле благоприятствуетъ потерѣ электроновъ, т. е. разсѣянію отрицательнаго электричества съ накаленной поверхности проводника.

Это явленіе, извѣстное подъ названіемъ «явленія Эдисона», представляетъ прототипъ вольтовой дуги. Необходимымъ условіемъ для существованія ея является также накаленный отрицательный электродъ, изъ котораго вылетаютъ электроны, ионизирующіе прилегающіе слои газа. Какимъ образомъ поддерживается температура электрода, при помощи ли положительныхъ ионовъ, бомбардирующихъ поверхность электрода, или чисто термическимъ путемъ,—это вопросы второстепенные. Обыкновенно, когда дуга самостоятельно поддерживаетъ свое существованіе, электроды поддерживаются въ накаленномъ состояніи на счетъ той энергіи, которая доставляется электрическимъ токомъ. Если e —разность потенциаловъ на электродахъ дуги, i —сила тока, то работа тока въ единицу времени равна ei . Въ видѣ грубаго приближенія мы можемъ принять, что вся энергія электрическаго тока тратится на поддержаніе кратеровъ въ накаленномъ состояніи, что, конечно, строго говоря, не вѣрно, потому что часть энергіи переходитъ въ тепло въ самой дугѣ, т. е. въ томъ столбѣ накаленныхъ газовъ, которые тянутся отъ одного кратера къ противоположному. Но опыты, произведенные Гранквистомъ для того, чтобы приблизительно оцѣнить величину различныхъ тратъ энергіи, показали, что по крайней мѣрѣ 80% энергіи уходитъ въ видѣ тепла черезъ электроды. Мы можемъ еще точнѣе формулировать это положеніе, вводя въ разсмотрѣніе площадь кратера Q , которое теряется вслѣдствіе теплопроводности электродовъ, пропорционально: 1) площади накаленнаго кратера, и 2) паденію температуры внутри электрода; это послѣднее въ первомъ приближеніи можно считать пропорциональнымъ

температурѣ кратера. Тогда для Q можно написать слѣдующую формулу

$$Q = wTF$$

въ которой w есть коэффициентъ пропорциональности, т. е. количество тепла, проходящее через единицу площади при паденіи температуры, равномъ единицѣ, T —температура кратера, а F —его площадь. Если температура и площадь положительнаго и отрицательнаго кратеровъ одинаковы и равны соотвѣтственно

$$T_1, F_1 \text{ и } T_2, F_2,$$

то вся потеря тепла черезъ оба электрода

$$Q = Q_1 + Q_2 = w_1 T_1 F_1 + w_2 T_2 F_2$$

Коэффициенты w зависятъ отъ теплопроводности матеріала электродовъ, отъ формы и размѣровъ ихъ и, наконецъ, отъ свойствъ окружающей среды. У металловъ, у которыхъ теплопроводность примѣрно въ 100 разъ больше, чѣмъ у угля, коэффициентъ w долженъ имѣть большую величину; въ атмосферѣ водорода, обладающаго сравнительно съ другими газами большою теплопроводностью, w должно принимать также значительную величину и т. д.

Такимъ образомъ, формулируя все сказанное, мы можемъ написать первое основное уравненіе для дуги постояннаго тока:

$$ei = w_1 T_1 F_1 + w_2 T_2 F_2 \dots (I).$$

Дуга переменнаго тока.

Единственная теорія дуги переменнаго тока, развитая Симономъ и изложенная ниже, основывается, кромѣ вышеприведенныхъ основныхъ положеній, еще на нѣкоторыхъ гипотезахъ и допущеніяхъ, на которыхъ мы остановимся подробнѣе, чтобы выяснитъ по возможности, насколько онѣ правдоподобны и допустимы. Прежде всего, теорія схематизируетъ явленіе, принимая, что въ дугѣ переменнаго тока температура и площади кратеровъ одинаковы, или, что то же самое, замѣняя соотвѣтственные величины для обоихъ кратеровъ нѣкоторыми средними величинами. Такое упрощенное описаніе явленія въ дугѣ переменнаго тока не можетъ вызывать большихъ сомнѣній, такъ какъ знакъ кратеровъ черезъ каждые полъ-періода мѣняется, и характерная разница положительнаго и отрицательнаго кратеровъ въ дугѣ постояннаго тока не можетъ получить полного развитія; напротивъ, разница эта постоянно сглаживается, и если величины, входящія въ уравненіе (I), т. е. w , T и F для положительнаго и отрицательнаго электродовъ не вполне одинаковы, то отклоненія ихъ отъ средней величины во всякомъ случаѣ незначительны и тѣмъ меньше, чѣмъ больше частота переменнаго тока. Гораздо больше сомнѣній можетъ возбудитъ то же допущеніе по отношенію къ дугѣ постояннаго тока; здѣсь

только опытъ можетъ оправдать или опровергнуть его. Для дальнѣйшихъ расчетовъ намъ придется пользоваться уравненіемъ (I) въ упрощенной формѣ, которую оно принимаетъ, если температура и площадь кратеровъ одинаковы

$$ei = wTF \dots (Ia).$$

Если наши выводы, основанные на этомъ предположеніи, окажутся въ согласіи съ опытомъ, то это позволитъ намъ утверждать, что и наши предпосылки достаточно справедливы.

Теперь посмотримъ, какъ измѣнится уравненіе (Ia), когда мы начнемъ разсматривать дугу переменнаго тока. Въ дугѣ постояннаго тока мы имѣемъ установившееся состояніе и поэтому предполагаемъ, что вся работа электрическаго тока превращается въ тепло, которое идетъ на поддержаніе кратеровъ въ накалиномъ состояніи, т. е. возмѣщаетъ ту потерю тепла, которая является слѣдствіемъ теплопроводности электродовъ. При измѣняющихся состояніяхъ, очевидно, часть работы должна быть затрачена на переходъ изъ одного состоянія въ другое. Возвращаясь къ вышеразвитому представленію о роли кратера въ дугѣ, можно представить себѣ это слѣдующимъ образомъ: для того, чтобы увеличить температуру или площадь кратера, необходима затрата энергіи, величина которой зависитъ отъ теплоемкости электродовъ; пусть необходимо затратить количество энергіи λ для того, чтобы увеличить произведеніе TF на единицу, и пусть въ промежутокъ времени dt это произведеніе увеличится на $d(TF)$; энергія, затраченная на это, окажется равной $\lambda d(TF)$, или, разсчитывая на единицу времени, $\lambda \frac{d(TF)}{dt}$.

Итакъ, при измѣняющемся режимѣ дуги, работа, производимая электрическимъ токомъ, складается изъ двухъ частей: изъ величины, которая вошла въ уравненіе (Ia), и изъ величины, пропорціональной первой производной по времени отъ произведенія TF . Принимая во вниманіе этотъ послѣдній членъ, мы получимъ видоизмѣненную форму уравненія (Ia), а именно слѣдующее дифференціальное уравненіе:

$$ei = wTF + \lambda \frac{d(TF)}{dt} \dots (Ib).$$

Неизвѣстной въ этомъ уравненіи является произведеніе TF ; для упрощенія формулъ мы будемъ обозначать это произведеніе однимъ символомъ S и напишемъ уравненіе въ слѣдующемъ видѣ:

$$\lambda \frac{dS}{dt} + wS = ei \dots (Ib).$$

Это линейное уравненіе съ постоянными коэффициентами; если извѣстна зависимость произведенія ei отъ времени, то можно легко найти рѣшеніе уравненія, т. е. зависимость величины S отъ времени.

Формулы (Ia) и (Ib) выведены въ предполо-

женіи, что вся работа, затраченная на поддержаніе дуги, идетъ на нагрѣваніе кратеровъ. На примѣрѣ дуги постоянного тока мы можемъ провѣрить, насколько достоверно это предположеніе. Какъ извѣстно, зависимость между напряженіемъ на электродахъ дуги и силой тока, выражается формулой

$$e = a + \frac{b}{i}, \quad \dots \dots (1),$$

откуда работа электрическаго тока въ дугѣ въ зависимости отъ силы тока можетъ быть представлена линейной функцией

$$ei = ai + b \quad \dots \dots (2).$$

Графически эти зависимости могутъ быть представлены слѣдующимъ образомъ: если на оси абсциссъ нанести силу тока, а на оси ординатъ соответствующія величины электродвижущей силы, то зависимость между этими величинами представится гиперболой, одна вѣтвь которой асимптотически приближается къ оси ординатъ, а другая къ прямой, параллельной оси абсциссъ; если же на оси ординатъ откладывать мощность дуги, то зависимость ея отъ силы тока представится прямой линіей, пересѣкающей положительную ось ординатъ на разстояніи b отъ начала и наклоненную къ оси абсциссъ подъ угломъ, тангенсъ котораго равенъ a .

Еслибы вся энергія, доставляемая дугѣ токомъ, шла на нагрѣваніе кратеровъ, то уравненіе (1a) для дуги постоянного тока можно было бы представить такъ:

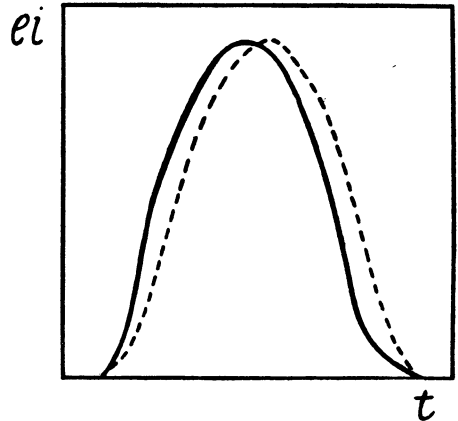
$$ai + b = wS \quad \dots \dots (1c).$$

Изъ этого уравненія вытекаетъ, что S имѣетъ всегда конечную величину, даже если токъ безконечно малъ, такъ какъ при $i=0$, $wS=b$. Другими словами площадь кратера должна достигнуть извѣстной величины для того, чтобы дуга могла существовать. Этотъ выводъ противорѣчитъ нашимъ свѣдѣніямъ объ испусканіи электроновъ накаливаемыми металлами, такъ какъ явленіе это, насколько извѣстно, зависитъ только отъ температуры поверхности, а не отъ величины ея. Съ другой стороны параметры a и b различно зависятъ отъ длины дуги; a мало измѣняется съ длиной дуги, b , напротивъ, возрастаетъ очень быстро. Поэтому представляется очень правдоподобнымъ предположить, что только часть работы, а именно та, которая пропорциональна силѣ тока, идетъ на поддержаніе температуры кратеровъ; величина же b представляетъ ту часть работы тока, которая поддерживаетъ въ накаленномъ состояніи столбъ газовъ, соединяющихъ оба кратера, т. е., собственно, дугу. Итакъ въ дугѣ постоянного тока мы можемъ съ извѣстнымъ вѣроятіемъ оцѣнить степень приближенія, съ которой уравненіе (1c) описываетъ явленіе; слѣдующей степенью приближенія мы будемъ считать уравненіе

$$ai = wS, \quad \dots \dots (1d)$$

которое говоритъ, что въ дугѣ постоянного тока величина S пропорциональна силѣ тока. Для дуги же переменнаго тока у насъ нѣтъ никакихъ критеріевъ, чтобы провѣрить уравненіе (1b), и поэтому въ этомъ случаѣ мы ограничимся первой степенью приближенія, т. е. уравненіемъ (1'б).

Обратимся теперь къ переменному току и посмотримъ, къ какимъ выводамъ приводитъ уравненіе (1'б). Для того, чтобы рѣшить это уравненіе, нужно знать видъ кривой мощности. Какъ видно изъ фиг. 1, въ которой вычерчена одна такая кривая для переменнаго тока въ 50~*), въ первомъ приближеніи можно принять, что $ei = e_0 i_0 \sin^2 \omega t$. (Въ фиг. 1 сплошной чертой вы-



Фиг. 1.

черчена кривая мощности, полученная изъ опыта, а пунктиромъ идеальная кривая, построенная по вышеприведенной приближенной формулѣ).

