

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Журналъ, издаваемый VI Отдѣломъ

Императорскаго Русскаго Техническаго Общества.

Нѣкоторые случаи повышенія напряженія въ сѣтяхъ, питаемыхъ переменнымъ токомъ.

Статья П. А. Ковалева.

(Окончаніе \*).

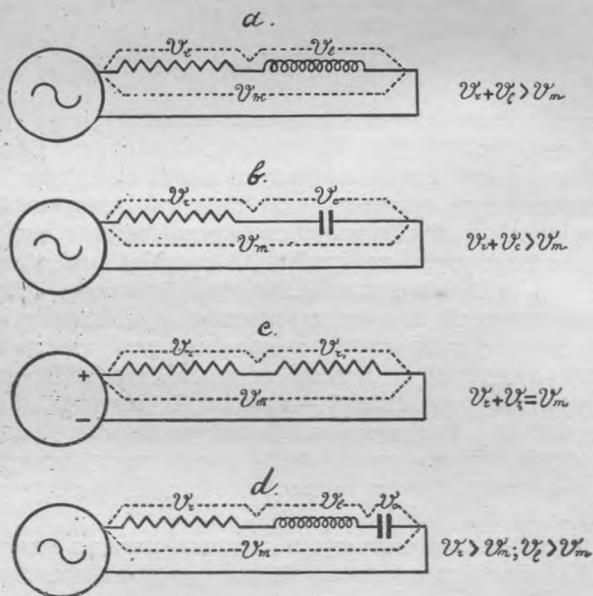
Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію тѣхъ повышеній напряженія, которыя вызываются дѣйствіемъ емкости и самоиндукціи въ сѣтяхъ, питаемыхъ переменными токами. Если въ цѣпь, содержащую нѣкоторую переменную электродвижущую силу  $M$ , включить омическое сопротивление  $R$ , т. е. сопротивление, лишенное самоиндукціи, и затѣмъ замкнуть токъ черезъ катушку, имѣющую большую самоиндукцію  $L$ , то въ этомъ случаѣ сумма двухъ напряженій, падѣвшихъ на концахъ этихъ двухъ разнородныхъ сопротивленій, окажется больше, чѣмъ напряжение  $V_m$ , доставляемое источникомъ  $M$  (фиг. 1а).

То же самое получится, если цѣпь замкнуть не черезъ катушку съ самоиндукціей, а черезъ конденсаторъ  $c$  (фиг. 1б).

Для человѣка, привыкшаго имѣть дѣло только съ постояннымъ токомъ, это явленіе представляется загадочнымъ, такъ какъ въ цѣпи постоянного тока сумма паденій напряженій между отдѣльными послѣдовательно соединенными пунктами всегда равна общему паденію потенциала между крайними точками разсматриваемыхъ цѣпей сопротивленія (фиг. 1с). Еще болѣе удивительное явленіе получается, если въ цѣпь переменнаго тока включить послѣдовательно и конденсаторъ и катушку съ самоиндукціей, подобранные извѣстнымъ образомъ (фиг. 1д). При этомъ можетъ случиться, что напряженіе у концовъ катушки и у обкладокъ конденсатора каждое въ отдѣльности превзойдетъ въ нѣсколько разъ напряженіе источника энергіи.

Прежде чѣмъ перейти къ изложенію общепринятаго объясненія причины этихъ повышеній, я постараюсь, такъ сказать, примирить съ ними умъ читателя путемъ сравненія ихъ съ другими, болѣе простыми явленіями. Каждому маятнику, какъ извѣстно, соответствуетъ свое опредѣленное время качанія, зависящее какъ

отъ массы маятника, такъ и отъ той эластической силы, которая влечетъ эту массу къ опредѣленному положенію равновѣсія. Если такому маятнику, находящемуся въ покоѣ, систематически давать рядъ легкихъ толчковъ, приравненныхъ къ періоду качанія маятника, то этотъ



Фиг. 1.

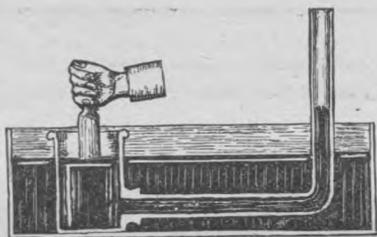
послѣдній, какъ бы онъ тяжель ни былъ, можетъ, аккумулируя энергію, раскататься настолько, что сила его каждаго взмаха во много разъ превзойдетъ ту силу, съ которой давались толчки. На этомъ основаніи, напримѣръ, запрещаютъ солдатамъ маршировать, проходя по мостамъ, такъ какъ мѣрные удары шаговъ, попадая случайно въ тактъ съ собственными колебаніями моста, могли бы его разрушить.

Повышеніе давленія, которое аналогично напряженію въ цѣпи переменнаго тока и силѣ въ маятникѣ, довольно наглядно можно наблюдать на построенномъ мною приборѣ, изображенномъ на фиг. 2. Приборъ этотъ состоитъ изъ стекляннаго сосуда, въ тубулузъ котораго вставлена изогнутая трубка. Внутри сосуда до извѣстнаго уровня, отмѣченнаго нулемъ, наливается ртуть.

Для полноты картины можно вообразить, что

\* См. „Электричество № 18, т. г.

весь приборъ снаружи тоже окруженъ до нулевого уровня ртутью, такъ что ни стѣнки сосуда, ни трубка не будутъ испытывать разности давленій, пока ртуть внутри прибора находится въ покоѣ. Движеніями скалки можно вызвать періодическія колебанія уровня ртути въ сосудѣ, причемъ высота этихъ колебаній будетъ служить мѣрою не только того давленія, которымъ должны противостоять стѣнки сосуда, но также и той движущей силы, которая будетъ сообщать ртути движеніе вдоль трубки. При очень



Фиг. 2.

медленныхъ движеніяхъ скалки, мы будемъ получать въ трубкѣ колебанія, амплитуда которыхъ почти равна амплитудѣ колебаній ртути въ сосудѣ; при сравнительно частыхъ движеніяхъ скалки мы замѣтимъ лишь чрезвычайно малыя движенія ртути въ трубкѣ, но зато при нѣкоторой средней частотѣ движеній скалки, соответствующей тому числу колебаній, которыя будутъ совершать ртуть подъ влияніемъ собственной тяжести и массы, если бы мы на время приостановили скалку,—при этой частотѣ движеній, мы получимъ наибольшую амплитуду колебаній ртути въ трубкѣ, и эти послѣднія во много разъ будутъ превосходить колебанія ртути въ сосудѣ.

Комбинація емкости и самоиндукціи въ одной цѣпи представляетъ тоже своего рода электрическій маятникъ, которому присущи собственные колебанія. Остановимся мысленно на моментѣ, въ которомъ конденсаторъ получилъ отъ нѣкотораго источника электричества, дѣйствіе котораго мы пока разсматривать не будемъ, извѣстный электрическій зарядъ. Съ этого момента конденсаторъ является источникомъ электродвижущей силы и создаетъ токъ въ извѣстномъ направленіи. Этотъ токъ въ свою очередь создастъ въ катушкѣ съ самоиндукціей соответствующее магнитное поле. Но по мѣрѣ истощенія заряда конденсатора, сила тока начнетъ ослабѣвать, а вмѣстѣ съ тѣмъ начнетъ исчезать и магнитное поле въ катушкѣ; а исчезаніе линій силъ въ катушкѣ, какъ извѣстно, является источникомъ электродвижущей силы, направленной въ сторону ослабѣвающего тока, или, говоря попросту, эти линіи силъ будутъ какъ бы подгонять токъ, который вслѣдствіе этого не прекратится въ моментъ разряда конденсатора, но будетъ продолжаться нѣсколько

дольше и зарядитъ конденсаторъ въ противоположную сторону. Съ этого момента явленіе пойдетъ въ обратномъ порядкѣ: электрическій токъ, созданный электродвижущей силой снова заряженнаго конденсатора, получитъ, такъ сказать, свой размахъ въ видѣ того магнитнаго поля, которое возникаетъ въ катушкѣ, а это магнитное поле, исчезая, когда конденсаторъ разрядится, будетъ гнать токъ дальше, пока конденсаторъ не зарядится опять въ первоначальномъ направленіи и явленіе повторится снова. Такое колебательный разрядъ будетъ продолжаться нѣтъхъ поръ, пока электрическая энергія, затраченная на первоначальное заряженіе конденсатора, не израсходуется на преодоленіе омическихъ сопротивленій въ цѣпи.

Если кромѣ конденсатора и самоиндукціи въ цѣпи находится переменная электродвижущая сила, и если число переменъ этой силы какъ разъ совпадаетъ съ числомъ колебаній системы, то ничего нѣтъ удивительнаго въ томъ, что электрическія колебанія, все болѣе и болѣе увеличиваясь, наконецъ, достигаютъ величины, во много разъ превышающей тѣ сравнительно слабыя импульсы, которые доставляетъ источникъ энергіи. Это явленіе и называется электрическимъ резонансомъ, по аналогіи съ подобнымъ же явленіемъ въ акустикѣ.

Время полного колебанія такой системы зависитъ и отъ величины самоиндукціи въ цѣпи, и отъ емкости конденсатора  $C$ ; и, какъ изслѣдованіе показываетъ, оно выражается слѣдующимъ образомъ:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{1/C}}$ . Формула эта аналогична формулѣ, опредѣляющей время полного качанія обыкновеннаго маятника ( $T = 2\pi \sqrt{\frac{K}{Pa}}$ ); причемъ самоиндукція соответствуетъ моменту инерціи маятника, а электродвижущая сила конденсатора, обратнопропорциональная его емкости, соответствуетъ той силѣ, которая влечетъ маятникъ къ его среднему положенію и которая измѣняется въ сомъ маятника ( $P$ ) и разстояніемъ ( $a$ ) его центра тяжести отъ точки вращенія.

Параллель между дѣйствіемъ самоиндукціи и инерціи можно провести гораздо дальше и это сопоставленіе чрезвычайно облегчаетъ пониманіе явленій переменнаго тока.

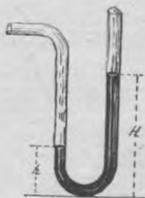
Мы знаемъ, что масса, движущаяся съ равномерною скоростью, ничѣмъ не проявляетъ присутствія той инерціи, которой она обладаетъ, но какъ только скорость ея движенія измѣняется, тотчасъ же инерція обнаруживаетъ свое дѣйствіе въ видѣ силы, препятствующей измѣненію скорости движенія, причемъ эта появляющаяся сила прямо пропорциональна измѣненію скорости движенія, или, говоря математически, пропорциональна дифференціальному коэффициенту функціи, выражающей величину скорости въ каждый моментъ времени. Совершенно по тому

же математическому закону изменяется и электродвижущая сила, появляющаяся в катушкѣ, если внутри нея изменяется магнитное поле.

Какъ бы сильно ни было поле внутри катушки, оно не порождаетъ в проволоку никакой электродвижущей силы, если оно постоянно, и только изменение силы поля создаетъ в катушкѣ электродвижущую силу, прямо пропорциональную скорости изменения магнитнаго поля, т. е. его дифференціальному коэффициенту. А такъ какъ, вь случаѣ самоиндукціи, магнитное поле зависитъ отъ силы тока, протекающаго вь каждый данный моментъ черезъ катушку, то и электродвижущая сила, появляющаяся вь катушкѣ, будетъ изменяться изменениями силы тока, т. е. его дифференціальнымъ коэффициентомъ. Такимъ образомъ, мы видимъ, что электродвижущая сила самоиндукціи и сила инерціи выражаются однимъ и тѣмъ же математическимъ закономъ.

Вотъ вь этомъ, только вь этомъ, и есть между ними аналогія, несмотря на то, что суть этихъ двухъ явленій совершенно различна: инерція прісуща массѣ тѣла, тогда какъ самоиндукція есть результатъ деформации магнитнаго поля, находящагося внѣ проводника. Но мы не сдѣлаемъ логической ошибки, если будемъ разсматривать эти явленія параллельно лишь вь тѣхъ границахъ, вь которыхъ мы констатировали ихъ аналогію.

Такую же аналогію представляетъ дѣйствіе конденсатора и манометра со ртутью. Какъ извѣстно, разность потенциаловъ у обкладокъ конденсатора пропорциональна тому количеству электричества, которымъ онъ заряженъ; равнымъ



Фиг. 3.

