

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Журналъ, издаваемый VI Отдѣломъ

Императорскаго Русскаго Техническаго Общества.

I.

## О резонансѣ несвязанныхъ и связанныхъ системъ.

Статья В. К. Лебединскаго.

I—несвязанныя системы; II—системы связанные.

1. Впервые основныя черты явленія резонанса были раскрыты въ ученіи о звукѣ, въ обширныхъ и глубокихъ изслѣдованіяхъ звуковыхъ колебаній и волнъ звука Гельмгольца и лорда Рейлея (1, 2 и 12 \*); акустическіе термины и теперь общепотребительны въ теоріи резонанса, хотя ея примѣненіе далеко уже не ограничивается явленіями звука; первымъ расширеніемъ ея было объясненіе резонансомъ нѣкоторыхъ свѣтовыхъ явленій (напримѣръ, поглощеніе); затѣмъ она была распространена на электромагнитныя процессы.

2. Резонансъ есть отзвукъ тѣла на періодически приходящіе къ нему толчки, механическаго (свѣтового) или электрическаго характера; иными словами, тѣло отъ этихъ толчковъ само приходитъ въ соотвѣтственное колебаніе; резонансъ есть одинъ изъ способовъ возбудить въ тѣлѣ колебанія. Періодическіе импульсы могутъ сообщаться тѣлу или въ видѣ одной и той же фазы послѣдовательнаго ряда волнъ, распространяющихся по окружающей средѣ, или отъ непосредственнаго дѣйствія источника гармоническихъ колебаній, вибратора, связаннаго какимъ либо образомъ съ резонаторомъ. Конечно, и волнующую среду можно разсматривать, какъ связь между источникомъ волнъ и резонаторомъ, но при такой волновой связи не рѣдки случаи, когда разстояніе между этими тѣлами очень велико (въ сравненіи съ длиною волны); а тогда совершенно ничтожно обратное дѣйствіе резонатора на вибраторъ; это обстоятельство дѣлаетъ волновую связь особымъ типомъ резонанса и притомъ типомъ простѣйшимъ; онъ-то и былъ впервые изученъ.

3. Этотъ случай представляетъ собою простое накопленіе энергій. Количества энергій, отдаваемая резонатору каждою отдѣльною волной, накопляются въ немъ, причемъ размахъ его колебаній все увеличивается; такъ происходитъ до тѣхъ поръ, пока разсѣяніе энергій резонатора за время между двумя волнами, увеличивающееся съ амплитудой (размахомъ) его колебаній, не будетъ равно энергій, отдаваемой ему волною. Съ этого момента начинается стационарное состояніе. Если теперь волненіе успокоится, то начнется третій періодъ резонанса: затуханіе резонатора.

4. Затуханіе, разсѣяніе энергій колебанія колеблющагося тѣла происходитъ по слѣдующимъ причинамъ: а) вязкость или ослабленіе силы упругости со временемъ, при данной деформации, такъ называемая релаксація (въ электрическомъ случаѣ нагреваніе диэлектрика въ конденсаторѣ, вслѣдствіе его электрической вязкости, вообще, и особенно въ воздухѣ или маслѣ, ничтожно). б) Сопротивленіе при движеніи частей (внутреннее и внѣшнее треніе) вибратора (омовое сопротивленіе проводника, въ виду малости колебательныхъ токовъ ничтожно; «сопротивленіе» искры (§ 17); гистерезисъ, которымъ мы будемъ пренебрегать, такъ какъ разсматриваемъ приборы «безъ желѣза»). в) Излученіе. Общепринятая теорія соединяетъ всѣ эти причины въ коэффициентъ затуханія  $\alpha$  формулы

$$Ae^{-\alpha t}, \dots \dots \dots (1)$$

выражающей законъ уменьшенія амплитуды колебанія  $A$  со временемъ  $t$ . Обозначимъ періодъ колебанія чрезъ  $T$ ; величину  $\gamma = \alpha T$  называютъ логарифмическимъ декрементомъ.

Формула (1) показываетъ, что скорость затуханія, скорость уменьшенія  $A$  пропорціональна величинѣ амплитуды; съ уменьшеніемъ  $A$  затуханіе становится все медленнѣе и потому, теоретически, продолжается безконечно долго.