Тогда уравненіе (1'б) представится въ слѣдующемъ видѣ

$$wS + \lambda \frac{dS}{dt} = e_0 i_0 \sin^2 \omega t \quad \dots (1e).$$

Для нашихъ цѣлей важно только то частное рѣшеніе уравненія (1e), которое является періодическою частью общаго интеграла. Это рѣшеніе находится общепринятымъ способомъ неопредѣленныхъ коэффициентовъ. Въ окончательной формѣ оно можетъ быть представлено такъ:

$$S = \frac{S_0}{2} [1 - \sin \varphi \cdot \sin (2\omega t + \varphi)] \quad \dots (3),$$

гдѣ $S_0 = \frac{e_0 i_0}{w}$, а φ находится изъ уравненія $\tan \varphi = \frac{w}{\lambda \cdot 2\omega}$. Величина S , какъ видно изъ формулы (3), колеблется между предѣльными значеніями

$$\frac{S_0}{2} (1 \mp \sin \varphi).$$

Чѣмъ больше частота переменнаго тока, т. е.

*) Н. Th. Simon. loc. cit. Abb. 10.

чѣмъ больше величина ω , тѣмъ меньше уголъ φ ; при очень большихъ величинахъ $\omega - tg\varphi$, а слѣдовательно и $\sin\varphi$, близки къ нулю; поэтому величина S остается неизмѣнной и равной $\frac{S_0}{2}$.

Мы воспользуемся этимъ выводомъ для того, чтобы обосновать вторую гипотезу, лежащую въ основѣ теоріи Симона. Дуддель *) въ своей известной работѣ показалъ, что если на постоянный токъ налагать слабый переменный токъ, то при этомъ замѣчается сдвигъ фазъ тока и напряженія, какъ при индуктивномъ сопротивленіи; но при очень высокой частотѣ переменнаго тока, достигающей для дуги съ углями 90000 въ секунду, послѣдняя представляется по отношенію къ переменному току не индуктивнымъ сопротивленіемъ, т. е.

$$\frac{de}{di} = R = \text{const.} \quad (4).$$

Мы показали выше, что при переменномъ токѣ большой частоты параметръ S остается постояннымъ; поэтому мы удовлетворимъ условію (4), если напишемъ

$$\frac{de}{di} = R = \varphi(S) \quad (4')$$

Другими словами можно сказать, что величина S опредѣляетъ истинное сопротивление дуги. Какъ бы мы не измѣняли силу тока i , мы всегда будемъ имѣть то же самое истинное сопротивление, если только какимъ-либо способомъ, съумѣемъ поддерживать неизмѣнной величину S . Если S не измѣняется, то зависимость между напряженіемъ и силой тока будетъ линейная. Интегрируя уравненіе (4') въ предположеніи, что S остается неизмѣннымъ, мы находимъ

$$\frac{e-e_0}{i} = \varphi(S) \quad (II).$$

Это и есть второе основное уравненіе или вторая гипотеза, на которой покоится теорія переменнаго тока Симона. Какъ видно изъ вышесказаннаго, она представляется согласной съ опытомъ. Въ той формѣ, въ которой уравненіе (II) написано здѣсь, мы встрѣчаемся въ величинѣ e_0 , которая есть не что иное, какъ обратная электродвижущая сила въ дугѣ постояннаго тока.

Гипотетичнымъ въ уравненіи (II) является допущеніе, что исходное положеніе (4') дѣйствительно не только для случая переменнаго тока наложеннаго на постоянный, но и для любыхъ амплитудъ переменнаго тока. Другими словами, уравненіе (II) имѣетъ значеніе не только для стационарнаго, установившагося режима, т. е. для дуги постояннаго тока, но и для любыхъ измѣненій режима. Несомнѣнно, что въ различныхъ случаяхъ наша произвольная постоянная e_0 можетъ принимать различныя значенія. Обрат-

ная электродвижущая сила въ дугѣ постояннаго тока, по мнѣнію Дудделя, термоэлектрическаго происхожденія, т. е. зависитъ отъ разности температуръ кратеровъ. Ясно, что въ дугѣ постояннаго тока эта разность температуръ, а слѣдовательно и обратная электродвижущая сила, можетъ образоваться гораздо скорѣе, чѣмъ въ дугѣ переменнаго тока, въ которой знаки электродовъ постоянно мѣняются. Мы будемъ принимать въ дальнѣйшемъ, что для дуги переменнаго тока e_0 равно нулю, т. е. уравненіе (II) напишется такъ:

$$\frac{e}{i} = \varphi(S) \quad (III).$$

Намъ нужно опредѣлить теперь видъ функціи, входящей во вторую часть уравненія (II). Для того, чтобы сдѣлать это, примѣнимъ уравненія (I) и (II) къ дугѣ постояннаго тока, принимая во вниманіе, что зависимость между напряженіемъ и силой тока выражается формулой (1). Уравненія (I) и (II) согласно вышесказанному напишутся такъ:

$$ai = wS \text{ и}$$

$$\frac{(a-e_0)i+b}{i^2} = \varphi(S)$$

исключая изъ этихъ уравненій i , находимъ

$$\varphi(S) = \frac{a^2(\alpha wS + b)}{w^2 S^2} \quad (5).$$

гдѣ α стоитъ вмѣсто $\frac{a-e_0}{a}$. Эта формула можетъ быть представлена въ болѣе простомъ видѣ, если замѣнить произведенія $a^2\alpha$ и a^2b соответственно буквами e_1 и e_2

$$\varphi(S) = \frac{e_1 wS + e_2}{w^2 S^2} \quad (5').$$

Кoeffициенты e_1 и e_2 зависятъ отъ длины дуги и такъ же какъ a и b возрастаютъ съ увеличеніемъ длины дуги. При этомъ коoeffициентъ e_2 , который пропорціоналенъ b , возрастаетъ значительно быстрѣе e_1 , въ который входитъ только параметръ a . Итакъ уравненіе (II) можетъ быть представлено теперь въ раскрытомъ видѣ

$$\frac{e}{i} = \frac{e_1 wS + e_2}{w^2 S^2} \quad (IIIb).$$

При помощи уравненій (I) и (II) мы можемъ теперь замѣнить графическій методъ изложенія Симона аналитическимъ разсмотрѣніемъ вопроса, что дастъ намъ возможность легче обозрѣть выводы и облегчить провѣрку теоріи на данныхъ опыта.

Мы остановимся сначала на двухъ предѣльныхъ случаяхъ, въ которыхъ уравненіе (IIIb) принимаетъ болѣе простой видъ:

1. Когда коoeffициентомъ e_2 можно пренебречь по сравненію съ первымъ членомъ числителя второй части уравненія, т. е. по сравненію съ $e_1 wS$. Этотъ случай будетъ имѣть мѣсто при

*) W. Duddell. Proc. Roy. Soc. 63 p. 512. 1901.

сильныхъ токахъ въ окрестности максимума величины S , или при большей частотѣ переменнаго тока, когда, какъ мы видѣли, величина S колеблется въ тѣсныхъ предѣлахъ около нѣкоторой средней величины и не принимаетъ очень малыхъ значений. Для постоянного тока этотъ случай наступитъ тогда, когда въ уравненіи характеристики дуги

$$e = a + \frac{b}{i}$$

вторымъ членомъ второй части можно будетъ пренебречь по сравненію съ первымъ. Во всѣхъ такихъ случаяхъ уравненіе (IIb) напишется въ слѣдующей формѣ:

$$\frac{e}{i} = \frac{c_1}{wS} \dots \dots \dots \text{(IIc)}$$

2. Другой случай мы будемъ имѣть, когда первый членъ числителя въ уравненіи (IIb) значительно меньше второго. Онъ наступитъ при очень слабыхъ токахъ, когда параметръ S остается меньше нѣкоторой конечной величины; при переменномъ же токѣ, когда S колеблется въ широкихъ предѣлахъ, онъ можетъ наступать только въ извѣстные моменты, а именно около минимумовъ величины S . Такимъ образомъ, можетъ случиться, что въ извѣстные промежутки времени сопротивление дуги, то есть величина $\frac{e}{i}$, измѣняется по формулѣ (IIc), въ другіе моменты слѣдуетъ закону

$$\frac{e}{i} = \frac{c_2}{(wS)^2} \dots \dots \dots \text{(IId)},$$

или, наконецъ, какому нибудь среднему закону, выражаемому общей формулой (IIb). Затѣмъ необходимо замѣтить, что при возрастаніи длины дуги коэффициентъ c_2 возрастаетъ значительно быстрѣе c_1 , поэтому при увеличеніи длины дуги мы приближаемся ко второму предѣльному случаю.

Такимъ образомъ, смотря по тому, какой случай мы разсматриваемъ, мы будемъ имѣть два различныхъ вида дифференціального уравненія, которые даютъ намъ зависимость S отъ времени; изъ (I'b) и (IIc) или (IId), мы получаемъ соотвѣтственно

$$wS + \lambda \frac{ds}{dt} = \frac{c_1 i^2}{wS} \dots \dots \dots \text{(6)}$$

и

$$wS + \lambda \frac{ds}{dt} = \frac{c_2 i^2}{w^2 S^2} \dots \dots \dots \text{(7)}$$

Вводя новыя переменныя: $y = (wS)^2$ и $z = (wS)^3$, мы можемъ написать эти уравненія такъ:

$$y + \frac{\lambda}{2w} \frac{dy}{dt} = c_1 i^2 \dots \dots \dots \text{(6')}$$

$$z + \frac{\lambda}{3w} \frac{dz}{dt} = c_2 i^3 \dots \dots \dots \text{(7')}$$

Эти линейныя уравненія съ постоянными коэф-

фициентами легко рѣшить, если знать зависимость силы тока отъ времени, т. е. форму кривой тока. Въ дальнѣйшихъ разсужденіяхъ мы будемъ принимать, что кривыя тока имѣютъ синусоидальную форму, т. е.

$$i = i_0 \sin \omega t \dots \dots \dots \text{(8)}$$

Но при этомъ необходимо замѣтить, что такое предположеніе вовсе не соотвѣтствуетъ истинѣ, а представляетъ только первое приближеніе къ ней. На самомъ дѣлѣ сила тока является сложной гармонической функціей времени и отъ формы этой функціи весьма существенно зависитъ и форма кривой электродвижущей силы и мощности дуги, и видъ характеристики дуги переменнаго тока. Наши формулы позволяютъ воспроизвести кривыя электродвижущей силы и характеристики для различныхъ случаевъ дуги переменнаго тока, но въ силу вышеуказанныхъ причинъ нельзя ждать полного совпаденія теоретически полученныхъ кривыхъ съ реальными кривыми.

Какъ и раньше, мы беремъ только частныя рѣшенія уравненій (6') и (7'), потому что насъ интересуетъ въ настоящее время только установившійся режимъ. Рѣшенія эти мы напишемъ въ слѣдующей формѣ:

$$y = c_1 i_0^2 [1 - \sin \varphi_1 \sin (2\omega t + \varphi_1)] \dots \dots \dots \text{(9)}$$

$$z = c_2 i_0^2 [1 - \sin \varphi_2 \sin (2\omega t + \varphi_2)] \dots \dots \dots \text{(10)}$$

при чемъ φ_1 и φ_2 находится соотвѣтственно ихъ равенствъ

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{2w}{\lambda \cdot 2\omega} \text{ и } \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{3w}{\lambda \cdot 2\omega}$$

Эти формулы позволяютъ вычислить величину S для любого момента времени и построить кривую электродвижущей силы или характеристику дуги переменнаго тока.