образомъ разность давленій ртути вь манометрѣ  $H-h$  (фиг. 3) пропорциональна тому количеству ртути, которое перемѣстилось по трубкѣ. Следовательно и оба эти явленія управляются одинаковымъ математическимъ закономъ. Но мы знаемъ, что общее количество электричества, протекающее черезъ проводъ, есть интегралъ силы тока вь отдѣльные моменты, — соответственно съ этимъ, количество ртути изменяется интеграломъ скоростей, съ которымъ ртуть текла вь отдѣльные моменты времени по трубкѣ. Такимъ образомъ вь обоихъ примѣрахъ электрическое давленіе у конденсатора, т. е. напряженіе и давленіе ртути вь трубкѣ, пропорциональны интеграламъ однородныхъ величинъ: — силы тока и скорости движенія ртути.

Мы говорили до сихъ поръ о всякомъ переменномъ движеніи, но наибольшій интересъ представляютъ движенія гармоническія, т. е. такія, вь которыхъ скорость варьируетъ пропорционально синусу равномерно возрастающаго угла, т. е. выражается формулою:  $y = a \sin bx$ .

Такія движенія очень распространены и вь природѣ и вь механикѣ. Такъ, напримѣръ, поршень каждой паровой машины движется по закону, довольно близко подходящему къ закону гармоническаго движенія. Это движеніе характеризуется между прочимъ и тѣмъ, что не только скорость движенія изменяется, какъ синусъ нѣкотораго угла, но и само изменение скорости, т. е. ускореніе или дифференціальный коэффициентъ скорости, изменяется такъ же, какъ синусъ другого угла. Болѣе того, — весь пройденный путь подъ влияніемъ этой переменнй скорости, т. е. интегралъ этихъ скоростей вь отдѣльные моменты, изменяется также по тому же закону, а именно, какъ синусъ нѣкотораго третьаго угла.

И дѣйствительно, мы знаемъ, что

$$\frac{d \sin x}{dx} = \cos x; \quad \int \sin x \, dx = -\cos x + \text{Const.}$$

До сихъ поръ говоря о дѣйствіи инерціи и самоиндукціи, манометра и емкости, мы старались представить себѣ величину того противодѣйствія, которое эти факторы оказываютъ движенію; гораздо правильнѣе разсматривать ихъ съ прямо противоположной стороны, т. е. съ точки зрѣнія, такъ сказать, одного и того же направленія для всѣхъ дѣйствующихъ вь данной системѣ силъ; для этого намъ, конечно, придется вь предыдущихъ формулахъ перемѣнить знаки и мы получимъ

$$-\frac{d \sin x}{dx} = -\cos x = -\sin(90^\circ - x) = \sin(x - 90^\circ)$$

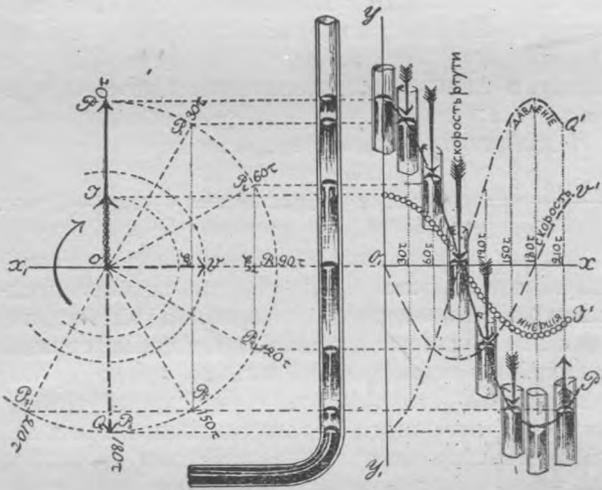
$$-\int \sin x \, dx = \cos x = \sin(90^\circ - x) = \sin(x + 90^\circ)$$

Отсюда слѣдуетъ, что если скорость движенія гармонична, т. е. изменяется пропорционально синусу равномерно возрастающаго угла, то сила инерціи и самоиндукціи будетъ также гармонична и пропорциональна синусу угла, отстающаго противъ перваго на  $90^\circ$ , а давленіе ртути или напряженіе у конденсатора пропорциональны синусу угла, опережающаго первый на  $90^\circ$ .

Здѣсь, конечно, идетъ рѣчь о чисто математическихъ соотношеніяхъ и потому нѣтъ никакого парадокса вь томъ, что слѣдствіе, т. е. давленіе ртути, пропорционально углу, опережающему движеніе, т. е. причину; однако, это выраженіе звучитъ слишкомъ своеобразно и, конечно, будетъ правильнѣе говорить, что это давленіе отстаетъ на  $270^\circ$  противъ породившаго его движенія.

Перейдемъ теперь къ подробному разсмотрѣнію прибора (фиг. 2). Прежде всего для прототипа сдѣлаемъ допущеніе, что сила сопротив-

ления движению ртути в трубкѣ вслѣдствіе тренія, пропорціональна скорости этого движениа. Допущеніе это, хотя и невѣрно, однако, въ данномъ случаѣ, это не имѣетъ существеннаго значенія. Представимъ себѣ теперь, что ртуть въ приборѣ находится въ гармоническомъ качательномъ движеніи и дѣлаетъ  $p$  полныхъ качаній въ секунду. Раздѣлимъ время одного полнаго качанія  $T$  секундъ ( $T$  есть дробь, равная  $\frac{1}{p}$  секунды) на 360 равныхъ мгновеній  $\tau$ , причѣмъ продолжительность каждаго такого мгновенія составитъ:  $\tau = \frac{1}{360p}$  секунды. Проведемъ линію  $XX_1$  черезъ средній уровень ртути въ трубкѣ (фиг. 4) и изъ какой-нибудь лежащей на линіи точки  $O$  опишемъ окружность ра-



Фиг. 4.

діусомъ, равнымъ размаху ртути въ трубкѣ. Эту окружность  $P_0 P_1 P_2 P_3 \dots$  раздѣлимъ, какъ циферблатъ, для нашихъ мгновеній  $\tau$  и построимъ на абсцисѣ  $O_1 X$  кривую  $P'$ , выражающую положеніе ртути въ трубкѣ въ различные моменты времени. Для этого стоитъ только въ соответствующихъ пунктахъ отложить ординаты, равныя перпендикулярамъ  $P_1^2, P_2^2, P_3^2 \dots$ , или другими словами, проекціи вращающагося вектора  $OP$  на ось ординатъ  $O_1 Y$ .

Разсматривая внимательно качательное движение, мы легко можемъ замѣтить, что это движение имѣетъ наибольшую скорость въ срединѣ своего пути, — на нашемъ чертежѣ въ моменты  $90^\circ$  и  $270^\circ$ ; наименьшую — нулевую скорость — ртуть получаетъ въ тѣхъ конечныхъ пунктахъ пути, гдѣ она измѣняетъ направленіе своего движениа ( $0^\circ$  и  $180^\circ$ ). Относительная величина и направленіе скорости движениа ртути въ трубкѣ обозначены на правой сторонѣ рисунка вертикальными стрѣлками. Чтобы построить кривую, выражающую скорость движениа и отнесенную къ осямъ координатъ  $O_1 Y$  и  $O_1 X$ , мы должны вообразить себѣ изъ центра  $O$  векторъ  $OV$ , опе-

режающій векторъ  $OP$  на  $90^\circ$  и равный по своей длинѣ наибольшей величинѣ кривой  $V'$ , выражающей скорость въ принятомъ нами масштабѣ. Вращая одновременно эти два вектора съ сохраненіемъ прямого угла между ними и проектируя ихъ на ось игрековъ, мы получимъ для любого момента соотношеніе ординатъ обеихъ кривыхъ.

Посмотримъ теперь, какъ скажется дѣйствіемъ, сравнительно очень большой инерціи, которою обладаетъ движущаяся ртуть. Наибольшую силу она проявитъ, конечно, въ поворотные моменты движениа от и  $180^\circ$ ; наоборотъ, въ моментъ наибольшей скорости движениа, когда сама скорость на мгновенье становится постоянною, сила инерціи пройдетъ черезъ нуль. Н трудно согласиться, что наибольшій толчекъ от инерціи вверхъ получится именно тогда, когда ртуть, достигнувъ своего верхняго положенія, начнетъ идти внизъ ( $90^\circ$ ). Такимъ образомъ, кривая, выражающая силу инерціи, будетъ совпадать въ фазѣ съ кривою  $P'_0 P'_1 P'_2 P'_3$ , выражающею пройденный путь, а векторъ  $OI$  совпадетъ по направленію съ векторомъ  $P$  и будетъ отличаться отъ него лишь по величинѣ, въ зависимости отъ силы инерціи въ нашемъ приборѣ.

Намъ остается прослѣдить влияние давленія ртути въ манометрѣ. Ртуть будетъ съ наибольшей силой давить внизъ въ то время, когда она находится на верху и, наоборотъ, давленіе ртути вверхъ достигнетъ наибольшей силы, когда ртуть достигнетъ своего крайняго нижняго положенія. Въ моментъ перехода ртути черезъ среднюю линію, такъ сказать, въ моменты нулевой высоты ртути, ея давленіе будетъ также равно нулю.

Однимъ словомъ, кривая дѣйствія давленія ртути будетъ выгнута въ противоположную сторону кривой, изображающей положеніе ртути и соответственно этому ее можно получить путемъ проектированія вектора  $OD$  на ось игрековъ.

Такимъ образомъ въ данной системѣ, кромѣ той гармонической перемѣнной силы, которая должна быть приложена извнѣ для сообщенія скалкѣ (фиг. 2) періодическихъ качаній и которая служитъ причиною движениа ртути, такъ какъ она доставляетъ всю энергію, расходуемую въ приборѣ на треніе, — кромѣ этой силы, мы находимъ еще двѣ, которыя также оказываютъ на движение ртути свое дѣйствіе: силу инерціи и силу давленія ртути, причѣмъ замѣчательно, что изъ этихъ силъ одна опережаетъ на четверть періода, а другая отстаетъ настолько же отъ той кривой линіи, которая изображаетъ намъ скорость движениа ртути во времени, т. е. величину въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ аналогичную электрическому току. Всѣ эти силы слабаются въ одну результирующую силу, которая конечно совпадаетъ вполнѣ въ фазѣ съ фазою скорости движениа: такимъ образомъ мы и получаемъ то соотношеніе, съ которымъ только и можетъ помириться нашъ здравый смыслъ.

Говоря о результирующей силѣ, мы, впрочемъ, не должны представлять ее себѣ слишкомъ реально. Такой силы нѣтъ, а есть лишь въ каждый данный моментъ алгебраическая сумма всѣхъ тѣхъ перемѣнныхъ силъ, которыя дѣйствуютъ на данную систему. Векторовъ, разумѣется, тоже нѣтъ, а есть лишь силы, пропорціональныя проеціямъ этихъ для удобства мышленія воображаемыхъ векторовъ.

Простое геометрическое построение показываетъ намъ, что алгебраическая сумма проеціей двухъ векторовъ равна проеціи діагонали параллелограмма, построеннаго на этихъ векторахъ. Діагональ параллелограмма и будетъ, слѣдовательно, векторомъ той воображаемой результирующей перемѣнной силы, которая по своему дѣйствию могла бы замѣнить слагаемыя силы.

На этомъ основаніи, пользуясь свойствами векторовъ слагаться по закону параллелограмма силъ, мы могли бы найти для данного случая недостающую слагающую, соответствующую внѣшней силѣ, которая вмѣстѣ съ разсматриваемыми силами и дала бы ту сумму силъ, которая и будетъ совпадать въ фазѣ со скоростью движенія ртути. Но мы этого здѣсь не слѣлаемъ, такъ какъ, въ данномъ случаѣ, сила эта измѣняется по довольно сложному закону въ зависимости отъ тренія ртути о стѣнки трубки.

Все, что до сихъ поръ говорилось о дѣйствіи, инерціи и давленія ртути, можно съ полнымъ правомъ примѣнить и къ выраженію дѣйствія самоиндукціи и емкости, включенныхъ последовательно въ одну цѣпь (фиг. 1d).