Коэффициентъ  $\alpha$  представляетъ собою, слѣдовательно, сумму двухъ величинъ  $\alpha' + \alpha''$  (если отбросить изъ разсмотрѣнія вязкость и гистерезисъ); первая мѣряетъ затуханіе отъ Джоулева нагреванія проводниковъ и искрового промежутка; она равна

\* Номера, указанные въ скобкахъ, относятся къ библиографическому указателю въ концѣ статьи.

$$\alpha' = \frac{R}{2L} *), \dots (2)$$

гдѣ R и L означаютъ сопротивление и коэффициентъ самоиндукціи цѣпи колебаній; вторая мѣряетъ затуханіе отъ излученія. Общаго выраженія для нея не можетъ быть дано; она зависитъ не только отъ размѣровъ цѣпи, но и отъ характера ея формы; такъ Бьеркнесъ (5) находитъ изъ своихъ опытовъ, что, если цѣпь выпрямить, то по меньшей мѣрѣ въ 10 разъ увеличится ея  $\alpha''$  въ сравненіи съ тою же цѣпью замкнутой формы. Для Гертиова резонатора (замкнутая цѣпь) изъ мѣдной проволоки онъ нашелъ декрементъ отъ излученія равнымъ 0,027, тогда какъ джоулевъ декрементъ былъ равенъ 0,007; для того же прибора изъ желѣза получились числа 0,027 (декрементъ отъ излученія не измѣнился съ матеріаломъ) и 0,24. Способы опытнаго измѣренія декрементовъ даны Бьеркнесомъ (5) и Друде (14). Для предвычисленія декремента на излученіе имѣется формула Абраама, относящаяся къ прямолинейному проводу

$$\gamma'' = \frac{2,44}{lg \frac{2l}{r}}, \dots (3)$$

гдѣ l и r—длина и радіусъ провода.

Замѣтимъ, что декрементъ въ нѣсколько сотыхъ трудно достижимъ; онъ находится въ прямой зависимости отъ емкости цѣпи (C); дѣйствительно, если пренебречь излученіемъ,  $\gamma = \frac{R}{2L} T$ , но  $T = 2\pi \sqrt{LC}$ ; а слѣдовательно

$$\gamma = \frac{\pi R \sqrt{C}}{\sqrt{L}}; \dots (4)$$

если, оставляя T постояннымъ, удвоить емкость, то декрементъ увеличится вдвое. Друде считаетъ 0,09 и даже 0,15 уже очень малыми декрементами.

Полезна такая иллюстрація величины декремента: если  $\gamma = 0,26$ , то амплитуда втораго періода = 0,77 амплитуды перваго; десятаго—0,07; тридцатаго—0,0004 (4).

Затуханіе увеличиваетъ періодъ колебанія; для электрическихъ колебаній полная формула для T пишется такъ:

$$T = \frac{2\pi \sqrt{LC}}{\sqrt{1-\alpha^2 LC}}, \text{ или} \\ 4\pi^2 N^2 = n^2 = \frac{1}{LC} - \alpha^2, \dots (5)$$

гдѣ N обозначаетъ число періодовъ въ секунду, а n—въ  $2\pi$  секундъ.

Въ послѣдующемъ мы будемъ, однако, разумѣть подъ T только числитель полного выраже-

нія, т. е. тотъ періодъ, который имѣлъ бы мѣсто, если бы затуханіе было равно нулю, такъ какъ затуханіе окажется величиною переменной для одного и того же резонатора (§§ 9, 11 и 12).

5. Всѣ причины затуханія сходны въ томъ, что производятъ безвозвратную убыль энергіи колебаній, ея разсѣяніе, превращая ли ее въ тепло, или въ энергію лучистую. Но какъ только мы обратимся къ значенію затуханія въ явленіи резонанса, тотчасъ же выступаетъ типичное различіе отдѣльныхъ частей декремента.

Вообще говоря, при данныхъ волнахъ резонаторъ достигаетъ тѣмъ меньшей амплитуды, чѣмъ больше его декрементъ; дѣйствительно, при большемъ затуханіи тѣло разсѣиваетъ всю поступающую въ него энергію при меньшей амплитудѣ; по это вѣрно лишь, если затуханіе всецѣло зависитъ отъ появленія джоулева тепла, такъ какъ въ этомъ случаѣ мы не устанавливаемъ связи между затуханіемъ резонатора и его способностью поглощать, т. е. заимствовать большую или меньшую энергію отъ падающихъ волнъ.

Дѣло обстоитъ совершенно иначе съ излученіемъ; извѣстно, что чѣмъ болѣе способно тѣло излучать волны, тѣмъ болѣе способно оно и воспринимать ихъ: мембрана, примѣняемая для телефоннаго передатчика, вполне подходяща и для граммофонной трубы; мачта (прямолинейный проводъ), хорошо воспринимающая волны на приемной станціи безпроводнаго телеграфа, столь же хорошо служитъ излучателемъ ихъ на станціи отправленія (10). Поэтому изъ двухъ резонаторовъ съ декрементами разными, вслѣдствіе разной способности излучать, резонаторъ съ большимъ декрементомъ можетъ достигать даже большей амплитуды, такъ какъ, разсѣивая больше, онъ больше и получаетъ изъ поступающей къ нему энергіи; онъ является безусловно лучшимъ резонаторомъ, если дѣйствіе резонанса заключается именно въ возбужденіи источника сильныхъ волнъ, какъ въ акустическихъ случаяхъ.