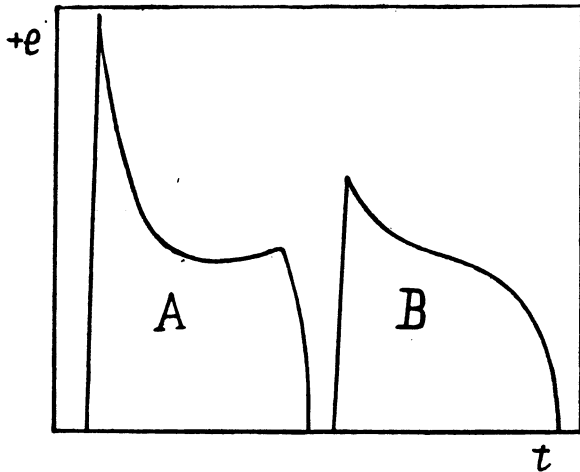
Приведемъ еще формулы, выражающія мгновенныя величины сопротивления дуги въ зависимости отъ времени. Подставляя въ уравненіи (IIc) и (IId) величины wS , которыя получаются изъ формулъ (9) и (10), мы находимъ:

$$\frac{e}{i} = \frac{c_1^{1/3}}{i_0 [1 - \sin \varphi_1 \sin (2\omega t + \varphi_1)]^{1/3}} \dots \dots \dots \text{(IIc')}$$

$$\frac{i}{e} = \frac{c_2^{1/3}}{i_0^{4/3} [1 - \sin \varphi_2 \sin (2\omega t + \varphi_2)]^{4/3}} \dots \dots \dots \text{(IId')}$$

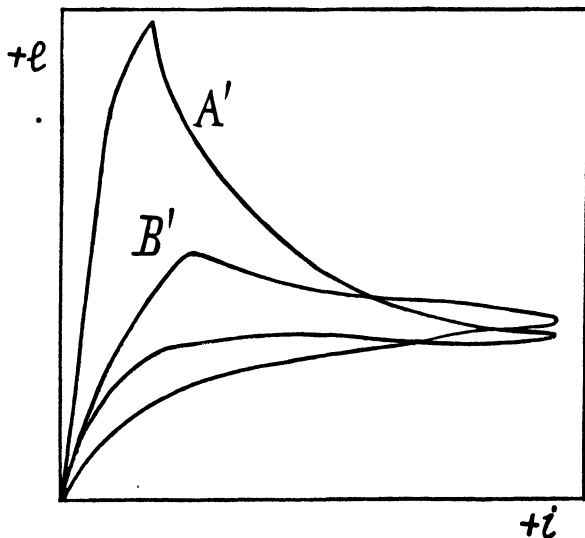
На фиг. 2 и 3 изображены кривыя электродвижущей силы и характеристики для обоихъ предѣльныхъ случаевъ въ предположеніи, что $\varphi_2 = 80^\circ$, а $\varphi_1 = 75^\circ 20'$. Мы видимъ, что въ обоихъ случаяхъ кривая электродвижущей силы несимметрична, что при возрастаніи тока отъ нуля напряженіе быстро растетъ и достигаетъ максимума; при дальнѣйшемъ возрастаніи тока оно начинаетъ падать, а на нѣкоторомъ протяженіи, около максимума тока, остается почти постояннымъ; при паденіи силы тока можетъ наступить

болѣе или менѣе рѣзко выраженный максимумъ напряженія, что и замѣтно на кривой А, соотвѣтствующей второму случаю, т. е. небольшимъ амплитудамъ тока или большой длинѣ дуги. На кривой В второй максимумъ сглаженъ; кривая падаетъ сначала медленно, потомъ все быстрѣе. Мы видимъ, что характерной особенностью этихъ



Фиг. 2.

кривыхъ является асимметрия ихъ, что напряженіе при возрастаніи тока измѣняется по иному закону, чѣмъ при паденіи. Намъ, конечно, сейчасъ же вспоминается при этомъ другое явленіе,



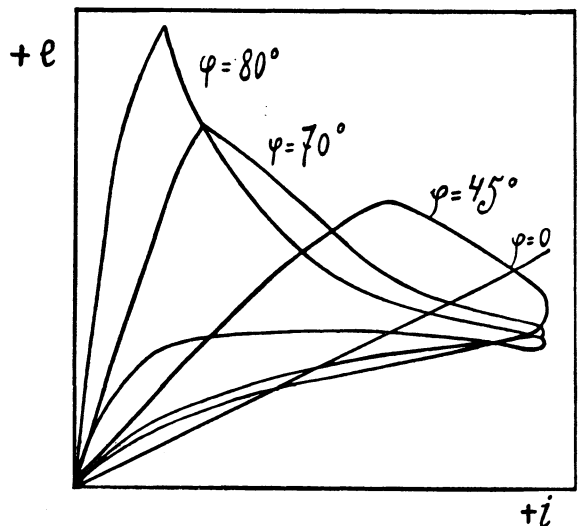
Фиг. 3.

ніе, представляющее тѣ же особенности, а именно магнитный гистерезисъ. Мы можемъ поэтому говорить о гистерезисѣ въ дугѣ переменнаго тока.

Гистерезисъ въ 1-мъ случаѣ, т. е. при большихъ амплитудахъ тока, выраженъ менѣе рѣзко, чѣмъ во 2-мъ. Восходящая вѣтвь характеристики

въ послѣднемъ случаѣ подымается значительно выше, чѣмъ нисходящая; какъ мы увидимъ, эт наступаетъ и въ дѣйствительности при длинныхъ дугахъ и малыхъ амплитудахъ тока. При этомъ необходимо замѣтить, что обѣ кривыя представляютъ изъ себя предѣльные типы; реальная характеристика въ области небольшихъ силъ ток будетъ приближаться къ формѣ кривой А', около максимума тока—къ кривой В'. При уменьшеніи силы тока или увеличеніи длины дуги характеристика должна измѣняться въ сторону типа А' (фиг. 3).

Мы можемъ, кромѣ того, предвидѣть, какъ долженъ измѣняться видъ характеристики при возрастаніи частоты переменнаго тока. На фигурѣ 4 построено нѣсколько характеристикъ для различныхъ частотъ, т. е. значеніи угла φ ; при этомъ мы ограничиваемся рассмотримъ ти-



Фиг. 4.

па А'. Чѣмъ больше частота, тѣмъ меньше петля гистерезиса, тѣмъ меньше асимметрия кривой напряженія. Для очень большихъ частотъ, когда φ_2 приближается къ нулю, периодически измѣняющийся членъ въ формулѣ (10) стремится къ нулю; въ этомъ случаѣ величина S дѣлается постоянной и

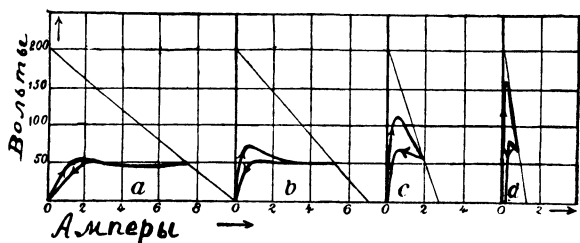
$$\frac{e}{i} = \text{const.},$$

т. е. характеристика представляетъ изъ себя прямую линію, наклоненную къ оси абсциссъ подъ угломъ тѣмъ меньшимъ, чѣмъ больше амплитуда тока. Кривая электродвижущей силы въ этомъ случаѣ, теряя свою асимметрию, приближается къ синусоидальной формѣ.

Для сравненія этихъ результатовъ теоріи съ данными опыта мы приведемъ нѣсколько реальныхъ характеристикъ, полученныхъ Симономъ *).

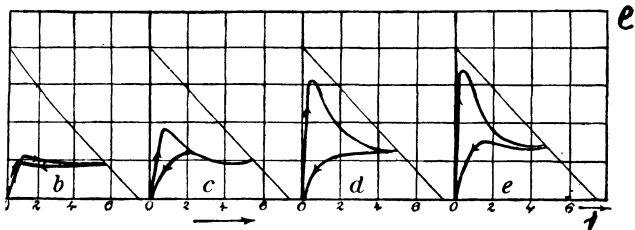
*) K. Th. Simon. loc. cit.

На фиг. 5 представлено изменение характеристики при уменьшении амплитуды силы тока. Эти характеристики построены по кривым для



Фиг. 5.

силы тока и напряжения, полученных при помощи осциллографа Дудделя, проектировавшего на фотографическую бумагу одновременно эти кривые в то время, как в цепи дуги быстро вводилось сопротивление до полного потухания дуги. Таким образом из одного опыта можно было получить несколько характеристик для различных амплитуд тока и проследить влияние этого фактора. Другой опыт, который состоял в том, что во время фотографирования кривых тока и напряжения быстро увеличивалась длина дуги, дал возможность проследить влияние длины дуги на форму характеристики. Изменение характеристики в этом опыте представлено на фиг. 6. Как в фиг. 5, так



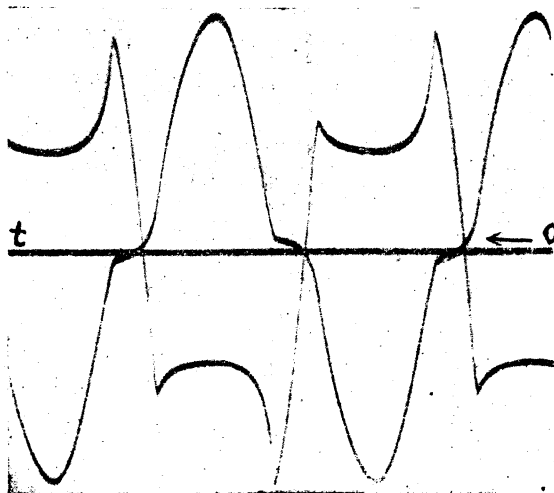
Фиг. 6.

и в фиг. 6, мы видим приближение характеристики к форме кривой В' (фиг. 3), как и следовало ожидать согласно теории.

Что касается проверки вывода теории о влиянии частоты переменного тока на вид характеристики и кривой электродвижущей силы, то, к сожалению, мы не имеем для этого экспериментального материала. Между тем, как раз с этой стороны проверка теории могла бы дать весьма важный материал для заключений о ее пригодности.

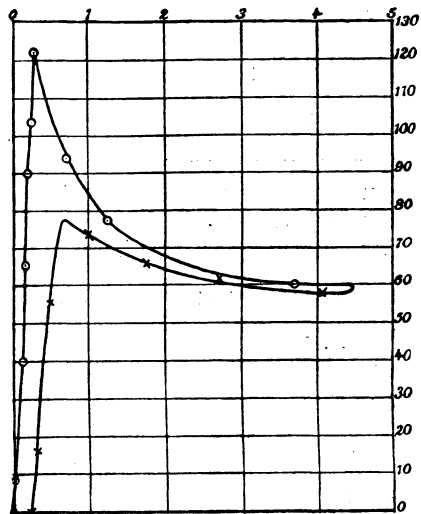
Мы приводим еще для сравнения реальные кривые тока и напряжения (фиг. 7), а также характеристику (фиг. 8), полученную при помощи этих кривых, взятых из статьи Симона. На фиг. 7 представлен фотографический снимок этих кривых, при чем положительное направление оси абсцисс, т. е. оси времени, нужно считать справа налево. Внимательно рассматривая ее, мы видим, что кривая тока имеет

весьма сложную форму. Начиная от нуля, ток возрастает сначала очень медленно; это соответствует времени быстрого возрастания напряжения; то же самое, но в менее резкой форме, наблюдается и при падении тока. Наше же допущение, что форма кривой тока синусои-



Фиг. 7.

дална, предполагало, что наиболее сильное возрастание тока происходит как раз у нулевой линии. Зато мы видим, что и та часть кривой, которая ближе к синусоиде, все-таки не вполне симметрична. Мы можем теперь оценить до некоторой степени, в каком направ-



Фиг. 8.

лении влияло на наши выводы неправильное допущение о синусоидальности тока. Ясно, что чем быстрее возрастание тока, начиная от нуля, тем сильнее и резче должен получиться первый максимум напряжения, а следовательно и асимметрия кривой. Сдвиг всей кри-

вой тока въ сторону вѣтви убывающаго тока, который замѣтенъ на фотографіи, имѣеть слѣдствіемъ болѣе ясное развитіе второго максимума, соответствующаго паденію тока до нуля, а поэтому и уменьшеніе асимметріи кривой напряженія. Внимательное разсмотрѣніе реальныхъ кривыхъ такимъ образомъ показываетъ намъ, что кривая тока принимаетъ такую форму, которая благоприятствуетъ развитію симметричной формы кривой напряженія; это приспособленіе кривой тока зависитъ, конечно, отъ той взаимной связи между напряженіемъ и силой тока, которая устанавливается общими электродинамическими законами.

Весьма вѣроятно, что несогласіе въ деталяхъ между реальными и теоретическими кривыми имѣеть своей причиной это взаимное приспособленіе тока и напряженія. Къ сожалѣнію полное изслѣдованіе вопроса, т. е. разрѣшеніе системы совмѣстныхъ дифференціальныа уравненій, которые нетрудно составить для даннаго случая, недоступно при наличныхъ средствахъ математическаго анализа. Но во всякомъ случаѣ мы можемъ убѣдиться изъ вышеприведенныхъ примѣровъ, что изложенная теорія даетъ возможность въ общихъ чертахъ описывать и предвидѣть различныя явленія, наблюдаемыя въ дугѣ переменнаго тока.