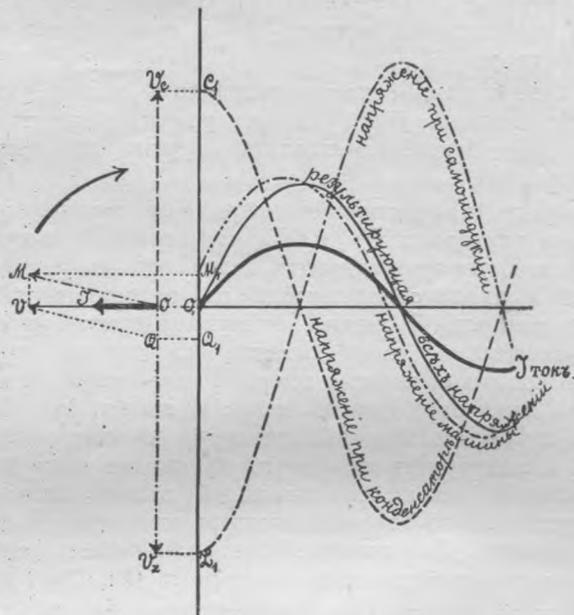
За исходную точку нашихъ разсужденій возьмемъ гармонически измѣняющуюся силу тока, пульсирующаго въ нашей цѣпи. Изобразимъ этотъ токъ векторомъ  $OI$ , представленнымъ на фиг. 5 толстой стрѣлкой.

Этотъ векторъ вращается вокругъ точки  $O$ , дѣлая  $p$  оборотовъ въ секунду, соответственно числу періодовъ представляемаго имъ перемѣннаго тока. Разъ есть токъ, то мы должны предположить и соответствующую электродвижущую силу, которая создаетъ этотъ токъ, преодолевая препятствія, встрѣчаемыя на пути (омическія сопротивленія).

Такъ какъ и для кратковременныхъ токовъ законъ Ома непреложимъ, то понятно, что эта электродвижущая сила должна пульсировать одновременно съ силой тока, а слѣдовательно, она должна изобразиться векторомъ  $OV$ , совпадающимъ по направленію съ векторомъ тока  $OI$ ; длина вектора  $OV$  будетъ опредѣляться по закону Ома. Если для напряженія и силы тока взять одинаковый масштабъ, и если положить омическое сопротивленіе равнымъ двумъ омамъ, то векторъ  $OV$  слѣдуетъ изобразить вдвое больше, чѣмъ векторъ  $OI$ .

Очевидно, что эта электродвижущая сила будетъ суммой всѣхъ тѣхъ силъ, которыя дѣйствуютъ въ цѣпи, т. е. это будетъ результирующей силой всѣхъ силъ данной цѣпи.

Но нашъ перемѣнный токъ проходитъ въ конденсаторъ  $C$  и проходитъ черезъ катушку съ самоиндукціей, гдѣ и создаетъ двѣ новыя электродвижущія силы, которыя не имѣютъ непосредственной связи съ электродвижущей



Фиг. 5.

силой  $V$ . И, дѣйствительно, сила тока, которую, такъ сказать, принимаетъ конденсаторъ, опредѣляется уравненіемъ:

$$J = V_c \cdot 2\pi \cdot C; \text{ отсюда } V_c = \frac{J}{2\pi p C} \text{ или,}$$

обозначая для краткости  $2\pi p$  черезъ  $\omega$ , получимъ

$$V_c = \frac{J}{\omega C},$$

т. е. при данномъ перемѣнномъ токѣ напряженіе у обкладокъ конденсатора обратно-пропорціонально его емкости.

Съ другой стороны, мы знаемъ также, что напряженіе у катушки съ самоиндукціей пропорціонально величинѣ ея самоиндукціи, частотѣ перемѣнъ и силѣ тока:  $V_L = 2\pi p L J$ . Слѣдовательно, оно также независимо отъ величины напряженія представляемаго векторомъ  $OV$ .

Изъ предыдущихъ разсужденій мы видѣли, что электродвижущая сила у катушки съ самоиндукціей должна отставать въ фазѣ на  $\frac{1}{4}$  періода отъ силы тока, поэтому мы должны ее изобразить векторомъ, направленнымъ внизъ. Мы можемъ включить въ цѣпь такую катушку, которая при данномъ токѣ имѣла бы электродвижущую силу самоиндукціи во много разъ большую чѣмъ наша сила  $OV$ . Пусть эта сила изобразится векторомъ  $OV_L$ . Задавшиь данной силой  $I$  и измѣняя емкость конденсатора  $C$ , мы можемъ получать желаемыя напряженія у его обкладокъ. Фаза этого напряженія будетъ отставать отъ фазы силы тока на  $\frac{3}{4}$  пе-

периода, а следовательно его надо изобразить векторомъ, имѣющимъ направленіе  $OV_c$ .

Пусть векторъ  $OV_c$  и изображаетъ то напряженіе, которое мы получили, стараясь достигнуть того, чтобы напряженіе у конденсатора и у катушки съ самоиндукціей было бы не только по возможности велико, но и приблизительно одинаково.

Теперь намъ остается разрѣшить задачу, какова должна быть та электродвижущая сила, которая будетъ доставлять энергію въ нашу цѣпь.

Двѣ силы, представляемыя прямо противоположными векторами  $OV_c$  и  $OV_L$  при сложении частью другъ друга уничтожаются, такъ что въ результатѣ приходится принимать въ расчетъ только ихъ разность. Конечно, онѣ уничтожаютъ другъ друга только, такъ сказать, съ точки зрѣнія нашего источника энергіи, величину котораго мы теперь опредѣляемъ; на самомъ же дѣлѣ онѣ не только продолжаютъ существовать, но и поддерживаютъ другъ друга, причемъ извѣстный, весьма значительный запасъ энергіи передается то отъ конденсатора къ катушкѣ, то наоборотъ. Для внѣшней же силы остается ихъ разность, изображенная векторомъ  $OQ$ .

Этотъ векторъ  $OQ$  долженъ быть одной изъ слагающихъ силъ; результирующей, т. е. диагональю параллелограмма должна быть сила  $OV$ , какъ объ этомъ мы говорили раньше; следовательно, сила нашего источника—нашей машины должна соответствовать вектору  $OM$ .

Чѣмъ больше будутъ совпадать по величинѣ силы  $OV_L$  и  $OV_c$ , тѣмъ ближе будетъ совпадать и векторъ силы машины  $OM$  съ векторомъ равнодѣйствующей всѣхъ силъ  $OV$ , а при полной нейтрализаціи дѣйствія самоиндукціи дѣйствіемъ емкости векторъ силы машины  $OM$  совершенно совпадаетъ съ векторомъ  $OV$ , и эта сила пойдетъ исключительно на преодоленіе омическихъ сопротивленій.

Вычислимъ теперь изъ геометрическихъ соотношеній, во сколько разъ напряженіе при конденсаторѣ  $OV_c$  будетъ превосходить напряженіе у машины  $OM$ , т. е. опредѣляемъ величину отношенія  $\frac{OV_c}{OM}$ .

Для числителя возьмемъ уравненіе  $OV_c = J \frac{1}{\omega C}$  а знаменатель опредѣлимъ изъ прямоугольнаго треугольника  $OMV$ .

$OM = \sqrt{OV^2 + VM^2}$ , такъ что искомое отношеніе выразится:

$$\frac{OV_c}{OM} = \frac{J}{\omega C \sqrt{OV^2 + VM^2}}; \text{ но такъ какъ } VM =$$

$OV_c - OV_L$  и кромѣ того  $OV = J.R$ ,  $OV_L = J\omega L$  и какъ выше сказано  $OV_c = J \frac{1}{\omega C}$ , то наше отношеніе приметъ видъ

$$\frac{OV_c}{OM} = \frac{J}{\omega C \sqrt{J^2 R^2 + \left( J \frac{1}{\omega C} - J\omega L \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\omega^2 C^2 R^2 + (1 - \omega^2 CL)^2}}$$

Эта формула есть только, такъ сказать, первое приближеніе къ истинѣ, потому что при ея выводѣ предполагалось постоянство сопротивленія, емкости конденсатора и коэффициента самоиндукціи, а также правильная синусоида для кривой напряженія, чего на самомъ дѣлѣ нѣтъ.

Не вдаваясь въ подробное разсмотрѣніе измѣняемости этихъ факторовъ, мы замѣтимъ лишь слѣдующее: подъ сопротивленіемъ въ данномъ случаѣ слѣдуетъ понимать не то омическое сопротивление, которое получается измѣреніемъ сопротивленія мѣди трансформатора при помощи постоянного тока, но надо принять въ расчетъ сумму всѣхъ тѣхъ препятствій, которыя постоянный токъ преодолѣваетъ на своемъ пути, совершая работу, превращающуюся въ теплоту (нагрѣваніе желѣза и мѣди), вслѣдствіе гистерезиса и токовъ Фуко. Это, такъ сказать, эквивалентное сопротивление обыкновенно во много разъ превышаетъ сопротивление мѣди и нѣсколько колеблется съ измѣненіемъ нагрузки. Его можно опредѣлить, раздѣляя на квадратъ силы тока работу, поглощаемую въ цѣпи переменнаго тока данного числа періодовъ и измѣренную ваттметромъ.

Величина емкости конденсатора также измѣняется съ измѣненіемъ числа переменнаго тока, вслѣдствіе присущей конденсаторамъ электрической вязкости—электростатическаго гистерезиса. Профессоръ Гейнке \*) указываетъ, что въ конденсаторѣ Свинбурна, которымъ онъ пользовался, эта емкость для переменнаго тока, вычисленная изъ формулы  $J = \omega C V$ , составляла всего лишь 42% той емкости, которая получалась при измѣреніи обыкновеннымъ способомъ, при помощи зарядовъ отъ источника постоянного напряженія.

Если принять въ расчетъ насколько возможно всѣ эти поправки и изобразить результаты опытовъ точками, отнесенными къ координатамъ, такъ чтобы ординаты показывали, во сколько разъ напряженіе у конденсатора  $V_c$  превышаетъ напряженіе машины  $V_m$ , то оказывается, что эти точки будутъ достаточно близко совпадать съ теоретической кривой, построенной на основаніи формулы. На фиг. 6 рядомъ съ такой кривой нанесены точки, заимствованныя изъ опытовъ проф. Гейнке. На фиг. 7 представленъ рядъ кривыхъ, вычисленныхъ по вышеприведенной формулѣ. Кривыя, вычерченныя сплошными линиями, изображаютъ величину резонанса, т. е. отношенія напряженія у конденсатора къ напряженію у машины  $\left( \frac{V_c}{V_m} \right)$  для переменныхъ

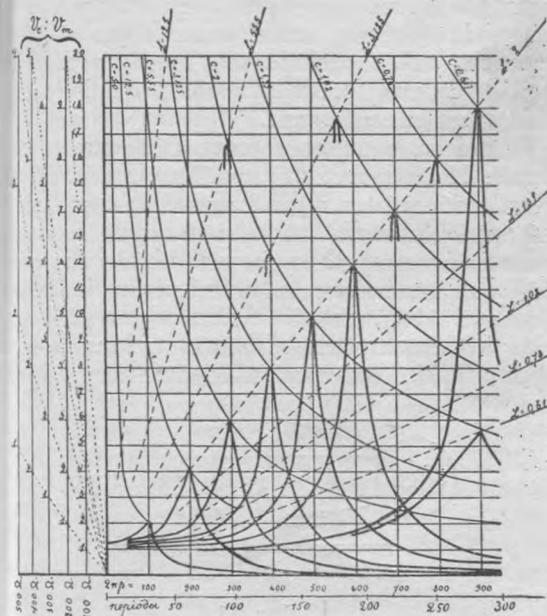
С и L при постоянном сопротивлении R, равном 100 омъ.

При помощи кривыхъ, изображенныхъ пунктирными линиями, можно опредѣлить положение



Фиг. 6.

разныхъ кривыхъ (максимумъ резонанса) для различныхъ  $\omega$ , L и C и даже для переменнаго R, если пользоваться различными масштабами для опредѣления величины эффекта резонанса соответственно разнымъ R. Однако слѣдуетъ имѣть въ виду, что послѣднее возможно исключительно въ томъ случаѣ, если



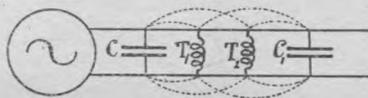
Фиг. 7.

мы желаемъ опредѣлить положение максимумовъ резонанса; полныя кривыя резонансовъ для некоторыхъ значений C и L при переменномъ числѣ периодовъ  $p$  вычислены для  $R=100$  омамъ.

Въ кабельныхъ сѣтяхъ, питающихъ параллельно включенные трансформаторы, съ точки зрѣнія резонанса напряженія представляетъ опасность лишь самоиндукція машины, такъ какъ только эта самоиндукція включена послѣдовательно въ одну цѣпь съ емкостью кабелей и

электродвижущей силой машины, такъ что электрическія колебанія, которыя могутъ возникнуть между емкостью C и машиной, могутъ при совпадѣніи скоростей, поддерживаться самой машиной.