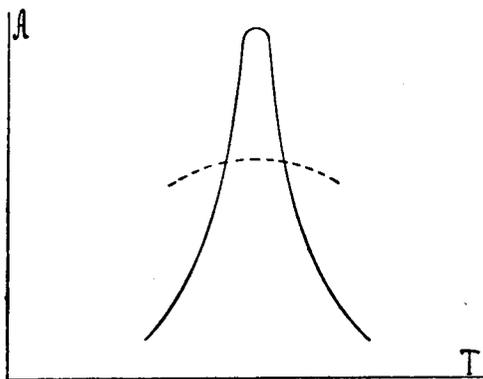
Но всякое затуханіе оказываетъ и вредное вліяніе въ явленіи резонанса, если мы ждемъ отъ него точности настройки, какъ это объясняется въ слѣдующемъ параграфѣ.

6. Амплитуда резонатора при прочихъ равныхъ условіяхъ зависитъ отъ періода его собственныхъ колебаній; естественно, что она наибольшая, если его періодъ равенъ періоду падающихъ на него волнъ, т. е. періоду вибратора (случай консонанса или изохронизма), и убываетъ при отклоненіи отъ консонанса въ ту или другую сторону. Быстрота этого убыванія съ увеличеніемъ разности между періодами далеко не одинакова у различныхъ резонаторовъ; чѣмъ больше его затуханіе, тѣмъ менѣе выдѣляется въ немъ періодъ консонанса; дѣйствительно, при безконечномъ затуханіи тѣло въ каждомъ положеніи находится въ состояніи равновѣсія и въ каждый моментъ готово подчиняться вѣншимъ импульсамъ, приносимымъ волнами; оно находится въ консонансѣ со всякимъ періодомъ. Вслѣдствіе

\* Напомнимъ, что и обыкновенный маятникъ въ данной средѣ долѣе колеблется ( $\alpha$  меньше), если онъ болѣе массивенъ (аналогичная областная универсальная научная библиотека)

этого резонаторъ съ большимъ затуханіемъ не можетъ быть точно настроенъ; онъ почти съ одинаковой амплитудой отвѣчаетъ волнамъ значительно различныхъ періодовъ. Такъ дека струннаго инструмента, мембрана отвѣчаютъ почти одинаково весьма различнымъ тонамъ, и наоборотъ стальной камертонъ ясно обнаруживаетъ явление консонанса, т. е. приобретаетъ рѣзко выраженную максимальную амплитуду, когда періодъ падающихъ на него волнъ весьма близокъ къ періоду его колебаній. Отмѣтимъ, что при прочихъ равныхъ условіяхъ амплитуда консонанса зависитъ еще и отъ абсолютной величины періода; Бьеркнесъ (5) доказываетъ, что амплитуда консонанса пропорциональна квадрату  $T$  при данной амплитудѣ волнъ; приэтомъ онъ имѣетъ въ виду лишь весьма близкіе періоды. Дѣйствительно, трудно приготовить резонаторы, значительно отличающіеся по періоду, но равные въ прочихъ отношеніяхъ; если мы возьмемъ геометрически подобные, но различающіеся по періоду проводники, то должны будемъ принять во вниманіе, что у большаго проводника будетъ меньшее джоулево затуханіе, вслѣдствіе уменьшенія величины  $R:I$  (формула 2)\*; измѣнивъ же геометрическія соотношенія, мы, вѣроятно, измѣнимъ излученіе (формула 3); кромѣ того, волны съ большимъ періодомъ несутъ съ собою при данной  $A$  меньшую энергію.

На фиг. 1 сплошная линия изображаетъ острую кривую резонанса (зависимость амплитуды резонатора отъ его періода при постоянномъ  $T$



Фиг. 1.

падающихъ волнъ) при маломъ затуханіи резонатора\*\*), а точечная — кривую резонанса при большомъ затуханіи резонатора.

Согласно сказанному выше, большую амплитуду при консонансѣ получить тотъ изъ двухъ резонаторовъ съ одинаковыми декрементами, затуханіе котораго ложится большею частью на излученіе. Недостатокъ опытныхъ данныхъ не позволяетъ еще рѣшить, не увеличивается ли

способность къ поглощенію даннаго тѣла съ приближеніемъ къ консонансу; это обстоятельство сдѣлало бы резонаторъ, сильно затухающій отъ излученія, дающимъ болѣе острую кривую, чѣмъ столь же затухающій, но отъ нагрѣванія.