Мы скажемъ еще въ нѣсколькихъ словахъ о роли матеріала электродовъ въ этомъ явленіи. Различіе характеристикъ при различныхъ электродахъ зависитъ, конечно, прежде всего отъ того, что величина коэффициентовъ въ уравненіи (1) мѣняется въ зависимости отъ матеріала. Но кромѣ того, какъ мы видѣли, величина угла φ , опредѣляющая видъ характеристики, зависитъ отъ величинъ w и λ , а именно отъ отношенія

ихъ. Чѣмъ больше $\frac{w}{\lambda}$, тѣмъ ближе уголъ φ къ

90° ; изъ фиг. 4 явствуетъ, что чѣмъ ближе φ къ 90° , тѣмъ болѣе рѣзко выраженъ первый максимумъ, тѣмъ большихъ величинъ достигаетъ электродвижущая сила въ дугѣ. При достаточно

большой величинѣ $\frac{w}{\lambda}$ можетъ оказаться, что то напряжение, при которомъ обычно поддерживается дуга переменнаго тока между углями, уже недостаточно. Это именно и наблюдается при употребленіи металлическихъ электродовъ, теплопроводность которыхъ, а слѣдовательно

и величина $\frac{w}{\lambda}$, значительно больше, чѣмъ у угольныхъ электродовъ. Металлическій электродъ въ дугѣ переменнаго тока представляется клапаномъ, который пропускаетъ токъ, если противоположный угольный электродъ служитъ катодомъ, и не пропускаетъ, если долженъ служить самъ катодомъ. Только при высокихъ напряженіяхъ, которыя мы имѣемъ въ случаѣ колебательнаго разряда черезъ искровой промежутокъ, мы можемъ наблюдать дугу пе-

ремѣннаго тока между металлическими электродами.

(Продолженіе слѣдуетъ).

НАУЧНЫЙ ОБЗОРЪ.

Вычисленіе коэффициента самоиндукціи. Новѣйшіе успѣхи беспроводнаго телеграфа заставили многихъ ученыхъ заняться болѣе подробно изученіемъ самой природы колебательнаго разряда, а вмѣстѣ съ тѣмъ вычисленіемъ и измѣреніемъ основныхъ физическихъ величинъ, характеризующихъ это явленіе. Самыми главными изъ послѣднихъ являются: емкость и коэффициентъ самоиндукціи. Для вычисленія коэффициента самоиндукціи нерѣдко пользуются формулою Стефана, а также и Друдс. Однако, и та и другая формула даютъ значенія не всегда согласныя съ тѣми, которыя получаются непосредственнымъ измѣреніемъ, а потому всякая поправка, вводимая въ эти формулы, несомнѣнно желательна, такъ какъ опредѣленіе опытныхъ величинъ коэффициента самоиндукціи и именно того порядка, какой встрѣчается въ установкахъ беспроводнаго телеграфа, представляетъ часто на практикѣ затрудненія. Г. Штрассеръ сдѣлалъ рядъ опытовъ и измѣреній этой величины, указавъ источникъ ошибки въ формулѣ Стефана и далъ въ то же время свою формулу, удобную для вычисленія и дающую величины, почти совпадающія съ тѣми, которыя получаются опытомъ. Поправка, которую вводитъ Штрассеръ, какъ бы дополняетъ формулу Друдс; послѣдній показалъ, что формула Стефана для вычисленія коэффициента самоиндукціи короткихъ соленоидовъ съ небольшимъ числомъ оборотовъ даетъ результаты несогласныя съ величинами, полученными опытомъ. Измѣренія, послужившія для такого заключенія, были сдѣланы съ быстрыми колебаніями; Штрассеръ повторилъ эти измѣренія съ медленными колебаніями и получилъ тотъ же самый результатъ, т. е., что формула Стефана не приложима для катушекъ съ небольшимъ числомъ оборотовъ, и съ своей стороны предложилъ другую формулу, пригодную для этого случая.

Формула Стефана выражается такъ:

$$L = 4\pi a n^2 \left[\left(1 + \frac{3b^2 + c^2}{96a^2} \right) \ln \frac{8a}{\sqrt{b^2 + c^2}} - y_1 + \frac{b^2}{16a^2} y_2 \right]$$

Здѣсь приняты слѣдующія обозначенія:

L —коэффициентъ самоиндукціи;

a —средній радіусъ;

n —число оборотовъ проволоки;

b —длина катушки;

c —толщина проволоки;

y_1 и y_2 —величины, которыя зависятъ отъ отношенія $\frac{c}{b}$; значеніе ихъ дано Стефаномъ въ его таблицѣ.

Обозначимъ въ дальнѣйшемъ черезъ:

n —число оборотовъ проволоки;

$2r$ —средній діаметръ катушки;

g —шагъ обмотки;

ρ —толщину проволоки.

Штрассеръ исходитъ изъ извѣстныхъ выраженій для самоиндукціи и взаимной индукціи двухъ круговыхъ контуровъ, расположенныхъ на разстояніи g другъ отъ друга, и, ограничиваясь членами, содержащими вторую степень отношенія g/r , послѣ упрощенія формулъ приходитъ къ слѣдующимъ выраженіямъ.

Если положить

$$2 \ln [(n-1)(n-2)...] = A$$

и
 $3 [(n-2)^2 \ln 2 + (n-3)^2 \ln 3 + \dots] = B,$
 то получимъ для коэффициента самоиндукціи формулу:

$$L = 4\pi r \left\{ n \left(\ln \frac{r}{\rho} + 0,333 \right) + n(n-1) \left(\ln \frac{8r}{g} - 2 \right) - A + \frac{g^2}{8r^2} \left[\left(3 \ln \frac{8r}{g} - 1 \right) \left(\frac{n^2(n^2-1)}{12} \right) - B \right] \right\} \dots (1).$$

Слѣдующая таблица даетъ величины А и В для различныхъ значеній числа оборотовъ n отъ 1 до 30.

n	A	B	n	A	B
1	—	—	16	354,4	35694
2	—	—	17	415,8	46757
3	1,386	8,315	18	482,8	60427
4	4,970	43,296	19	555,5	76662
5	11,33	140,82	20	634,2	96910
6	20,90	366,95	21	718,9	119330
7	34,06	794,73	22	809,7	146517
8	51,11	1499,55	23	906,6	178140
9	72,32	2590,62	24	1009,8	217338
10	97,92	4187,55	25	1119,4	259868
11	128,17	6572,94	26	1235,4	305044
12	163,14	9769,47	27	1357,9	359767
13	202,1	14042,1	28	1487,0	421783
14	248,2	19053,22	29	1618,1	491819
15	298,6	26740,1	30	1765,4	570515

Провѣрка формулы на опытѣ.

Для доказательства вѣрности этой формулы Штрассеръ пользовался методомъ Вина для измѣренія малыхъ коэффициентовъ самоиндукціи. Въ одну изъ вѣтвей мостика Витстона онъ вводилъ измѣряемую катушку, помѣщая въ другую вѣтвь катушку съ переменною самоиндукціею отъ 10 до 30 разъ большую, чѣмъ измѣряемая; коэффициентъ самоиндукціи этой большей катушки измѣрялся въ свою очередь на другомъ мостикѣ, имѣвшемъ эталонъ самоиндукціи (10^5 см.).

Источникомъ тока служила небольшая Румкорфова катушка, а въ діагональ моста включался телефонъ. Двумя другими вѣтвями мостика служили бифилярныя сопротивленія.

Опыты были сдѣланы съ круговыми проводниками; данныя, полученные измѣреніемъ, согласуются съ величинами вычисленными, съ точностью до 1%. Въ слѣдующей таблицѣ приведены для нѣкоторыхъ категорій катушекъ величины, полученные опытомъ и вычисленныя при помощи формулы Штрассера. Согласіе опыта съ теоріей до 1%.

n	r	g	L. опыт.	L. теорія.
8	1,505 см.	0,11 см.	2479	2486
11	1,47 "	0,119 "	3796	3799
15	1,46 "	0,115 "	6006	6006
19	1,475 "	0,114 "	8529	8590
23	1,47 "	0,114 "	11059	11164
27	1,465 "	0,115 "	13728	13800
30	1,465 "	0,115 "	15702	15869

Въ томъ случаѣ, когда нельзя пренебречь шагомъ обмотки по отношенію къ радіусу катушки, форма витковъ проволоки имѣетъ значеніе, такъ какъ при вычисленіи коэффициента самоиндукціи предполагаютъ, что имѣютъ дѣло съ рядомъ послѣдовательныхъ независимыхъ круговыхъ проводниковъ.

Для выясненія вліянія этого фактора, авторъ сдѣлалъ рядъ опытовъ съ различнымъ шагомъ обмотки. Результаты этихъ измѣреній представлены въ слѣдующей таблицѣ:

n	r	g	L. опыт.	L. теорія.
2	4,97 см.	0,128 см.	1092 см.	1090
2	4,96 "	1,15 "	817 "	818
2	4,95 "	2,02 "	753 "	754
2	4,95 "	3,04 "	713 "	712
2	4,94 "	5,04 "	645 "	667

Легко видѣть, что даже при $g=0,6r$ формула приложима. При g почти равномъ r между величинами вычисленными и измѣренными получается небольшая разница.

Кромѣ того, Штрассеръ опредѣлилъ, до какой длины соленоида данного радіуса теоретическая формула еще приложима. Оказывается, что результаты еще остаются точными, когда длина катушки равняется 5 радіусамъ.

Въ заключеніе Штрассеръ сравниваетъ результаты, полученные изъ формулъ Друде, Стефана и изъ формулы (1). Изъ приведенной таблицы видно, что формула Друде и формула (1) даютъ вполне согласные результаты.

n	Стефанъ.	Друде.	Формула (1).
2	307 см.	238 см.	245 см.
3	548 "	451 "	456 "
4	829 "	698 "	710 "
5	1138 "	992 "	993 "
6	1472 "	1273 "	1298 "
7	1832 "	1636 "	1630 "
8	2199 "	1973 "	1963 "
9	2584 "	2313 "	2316 "

(Drud. Ann.).

О допустимыхъ предѣлахъ напряженія въ бронированныхъ кабеляхъ. Маршена.
 Въ засѣданіи отъ 4 апрѣля 1906 г. международного общества электриковъ г. Маршена сдѣлалъ докладъ относительно допустимыхъ предѣловъ рабочаго напряженія въ бронированныхъ кабеляхъ. Сперва онъ изложилъ опыты, произведенные въ Тулонѣ торговымъ домомъ Жоффуа и Делорсъ, а затѣмъ перешелъ къ разсмотрѣнію выводовъ, полученныхъ на основаніи этихъ опытовъ. Оказывается, что въ самомъ простѣйшемъ случаѣ, именно при кабелѣ съ однимъ только проводникомъ, измѣненіе потенциала въ діэлектрикѣ слѣдуетъ логарифмическому закону слѣдующаго вида:

$$v = V \frac{A - \log(r' + x)}{B},$$

гдѣ r есть радіусъ проводника, V и v —разности потенциаловъ соответственно между проводникомъ и свинцовой оболочкой и проводникомъ и слоемъ изоляціи толщиной dx , на разстояніи x отъ проводника.

Максимумъ паденія потенциала на миллиметръ толщины изолирующаго слоя опредѣляется слѣдующей формулой:

$$\delta = \left(\frac{dv}{dx} \right)_{\max} = \frac{V}{r \lg \frac{r'+e}{r}}$$

Приблизительно можно эти же формулы примѣнять и для трехфазныхъ токовъ. Кромѣ того можно замѣтить, что начиная съ нѣкотораго значенія e , величина δ почти отъ e не зависитъ. Было въ свое время предложено устраивать кабели съ изоляціей, свойства которой измѣнялись бы съ толщиной, но подобное устройство врядъ ли дало бы замѣтные результаты съ точки зрѣнія экономической. Для трехпроводныхъ кабелей лучше всего было бы изоляцію обматывать вокругъ всѣхъ трехъ проводовъ вмѣстѣ.

Маршена полагаетъ, что для кабелей, работающихъ при напряженіи отъ 5 до 20000 вольтъ, былъ бы желателенъ коэффициентъ безопасности отъ 3 до

4 для заводских опытов и около двух для опытов послѣ прокладки. Этот послѣдній коэффициентъ имѣеть цѣлью дать возможность убѣдиться въ существованіи достаточнаго простора для могущихъ появиться въ кабелѣ повышеній напряженія. Для высокихъ вольтажъ важность этихъ явленій значительно уменьшается, такъ какъ появляющееся въ кабелѣ повышение напряженія, напримѣръ отъ замыканія тока, зависитъ только отъ его силы, а не отъ напряженія, и для чрезвычайно большихъ вольтажъ коэффициентъ безопасности можетъ быть уменьшенъ до величины равной коэффициенту безопасности въ обмоткахъ трансформаторовъ и такимъ образомъ для трехпроводныхъ кабелей можно было бы доходить до напряженія въ 35000—40000 вольтъ.