Въ цѣпяхъ, отмѣченныхъ на фиг. 8 пунктиромъ и состоящихъ изъ емкости кабелей C и  $C_1$  и самоиндукціи отдѣльныхъ трансформаторовъ  $T_2$  и  $T_2$ , не можетъ возникнуть резонанса



Фиг. 8.

напряженія, такъ какъ электродвижущая сила машины приключена къ этимъ цѣпямъ не послѣдовательно, а параллельно. Въ этихъ цѣпяхъ можетъ возникнуть резонансъ тока, т. е. получится токъ, превышающій въ нѣсколько разъ токъ, доставляемый машиной. Это явленіе чрезвычайно сходно съ резонансомъ напряженія, но мы на немъ останавливаться не будемъ, такъ какъ оно не влечетъ за собою повышения напряженія, хотя можетъ получиться перегрѣваніе кабелей.

Изъ фиг. 7 видно, что при данномъ сочетаніи емкости и самоиндукціи машины легче всего получить резонансъ, если заставить работать на сѣть болѣе или менѣе возбужденную машину съ непрерывно измѣняющеюся скоростью. Потому-то и не слѣдуетъ никогда останавливать работающую на сѣть машину прежде, чѣмъ не прерванъ токъ возбуждателя.

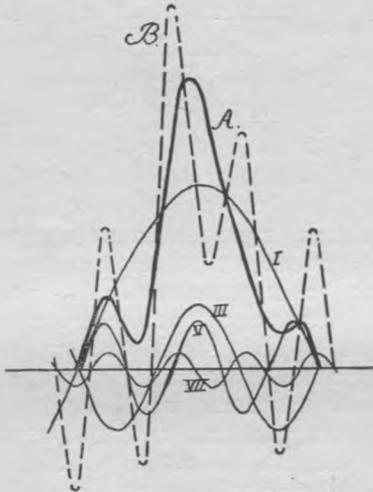
Если переменная электродвижущая сила измѣняется не по синусоидѣ, а по какой-либо другой кривой, то эту силу на основаніи теоремы Фурье можно представить себѣ въ видѣ нѣсколькихъ одновременно дѣйствующихъ гармоническихъ силъ, имѣющихъ кратное число периодовъ и сдвинутыхъ различнымъ образомъ одна относительно другой.

На чертежѣ (фиг. 9) изображена сложная кривая A, разложенная на гармоническія составляющія синусоиды I, III, V и VII (обыкновенно сложныя кривыя машинъ и состоятъ изъ слагающихъ кривыхъ нечетныхъ порядковъ).

Можетъ случиться, что періодъ колебательнаго разряда того конденсатора, который представляютъ изъ себя кабели, черезъ самоиндукцію машины, совпадаетъ по своему времени не съ главной, основной слагающей напряженія машины, а съ одной изъ ея гармоническихъ высшаго порядка, на примѣръ, съ седьмой. Въ этомъ случаѣ эта послѣдняя можетъ увеличиться въ нѣсколько разъ, что и повлечетъ за собою не только полную деформацию вида кривой, но и болѣе и менѣе сильное повышение и эффективнаго и максимальнаго напряженія. На нашемъ рисункѣ пунктирной линіей B обозначена такая деформированная линія,

построенная въ томъ предположеніи, что напряженіе VII слагающейся увеличилось въ десять разъ.

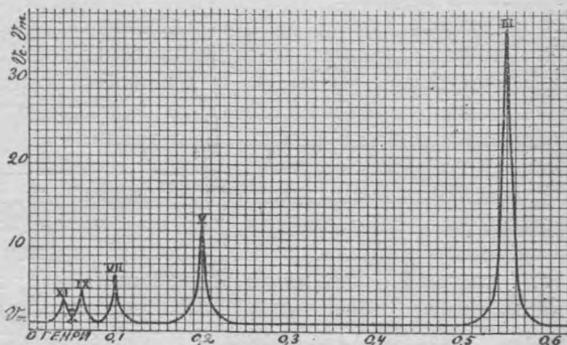
Представимъ себѣ теперь машину, имѣющую еще болѣе сложную кривую, состоящую изъ I, III, V, VII, IX и XI гармоническихъ слагающихся. Предположимъ для простоты рассужде-



Фиг. 9.

нія, что амплитуды каждой изъ этихъ кривыхъ находятся въ обратномъ отношеніи къ ихъ порядку; на примѣръ, что XI слагающая имѣетъ амплитуду въ 11 разъ меньшую, чѣмъ первая основная синусоида. Пусть машина, дающая такую кривую при 50 періодахъ, работаетъ на кабельную сѣть, имѣющую нѣкоторую емкость, на примѣръ, 2 микрофарды, причемъ общее сопротивление машины и сѣти составляетъ 5 омъ. Начнемъ постепенно измѣнять самоиндукцію нашей сѣти отъ 0 до 5 генри и прослѣдимъ за явленіемъ резонанса.

Фиг. 10 показываетъ намъ, что напряженіе XI слагающей увеличится въ 28 разъ



Фиг. 10.

при самоиндукціи равной 0,04 генри, при 0,06 генри мы вызовемъ резонансъ IX слагающей. Оба эти резонанса отразятся на напряженной сложной кривой, конечно, въ соответственномъ уменьшенномъ масштабѣ и тѣмъ не менѣе,

при нашихъ соотношеніяхъ это будетъ соответствовать общему повышенію въ 2,6 и 3,9 разъ. Въ промежуточныхъ точкахъ результаты резонанса этихъ двухъ слагающихся будутъ суммироваться и такимъ образомъ, какъ показываетъ рисунокъ, въ предѣлахъ отъ 0,035 до 0,07 генри будемъ имѣть напряженіе, превышающее напряжение машины въ два раза. Продолжая увеличивать самоиндукцію, мы еще три раза получимъ явленіе резонанса высшихъ гармоническихъ слагающихся.

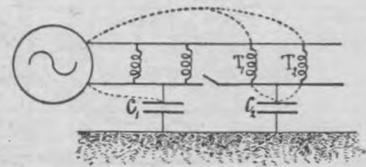
Резонансъ основной кривой наступитъ лишь при 5 генри, т. е. на разстояніи въ 10 разъ превышающемъ показанное на чертежѣ (фиг. 10) разстояніе отъ нуля до мѣста резонанса гармонической слагающей III порядка.

Такимъ образомъ мы имѣемъ при сложной кривой и при малой самоиндукціи, какъ бы, сплошную полосу, усыпанную опасными точками резонанса, и только между пунктами резонансовъ III и I слагающихся представляется безопасное поле; область же, въ которой при данныхъ условіяхъ резонансъ невозможенъ, начинается лишь за пунктомъ, соответствующимъ резонансу I слагающей.

И дѣйствительно оказывается, что для кабельныхъ сѣтей болѣе опаснымъ является резонансъ высшихъ гармоническихъ слагающихся напряженія машины, такъ какъ гораздо больше вѣроятія, что сочетаніе изъ емкости и самоиндукціи будетъ соответствовать періоду одной изъ этихъ слагающихся.

Явленіемъ резонанса часто объясняютъ замѣченное Нейштадтомъ\*) пробиваніе концентрическихъ кабелей въ тѣхъ случаяхъ, когда въ какой нибудь части кабельной сѣти внутренней проводъ оказывается присоединеннымъ къ оставшей сѣти въ то время, когда внѣшній проводъ прерванъ (фиг. 11).

Въ этомъ случаѣ самоиндукція трансформаторовъ  $T_1$ ,  $T_2$  дѣйствительно оказывается постѣ-



Фиг. 11.

довательно соединенной съ электродвижущей силой машины и двумя послѣдовательно же (черезъ свинцовую оболочку или черезъ землю) соединенными конденсаторами  $C_1$  и  $C_2$ , обкладками которыхъ служитъ внѣшняя жила кабеля и земля.

На этомъ основаніи принято старательно заботиться о томъ, чтобы внѣшній проводъ кабельной сѣти былъ позже всего прерываемъ и раньше всего включаемъ.

\*) ETZ. 1893, p. 253 и Feldman. Transf. s. 129.

Английскіе электротехники весьма основательно идутъ теперь дальше и разъ навсегда наглухо соединяютъ между собою всѣ внѣшніе провода кабеля, гдѣ только это можно, чѣмъ и предохраняютъ свои сѣти отъ появленія неприятныхъ явленій Нейштадта.

По той же причинѣ слѣдуетъ избѣгать устанавливать предохранители на внѣшнихъ жилахъ концентрическихъ кабелей, такъ какъ такіе предохранители, перегорая сами по себѣ, все равно тока не прерываютъ, потому что обратный токъ находится себѣ путь черезъ конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$ , а между тѣмъ, въ случаѣ перегоранія предохранителей только на внѣшнемъ проводѣ, получается сочетаніе, опасное съ точки зрѣнія резонанса.

Весьма изящное объясненіе Нейштадта вѣроятно приложимо лишь въ весьма немногихъ случаяхъ, когда кабели пробиваются въ моментъ выключенія только внѣшняго провода. Дѣйствительно, трудно себѣ представить, чтобы при этомъ получалось какъ разъ то соотношеніе емкости и самоиндукціи, которое необходимо для резонанса. Въ подобномъ случаѣ можно дать другое болѣе простое объясненіе.

Въ началѣ статьи мы уже говорили, что внѣшняя жила кабеля при нормальныхъ условіяхъ имѣетъ, относительно земли, весьма малое напряженіе. Въ тотъ моментъ, когда какая нибудь часть сѣти, хоть на короткое время, будетъ присоединена къ остальной имѣющей напряженіе сѣти лишь внутреннимъ проводомъ,—въ тотъ же моментъ напряженіе внѣшней жилы подключаемаго кабеля получить черезъ трансформаторы  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  почти полное рабочее напряженіе машины. Но изоляція между внѣшней жилой и землей обыкновенно не рассчитывается на такое высокое напряженіе. Кромѣ того, она вслѣдствіе своего большого діаметра главнымъ образомъ страдаетъ, какъ при прокладкѣ кабеля, такъ и во время лежанія его въ землѣ отъ движеній почвы при замерзаніи и оттаиваніи. Поэтому неудивительно, что изоляція внѣшняго провода пробивается, какъ только она подвергнется дѣйствию напряженія машины, если даже при этомъ и не будетъ резонанса.

При эксплуатаціи кабельныхъ сѣтей, питаемыхъ переменными токами, иногда приходится наблюдать случаи, когда напряженіе въ сѣти совершенно неожиданно сильно повышается, причемъ пробивается изоляція нѣсколькихъ кабелей, расположенныхъ въ противоположныхъ частяхъ города.

Чтобы констатировать повышеніе напряженія, обыкновенно пользуются искромѣромъ, включая его въ сѣть между двумя проводами кабеля, и раздвигая шарики настолько, чтобы искры между шариками не могли перескочить при нормальномъ напряженіи машины и перескакивали бы при двойномъ напряженіи.

Употребляя одновременно нѣсколько искромѣровъ, установленныхъ для различныхъ напря-

женій, можно приблизительно опредѣлить то максимальное напряженіе, которое появляется въ сѣти.

При помощи опытовъ съ подобными искромѣрами можно убѣдиться, что при случайномъ, или искусственно сдѣланномъ кратковременномъ короткомъ замыканіи въ кабельной сѣти, напряженіе машины иногда дѣйствительно повышается весьма значительно.

Это высокое напряженіе и эти искры между удаленными шариками, проще всего можно объяснить такъ называемымъ «экстра-токомъ» замыканія. Представимъ себѣ, что гдѣ нибудь въ сѣти образовалось короткое соединеніе, положимъ прогорѣлъ кабель и въ мѣстѣ поврежденія образовалась дуга; хотя напряженіе машины при этомъ и упадетъ, но сила тока, текущаго отъ машины къ поврежденному мѣсту, превзойдетъ въ нѣсколько разъ свою норму. Въ мѣстѣ поврежденія кабеля дуга заливается расплавленной резиной или смолой, составляющихъ изоляцію кабеля, и задувается массою выдѣляющихся при горѣніи газовъ, поэтому она то потухнетъ, то загорается снова и, вообще, имѣетъ, такъ сказать, судорожный характеръ; это продолжается до тѣхъ поръ, пока она или не потухнетъ сама собой, или пока не перегорятъ предохранители на попорченномъ кабелѣ, или же пока кабель не будетъ выключенъ.