7. Положимъ, что мы имѣемъ весьма мало затухающій резонаторъ; пусть его колебанія не связаны ни съ какими явленіями тренія; единственною причиною затуханія мы предполагаемъ въ немъ слабую способность излученія; эту способность — эту причину затуханія — мы должны въ немъ оставить (хотя будемъ ее мысленно уменьшать до какой угодно малой величины), такъ какъ въ противномъ случаѣ мы не можемъ представить себѣ, какъ же нашъ резонаторъ будетъ воспринимать энергію волнъ (§ 5). Такой резонаторъ будетъ накапливать энергію, поглощаемую имъ (хотя и ничтожную) изъ каждой волны, до громаднаго количества, въ предѣлѣ его амплитуда мыслится безконечною; иными словами, его скорости будутъ возрастать до какой угодно величины.

Будемъ имѣть въ виду акустическій примѣръ: воздушныя волны проходятъ мимо резонатора, который упрощается до безконечно тонкой площадки, перпендикулярной къ лучамъ; нѣкоторая часть ихъ энергіи поглощается резонаторомъ, остальная проходитъ насквозь его. Если чрезъ какое либо мѣсто проходятъ воздушныя волны, это значитъ, что частицы воздуха, занимающія его, то имѣютъ максимальную скорость въ одномъ направленіи (въ это время онѣ проходятъ чрезъ свое положеніе равновѣсія; фаза кинетической энергіи), то, черезъ четверть періода, представляютъ собою сжатый слой, съ обѣихъ сторонъ котораго къ нему стремятся частицы (фаза потенциальной энергіи), то, черезъ полперіода, частицы имѣютъ максимальную скорость въ направленіи обратномъ предыдущему, то, наконецъ, наступаетъ фаза деформации разрѣженія. Нашъ резонаторъ оказывается послѣдовательно погруженнымъ въ эти фазы; онъ не можетъ заимствовать энергію въ фазахъ потенциальной формы, такъ какъ въ эти моменты съ двухъ его сторонъ частицы обладаютъ противоположными скоростями; поглощеніе энергіи происходитъ лишь въ фазы кинетическія. Предположимъ же, какъ это представляется необходимымъ съ перваго взгляда, что колебанія резонатора совпадаютъ по фазѣ съ волною. Въ такомъ случаѣ скорость его прохожденія чрезъ положеніе равновѣсія не можетъ быть больше максимальной скорости частицъ воздуха; не можетъ тѣло получить толчокъ, ускоряющій его движенія, со стороны тѣла, движущагося медленнѣе, чѣмъ оно само. Но нашъ предыдущій выводъ о сколь угодно большой скорости (или амплитудѣ) резонатора съ малымъ затуханіемъ противорѣчитъ этому. Дѣло въ томъ, что резонаторъ во время консонанса отстаётъ на четверть періода отъ волнъ, приводящихъ его въ дѣйствіе: въ

\* ) И въ акустическихъ примѣрахъ, маленькіе инструменты, издающіе высокія ноты, быстрѣе затухаютъ.

\*\* ) Левая часть этой кривой должна подниматься менѣе круто, чѣмъ правая.

энергія его колебаній—потенціального характера, онъ получаетъ толчокъ отъ окружающихъ частицъ и вмѣсто того, чтобы начинать свое возвращеніе къ положенію равновѣсія съ нулевой скоростью, онъ начинаетъ его съ нѣкоторою конечною, а слѣдовательно пройдетъ свое положеніе равновѣсія съ болѣею скоростью, чѣмъ въ ближайшій предыдущій разъ; этимъ увеличивается его амплитуда и т. д.

8. Что касается до того, какъ скоро резонаторъ достигаетъ своей максимальной амплитуды, т. е. наступитъ стационарное состояніе резонанса, то при отсутствіи затуханія резонатора это произойдетъ чрезъ безконечное время, т. е. никогда; при безконечномъ затуханіи—резонаторъ, тотчасъ же разсѣивая получаемую энергію, окажется въ стационарномъ состояніи съ перваго же момента. Отсюда слѣдуетъ, что, чѣмъ болѣе затуханіе, тѣмъ скорѣе наступитъ это состояніе. Слово: «скорѣе» обозначаетъ здѣсь: чрезъ меньшее число періодовъ; абсолютная же величина промежутка времени до наступленія стационарнаго состоянія зависитъ прямо отъ длины періода \*). Если волны, идущія къ резонатору, сами затухаютъ, т. е. излучаются затухающимъ источникомъ, то стационарное состояніе резонанса не можетъ установиться ни при какомъ резонаторѣ; въ этомъ случаѣ, достигнувъ максимальной амплитуды, резонаторъ не можетъ на ней удержаться, ибо слѣдующая волна принесетъ уже меньше энергіи; эта максимальная амплитуда достигается тѣмъ скорѣе (и бываетъ тѣмъ меньше), чѣмъ болѣе затуханіе.