Гораздо болѣе ограничиваютъ предѣлы допустимаго максимальнаго напряженія въ подземномъ кабелѣ явленія емкости, причѣмъ влияние это можетъ быть значительно ослаблено замѣной трехпроводныхъ кабелей тремя однопроводными, помѣщенными на соответствующемъ разстояніи другъ отъ друга. (La Houille Blanche).

О распредѣленіи свѣта въ искусственно освѣщенныхъ помѣщеніяхъ. Мейзелъ. Подъ яркостью h освѣщеннаго элемента поверхности понимается обыкновенно величину, пропорциональную силѣ источника свѣта J и косинусу угла паденія α и обратно пропорциональную квадрату разстоянія r даннаго элемента отъ источника свѣта, т. е.

$$h = \frac{J \cos \alpha}{r^2}.$$

Допустимъ, что дана нѣкоторая плоскость, освѣщенная однимъ источникомъ свѣта L , находящимся на разстояніи a отъ плоскости, и пусть L' будетъ проекція L на плоскости. Для точки P на ней, на разстояніи x отъ L' , имѣемъ:

$$r = \sqrt{a^2 + x^2}, \quad \cos \alpha = \frac{a}{r}, \quad \text{т. е. } h = \frac{Ja}{(a^2 + x^2)^{3/2}}$$

откуда

$$x = \sqrt{\left(\frac{Ja}{h}\right)^{2/3} - a^2}.$$

По этой формулѣ, задавъ h и зная J и a , можно найти x . Кривыя равной яркости будутъ круги съ радиусами, равными x ; h здѣсь выражены въ особыхъ единицахъ—метр-свѣча. Это есть, по опредѣленію Вебера, та яркость, которой обладаетъ бѣлая плоскость, перпендикулярная къ свѣтовымъ лучамъ и освѣщенная свѣчей, находящейся на разстояніи одного метра. Если плоскость освѣщена двумя источниками свѣта, то вычерчиваютъ сначала кривыя для каждаго въ отдѣльности и въ точкахъ ихъ пересѣченія суммируютъ величины h . Если оба источника свѣта лежатъ на одной нормали, то величина h вычисляется по формулѣ:

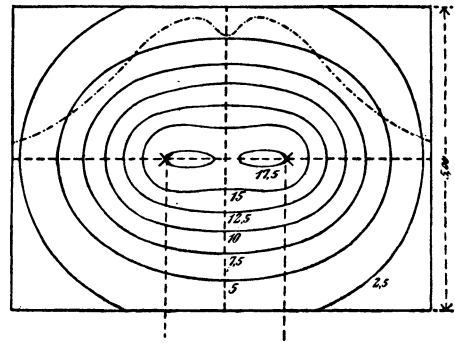
$$h = \frac{J_1 a_1}{(a_1^2 + x^2)^{3/2}} + \frac{J_2 a_2}{(a_2^2 + x^2)^{3/2}}.$$

Въ практикѣ особое значеніе имѣеть случай освѣщенія какой нибудь поверхности двумя лампами съ равными силами свѣта J и находящимися отъ поверхности на одинаковомъ разстояніи a . Если обозначить черезъ $2p$ разстояніе между лампами, ось x провести черезъ проекцію обѣихъ лампъ на плоскости и взять начало координатъ въ серединѣ между ними, то для точки $P(x, y)$

$$h = Ja \left[\frac{1}{[a^2 + (x+p)^2 + y^2]^{3/2}} + \frac{1}{[a^2 + (x-p)^2 + y^2]^{3/2}} \right].$$

Это уравненіе нельзя рѣшить относительно x , по-

этому кривыя равной яркости надо построить по указанному выше способу пересѣченія двухъ системъ концентрическихъ окружностей. На фиг. 9 показаны такія кривыя для потолка комнаты размѣромъ



Фиг. 9.

$7 \times 5 \times 3,5$ м.; $2p = 2$ м.; $J = 32$ свѣчи. Для точекъ, лежащихъ на оси x , мы получимъ, подставляя $y = 0$:

$$h = Ja \left[\frac{1}{[a^2 + (x+p)^2]^{3/2}} + \frac{1}{[a^2 + (x-p)^2]^{3/2}} \right]$$

откуда

$$\frac{dh}{dx} = -3Ja \left[\frac{x+p}{[a^2 + (x+p)^2]^{5/2}} + \frac{x-p}{[a^2 + (x-p)^2]^{5/2}} \right].$$

При $x = 0$, т. е. для точки, находящейся на серединѣ прямой, соединяющей проекціи лампъ на плоскости $\frac{dh}{dx} = 0$. Взявъ вторую производную и подставивъ въ нее $x = 0$, получаемъ:

$$\frac{d^2h}{dx^2} = -6Ja \frac{a^2 - 4p^2}{(a^2 + p^2)^{7/2}}.$$

Если здѣсь $a > 2p$, то $\frac{d^2h}{dx^2} < 0$, а если $a < 2p$, то $\frac{d^2h}{dx^2} > 0$,

т. е. въ первомъ случаѣ въ изслѣдуемой точкѣ находится максимумъ яркости, а во второмъ—минимумъ.

Далѣе авторъ изучаетъ распредѣленіе яркости при такъ называемомъ американскомъ освѣщеніи, при которомъ большое число небольшихъ лампъ расположено по сторонамъ прямоугольника, параллельнаго краямъ потолка. Всѣ лампы имѣютъ одну и ту же силу свѣта, расположены другъ отъ друга на одинаковомъ разстояніи и близко отъ потолка. Для простоты изслѣдованія авторъ замѣняетъ систему лампъ каждой стороны прямоугольника—свѣтящейся полосой и рассматриваетъ два случая: 1) когда она параллельна и 2) когда она перпендикулярна освѣщаемой плоскости.

1) случай. Обозначимъ черезъ $2p$ длину свѣтящейся полосы, a —разстояніе ея отъ освѣщаемой плоскости, x —разстояніе любой точки полосы отъ ея середины. Для точекъ освѣщаемой плоскости выбирается система ортогональныхъ координатъ, начало которыхъ совпадаетъ съ проекціей середины свѣтящейся полосы, а ось x параллельна послѣдней. Пусть x_1, y_1 координаты какой нибудь точки изучаемой плоскости, пусть далѣе i сила свѣта единицы длины свѣтящейся полосы и $idax$ —сила свѣта элемента этой полосы; тогда элементарная яркость, которой обладаетъ точка x_1, y_1 выразится такъ:

$$h = \frac{idax}{[a^2 + (x_1 - x)^2 + y_1^2]^{3/2}},$$

яркость же точки x_1, y_1 , вызываемая всей полосой, равна:

$$H = ia \int_{-p}^{+p} \frac{dx}{[a^2 + (x-x)^2 + y_1^2]^{3/2}}$$

Произведя интегрирование, получимъ:

$$H = \frac{ia}{a^2 + y_1^2} \left[\frac{x_1 + p}{\sqrt{a^2 + (x_1 + p)^2 + y_1^2}} - \frac{x_1 - p}{\sqrt{a^2 + (x_1 - p)^2 + y_1^2}} \right]$$

При $y_1 = 0$, т. е. для оси x -овъ, имѣемъ:

$$H_0 = \frac{i}{a} \left[\frac{x_1 + p}{\sqrt{a^2 + (x_1 + p)^2}} - \frac{x_1 - p}{\sqrt{a^2 + (x_1 - p)^2}} \right]$$

Откуда вытекаетъ:

$$\frac{dH_0}{dx_1} = \frac{i}{a} \left[\frac{1}{[a^2 + (x_1 + p)^2]^{3/2}} - \frac{1}{[a^2 + (x_1 - p)^2]^{3/2}} \right]$$

Эта производная обращается въ нуль при $x_1 = 0$, откуда легко видно, что въ началѣ координатъ будетъ максимумъ яркости, равный

$$H_0' = \frac{2id}{a\sqrt{a^2 + p^2}}$$

II случай. Обозначимъ снова черезъ $2p$ длину свѣтящейся полосы, черезъ a_1 расстояние ея середины отъ плоскости, черезъ a —расстояние любой точки p полосы отъ плоскости и черезъ x —расстояние любой точки плоскости отъ проекции полосы. Тогда h и H (значенія ихъ тѣ же, что и въ I случаѣ) будутъ равны:

$$h = \frac{i \cdot a da}{(a^2 + x^2)^{3/2}}, \text{ и } H = i \int_{a_1 - p}^{a_1 + p} \frac{a \cdot da}{(a^2 + x^2)^{3/2}}$$

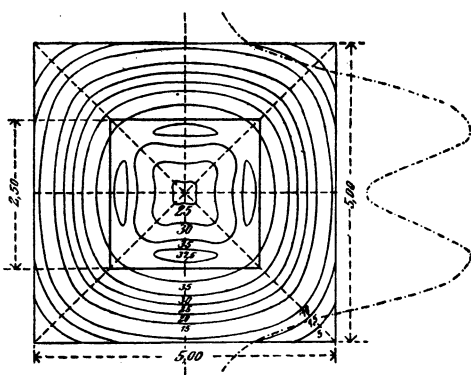
Интегрируя, получимъ:

$$H = i \left[\frac{1}{\sqrt{(a_1 - p)^2 + x^2}} - \frac{1}{\sqrt{(a_1 + p)^2 + x^2}} \right]$$

Поступая далѣе, какъ и въ первомъ случаѣ, получимъ максимальное значеніе яркости въ точкѣ $x = 0$, равное:

$$H_0 = \frac{2pi}{a_1^2 + p^2}$$

На фиг. 10 изображены кривыя равной яркости при указанной системѣ освѣщенія для потолка.



Фиг. 10.

Аналогичнымъ образомъ можно изучать и дѣйствіе люстры, лампочки которой распределены по окруж-

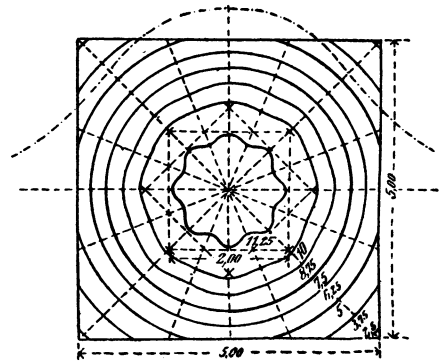
ности круга, который будетъ параллеленъ потолку и полу. Обозначимъ, черезъ r —радіусъ свѣтящагося круга, a —разстояніе его отъ плоскости, x —разстояніе любой ея точки p отъ проекціи на нее M' центра M свѣтящагося круга, φ —центральный уголъ, которымъ опредѣляется положеніе точки L свѣтящагося круга, и i —сила свѣта единицы длины окружности круга. Тогда не трудно вывести для h такую формулу:

$$h = \frac{iard\varphi}{(a^2 + r^2 + x^2 - 2rx \cos\varphi)^{3/2}}$$

Тогда

$$H = 2iar \int_0^\pi \frac{d\varphi}{(a^2 + r^2 + x^2 - 2rx \cos\varphi)^{3/2}}$$

Этотъ интегралъ приводится къ нормальной формѣ эллиптическихъ интеграловъ и тогда задача рѣшена. На практикѣ же проще прямо графически суммировать яркости, обусловливаемыя отдѣльными лампами. Въ видѣ примѣра авторъ изслѣдовалъ освѣщеніе квадратной комнаты восемью лампами по восемь свѣчей каждая, расположенными въ вершинахъ правильнаго восьмиугольника и помѣщенными на на разстояніи 1,5 м. отъ потолка. На фиг. 11 изобра-



Фиг. 11.

жены кривыя равной яркости, полученныя въ данномъ случаѣ для потолка. Изъ нея видно, что по мѣрѣ удаленія отъ центра, кривыя мало-по-малу приближаются къ кругамъ.

Во всѣхъ изслѣдованныхъ случаяхъ вліяніе отраженія авторомъ совершенно не принималось во вниманіе.

Получаемая благодаря этому ошибка тѣмъ болѣе, чѣмъ ближе находится источникъ свѣта отъ освѣщаемой поверхности и чѣмъ больше ея отражательная способность. (Е. Т. З.)