Теперь весь вопросъ въ томъ: когда именно будетъ прерываться токъ машины. Если онъ прервется какъ разъ въ томъ моментъ, когда сила тока переходитъ черезъ нуль, то это не вызоветъ никакого повышенія напряженія; если же токъ будетъ прерванъ въ другой моментъ, и особенно, когда онъ переходитъ черезъ свой максимумъ, то это не можетъ не отразиться возникновеніемъ очень большой электродвижущей силы, обусловленной внезапнымъ исчезновеніемъ магнитнаго поля, создаваемого въ машинѣ токомъ короткаго замыканія.

Описанный факторъ служитъ одной изъ главныхъ причинъ поврежденій въ кабельныхъ сѣтяхъ: одно какое-нибудь короткое замыканіе, создавая повышеніе напряженія, повреждаетъ другіе кабели, но не настолько, чтобы они тотчасъ же прогорѣли (хотя бываютъ и такіе случаи), а такъ сказать только надрываетъ ихъ, и эти зародыши созрѣютъ и разовьются въ полное короткое замыканіе только черезъ нѣсколько дней или даже недѣль; но новые дефекты могутъ посѣять новые зародыши и, такимъ образомъ, сѣть никогда не освободится отъ дефектовъ, если не принять мѣръ предосторожности, которыя сводятся къ устройству между жилами на кабельной сѣти громоотводовъ, между остриями которыхъ и появляются разряды, коль скоро напряженіе повышается до опасныхъ предѣловъ.

То, что я назвалъ фигурально зародышемъ кабельныхъ дефектовъ, можно лучше всего наблюдать на кабельныхъ заводахъ. Иногда слу-

чается, что при испытаніи кабеля высокимъ напряженіемъ, свѣтъ вѣстовой лампочки, питаемой трансформированнымъ токомъ, доставляемымъ черезъ пробный кабель, едва замѣтно дрогнетъ.

Этого миганья достаточно, чтобы кабель былъ признанъ неудовлетворительнымъ, такъ какъ онъ указываетъ, что въ кабелѣ есть зародышъ дефекта. Разыскать и вырѣзать это большое мѣсто иногда бываетъ чрезвычайно трудно: самыя тщательныя измѣренія обыкновенно не обнаруживаютъ въ кабелѣ никакой аномалии и кабель выдерживаетъ двойное напряженіе въ теченіе многихъ дней, пока, наконецъ, дефектъ не разовьется настолько, что поврежденное мѣсто прогоритъ.

Для ускоренія процесса развитія дефекта можно было бы увеличить напряженіе, которымъ испытывается кабель, но этого избѣгаютъ кабельные фабриканты изъ боязни, чтобы такое увеличеніе напряженія не надорвало бы кабеля въ другихъ мѣстахъ.

Меньше опасности, но однако не менѣе интереса представляетъ повышеніе напряженія машины переменнаго тока при ея нагруженіи конденсаторами, напримѣръ, кабельной сѣтью съ немногими трансформаторами. Это повышеніе можетъ быть иногда весьма значительно, и, несмотря на кажущуюся парадоксальность, оно объясняется очень просто дѣйствіемъ переменнаго тока арматуры машины на магнитный потокъ электромагнитовъ.

На фиг. 12 схематически изображены двѣ неподвижныя катушки машины переменнаго тока и подвижныя электромагниты въ четырехъ раз-



Фиг. 12.

личныхъ положеніяхъ относительно катушки. Положеніе  $a$ ,  $a_1$  и  $a_2$  соотвѣтствуетъ максимуму электродвижущей силы,  $b$ ,  $b_1$  и  $b_2$  — нѣкоторой средней электродвижущей силѣ и наконецъ, при положеніи  $c$ ,  $c_1$  и  $c_2$  — электродвижущая сила машины равна нулю, а въ по-

ложеніи  $d$ ,  $d_1$  и  $d_2$  электродвижущая сила опять достигаетъ средней величины, но въ противоположную сторону. Стрѣлками различной длины и толщины обозначена величина силы тока, циркулирующаго въ данный моментъ въ обмоткахъ машины, причемъ рисунки  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  изображаютъ тотъ случай, когда машина нагружена исключительно омическими сопротивлениями и токъ въ машинѣ пульсируетъ одновременно съ ея напряженіемъ. Мы видимъ при этомъ, что намагничивающее и размагничивающее дѣйствія тока на подвижныя магниты въ этомъ случаѣ совершенно равны, такъ какъ въ то время, когда токъ достигаетъ своего максимума (положеніе  $a$ ), сѣверный и южный полюсы магнита находятся отъ катушекъ въ одинаковыхъ разстояніяхъ и, когда одинъ изъ полюсовъ подходитъ противъ катушки (положеніе  $c$ ), въ это время сила тока, а слѣдовательно и размагничивающее дѣйствіе катушки равны нулю. Въ промежуточныхъ положеніяхъ размагничивающее дѣйствіе (положеніе  $b$ ) компенсируется намагничивающимъ дѣйствіемъ въ нѣкоторый другой періодъ движенія (положеніе  $d$ ). При нагружкѣ машины сопротивлениями, имѣющими собственную электродвижущую силу самоиндукціи или емкости, симметрия совершенно исчезаетъ — токъ или запаздываетъ по своей фазѣ отъ фазы напряженія (фиг.  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$  и  $d_1$ ) или опережаетъ ее (фиг.  $a_2$ ,  $b_2$ ,  $c_2$  и  $d_2$ ), и мы видимъ, что въ первомъ случаѣ токъ неподвижныхъ катушекъ будетъ размагничивать магниты, а во второмъ случаѣ онъ будетъ ихъ въ такой же степени намагничивать, а въ зависимости отъ этого и измѣнять напряженіе машины.

Какъ ни просто это объясненіе, однако, чувство читателя, какъ то плохо мирится съ фактомъ возбужденія магнитовъ токомъ арматуры. По этому я полагаю умѣстнымъ привести здѣсь примѣръ, въ которомъ также имѣетъ мѣсто непосредственное самовозбужденіе, но который легче уяснить себѣ вслѣдствіе его большей простоты.

Возьмемъ двухполюсную динамомашину постоянного тока, выключимъ обмотку магнитовъ, сдвинемъ щетки въ сторону, противоположную вращенію, замкнемъ цѣпь якоря черезъ реостатъ и амперметръ и начнемъ вращать машину. Въ этомъ случаѣ магнитный потокъ будетъ поддерживаться исключительно тѣмъ токомъ, который протекаетъ въ якорѣ; этотъ магнитный потокъ частью будетъ находить себѣ путь и черезъ сердечникъ магнитовъ, и будетъ служить источникомъ электродвижущей силы.

Для электродвижущей силы рѣшительно все равно, откуда берутся магнитныя линіи силъ; разъ онѣ есть, и разъ ихъ перерѣзываетъ проводникъ, то этого и достаточно, чтобы въ проводникѣ возникла электродвижущая сила. Электродвижущая сила такой машины будетъ возрастать съ возрастаніемъ тока, доставляемаго машиной, совершенно аналогично тому,

какъ напряженіе переменнаго тока, въ случаѣ, изображенномъ на фиг. 12 ( $a_2$ ,  $b_2$ ,  $c_2$  и  $d_2$ )—будетъ увеличиваться по мѣрѣ увеличенія въ якорѣ силы тока, который и намагничиваетъ въ то же время электромагнитъ.

Если бы конденсаторъ былъ введенъ не въ цѣпь машины, а во вторичную цѣпь трансформатора, то мы получили бы то же явленіе, такъ какъ въ трансформаторѣ токъ и напряженія первичныя почти прямо противоположны току и напряженію—вторичнымъ; слѣдовательно, какой сдвигъ фазы существуетъ во вторичной цѣпи, такой же, или вѣрнѣе почти такой же, обнаружится и въ первичной.

Говоря о повышеніи напряженія, нельзя пройти молчаніемъ такъ называемое явленіе Феранти, обнаруженное на знаменитой Депфордской центральной станціи, снабжающей часть Лондона электрической энергіей. Это сооруженіе въ свое время, — а это было всего лишь 15 лѣтъ тому назадъ, заставило говорить о себѣ очень много. Здѣсь впервые были примынены концентрическіе кабели, которые, однако, въ то время приготавливались путемъ заколачиванья мѣдныхъ, обмотанныхъ бумагой трубокъ одна въ другую, и такой пары трубокъ—въ желѣзную трубу, составляющую арматуру кабеля. Высокое напряженіе, которымъ пользуется эта станція, было причиною возникновенія легенды о томъ, что къ станціи опасно приближаться на выстрѣлъ, такъ какъ тамъ непрерывно происходятъ мощные электрическіе разряды, сопровождаемые громомъ и молніей \*).

Однако не только профаны вѣрили въ чудеса, совершавшіяся въ этомъ сооруженіи: специалистамъ пришлось съ инструментами въ рукахъ констатировать совершенно непонятное явленіе, которое дало поводъ ко многимъ разговорамъ и заблужденіямъ. Во время постройки подземной линіи изоляція внѣшней жилы кабеля время отъ времени испытывалась напряженіемъ въ 500 вольтъ, доставляемымъ трансформаторомъ, установленнымъ въ Депфордѣ, питаемымъ машиною при постоянномъ напряженіи. При этомъ было замѣчено, что по мѣрѣ того, какъ возрастала длина проложеннаго кабеля, т. е. по мѣрѣ того, какъ увеличивался путь, который приходилось пробѣгать току отъ трансформатора къ измѣрительнымъ приборамъ и къ небольшому ламповому реостату, приключаемымъ къ концу кабеля,—что вмѣстѣ съ тѣмъ напряженіе не падало, какъ это случилось бы при постоянномъ токъ, а постепенно возрастало и достигло 600 вольтъ.

Это явленіе заставило многихъ электротехниковъ думать, что напряженіе вдоль всего кабеля непрерывно возрастало по мѣрѣ удаленія отъ трансформатора.

Тщательная изслѣдованія, произведенныя по этому поводу Флемингомъ, показали, что дѣло

обстоитъ гораздо проще, а именно, что напряженіе вдоль всего кабеля остается постояннымъ, но что нагрузка трансформатора конденсаторами увеличиваетъ коэффициентъ трансформированія трансформатора.

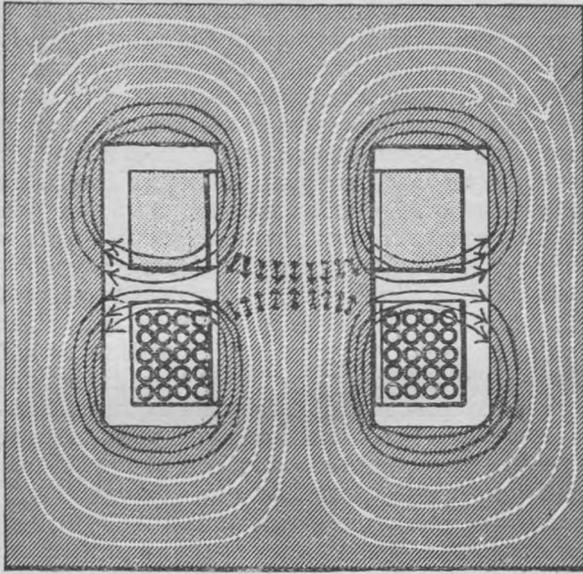
Однако, и въ такой формѣ явленіе представляется намъ все же довольно парадоксальнымъ, такъ какъ мы сильно сроднились съ понятіемъ о томъ, что всякая нагрузка ослабляетъ работающую силу. Въ данномъ случаѣ не слѣдуетъ забывать, что нагрузка трансформатора, а слѣдовательно и машины конденсаторомъ, т. е. такъ называемая безваттная нагрузка, на самомъ дѣлѣ—вовсе не есть нагрузка работой. Въ такой системѣ работа безостановочно какъ бы перебрасывается отъ трансформатора къ конденсатору и обратно, причѣмъ источникъ энергіи—трансформаторъ, а вмѣстѣ съ нимъ и машина, доставляютъ только ту незначительную часть энергіи, которая теряется въ проводахъ. Описываемый процессъ въ этомъ отношеніи имѣетъ нѣкоторую аналогію съ извѣстнымъ способомъ, предложеннымъ Гопкинсономъ для испытанія двухъ большихъ динамомашинъ при помощи одной малой, съ процессомъ, въ которомъ происходитъ круговоротъ энергіи \*).