Бьеркнесъ, давъ формулу максимальной амплитуды резонанса

$$A_{\max} = \frac{B}{4\pi} \frac{T^2}{\gamma} \left( \frac{\delta}{\gamma} \right)^{\frac{\delta}{\gamma - \delta}},$$

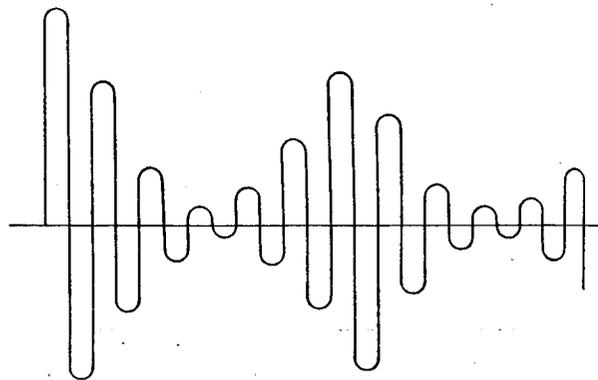
гдѣ  $B$  означаетъ амплитуду дѣйствія волны на резонаторъ, а  $\delta$ —декрементъ волны; эта формула приводитъ къ выводу, что максимальная амплитуда не измѣнится, если волна и резонаторъ обмѣняются своими декрементами (13). Дѣйствительно, отъ перестановки декрементовъ величина, на которую помножено  $B$ , не измѣняется. Но при этомъ забывается, что, если мы, напримѣръ, большой декрементъ, почти весь излученія, резонатора передадимъ волнѣ, то весьма уменьшится  $B$  (§ 5).

9. Когда періодъ резонатора не совпадаетъ съ періодомъ волнъ, то первый толчекъ, полученный резонаторомъ, сообщитъ ему собственныя колебанія, на которыя будутъ накладываться дальнѣйшіе импульсы отъ волнъ; его собственныя колебанія, во время которыхъ резонаторъ будетъ подѣ всевозможными фазами къ волнамъ, будутъ затухать и, наконецъ, установятся насильныя колебанія съ періодомъ вибратора;

ихъ только и разсматриваютъ, если падаютъ незатухающія волны; при этомъ, если собственный періодъ резонатора короче періода волнъ, то разность фазъ его колебаній и волны приближается къ нулю, въ противномъ случаѣ—къ половинѣ  $T$ ; это то и служитъ механическою причиною насильственнаго удлиненія и укорачиванія періода резонатора, и поясняетъ несимметричность кривой резонанса (фиг. 1). Если вдругъ исчезнетъ причина насильственныхъ колебаній, резонаторъ будетъ совершать затухающія колебанія въ точности съ собственнымъ своимъ періодомъ.

Съ того момента, когда установился стационарный періодъ резонанса, резонаторъ колеблется безъ затуханія, какое бы затуханіе ни было ему присуще. Уже изъ этого слѣдуетъ, что періодъ консонанса не равенъ періоду самого резонатора, а меньше его; другими словами, при данномъ періодѣ волнъ наибольшую амплитуду при прочихъ равныхъ условіяхъ получаетъ тотъ резонаторъ, у котораго періодъ, уменьшенный такъ, какъ еслибы его затуханіе было  $= 0$ , равенъ періоду волнъ. Такой резонаторъ мы называемъ изохроннымъ съ вибраторомъ (§ 4).

Если въ случаѣ диссонанса на резонаторъ падаютъ затухающія волны, то не имѣетъ смысла отбрасывать собственныя колебанія резонатора; въ этомъ случаѣ они будутъ имѣть мѣсто одновременно съ насильственными колебаніями; оба колебанія образуютъ (при условіи, какъ всегда, малой разницы въ періодахъ) такъ называемыя бисенія, какъ это доказывается въ акустикѣ. Фигура 2 показываетъ, какъ въ случаѣ бисенія из-



Фиг. 2.

мѣняется амплитуда со временемъ; ея максимумы повторяются столько разъ въ секунду, насколько отличаются числа  $N$  для волнъ и резонатора.

## II.

10. Обращаемся къ тому случаю, когда вибраторъ не можетъ быть разсматриваемъ, какъ сохраняющій свою полную независимость отъ резонатора, но когда, наоборотъ, они взаимодействуютъ другъ на друга, тѣмъ болѣе сильно, чѣмъ тѣснѣе связь между ними. Въ основу раз-

\*) По измѣреніямъ Кольрауша, наши ушные резонаторы (Кортіевы волокна) приходятъ въ стационарное колебаніе чрезъ 16 періодовъ (§ 5).