Изслѣдованіе вліянія продолжительности заряжанія и разряжанія на показанія электростатическаго вольтметра. Х. Фишеръ. Вопреки обычному мнѣнію авторъ нашель, что постоянная электрометра зависитъ какъ отъ продолжительности зарядки, такъ и отъ частоты измѣряемаго тока. Если, напримѣръ, какой-нибудь изъ обычныхъ типовъ электроскоповъ градуированъ для постояннаго тока и для него вычерчена кривая и если, затѣмъ, его пожелали бы употребить для измѣренія напряженія переменнаго тока, пользуясь тою же кривой, то почти всегда возможно констатировать ошибку въ 10% и даже 50%, причемъ въ большинствѣ случаевъ меньшія показанія бываютъ для переменнаго тока, большія—для постояннаго при одномъ и томъ же эффективномъ напряженіи. По всей вѣроятности, это происходитъ отъ неизбежнаго присутствія диэлектриковъ въ конструкціи аппаратовъ и

ихъ частей, производящихъ отталкивающія и притягивающія силы, дѣйствующія на подвижную систему электрометровъ. Квадрантные электрометры дифференціального типа также не свободны отъ этого недостатка и, будучи градуированы для постоянного тока, не могутъ быть употребляемы для переменнаго, хотя ошибка и менѣе значительна, чѣмъ у электро-скоповъ. Эта ошибка то положительна, то отрицательна, смотря по тому, какъ соединенъ бисковитъ.

Существуетъ только одно средство избѣжать неудобства, проистекающаго отъ зависимости постоянной электростатическаго вольтметра отъ продолжительности зарядки: это—заключить весь приборъ въ металлическую оболочку и примѣнять изоляцію только въ мѣстахъ выхода проводовъ. Опыты, произведенные авторомъ съ приборами подобнаго типа, показали правильность этого вывода: ни продолжительность заряда, ни частота тока не оказывали вліянія на показанія этого вольтметра. Отверстія, черезъ которыхъ наблюдаются движенія подвижной системы, не должны быть закрыты тѣломъ діэлектрическаго характера, напримѣръ, стекломъ, кварцемъ; слѣдуетъ примѣнять рѣдкую металлическую ткань, электрически соединенную съ металлической оболочкой.

(L'Elect. Electr.).

О Б З О Р Ъ.

Исслѣдованіе магнитныхъ свойствъ листового желѣза при помощи ваттметра. Жуостъ. Въ засѣданіи отъ 2 мая текущего года Жуостъ сдѣлалъ въ Международномъ Обществѣ Электриковъ докладъ о своихъ исслѣдованіяхъ магнитныхъ свойствъ листового желѣза, произведенныхъ при помощи ваттметра.

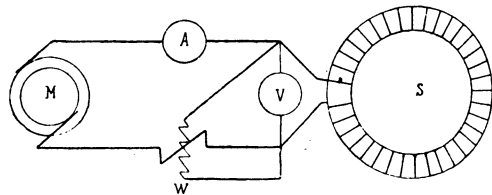
Долгое время изученіе этихъ свойствъ производилось по баллистическому методу и сводилось къ полученію возможно большаго числа точекъ кривой гистерезиса, соответствующихъ различнымъ значеніямъ индукціи; впервые Эпштейнъ въ 1900 г. предложилъ Германской Ассоціаціи Электриковъ воспользоваться для изученія магнитныхъ свойствъ листового желѣза ваттметромъ, при чемъ качество желѣза характеризовалось величиной всѣхъ потерь въ ваттахъ на 1 кгр. при индукціи въ 10000, частотѣ въ 50 періодовъ въ секунду и при температурѣ въ 30° С. Однако, оказалось, что эта характеристика сортовъ желѣза, предложенная германскими электриками, недостаточна, а самый методъ измѣренія не совсѣмъ удобопримѣнимъ на практикѣ.

Жуостъ при своихъ исслѣдованіяхъ листового желѣза въ центральной электрической лабораторіи пользовался прямоугольными рамками изъ желѣза, имѣвшими наружный размѣръ въ 30 см., а внутренний въ 28 см. Число отдѣльныхъ рамокъ было таково, что кольцо, составленное изъ нихъ, вѣсило около 10 кгр. Листовое желѣзо было тщательно покрыто шеллакомъ и потомъ обмотано бумагой, а намагничивающая обмотка состояла приблизительно изъ 200 оборотовъ проволоки.

На фиг. 12 показано схематически расположеніе приборовъ въ опытахъ автора.

Намагничивающая обмотка присоединена къ зажимамъ альтернатора черезъ амперметръ и толстую обмотку ваттметра, вольтметръ же и тонкая обмотка ваттметра присоединены непосредственно къ зажимамъ намагничивающей обмотки. При опытахъ употреблялся ваттметръ Сименса, въ качествѣ вольтметра—его же электродинамометръ. Такъ какъ, вообще говоря, вольтметры при пользованіи переменнымъ токомъ показываютъ не среднюю, а дѣйствующую электродвижущую силу, то автору для вычисле-

нія величины индукціи надо было знать отношеніе этой послѣдней величины къ первой. Это опредѣленіе производилось при помощи бифилярнаго осциллографа, введеннаго въ отвѣтвленіе вѣствѣ съ вольтметромъ, и получались такимъ образомъ кривыя обѣихъ электродвижущихъ силъ при различныхъ усло-



Фиг. 12.

віяхъ. Опредѣленное вышеуказанное отношеніе электродвижущихъ силъ оказалось очень близкимъ къ таковому въ случаѣ токовъ синусоидальныхъ.

А priori казалось бы, что если желаютъ опредѣлить общія потери при индукціи въ 10000 и частотѣ въ 50 періодовъ въ секунду, какъ это было предложено германскими электротехниками, то достаточно было бы произвести одно измѣреніе при этихъ условіяхъ, на самомъ же дѣлѣ оказывается, что нужно произвести цѣлый рядъ измѣреній при величинахъ индукціи возможно близкихъ къ 10000, но при различныхъ значеніяхъ частоты, чтобы насколько возможно отдѣлать потери отъ гистерезиса, отъ таковыхъ, происходящихъ отъ паразитныхъ токовъ. Общія потери въ листовомъ желѣзѣ при данной индукціи В и частотѣ n могутъ быть выражены такой формулой:

$$W = An B^{1.6} + Cn^2 B^2,$$

гдѣ А и С постоянныя, зависящія отъ сорта желѣза. Первый членъ этой формулы выражаетъ потери отъ гистерезиса, а второй — потери отъ явления Джоуля.

Отдѣленіе этихъ двухъ видовъ потерь другъ отъ друга можно было бы произвести весьма легко, если работать при различныхъ значеніяхъ частоты и одной и той же величинѣ индукціи. Однако, это отдѣленіе практически довольно трудно, такъ какъ почти невозможно работать съ частотой меньше, чѣмъ 20 періодовъ въ секунду, равно какъ и постоянно сохранять одну опредѣленную величину индукціи. Выборъ ваттметра для этихъ опытовъ долженъ быть также произведенъ весьма тщательно. Что касается изоляціи отдѣльныхъ листовъ желѣза, то она должна быть какъ можно совершеннѣе.

Изъ опытовъ автора выяснилось, что при индукціи въ 5000 ед. магнитная проницаемость немного увеличивается послѣ прокаливанія желѣза, величина же остаточнаго магнетизма не измѣняется; при индукціи же въ 1600 единицъ до и послѣ прокалики результаты оставались тѣ же, показатель же степени при В въ первомъ членѣ вышеуказанной формулы, послѣ прокаливанія увеличился до 1,9.

Что касается второго члена формулы, то оказалось, что въ немъ коэффициентъ С сильно мѣняется съ измѣненіемъ величины индукціи. Кромѣ того, оказывается, что вычисленныя теоретически величины потерь отъ наведенныхъ токовъ, оказываются на 40—60% меньше результатовъ, полученныхъ изъ опыта. Это увеличеніе не можетъ быть, по словамъ Жуоста, объяснено плохой изоляціей желѣза и онъ высказываетъ предположеніе, что второй членъ приведенной формулы выражаетъ потери не отъ наведенныхъ токовъ, а какія-то другія, причемъ явленіе вязкости играетъ здѣсь нѣкоторую роль.

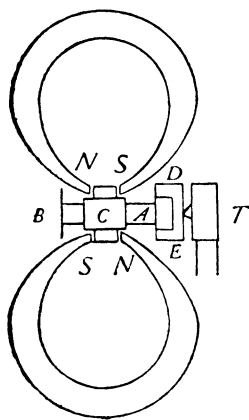
Въ заключеніе можно сказать, что опредѣленіе потерь въ листовомъ желѣзѣ, производимое съ помощью ваттметра, даетъ болѣе точные результаты

чѣмъ при пользованіи баллистическимъ гальванометромъ. Для полной характеристики листового желѣза недостаточно, какъ предлагаютъ германскіе электротехники, опредѣлять потери при неизмѣнныхъ величинахъ индукціи и частоты.

Несмотря, однако, на большую точность результатовъ, даваемыхъ этимъ методомъ, слишкомъ большое число поправокъ, равно какъ и требуемая точность приборовъ и сравнительно трудное манипулированіе, врядъ ли скоро позволятъ ему вытѣснить баллистическій методъ.

(Bull. de la Soc. intern. d'électriciens).

Телефонное релѣ. I. Труэбриджъ. Автору удалось сконструировать телефонное релѣ, основанное на томъ же принципѣ, что и телеграфный рекордеръ лорда Кельвина. Релѣ состоитъ изъ легкой легкой подвижной катушки С (фиг. 13) съ сердечникомъ изъ тонкихъ изолированныхъ другъ отъ друга желѣзныхъ листковъ, помѣщенной въ магнитное поле двухъ магнитовъ NS и SN. А и В—диафрагмы, изъ нихъ А укрѣплена на поддержкѣ DE, несущей микрофонные контакты передатчика; поддержка можетъ



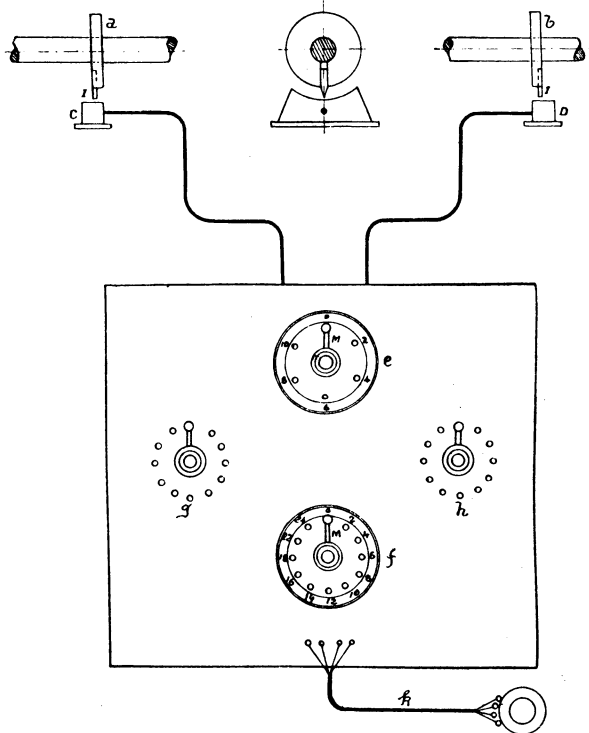
Фиг. 13.

быть довольно толста: въ нѣкоторыхъ опытахъ авторъ употреблялъ диски изъ желтой мѣди толщиной 12 мм. Центральная часть диафрагмы А не испытываетъ давленія передатчика Т, что очень важно для ясной передачи рѣчи. Когда по катушкѣ С проходитъ телефонный токъ, она приходитъ въ колебаніе, и передаетъ его диафрагмѣ и микрофоннымъ контактамъ приемника Т. Воздухъ, заключенный въ камерѣ ED, не играетъ при этомъ почти никакой роли. Релѣ очень чувствительно и передаетъ рѣчь громко, безъ всякихъ побочныхъ шумовъ. Вопросъ, происходитъ-ли тутъ и усиленіе звуковъ, нуждается еще въ повѣркѣ. (L'Elect. Electr.).

Новый электрической приборъ для измѣренія скручиванія валовъ. Приборъ этотъ изобрѣтенъ Джени и Ионсономъ и служитъ для опредѣленія скручиванія главныхъ валовъ паровыхъ двигателей. Изобрѣтеніе это заслуживаетъ особаго вниманія, такъ какъ даетъ новый способъ для опредѣленія работоспособности паровыхъ турбинъ (паро-турбинъ), которыя за послѣднее время приобрѣли самое широкое распространеніе, въ особенности на корабляхъ.