Послѣ этихъ предварительныхъ замѣчаній перейдемъ къ разсмотрѣнію тѣхъ причинъ, которыя могутъ вызвать интересующее насъ въ данный моментъ повышеніе напряженія у вторичныхъ зажимовъ трансформатора. При этомъ надо замѣтить, что такое явленіе наблюдается исключительно надъ трансформаторами, имѣющими болѣе или менѣе значительную магнитную утечку. Несмотря на то, что желѣзо представляетъ магнитнымъ линіямъ сопротивление въ 1000 разъ меньшее, чѣмъ воздухъ, однако, въ нагруженномъ трансформаторѣ нѣкоторыя линіи силъ, такъ сказать, предпочитаютъ выбираться изъ желѣза и проходить черезъ воздухъ и катушки. Это объясняется тѣмъ, что магнитный потокъ, создаваемый первичной и вторичной обмотками, какъ бы сталкиваются между собою и при этомъ часть линій силъ выбивается наружу. Эти выбитыя линіи силъ уже не могутъ производить въ трансформаторѣ такого точнаго дѣйствія, какъ тѣ линіи, которыя охватываютъ всѣ витки первичной и вторичной катушекъ. Онѣ будутъ дѣйствовать, какъ бы сами по себѣ, такъ какъ циркулирующее въ нихъ магнитное поле будетъ создавать электродвижущую силу только въ этихъ виткахъ.

На фигурѣ 13 схематически изображенъ трансформаторъ повышающій напряженіе. Магнитодвижущія силы первичной и вторичной обмотки, направленные въ противоположныя стороны, изображены на рисункѣ короткими черными стрѣлками.

\*) Я позволю себѣ здѣсь сослаться на мою записку о круговоротѣ энергіи и пояснительное письмо къ ней. См. Электричество. 1899 г. № 10—11, 15—16.

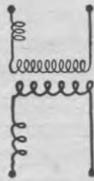
Въ томъ мѣстѣ, гдѣ эти силы такъ сказать сошлись своими фронтами, образуются магнитныя цѣпи утечки, изображенные на чертежѣ черными замкнутыми кругами. Главное магнитное поле, общее какъ для первичной такъ и для вторичной обмотокъ, изображено на чертежѣ



Фиг. 13.

бѣлыми линиями. Последнее не совпадаетъ по своей фазѣ съ магнитными цѣпями утечки.

Поэтому трансформаторъ съ магнитной утечкой можно представить себѣ въ видѣ трансформатора безъ утечки, но съ добавленіемъ въ первичную и во вторичную обмотку по небольшой реактивной катушкѣ (фиг. 14). При такомъ условіи трансформаторъ, включенный въ цѣпь переменнаго тока, будетъ вызывать запаздываніе тока противъ электродвижущей силы. Катушка  $c_1$  будетъ дѣйствовать непосредственно, ка-



Фиг. 14.

тушка  $c_2$  будетъ вызывать запаздываніе тока во вторичной цѣпи и, ужъ какъ слѣдствіе этого, также запаздываніе тока въ первичной цѣпи, такъ какъ первичный и вторичный токъ во всякомъ, сколько нибудь нагруженномъ трансформаторѣ почти прямо—противоположны. Слѣдовательно, такой трансформаторъ будетъ сдвигать фазы такъ, какъ если бы мы вмѣсто трансформатора ввели въ цѣпь всего лишь одну соотвѣтствующихъ размѣровъ катушку самоиндукціи, а это само по себѣ вызываетъ пониженіе на-

пряженія рабочаго тока. Теперь представимъ себѣ, что въ ту же цѣпь мы вводимъ нѣкоторый конденсаторъ, который является источникомъ новой электродвижущей силы, дѣйствующей въ направленіи прямо противоположномъ дѣйствію силы самоиндукціи.

Такимъ образомъ, мы парализуемъ тормозящее дѣйствіе тѣхъ реактивныхъ катушекъ, которыя, какъ объяснено выше, образуются въ трансформаторѣ, вслѣдствіе магнитной утечки, а поэтому напряженіе въ цѣпи должно повыситься. Помимо того, мы создаемъ въ этой цѣпи условія для возникновенія резонанса напряженія, такъ какъ самоиндукція трансформаторовъ и емкость кабелей оказываются включенными послѣдовательно. Однако, въ данномъ случаѣ слѣдуетъ рѣзко различать оба эти фактора, такъ какъ повышеніе напряженія вслѣдствіе резонанса является результатомъ все большаго и большаго накопленія энергіи, перебрасываемой отъ конденсаторовъ къ самоиндукціи и обратно, т. е. процессомъ, требующимъ для своего развитія времени по крайней мѣрѣ въ нѣсколько периодовъ переменнаго тока, тогда какъ парализующее дѣйствіе конденсатора на запаздывающій токъ сказывается уже въ теченіе одного періода. Несмотря на это различіе, мы находимъ у Каппа<sup>\*)</sup>, у Фельдмана и у Жерара нѣкоторое смѣшеніе этихъ двухъ факторовъ. Каппъ прямо говоритъ, что такъ называемый эффектъ Ферранти было бы правильнѣе называть эффектомъ резонанса, такъ какъ онъ въ дѣйствительности вызывается резонансомъ между емкостью и самоиндукціей.

Мнѣ кажется, въ данномъ случаѣ играли роль оба эти фактора, т. е. и резонансъ и парализация самоиндукціи. Для того, чтобы охарактеризовать величину этого явленія, я приведу нѣкоторыя цифры изъ отчета Флеминга объ опытахъ на Деффордской станціи. Машина возбуждалась токомъ въ 62 ампера, причемъ она развивала 1875 вольтъ у первичныхъ зажимовъ трансформаторовъ и 7500 вольтъ у вторичныхъ.

При нагруженіи трансформатора кабелями, емкостью въ 4,2 микрофарды и при томъ же самомъ возбуждающемъ токѣ замѣчалось возрастаніе напряженія у машины на  $14\frac{1}{2}\%$  и независимо отъ этого возрастаніе коэффициента трансформированія на  $5\%$ ; при дальнѣйшей нагрузкѣ трансформаторовъ емкостью въ 7,7 микрофарды было обнаружено возрастаніе напряженія машины на  $33\%$  и возрастаніе коэффициента трансформированія на  $10\%$  (\*\*).

Настоящій очеркъ далеко не исчерпываетъ всѣхъ случаевъ повышенія напряженія въ сѣтяхъ питаемыхъ переменными токами, и нужно сказать, что какъ ни просты перечисленные выше случаи повышенія, тѣмъ не менѣе самъ по себѣ затронутый вопросъ чрезвычайно сложенъ, такъ

\*) Капп. Transformatoren, s. 123.

\*\*) Ibid. s. 232.

\*\*\*) Fleming, Transformer II s. 407.

что нѣкоторыя явленія въ сѣтяхъ переменнаго тока и по настоящее время не имѣютъ правильнаго объясненія. Процессы, происходящіе внутри кабельной сѣти, все еще не изучены, и конечно, тщательное изученіе ихъ могло бы не только пролить новый свѣтъ на эти темныя вопросы, но и указать путь, по которому слѣдуетъ идти для устраненія вредныхъ вліяній повышеннаго напряженія. Прежде всего, однако, слѣдуетъ выработать методъ болѣе точный, чѣмъ методъ искромѣра для констатированія повышенія напряженія, и въ этомъ отношеніи, я думаю, большую услугу могутъ указать намъ въ связи съ фотографіей трубка Брауна и осцилографы, приборы, посредствомъ которыхъ мы, такъ сказать, заглядываемъ во внутреннюю жизнь кабельной сѣти.

*П. Ковалевъ.*

## БИБЛИОГРАФІЯ.

**E. Carvallo.** *Leçons d'électricité.* Paris. Ch. Béranger, éditeur. 1904.

**Э. Карвалло.** *Лекціи по электричеству.* Парижъ. Изд. Ш. Беранже.

Авторъ этой интересной книги поставилъ себя задачей популяризовать и ввести въ обиходъ педагогической практики тѣ взгляды и методы, которые до настоящаго времени составляли достояніе математической физики. Эти взгляды, связанные главнымъ образомъ съ именемъ Максвелля, получили особенный интересъ въ послѣднее время въ связи съ новыми вѣяніями въ наукѣ объ электричествѣ и электромагнетизмѣ. Распространеніе общихъ законовъ и методовъ механики на явленія, носителемъ которыхъ, по преимуществу, является эфиръ, оказалось въ высшей степени плодотворной идеей и приобрѣло нѣкъмъ не оспариваемое право гражданства въ наукѣ. Но имѣетъ ли шансы это теченіе утвердиться въ педагогической практикѣ, какъ надѣется Карвалло? Можно ли считать принятый имъ способъ изложенія методомъ преподаванія будущаго? Нѣтъ сомнѣнія, что этотъ способъ имѣетъ за себя много данныхъ. Первымъ преимуществомъ является уже то, что понятія, необходимыя для изложенія теоріи электромагнитныхъ явленій, имѣютъ самую тѣсную аналогію съ понятіями, знакомыми изъ механики. Съ другой стороны абстрактно механическое возрѣніе на электрическія и магнитныя явленія способствуетъ монистическому изложенію, позволяеть въ полной слѣдовательно и логично провести одну опредѣленную точку зрѣнія. Но не слѣдуетъ забывать, что абстрактность изложенія—пріемъ не педагогичный и врядъ ли съ точки зрѣнія педагогической цѣлесообразности можетъ быть испуленъ чѣмъ либо. Впрочемъ, оставляя въ сторонѣ эти общіе вопросы, перейдемъ къ разсмотрѣнію этой, во всякомъ случаѣ замѣчательной и въ высшей степени полезной попытки популяризовать взгляды Максвелля и придать имъ форму, доступную для широкаго круга читателей.

По самому существу дѣла автору оказалось, конечно, выгоднѣе начать съ разсмотрѣнія кинетическихъ явленій, а именно, явленій электрическаго тока. Въ этой области онъ всего легче имѣлъ возможность провести механическія аналогіи и ввести такія понятія, какъ электрическое смѣщеніе, скорость смѣщенія, электродвижущая сила и т. п. Послѣ краткаго введенія, въ которомъ авторъ напоминаетъ и даетъ

опредѣленія основныхъ механическихъ понятій, онъ переходитъ къ электрическимъ машинамъ, на которыхъ ему не трудно показать аналогію въ передачѣ энергій, механической и электрической. Разматривая систему, состоящую изъ генератора электрической энергій, передаточнаго механизма и приемника, Карвалло касается вопроса о связяхъ и степеняхъ свободы механизмовъ и примѣняетъ эти понятія къ электромеханическому и электрохимическому системамъ. Электрическая координата, электрическое смѣщеніе, другими словами, векторъ, выражающій количество электричества, протекающее черезъ нѣкоторую поверхность, вводится при разсмотрѣніи электрохимическихъ процессовъ. Связь электрическаго смѣщенія съ перемѣщеніямъ матеріальныхъ массъ придаетъ ему нѣкоторую конкретность и иллюстрируетъ его роль въ механическихъ аналогіяхъ. Впрочемъ, эти иллюстраціи дѣлаются мимоходомъ, и авторъ, вѣрный своему методу, старается обходить конкретныя атомистическія представленія.

Для опредѣленія электродвижущей силы Карвалло привлекаетъ понятіе энергій и принципъ виртуальныхъ перемѣщеній. Изъ сформулированнаго имъ соотношенія между энергій, электрическимъ смѣщеніемъ и электродвижущей силой, ясно выступаетъ сходство послѣдней съ силами, разсматриваемыми въ механикѣ. Значеніе метода варіацій, какъ математическаго метода, сослужившаго огромную службу въ вопросахъ объ электромагнитномъ полѣ, настолько велико, что можно только привѣтствовать попытку популяризовать основные принципы этого метода въ примѣненіи къ самымъ различнымъ вопросамъ природы.

Понятіе электрическаго смѣщенія, въ вышеуказанномъ смыслѣ, и степеней свободы въ сѣти проводниковъ позволяеть автору формулировать оба закона Кирхгофа, какъ слѣдствіе перваго закона Фарадея и принципа виртуальныхъ перемѣщеній. Въ этой формулировкѣ первый законъ получаетъ характеръ связи, которой подчинена несжимаемая жидкость; второй же носитъ характеръ закона виртуальныхъ работъ.