смотрѣнія этого случая, очевидно, нельзя положить наростаніе энергіи резонатора на счетъ вибратора и дѣленіе процесса резонанса на три періода, какъ то было сдѣлано выше, и потому можно ожидать, что мы придемъ къ результатамъ, совершенно отличнымъ отъ вышеуказанныхъ.

11. Для пониманія происходящихъ здѣсь явленій лучше всего обратиться къ электрическому случаю: система, въ которой произведены колебанія, связана, положимъ, индуктивно съ другою; мѣрою ихъ взаимной связи является коэффициентъ взаимной индукціи тѣмъ большій, чѣмъ больше магнитныхъ линий первой системы охватываетъ вторую и обратно. Токи, индуктируемые во второй системѣ, ослабляютъ поле первой и наоборотъ, иными словами вслѣдствіе взаимной индукціи уменьшается самоиндукція въ обѣихъ системахъ, уменьшаются ихъ періоды. Въ то же самое время то обстоятельство, что каждой системѣ приходится вести за собою другую, увеличиваетъ затуханіе въ нихъ и періодъ (формула 3). Результатомъ этого является два періода въ каждой изъ системъ. Если системы имѣютъ каждая въ отдѣльности ничтожное или просто равное затуханіе, то въ каждой появляется два одинаково затухающихъ колебанія; какъ бы ни были различны затуханія нашихъ системъ, взятыхъ отдѣльно, мы приближаемся къ этому случаю, усиливая связь между ними; настолько невозможнымъ становится различіе явленій въ системахъ при достаточно тѣсной связи. Колебанія разныхъ періодовъ, происходящія въ одной и той же системѣ, оказываются одно относительно другого въ различные моменты во всевозможныхъ фазахъ; происходитъ бѣненіе, то есть въ извѣстные моменты ихъ амплитуды складываются, въ другіе вычитаются, и, если онѣ равны между собою, даютъ въ результатѣ нуль (фиг. 2). Эти моменты поочередно бываютъ то въ одной системѣ, то въ другой; иначе мы не могли бы понять, куда пропадаетъ энергія колебанія въ тѣ моменты, когда одновременно энергія колебанія обѣихъ цѣпей равняется нулю. Энергія перекочевываетъ изъ одной системы въ другую и обратно.

Объясненіе всего процесса, можетъ быть, естественнѣе начать съ необходимости этого послѣдняго явленія. Дѣйствительно, если мы имѣемъ двѣ одинаковыя системы, одной изъ которыхъ сообщена энергія колебаній, можно ли представить себѣ, что эта энергія раздѣлится между ними? Въ такомъ случаѣ, такъ какъ системы продолжаютъ быть связанными, системы продолжали бы увеличивать свои амплитуды одна на счетъ другой—результатъ совершенно нелѣпный. Второе предположеніе, что энергія будетъ перекочевывать изъ одной системы въ другую и обратно, вполне согласно съ закономъ сохраненія энергіи; но тогда колебаніе въ каждой цѣпи происходитъ по законамъ бѣненія (фиг. 2); а такое бѣненіе можно представлять себѣ, какъ сло-

женіе двухъ періодовъ, которые являются въ этомъ объясненіи, какъ способъ разложить особый видъ колебаній (съ періодически измѣняющеюся амплитудою).

Мы говорили объ одинаковыхъ системахъ; но если взять разныя изохронныя системы, т. е. съ разными затуханіями, то энергія будетъ имѣть стремленіе направиться въ систему съ большимъ затуханіемъ, такъ что разность затуханій

$$\alpha_1 - \alpha_2$$

является причиной, мѣшающей бѣненіямъ, и дѣйствующей, слѣдовательно, обратно коэффициенту взаимной индукціи.

При достаточно слабой связи точно изохронныя системы остаются при одномъ періодѣ.

Представимъ себѣ двѣ связанныя системы, изохронныя, но съ различными L и C, т. е. выполняющія условіе  $L_1 C_1 = L_2 C_2$ . Первоначальная энергія вибратора пусть будетъ равна  $\frac{V^2 C_1}{2}$ ; если не принять во вниманіе затуханія, то при первомъ же перекочеваніи она окажется во второй системѣ, потенциальгъ которой опредѣлится уравненіемъ

$$V_2^2 C_2 = V_1^2 C_1,$$

то есть

$$V_2 = V_1 \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} = V_1 \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \dots (6)$$

Такимъ образомъ мы можемъ получить повышеніе потенциала помощью резонанса связанныхъ системъ, если емкость вибратора больше емкости резонатора.

Чтобы принять во вниманіе затуханіе, слѣдуетъ выраженіе для  $V_2$  помножить на  $e^{-\omega p}$ , гдѣ  $\omega$  обозначаетъ затуханіе тѣсно связанной системы, равное  $\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$ , а  $p$ —время между началомъ явленія и наступленіемъ максимальной амплитуды во второй цѣпи (равно полупромежутку между бѣненіями).