Такъ какъ индицировать эти двигатели невозможно, то опредѣленіе ихъ работоспособности было до сихъ поръ сопряжено съ большими затрудненіями. Новый приборъ, опредѣляя скручиваніе вала, даетъ вмѣстѣ съ тѣмъ силу двигателя и такимъ образомъ рѣшаетъ эту трудную проблему.

Фигура 14 показываетъ схематическій видъ этого аппарата. Нн валу, скручиваніе котораго требуется опредѣлить, находятся на нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга два легкихъ бронзовыхъ колеса *a* и *b*. Послѣднія прикрѣплены къ валу и вращаются вмѣстѣ съ нимъ. На каждомъ колесѣ помѣщенъ неподвижно постоянный магнитъ *i*, съ выступающимъ полюснымъ наконечникомъ. Для того, чтобы легче опредѣлить положеніе магнита, наконечнику приданъ форму острого угла (∇). Подъ магнитами concentрично къ валу находятся два индуктора *c* и *d*. Каждый индукторъ состоитъ изъ сердечника мягкаго желѣза, имѣющаго форму кольцевого отрѣзка, укрѣпленнаго на бронзовой пластинѣ съ болтами для установкѣ; на сердечникахъ имѣется обмотка изъ нѣсколькихъ самостоятельныхъ витковъ. Всѣ витки об-



Фиг. 14.

мотаны по одному направленію, но совершенно изолированы другъ отъ друга. Къ аппарату принадлежит еще измѣрительный ящикъ съ реостатами. На передней доскѣ этого ящика помѣщаются два ряда контактовъ съ соответствующими шкалами *e* и *f*; каждый контактъ ряда *e* соединенъ съ однимъ изъ концовъ каждого витка индуктора С, контакты ряда *f* такимъ же образомъ соединены съ витками индуктора D, а другіе концы витковъ соединены посредствомъ общаго провода съ передвижными рычагами М, скользящими по контактамъ. Шкала *e* раздѣлена на 6, а шкала *f* на 14 частей съ соответствующимъ количествомъ контактовъ.

Для упрощенія установки примѣняютъ для всѣхъ этихъ соединеній многожильные кабели, причѣмъ количество жилъ каждаго кабеля соответствуетъ количеству необходимыхъ соединеній, т. е. числу витковъ.

Итакъ мы имѣемъ двѣ электрическія цѣпи. Для регулированія тока въ каждую цѣпь включенъ регулировочный реостатъ *g* и *h*; цѣпи замыкаются затѣмъ черезъ соответствующія катушки дифференціального телефона *k*.

Если силы токовъ въ виткахъ индукторовъ *c* и *d* одинаковы, то телефонъ не издастъ звука.

Колесо, помѣщенное ближе къ корпусу турбины,

напримѣръ, *a*, должно быть такъ укрѣплено на валу, чтобы его магнитъ находился противъ перваго (по направленію движенія) витка индуктора С. Магнитъ же втораго колеса *b* долженъ быть помѣщенъ противъ послѣдняго витка индуктора D.

Если турбинный валъ привести въ движеніе безъ нагрузки и рычагами M включить нулевые контакты, то въ соответствующихъ виткахъ, именно, въ первомъ индуктора С и въ послѣднемъ индуктора D тотчасъ же индуцируются токи. При помощи реостатовъ *g* и *h* эти токи въ обѣихъ цѣпяхъ уравниваются и такъ какъ фазы ихъ одинаковы, то телефонъ, понятно, не даетъ звука.

Если теперь валъ нагрузить, то онъ скручивается и увлекаетъ за собою колесо *a* такъ, что его магнитъ проходитъ витокъ нулевого контакта (нулевой витокъ) индуктора С раньше, чѣмъ магнитъ колеса *b*. Такимъ образомъ силы токовъ окажутся не равными и воздѣйствіе ихъ на телефонъ будетъ не одинаковое, а потому телефонъ начнетъ сильно звучать. Рычагъ *m* на шкалѣ *f* необходимо передвигать, пока звукъ въ телефонѣ или окончателно не исчезнетъ, или же сдѣлается, по крайней мѣрѣ, наислабѣйшимъ; тогда на шкалѣ *f* мы получимъ скручиваніе вала между колесами *a* и *b*, такъ какъ положеніе рычага на контактѣ показываетъ, что магнитъ *b* проходитъ соответствующій контакту витокъ тогда, когда магнитъ *a* проходитъ витокъ нулевого контакта. Если скручиваніе настолько велико, что шкала *f* оказывается недостаточной для его измѣренія, то передвигаютъ также и рычагъ шкалы *e*. Сумма цифръ на обѣихъ шкалахъ *e* и *f* даетъ въ данномъ случаѣ скручиваніе вала. По полученному скручиванію легко уже опредѣлить передаваемую валомъ работу.

Данный приборъ былъ испробованъ фирмой Кельвинъ и Жамесъ Витте *), въ Глазговѣ, на 10 корабляхъ, и результаты были блестящіе. Обыкновенно дѣлаютъ такъ, что телефонъ вмѣстѣ съ измѣрительнымъ ящикомъ ставится въ особое, огражденное отъ шума помѣщеніе, куда устанавливаютъ и другіе необходимые аппараты: счетчики числа оборотовъ турбины, лаги, хронометры и т. п.

Благодаря такому расположенію, наблюдатель можетъ совершать измѣренія скорости и потребляемой работы двигателя безъ всякаго общенія съ другими частями корабля.

Аппаратъ для измѣренія скручиванія (крученія) строится также и въ другомъ видѣ. Его индукторы С и D состоятъ изъ тонкихъ желѣзныхъ сердечниковъ, на которыхъ помѣщаются обмотки изъ изолированной проволоки; индукторъ колеса *a* укрѣпленъ неподвижно, какъ и раньше, между тѣмъ какъ индукторъ колеса *b* передвигается, при помощи рукоятки, на особыхъ салазкахъ. Установка и измѣреніе производится также при помощи дифференціального телефона. Упомянутая фирма примѣняетъ эти аппараты и для паровыхъ двигателей малой скорости, то есть для двигателей съ поступательнымъ и периодически обратнымъ движеніемъ.

Такъ какъ скорость ихъ въ теченіи одного оборота колеблется, то на периферіи колеса, вмѣсто одного, расположено шесть магнитовъ, находящихся на равномъ разстояніи другъ отъ друга. Посредствомъ особыхъ включателей возможно любую пару витковъ, которые соответствуютъ 6 магнитамъ, соединить съ телефономъ. Такимъ путемъ мы въ состояніи въ теченіи небольшого промежутка времени измѣрить крученіе вала въ 6 пунктахъ передвигающейся окружности. Эти приборы могутъ также прекрасно служить и для лабораторныхъ испытаній **).

(Engineering).

Передача энергіи электричествомъ какъ экономическій факторъ заводовъ и мастерскихъ. Г. Боуденъ. Авторъ разсматриваетъ сравнительныя выгоды электрической и механической передачи энергіи, приводя доказательства, уже извѣстныя нашимъ читателямъ.

Электрическая передача энергіи не ставитъ ни какихъ границъ расширенію заводовъ и мастерскихъ. Въ мастерскихъ Шотландіи и въ Ланкаширѣ введеніе электричества вызвало пониженіе стоимости производства на 30—35%. Болѣе чѣмъ на 100 станціяхъ и мастерскихъ, осмотрѣнныхъ авторомъ, одинъ единственный котель замѣнилъ прежніе 15—20, обслуживавшихъ эти мастерскія, и двѣ или три паровыя машины замѣнили большое количество маленькихъ машинъ, разбросанныхъ на большомъ протяженіи.

Электрическая станція можетъ быть обслуживаема усовершенствованными машинами, потребляющими отъ 6,75 до 8 кгр. пара на силу-часть, и съ коэффициентомъ полезнаго дѣйствія въ 84—87% у зажимовъ динамомашины.

Такъ экономично произведенная энергія передается такъ же съ максимумомъ экономіи при помощи проводовъ къ мѣсту потребленія, съ отдачею въ 95%, въ то время какъ отдача наилучшихъ механическихъ передачъ не превышаетъ 43%. При опредѣленіи мощности станціи, необходимо принять во вниманіе характеръ потребленія энергіи. До 500 силъ рекомендуется устанавливать одну лишь единицу; хорошимъ расположеніемъ для установки въ 700—800 силъ является раздѣленіе ея на двѣ единицы, на одну въ третью всей мощности и на другую въ двѣ трети ея. Большая изъ нихъ доставляетъ въ продолженіе дня необходимую механическую энергію, вторая же соединяется вечеромъ параллельно съ первой для возмѣщенія энергіи, затрачиваемой на освѣщеніе.

Вышеприведенныя цифры ясно показываютъ успѣхъ передачи энергіи электричествомъ въ англійскихъ мастерскихъ. Успѣхъ еще объясняется той простотой, съ которой можно расширять предпріятіе.

Не слѣдуетъ, однако, упускать изъ виду, что электричество является также важнымъ экономическимъ факторомъ передачи энергіи и для установокъ менѣе 100 силъ, группирующихся вокругъ одной силовой станціи.

Авторъ разсматриваетъ результаты, полученные на практикѣ въ мастерскихъ Дормантъ, Лонгъ и К^о, гдѣ мастерскія оборудованы болѣе чѣмъ 200 двигателями; станція состоитъ изъ трехъ группъ въ 200 силъ и изъ другихъ трехъ въ 500 силъ. Эта установка является наиболѣе старымъ примѣромъ электрической передачи энергіи. Съ общимъ расходомъ на электрическое оборудованіе въ 20000 фр. (80000 руб.), въ 1894 году достигнута экономія въ 75000—100000 фр. (30000—40000 руб.).

работы, пользовался А. П. Фанъ-дерь-Флитъ въ своихъ опытахъ въ «Опытномъ судостроительномъ бассейнѣ» морского вѣдомства въ 1900 году. Въ общихъ чертахъ А. П. Фанъ-дерь-Флитъ пользуется двумя контактами, насаженными на валу на опредѣленномъ разстояніи другъ отъ друга; по контактамъ трутся щетки. Въ первой серіи опытовъ щетки устанавливаются такимъ образомъ, что при ходѣ въ холостую контакты вступаютъ съ ними въ соприкосновеніе одновременно, что узнается по звуку въ включенномъ телефонѣ; уголь крученія вала подъ нагрузкой опредѣлится по необходимому для возстановленія звука въ телефонѣ перемѣщенію одной изъ щетокъ. Во второй серіи опытовъ этотъ уголь вычисляется по измѣненію отклоненія гальванометра. (Подробнѣе см. «Изв. Инст. Инж. Пут. Сообщ.» за 1902 г. А. П. Фанъ-дерь-Флитъ. Опредѣленіе мощности машинъ по углу крученія вала).

(Прим. ред.).

*) Фирма, которая строитъ эти приборы.

***) Методомъ, подобнымъ описанному, для опредѣленія угла крученія вала съ цѣлью измѣренія передаваемой имъ

Т А Б Л И Ц А А.

Сравнительная стоимость работы электрических и гидравлических грузоподъемниковъ.

ТИПЪ ПОДЪЕМНИКА	Нагрузка въ килограммахъ	Источникъ энергiи	Ходъ въ метрахъ	Стоимость хода туда и назадъ въ секундахъ	Замѣчанiя
Электрическій	356	Ст. Манчестера	15	1,59	Неблагоприятныя условiя. 25 сент. квт.
Гидравлическій большого давленiя	356	"	15	2,9	
" низкаго давленiя	356	"	15	4,45	
Электрическій	454	Частная станцiя	15	1,6	Обычн. условiя 25 сент. квт.
Гидравлическій большого давленiя	454	Водопр. Лондона	15	2,77	
Электрическій	454	Станцiя Глазго	15	0,61	25 сент. квт.
Гидравлическій большого давленiя	454	"	15	2,12	
" " "	610	Водопр. " Лондона	15	3,5	
" " "	454	"	15	2,87	
" " "	610	"	15	4,2	

Т А Б Л И Ц А В.

Потери механическихъ передачъ

М о щ н о с т ь .

Родъ мастерскихъ	М о щ н о с т ь .	
	Общая лош. силъ	Потери при передачѣ въ %
Проволочный заводъ	400	39
Штамповка стали	74	77
Котельный и машиностр.	38	65
Тяжелыя конструкции	112	57
Легкія машины	74	54
Токарныя станки	47	52
" " "	190	57
Винторѣзные "	241	47

Таблица В показываетъ, что потери механической передачи колеблются между 39 и 70%, въ зависимости отъ разстоянiя машины отъ двигателя.