Глава объ электромагнетизмѣ начинается установленіемъ основныхъ понятій векторіальнаго счисленія. Это нововведеніе въ высшей степени цѣнно. Въ послѣднее время понятіе этого важнаго математическаго метода входить все болѣе въ обиходъ физической науки. Изящество формуль и наглядность ихъ составляетъ неопредѣлимое достоинство этого метода. И тѣмъ не менѣе рутинна оказывается сильнѣй, и запутанныя аналитическія формулы до сихъ поръ, въ болышинствѣ случаевъ, предпочитаются краткимъ символамъ векторіальнаго счисленія. Побороть эту рутину, приучить глазъ и умъ къ употребленію векторовъ и дѣйствій надъ ними, задача въ высшей степени своевременная и насущная. Карвалло дѣлаетъ въ этомъ направленіи смѣлый шагъ, и надо признать, что выгоды этого нововведенія всецѣло испутили тѣ трудности, которыя, быть можетъ, представитъ этотъ способъ изложенія для непривычнаго читателя. Вся остальная часть книги излагается на языкѣ векторовъ, вслѣдствіе чего формулы получаютъ весьма изящный видъ и становятся доступными краткому толкованію.

Основная задача этой части книги состоитъ въ уясненіи кинетическаго характера магнитной энергій. Карвалло упираетъ на то, что эта часть энергій электромагнитнаго поля въ полной подобна кинетической энергій матеріальныхъ, движущихся массъ. Вслѣдствіе этого понятіе электромагнитной силы получаетъ характеръ силы инерціи, подобно центробѣжной силѣ. Въ то время, какъ работа этой силы ведетъ къ увеличенію электромагнитной энергій, работа всякой статической силы должна была бы оказывать какъ разъ противоположное дѣйствіе, т. е. вести къ уменьшенію потенциальной энергій. Для иллюстраціи авторъ указываетъ на дѣйствіе центро-

бъжной силы, происходящей от вращения земли, которая может быть замѣнена кажущейся отталкивательной силой, пропорциональной расстоянію от оси вращения.

Очень удачно вводится затѣмъ понятіе магнитной индукціи. Авторъ не прибѣгаетъ къ традиционному методу, разсматривающему дѣйствіе магнитнаго поля на полость, помѣщенный въ магнитной средѣ. Этотъ методъ приводитъ къ произвольнымъ схемамъ и гипотезамъ, неяснымъ а priori. Опредѣленіе вектора магнитной индукціи у Карвалло основывается на основныхъ, экспериментально установленныхъ фактахъ электромагнитной индукціи. Такое разсмотрѣніе магнитныхъ явленій легко ведетъ къ установленію понятія о магнитной цѣпи, магнитному сопротивленію и проницаемости.

Послѣдняя глава посвящена электростатикѣ. Понятіе электрическаго смѣщенія уже раньше установлено, а потому не представляетъ новости. Автору остается только распространить на явленія въ электростатическомъ полѣ оба закона Кирхгофа, чтобы получить принципъ сохраненія электричества и ввести понятіе объ электростатическомъ потенциалѣ.

Резюмируя все изложенное, Карвалло говоритъ: „Съ кинематической точки зрѣнія для характеристики электромагнитнаго поля достаточны два вектора. Одинъ изъ нихъ—электрическое смѣщеніе, которое можно разсматривать, какъ въ проводящей такъ и въ непроводящей средѣ, другой—векторъ магнитной индукціи. Законы, выражающіе зависимость между векторомъ магнитной индукціи и скоростью электрическаго смѣщенія, представляютъ кинематическую эквивалентность между системой скоростей и системой вращеній. Усложненіе этихъ зависимостей вслѣдствіе явленія гистерезиса зависитъ безъ сомнѣнія отъ участія матеріальныхъ частицъ въ движеніяхъ эфира, главнымъ носителемъ электромагнитныхъ явленій“.

Съ точки зрѣнія динамики необходимо, помимо чисто механическихъ реакцій, принять во вниманіе реакцію Джоуля, подобную силѣ тренія, реакцію діэлектрической среды, аналогичную упругимъ силамъ матеріи; затѣмъ силы инерціи: съ одной стороны электромагнитныя силы, съ другой—индукцію токовъ.

„Всѣ эти силы уравниваются силами, приложенными извнѣ, а именно механическими силами и электродвижущими силами контактнаго и химическаго происхожденія. Уравненія равновѣсія, статическаго или динамическаго, выводятся по методу виртуальныхъ работъ.“

Изъ этого резюме выясняется простота электрическихъ явленій и ихъ тождественность съ явленіями механическими. По этому пути механическихъ толкованій, открытому Максвеллемъ, пойдетъ, я думаю, развитіе нашихъ знаній объ электричествѣ, которое позволитъ проникнуть глубже въ механизмъ движеній эфира и связи между этимъ субстратомъ электрическихъ явленій и вѣсомой матеріей“.

Таково содержаніе разсматриваемой книги. Надо отдать автору справедливость, что задачу, которую онъ поставилъ себѣ, онъ разрѣшилъ вполне удовлетворительно. Несмотря на легкость и общедоступность изложенія, вся книга выдержана въ строго научномъ духѣ. Она вводитъ читателя, обладающаго основными свѣдѣніями изъ механики и знакомаго съ началами дифференціального и интегрального исчисленія, въ кругъ идей современной науки объ электричествѣ и магнетизмѣ. Основныя понятія и основныя начала теоретическаго разсмотрѣнія этихъ явленій излагаются достаточно полно и въ высшей степени отчетливо. Но тотъ, кто пожелалъ бы познакомиться по этому курсу съ электрическими и магнитными явленіями, сдѣлалъ бы неудачный выборъ. Экспериментальная часть книги очень неполна и не представляетъ интереса. Всѣ факты, сгруппированные въ книгѣ, служатъ лишь иллюстраціей теоретическихъ выводовъ. Поэтому къ изученію этой книги слѣдуетъ переходить лишь послѣ предварительнаго знакомства съ экспериментальной осн

тѣхъ областей физики, которыя затрагиваются въ книгѣ.

Книга Карвалло принадлежитъ къ числу хорошихъ книгъ, и можно только порадоваться ея появленію. Какъ по своей оригинальности, такъ и прочимъ достоинствамъ, она выгодно отличается отъ большинства курсовъ и учебниковъ. Нѣтъ сомнѣній, что она будетъ имѣть самый широкій успѣхъ. Д. Р.

### L'Électricité et ses applications, par A. Rebourd.

**Электричество и его примѣненія.** А. Ребу. Часть I. Гальваническія батареи; общіе принципы электричества и магнетизма; домашнія, промышленныя и врачебныя примѣненія. 300 стр. 225 рис. въ текстѣ. Парижъ, 1903.

Авторъ задался цѣлью, какъ онъ говоритъ въ своемъ предисловіи—написать безпритязательную книгу для тѣхъ, кто задумалъ бы, не имѣя специальныхъ знаній, приняться за изученіе электротехники. „Въ этой книгѣ нѣтъ никакихъ утомительныхъ математическихъ выкладокъ и теоретическая часть ограничена самымъ необходимымъ; она заключаетъ только основныя принципы ученія объ электричествѣ. Но наиболѣе важныя примѣненія описаны заботливо и тщательно“. „Мой трудъ, пишетъ нѣсколько строкъ далѣе авторъ, можно смѣло рекомендовать промышленникамъ, начальникамъ мастерскихъ, административному персоналу телеграфовъ и телефоновъ, ученикамъ практическихъ коммерческихъ и промышленныхъ школъ и пр.“.

Я лично далеко не раздѣляю этого мнѣнія г. Ребу. Въ параграфахъ, посвященныхъ теоріи, такъ много, и неточнаго, и даже порою прямо неправильнаго, что въ нихъ наврядъ ли разберется читатель совершенно неподготовленный, а, вѣдь, именно для такихъ читателей книга г. Ребу и назначена.

Такъ, напримѣръ, говоря о силахъ, массахъ и ускореніяхъ, авторъ далеко не отчетливо разграничиваетъ опредѣленія и выводы. Термометръ г. Ребу посвящаетъ всего нѣсколько строкъ— $\frac{1}{4}$ , или много  $\frac{1}{3}$  страницы, и говоритъ, что „термометръ есть приборъ, котораго назначеніе—измѣрять температуру даннаго тѣла, т. е. его калорическое состояніе (état calorifique)“ (см. стр. 26). Что скажетъ такое опредѣленіе—нисколько не разъясненное и не развитое въ дальнѣйшемъ—читателю, который не зналъ раньше ничего о термометрѣ? Г. Р. даже не говоритъ объ употребленіи ртути и о томъ, что термометры съ разными веществами даютъ вообще разные отсчеты. На стр. 28, говоря о тепловой конвекціи (т. е. о распространеніи тепла токами теплой воды, теплаго воздуха и пр.), авторъ почему то ирривѣшиваетъ сюда „движеніе молекулъ подъ дѣйствіемъ тепла“. На стр. 29 мы читаемъ, что скорость электричества равна, будто бы, 30000 километровъ въ секунду, тогда какъ скорость электричества, т. е. скорость, съ которою движется электричество сплошь да рядомъ выражается многими сантиметрами въ минуту, а 30000 километровъ въ секунду—это скорость распространенія въ воздухѣ электрическихъ возмущеній. Выводъ пропорциональности между потенциаломъ заряженнаго тѣла и зарядомъ послѣдняго (см. стр. 47) едва ли удовлетворитъ самаго невзыскательнаго и самаго невдумчиваго читателя, а сравненіе съ тепломъ и температурой въ томъ видѣ, какъ авторъ его приводитъ для поясненія дѣла еще въ концѣ все затемняетъ.

На стр. 133 мы читаемъ, что силой электрическаго тока называютъ количество электричества, проходящее въ какой нибудь точкѣ цѣпи (en un point quelconque du circuit) въ секунду, тогда какъ слѣдовало бы сказать черезъ любое поперечное сѣченіе. Думать, что читатель, для котораго на-

писана книга г. Ребу, т. е. человекъ совершенно неподготовленный. догадается, въ чемъ тутъ дѣло — едва ли возможно, а вѣдь, рѣчь здѣсь идетъ не о какихъ нибудь частностяхъ, а о вопросахъ самыхъ основныхъ.

На стр. 140, говоря о группированіи гальваническихъ элементовъ послѣдовательно авторъ рассуждаетъ такъ (см. стр. 140): „Каждый элементъ, самъ по себѣ доставить въ единицу времени, количество электричества  $i$ , опредѣляемое формулой Ома

$$i = \frac{E}{nR + r},$$

очевидно, значитъ, что  $n$  элементовъ дадутъ въ единицу времени силу тока въ  $n$  разъ большую  $J = ni = \frac{nE}{nR + r}$ “. Хотя выводъ, къ которому приходитъ авторъ, и вѣренъ, но едва ли логика г. Ребу покажется убѣдительной...

Въ параграфахъ, посвященныхъ магнетизму, у автора получается какой то *pêle-mêle* изъ линий силъ, индукціонныхъ потоковъ и размагничивающихъ потоковъ. Я однакожъ затруднился бы выписать всѣ неправильныя мѣста; это взяло бы слишкомъ много мѣста.

Упомяну еще, что на стр. 225 говоря о токахъ, индуктируемыхъ во вторичной цѣпи при замыканіи и при размыканіи первичной, авторъ указываетъ, что въ обоихъ случаяхъ; т. е. послѣ замыканія и послѣ размыканія первичной цѣпи, проволока вторичной приобретаетъ свои начальные свойства по окончаніи явленія индукціи; и это доказываетъ, что количества электричества, приведенныя въ движеніе въ обоихъ случаяхъ, равны между собой!

И т. д., и т. д. Есть въ книгѣ г. Р. и хорошіе, правильные выводы; но бѣда въ томъ, что въ популярной книгѣ сколько нибудь значительная примѣсь плевелъ дѣлаетъ непригодной и пшеницу, такъ какъ читатель такой книги вообще не въ состояніи отсортировать одно отъ другого.

Что касается до примѣненій электричества, то параграфы, посвященные этому предмету, хотя и не свободны отъ кое какихъ погрѣшностей, но изложены вообще говоря много лучше; однако я очень опасаясь, что неподготовленный читатель вынесетъ такъ мало изъ теоретической части, да и къ тому же она такъ „заморочить“ ему голову, что и практическая часть не принесетъ ему большой пользы.