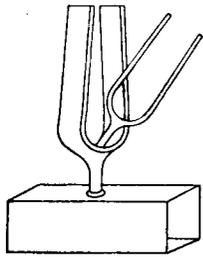
12. Мы видимъ, что изохронныя системы, при существованіи достаточно тѣсной связи между ними разстраиваются. Это явленіе взаимнаго разстраиванія двухъ связанныхъ системъ гораздо болѣе широко, чѣмъ нами изложено въ предыдущемъ. Если двѣ связанныя системы и не изохронны (но близки къ этому), то ихъ взаимодѣйствіе выражается въ томъ, что та, которая имѣетъ болѣе длинный періодъ, приобретаетъ еще болѣшій, въ то время какъ періодъ другой системы становится еще короче; такимъ образомъ системы неизохронныя отнюдь не приближаются къ изохронизму, но удаляются отъ него и при томъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ ближе онѣ къ нему по своимъ свойствамъ и чѣмъ крѣпче онѣ связаны. Пониманіе этого факта встрѣтило бы большое затрудненіе, еслибы мы разсматривали, что при связанномъ резонансѣ вибраторъ ведетъ за собою резонаторъ: оба взаимодѣйствуютъ, и оба получающіяся колебанія накладываются въ каждой изъ системъ,

т. е. въ каждой происходят бiенiя. Въ чемъ приближаются системы другъ къ другу, это—въ затуханiи; но если ихъ затуханiя весьма различны, и связь недостаточно велика, то (измѣненное резонансомъ) колебанiе болѣе затухающей системы пропадаетъ въ началѣ явленiя, и тогда въ обѣихъ системахъ остается лишь измѣненное (по периоду и декременту) колебанiе менѣе затухающей.

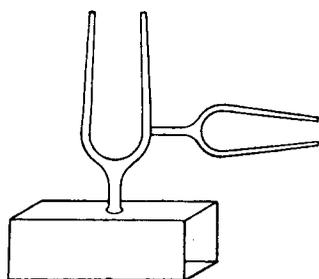
13. а) Когда мы ставимъ звучащiй камертонъ на его резонаторный ящикъ, мы приводимъ въ связь слабо затухающую систему съ сильно затухающей (§ 5 и 6); затуханiе камертона увеличивается (онъ скорѣе перестаетъ звучать), а ящикъ уменьшается; энергiя излучается скорѣе, но за то волнами болѣе амплитуды. Измѣненiе периода не происходитъ, вслѣдствiе малости связи въ сравненiи съ разностью затуханiй.

б) Но если звучащiй камертонъ по возможности съ большимъ надавливанiемъ приложить \*) къ другому изохронному \*\*) съ нимъ (поставленному на резонаторный ящикъ для усиленiя звука), то мы услышимъ бiенiя; здѣсь мы имѣемъ системы (два камертона) съ не столь различными затуханiями, какъ въ предыдущемъ опытѣ.

в) Если мы будемъ прикладывать звучащiй камертонъ къ различнымъ точкамъ вѣтви другого (стоящаго на ящикѣ), мы приведемъ его въ звучанiе; вслѣдствiе слабой связи мы не за-



Фиг. 3.



Фиг. 4.

мѣтимъ бiенiя, но мы услышимъ болѣе сильный звукъ, когда прикоснемся первымъ камертономъ къ нижней части вѣтви второго (фиг. 4), гдѣ, какъ извѣстно, одинъ изъ узловъ колебанiй камертона. Это совершенно согласно съ утверждениемъ Гельмгольца (12, s. 56), что, насильно производя колебанiя въ узлѣ, т. е. тамъ, гдѣ не должно происходить колебанiй, мы производимъ самое сильное дѣйствiе въ резонаторѣ.

г) Если между вѣтвями камертона резонатора положить кусокъ ваты, то камертонъ вибраторъ особенно быстро потеряетъ свои колебанiя; здѣсь

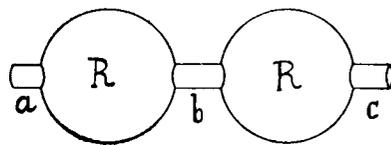
\*) Лучше всего ножкой въ промежутокъ между вѣтвями второго камертона (фиг. 3).

\*\*) Чтобы убѣдиться въ изохронности камертоновъ, слѣдуетъ заставить ихъ звучать одновременно и независимо: изохронные камертоны не даютъ при этомъ даже самыхъ рѣдкихъ бiенiй. Въ моихъ опытахъ  $N$  было равно около 250.

происходитъ переливанiе энергiи въ сторону затухающей системы (§ 11).