Какая бы ни была стоимость электрической энергiи, авторъ рекомендуетъ брать энергiю со стороны даже при цѣнѣ 10 сантимовъ за киловаттъ-часъ, если мощность установкы превышаетъ 150 силъ.
(Bulletin des Usines électricques).

БИБЛИОГРАФІЯ.

Steam Turbine Engineering. By T. Stevens and H. M. Hobart. With 516 illustrations. London. Whittaker and Co. 1906. VII+814 p. in 8° 21 sh. net.

Стевенъ и Гобартъ. Паровыя турбины. Съ 516 рис. Лондонъ и Нью-Йоркъ. Изданiе Уайткера и К^о. 1906 г. VII+814 стр. Цѣна 21 шиллингъ = 10 р. 50 к.

Изъ всѣхъ машинъ-двигателей только паровыя турбины служатъ предметомъ особаго интереса и изученiя электротехниковъ по специальности. Съ другой стороны мы видимъ, что пока онѣ являются почти единственнымъ механизмомъ, изготовляемымъ не только на механическихъ, но и электротехническихъ заводахъ, или лучше сказать наиболѣе извѣстные типы турбинъ были выработаны и испытаны на электрическихъ заводахъ, какъ напримѣръ турбина Парсонса и Всеобщей компанiей электричества. Въ усовершенствованiи этихъ машинъ электротехники принимали самое живое участiе, и вполнѣ естественно поэтому, что спеціальныя сочиненiя по этому вопросу были изданы даже такими электротехниками по специальности, какъ напримѣръ, Нитгаммеръ и Гобартъ, имя котораго уже ручается за достоинства разбираемой книги.

Этимъ участiемъ въ составленiи ея электротехника, и притомъ англичанина, вполнѣ объясняется,

что всѣ вопросы въ ней трактуются чисто практически и притомъ главнымъ съ точки зрѣнiя потребителя доставляемой турбиной мощности. Поэтому и всѣ вопросы, всѣ детали, связанныя хотя бы и отдаленнымъ образомъ съ экономичностью, стоимостью содержанiя и обслуживания, разсматриваются съ такой подробностью, что, несмотря на значительный объемъ книги (болѣе 800 стр.), на долю теоретической части почти не остается мѣста, да и авторы не ставили ее въ рамки своей задачи.

Самое распределенiе материала отличается извѣстной оригинальностью. Тѣ свѣдѣнiя, которыя мы обычно привыкли встрѣчать въ концѣ книги, въ видѣ дополненiя, какъ напримѣръ, стоимость машины вмѣстѣ и безъ динамо, съ конденсаторомъ и безъ онаго, вѣса и число оборотовъ, здѣсь выдвинуты въ первую голову и помѣщены во введенiи. Точно также въ самомъ началѣ—во второй же главѣ—изложена система, принятая въ Англии для различнымъ мѣръ и переводъ ихъ въ систему метрическую, причемъ для наиболѣе употребительныхъ: скорость въ футахъ и метрахъ въ минуту, давленiй, вѣсовъ и т. д. приложены подробныя таблицы. И только уже вслѣдъ за этимъ идетъ цѣлый рядъ главъ (отъ 3 до 12), въ каждой изъ которыхъ содержится списанiе одной изъ общепотребительныхъ вестеръ системъ паровыхъ турбинъ.

О томъ характерѣ изложенiя, который господствуетъ въ настоящей книгѣ, можно судить хотя бы по бѣглому разбору главы III, посвященной турбинѣ де-Лавала. Послѣ краткаго историческаго очерка, сопровождаемаго извлеченiями изъ подлиннаго мемуара Лавала, слѣдуетъ краткое элементарное объясненiе дѣйствiя этой турбины, сопровождаемое маленькими экскурсиями въ видѣ численныхъ примѣровъ въ область физики и механики паровъ. За этимъ уже идетъ изученiе наивыгоднѣйшаго дѣйствiя этихъ турбинъ, сопровождаемое многочисленнѣйшими кривыми. Затѣмъ идетъ рядъ таблицъ, характеризующихъ потребление пара при всѣхъ встрѣчающихся на практикѣ давленiяхъ пара въ котлахъ отъ 4 до 20 атмосферъ. Послѣ этого идетъ изслѣдованiе влiянiя вакуума на расходъ пара въ этой турбинѣ при разныхъ нагрузкахъ, занимающее около 20 страницъ, а также вычисленiе различныхъ потерь, имѣющихъ мѣсто въ этой турбинѣ, потерь механическаго и термическаго характера, какъ напримѣръ, потери отъ излученiя тепла, потери отъ тренiя пара и т. д. и т. д.

Только послѣ всего этого читатель находитъ описанiе конструктивной части, въ которой наиболѣе интересными являются конструкцiи лопатокъ, гибкаго вала и регуляторовъ. Въ концѣ отдѣла около 10 страницъ занято таблицами, гдѣ приведены главнѣйшiе размѣры выполненныхъ въ натурѣ турбинъ.

По тому же самому плану составлены и остальныя главы, а о подробности изложенiя можно судить

по тому, что турбинѣ Парсонса удѣлено 72 страницы, турбинѣ Куртиса, Рато и Целли по 30, а остальнымъ, какъ системѣ Ридлеръ-Штумпфа, системѣ Гольц-вартъ-Гамильтона, системѣ Электра и Униона отъ 20 до 15 страницъ. При этомъ, большая часть этого объема занята таблицами, кривыми и конструктивными чертежами. Останавливаться хотя бы вскользь на всѣхъ ихъ, конечно, не представляется никакой возможности, но все же мы обращаемъ внимание читателей на прекрасно выполненные снимки отдѣльных частей турбинъ Парсонса и Куртиса, на регуляторы къ турбинамъ Рато, на регенераторы этого послѣдняго и другіе.

Въ главѣ XIII содержатся различныя численныя данныя, относящіяся къ насыщенному и перегрѣтому пару, количеству скрытой теплоты, влиянію перегрѣва и т. д.

Глава XIV заключаетъ въ себѣ сравнительное описание различныхъ сортовъ топлива съ точки зрѣнія теплотворной способности, а также данныя для вычисления различныхъ потерь въ паровыхъ котлахъ и паропроводахъ.

Наиболѣе важными и интересными для потребителя являются, конечно, главы 15 и 16, гдѣ разбирается вопросъ о сравнительной экономичности въ смыслѣ расхода пара—паровой турбины и паровой машины. Какъ и вездѣ, авторы не занимаются голословными утверждениями, предпочитая языкъ цифръ и диаграммъ. Общіе выводы, получаемые изъ разсмотрѣнія этихъ диаграммъ, конечно, извѣстны нашимъ читателямъ: именно при меньшихъ мощностяхъ въ смыслѣ расхода пара выгоднѣе поршневыя машины, а при большихъ—турбины.

При проектированіи станціи, конечно, очень важно знать, какія величины давленій пара, перегрѣва и вакуума общеприняты на практикѣ. Въ этомъ отношеніи богатый статистическій матеріалъ даютъ главы 14, 18, 19 и 20, гдѣ имѣется громадное собраніе данныхъ, взятыхъ изъ практики существующихъ установокъ.

Наиболѣе обширной по объему является, конечно, предпоследняя 22 глава, представляющая изъ себя описание главнѣйшихъ установокъ съ пародинамо, причемъ о каждой установкѣ сообщаются точныя численныя данныя. Даваемый здѣсь въ руки читателя матеріалъ, сопровождаемый подробными чертежами и фотографиями, даетъ полное представление о томъ прогрессѣ, котораго достигла въ настоящее время постройка большихъ силовыхъ централей.

Наконецъ, послѣдняя, 23 глава, посвящена модному вопросу о примѣнимости паровыхъ турбинъ въ качествѣ судовыхъ двигателей. Здѣсь прежде всего интересенъ списокъ 76 судовъ, оборудованныхъ паровыми турбинами, и кривыя, представляющія изъ себя результаты опытовъ, произведенныхъ съ первымъ турбиннымъ пароходомъ „Turbinia“, построенномъ въ 1903 году Парсонсомъ. Вообще по богатству и новизнѣ свѣдѣній отдѣлъ этотъ, снабженный многими чертежами и фотографиями, снятыми съ натуры, представляетъ выдающійся интересъ.

Отдѣлъ библиографіи, въ который включено авторами, кажется, все, что вышло по этому вопросу въ западной литературѣ съ 1888 до 1905 г., окажетъ не малую услугу лицамъ, интересующимся первоисточниками.

Въ концѣ приложены справочныя таблицы и указатель.

Намъ остается только прибавить, что книга эта даетъ въ систематизированномъ и сжатомъ видѣ все, что появилось въ литературѣ по вопросу о практикѣ и эксплуатаціи паровыхъ турбинъ. Грудь, вложенный въ это изданіе, громаденъ, но велики и результаты, и огромный объемъ книги представляется весьма небольшимъ по сравненію съ тѣмъ обиліемъ матеріала, съ тѣмъ богатствомъ и тщательнымъ ис-

пользованіемъ имѣющихся свѣдѣній, которыя въ ней содержатся.

О пользѣ такой книги для русскаго техника—трудно что-либо сказать. Слишкомъ мало у насъ возможности хотя бы отдаленныхъ примѣненій того, что на западѣ давно уже получило право гражданства. Главное примѣненіе паровыхъ турбинъ,—это электрическія станціи значительной мощности—а много-ли у насъ предвидится ихъ къ постройкѣ въ ближайшее время.

Слѣдуетъ, однако, замѣтить, что книга эта, благодаря тому, что 75% ея занимаютъ таблицы, чертежи и диаграммы, доступна для лицъ и слабо владеющихъ англійскимъ языкомъ.

Вѣншность изданія не оставляетъ желать ничего лучшаго.

И. Троицкій.

И. Я. Перельманъ. Электрическая энергія и мелкое производство. Москва. 1906 года. Цѣна 50 к.

Настоящая брошюра представляетъ изъ себя докладъ автора, читанный въ обществѣ взаимопомощи русскихъ техниковъ, въ Москвѣ. Отъ докладовъ на подобныя темы трудно ждать оригинальности и самостоятельности, такъ какъ по существу такіе доклады должны быть въ значительной степени компилятивными. Что же касается специально брошюры, лежащей передъ нами, то по отношенію къ ней обычныя требованія приходится еще понизить. Довольно поверхностный обзоръ развитія на Западѣ мелкаго потребленія электрической энергіи и распространенія небольшихъ электрическихъ двигателей, конечно, доказываетъ, насколько далеко ушла западно-европейская промышленная жизнь по сравненію съ нашей, но сколько нибудь полной и точной картины этого развитія мы здѣсь не находимъ. Когда же авторъ переходитъ къ Россіи, то матеріалъ его становится совсѣмъ скуднымъ, и приходится довольствоваться общимъ указаніемъ на такіе общезвѣстные факты, какъ то, что въ Россіи много непочатыхъ источниковъ энергіи, которые можно использовать въ будущемъ; что въ Россіи ремесленное или мелкое фабричное яроизводство нуждается въ дешевой движущей силѣ; и наконецъ, что у насъ для снабженія мелкаго производства электрической энергіей ничего не сдѣлано и ничего не дѣлается. Всѣ эти факты, конечно, извѣстны всѣмъ и, говоря о нихъ, можно ставить въ примѣръ постановку дѣла, напримеръ, въ Германіи, но всякій, конечно, пойметъ, что ограничиваясь платоническими пожеланіями, далеко не уйдешь, что развитіе эксплуатаціи электрической энергіи связано съ общимъ ходомъ промышленной жизни и т. д. Можно бы привести много общихъ вопросовъ, которые связаны съ трактуемымъ авторомъ, но на которые въ брошюрѣ не обращено вниманія; къ сожалѣнію, даже то, на что обращено вниманіе, затронуто слегка, мимоходомъ, и ни на одинъ принципиально важный вопросъ, который можетъ явиться у читателя, не дано сколько нибудь опредѣленнаго отвѣта. Указывая на эти общіе недостатки доклада, мы, конечно, не отрицаемъ нѣкоторой пользы подобнаго общихъ разсужденій, которые все-таки могутъ представить интересъ для многихъ лицъ, мало знакомыхъ съ положеніемъ вопроса. Но въ настоящемъ докладѣ разсматриваемый вопросъ только ставится, а отвѣта не только не дается, но даже матеріалъ для рѣшенія его мы находимъ очень скуднымъ.

Д. Р.