*Тай.*

**Les Accumulateurs, par J. Jumau.** Edition V-ve Ch. Dunod. Paris. 1904. Prix 27 fr. 50 c.

**Жюмо. Аккумуляторы.** Изд. III. Дюно. Парижъ. 1904. Стр. 926 въ 8 б. д. л. Ц. 27 фр. 50 c.

Среди довольно обширной литературы, посвященной свинцовымъ аккумуляторамъ, нельзя назвать ни одного руководства, которое представляло бы вполне удовлетворительное и достаточно полное изложеніе вопроса. Многія книги, имѣвшія смыслъ нѣсколько лѣтъ тому назадъ, въ послѣдніе годы значительно устарѣли. Развитие научныхъ представлений и техническихъ усовершенствованій происходитъ здѣсь настолько быстро, что нѣсколько лѣтъ представляютъ уже цѣлую эпоху. Послѣдніе годы были особенно плодотворны въ этомъ отношеніи. Классическія изслѣдованія Долезалека, освѣтившія многія стороны теоріи свинцоваго аккумулятора, постоянно возрастающая важность этого первостепеннаго фактора современной электротехники, — способствовали такому быстрому прогрессу, какъ теоретическихъ представлений, такъ и техническихъ деталей, что изданія, появившіяся лѣтъ пять тому назадъ, нельзя назвать вполне современными.

Съ другой стороны, многія изданія весьма полно и обстоятельно излагаютъ техническую сторону дѣла, но совершенно неудовлетворительно съ точки зрѣнія

теоретической. Написанныя для техниковъ и техниками, онѣ игнорируютъ тѣ воззрѣнія, которыя стали общепринятыми въ современной электрохиміи и способствовали плодотворный научный разработкѣ теоріи аккумулятора. Сюда слѣдуетъ отнести термодинамическую теорію обратимаго элемента и теорію Нернста, безъ которыхъ въ настоящее время немислимо рациональное объясненіе процессовъ, происходящихъ въ свинцовомъ аккумуляторѣ. Оставаясь на точкѣ зрѣнія старыхъ химическихъ теорій, онѣ даютъ крайне недостаточное освѣщеніе различныхъ явленій, весьма важныхъ и для практики ухода и пользования аккумуляторами.

Въ виду этого надо привѣтствовать книгу г. Жюмо, выгодно отличающуюся отъ другихъ изданій того же рода. Работа эта компилятивнаго характера и не даетъ никакихъ оригинальныхъ свѣдѣній объ излагаемомъ предметѣ. Но какъ компиляція, какъ резюме современныхъ теоретическихъ представлений объ аккумуляторѣ и справочная книга въ области техники аккумуляторной, эта работа составлена очень дѣльно и полно.

Въ качествѣ основного руководства при изложеніи теоретической части, которая, къ слову сказать, занимаетъ добрую половину всей книги, авторъ выбралъ книгу Долезалека. Это видно и изъ порядка изложенія и общаго плана книги; даже названія главъ большей частью совпадаютъ въ обоихъ книгахъ. Уже это одно рекомендуетъ книгу, потому что лучшаго пособия для изложенія теоріи, чѣмъ извѣстная „Теорія свинцоваго аккумулятора“, Жюмо не могъ, конечно, выбрать. Нечего и говорить, что передача теоріи Долезалека не только полезна, но прямо необходима для постановки вопроса на почву современныхъ воззрѣній. Эта постановка сообщаетъ много интереса и привлекательности всей книгѣ.

Какъ уже говорилось, авторъ не отличается оригинальностью и передача его близка къ подлинному тексту многихъ страницъ книги Долезалека, но необходимо замѣтить, что изложение обнаруживаетъ обстоятельное знакомство съ излагаемыми воззрѣніями и способность ориентироваться въ литературѣ предмета. Поэтому желающему познакомиться съ современной теоріей аккумулятора можно совѣтывать обратиться къ книгѣ Жюмо.

Кромѣ теоріи свинцоваго аккумулятора, въ первой, теоретической части книги большая глава посвящена различнымъ другимъ аккумуляторамъ. Конечно, больше всего вниманія уделено новымъ Эдисоновскимъ аккумуляторамъ съ неизмѣняемымъ, щелочнымъ электролитомъ, имѣющимъ, повидимому, передъ собой довольно значительную будущность.

Вторая половина книги распадается на двѣ части; описаніе различныхъ типовъ свинцоваго аккумулятора и примѣненій аккумулятора въ электротехникѣ. Въ этой половинѣ книга не представляетъ такихъ особенностей, которыя бы давали ей рѣшительное преимущество надъ другими изданіями, посвященными аккумуляторной техникѣ. Но литература, собранная здѣсь, довольно обширна; при томъ изложеніе не настолько подробно, что съ успѣхомъ можетъ въ большинствѣ случаевъ замѣнить обращеніе къ оригинальнымъ работамъ.

Наименѣ разработана послѣдняя часть, излагающая прикладную сторону вопроса. Въ основу ея положенъ широкій планъ, охватывающій всевозможныя отрасли техники, въ которыхъ аккумуляторы начали играть въ послѣднее время видную роль. Больше мѣста занимаютъ, конечно, стационарныя установки, въ которыхъ аккумуляторы заняли никѣмъ не оспариваемое положеніе. Но не оставлены безъ вниманія и переносныя батареи и ихъ примѣненіе для электрической тяги, автомобильной техники и освѣщенія поѣздовъ.

Всѣ эти вопросы скорѣе затронуты, чѣмъ разобраны съ необходимой подробностью. Изложеніе Жюмо достаточно для первой ориентировки въ этой

области, но, конечно, не может замѣнить болѣе детальныхъ пособій.

Значеніе разсматриваемой книги, какъ мы говорили уже, не въ этой области. Популяризація современныхъ электрохимическихъ воззрѣній и попытка провести ихъ въ обиходъ технической литературы составляетъ главную заслугу г. Жюмо. Въ виду этого, можно пожелать книгѣ самаго широкаго успѣха въ кругу читателей, интересующихся вопросами современной электротехники.

Д. Р.

Technische Abhandlungen aus Wissenschaft und Praxis. Herausgegeben von **Siegfried Herzog**. Verlag von Alb. Raustein. Zurich.

Viertes Heft. **Leitfaden für die Abfassung von Projekten über elektrische Licht, Kraft und Bahnanlagen**. Von **H. Spyri**. Mit 4 Abb. und 1 Tafel. Preis 4 M.

**Руководство къ планомѣрному составленію проектовъ электрическаго освѣщенія, передачи силы и электрической тяги**. Г. Спири. Инженеръ. Цюрихъ. 1905 г.

Обстоятельно составленное руководство даетъ практическія указанія къ составленію плана или остова для cadaго проекта, что конечно должно въ значительной степени облегчить постепенный ходъ работъ по проектированію различнаго рода электрическихъ сооружений. Краткое изложение, дополненное примѣрами, таблицами и задачами, даетъ возможность быстро опредѣлить тотъ путь, по которому необходимо, въ каждомъ данномъ случаѣ, направить работу по проектированію и составленію смѣты по сооруженію, а потому эту книгу можно рекомендовать, какъ специалистамъ, такъ и студентамъ высшихъ техническихъ учебныхъ заведеній **Л. Ш.**

Die elektrischen Anlagen der Schweiz. Ein elektrotechnische Sammelwerk. Erster Band. **Die Elektrisch betriebene Strassen-, Neben-, Berg-, und Vollbahnen der Schweiz**. Herausgegeben v. **Siegfried Herzog**. Mit 533 Abb. Preis 16 M. Zürich. Verlag von Albert Raustein. 1905.

Электрическая устройства въ Швейцаріи. Электротехнической сборникъ, томъ I. **Электрическая тяга на городскихъ, подъѣздныхъ, горныхъ и нормальныхъ желѣзныхъ дорогахъ въ Швейцаріи**. Подъ редакціей **Зигфрида Герцога**. Цюрихъ. 1905.

Солидный трудъ въ объемѣ 400 страницъ большого формата, обнимаетъ собою всѣ выдающіяся сооружения для электрической тяги въ Швейцаріи. Какъ видно изъ содержанія этой книги, существующія въ Швейцаріи сооружения являются во многихъ случаяхъ образцовыми и настоящее издание представляетъ собою очеркъ развитія этой отрасли электротехники въ странѣ, гдѣ такое развитіе встрѣчало наибольшія затрудненія и тѣмъ не менѣ достигла высокой степени совершенства.

Въ этой книгѣ подробно описываются 44 дороги съ раздѣленіемъ ихъ на три главные отдѣла: тяга съ трехфазнымъ токомъ, постояннымъ токомъ и однофазнымъ токомъ.

Каждому специалисту книга эта явится, надо полагать, не только полезнымъ, но и прямо необходимымъ руководствомъ для проектированія электрическихъ желѣзныхъ дорогъ и для разрѣшенія всевозможныхъ практическихъ вопросовъ, связанныхъ съ сооруженіемъ подобныхъ устройствъ. **Л. Ш.**

**М. Склодовская-Кюри. Радій и радиоактивность**. Пер. **А. Бачинскаго**. Москва. Книгоиздательство „Творческая мысль“. 1905 г. Ц. 1 р.

Еще одинъ переводъ извѣстной диссертации г-жи Кюри. Не многія иностранныя изданія удостоились такого вниманія со стороны гг. переводчиковъ и издателей. Модный характеръ темы и популярность имени автора со одной стороны, совершенная организованность переводной литературы и отсутствие какихъ-либо правомѣрныхъ ограниченій въ подыманіи литературной собственности иностранныхъ авторовъ—съ другой, послужили причиной такого чрезмѣрнаго обилія русскихъ изданій этой книги. Какъ ни любопытенъ самъ по себѣ французскій оригиналъ, все же можно пожалѣть объ избыткѣ непроизводительно затраченнаго труда, который могъ бы найти себѣ болѣе цѣлесообразное примѣненіе.

Не только настоящая потребность русскаго читателя, но и коммерческая выгода предпріятія, способствовали появленію на книжномъ рынкѣ той переводной дешевки, которая часто представляетъ изъ себя или никуда негодный хламъ или же крайне нерышливо и на скорую руку сдѣланную работу. По отношенію къ настоящему изданію такія сужденія были бы слишкомъ строги. Но нельзя не удержаться, чтобы не пожелать отъ переводчика побольше вниманія къ слогу и способу передачи французскаго текста. Въ пользу него говорить правильность перевода и отсутствіе извращеній смысла оригинала. Но тяжелый и неловкій слогъ, въ которомъ чувствуется на каждомъ шагу вліяніе французскаго подлинника, дѣлаетъ мало привлекательнымъ чтеніе перевода. Нѣкоторыя неловкія выраженія, разбросанныя въ разныхъ мѣстахъ книги, можно было бы, конечно, исправить при болѣе тщательномъ редактированіи ея, но общій стиль и языкъ текста все-таки оставили бы желать многого. **Д. Р.**

## НОВЫЯ ИЗДАНИЯ.

**Гуго Гюльднеръ. Газовые, нефтяные и проч. двигатели внутреннего сгорания, ихъ конструкція и работа; ихъ проектированіе**. Переводъ съ нѣмецкаго инж.-мех. **Н. К. Пафнутова** и **К. В. Кириша**, подъ редакціей **В. П. Гриневецкаго**, ад.-профессора Имп. М. Т. училища. Около 700 фиг. въ текстѣ и 12 листовъ чертежей. Цѣна по подпискѣ 6 руб. Выпускъ I. 176 стр. 237 фиг. въ текстѣ.

**Die Wirkungsweise, Berechnung und Konstruktion Elektrischer Gleichstrom-Maschinen**. Praktisches Handbuch für Elektrotechniker, Maschinenkonstrukteure und Studierende von **J. Fischer Hinnen**. Fünfte, vollständig umgearbeitete und stark vermehrte Auflage. Mit 433 in den Text gedruckten Figuren und 4 Tafeln. Zürich. Verlag v. Albert Raustein. 1904. Preis 16 M. 536 стр. въ 8 д. л.

**Die Berechnung Elektrischer Leitungsnetze in Theorie und Praxis**. Von **Cl. Feldmann**. Zweite Auflage in zwei Teilen. Zweiter Teil. **Dimensionierung der Leitungen**. Mit 212 Abbild. Berlin. Verlag v. J. Springer. 1905. Preis M. 451 стр. въ 8 д. л.

Elektro-technische Bibliothek. Band LXII. **Die elektrische Bühnen und Effekt-Beleuchtung**. Ein Überblick über die Methoden und neusten Apparate der elektrischen Bühnenbeleuchtung von **Th. Weill Dr.** Diplom. Ingenieur. Mit 205 Abbildungen. Wien. A. Hartleben's Verlag. 1904. Preis 4 m. 256 стр. въ 16 д. л.

Редакторъ **А. И. Смирновъ**.