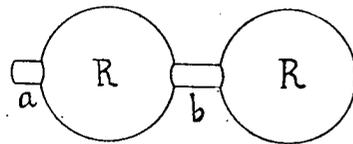
д) Четырехугольный проводъ съ искровымъ промежуткомъ, замкнутый на лейденскую банку, обладаетъ извѣстнымъ периодомъ, который опредѣляется резонаторомъ, устроеннымъ подобнымъ же образомъ (т. наз. банки Лоджа); если вблизи вибратора со стороны, обращенной отъ резонатора, поставить металлическiй листъ, то резонаторъ показываетъ уменьшенiе силы излученiя и периода колебанiй вибратора \*\*\*). Въ этомъ явленiи вибраторъ съ зеркаломъ представляютъ собою связанную систему, въ которой одна цѣпь (токи Фуко въ зеркалѣ) имѣетъ меньшiй периодъ и меньшее затуханiе (?); при такомъ взглядѣ становятся понятными всѣ стороны явленiя.

14. Историческiй ходъ ученiя о резонансѣ связанныхъ системъ слѣдующiй: Стреттъ (лордъ Рейлей) въ своей «Теорiи звука» (2 s. 230) разбираетъ, напримѣръ, вопросъ о тонѣ Гельмгольцева резонатора шаровой формы, соединеннаго каналомъ (трубкой) съ другимъ резонаторомъ такихъ же размѣровъ; онъ пришелъ къ выводу, что такая связанная система обладаетъ периодомъ,



Фиг. 5.

свойственнымъ каждому резонатору, взятому въ отдѣльности и вторымъ периодомъ болѣе высокимъ и тѣмъ болѣе отличающимся отъ перваго, чѣмъ шире каналъ (чѣмъ тѣснѣе связь) между резонаторами. Этотъ случай, однако, нѣсколько отличается отъ нашего тѣмъ, что обѣ связаннныя системы получаютъ внѣшнiе импульсы черезъ каналы  $a$  и  $c$ . Рейлей останавливается далѣе на случаѣ, изображаемомъ на фиг. 6, вполне уже относящемся къ нашему вопросу;



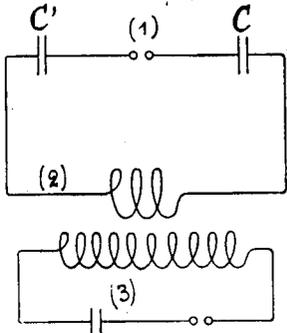
Фиг. 6.

здѣсь онъ приходитъ къ выводу, что связанная система обладаетъ двумя периодами, изъ которыхъ одинъ (если каналы  $b$  и  $a$  равны между собою) въ 1,6 разъ болѣе длиненъ, другой, въ 1,6 разъ болѣе коротокъ, чѣмъ естественный периодъ каждаго изъ резонаторовъ. Это явленiе многократнаго резонанса Рейлей ясно отличаетъ

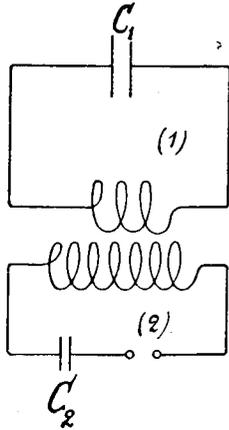
\*\*\*) W. Lébédinsky. Sur la diminution de la période des oscillations électriques. Journal de Physique. 1905. Février.

отъ обертоновъ, возможныхъ въ каждой отдѣльной системѣ.

15. Послѣ долгаго перерыва, съ тѣмъ же явленіемъ мы встрѣчаемся въ работѣ Обербека (8); авторъ даетъ теорію трансформатора Теслы, мощныя явленія котораго впервые тогда демонстрировались въ Берлинѣ (въ Ураніи); схема этого прибора представляетъ собой двѣ цѣпи (фиг. 7), связанныя взаимной индукціей, въ одной изъ которыхъ возбуждаются электрическія колебанія. Обербекъ, замѣнивъ для простоты теоріи схему фиг. 7 схемою фиг. 8, показалъ, что въ



Фиг. 7.



Фиг. 8.

случаѣ диссонанса цѣпей (1) и (2) происходитъ дальнѣйшее разстраиваніе системъ и тѣмъ большее, чѣмъ больше коэффициентъ взаимной индукціи ( $M$ ) и емкости обѣихъ системъ, и чѣмъ ближе онѣ къ изохронизму. Въ случаѣ же изохронизма появляются два періода, отличіе которыхъ отъ истиннаго періода (въ обѣ стороны отъ него) опять тѣмъ больше, чѣмъ тѣснѣе связь между системами и больше ихъ емкости. Такъ для существовавшаго прибора Теслы съ изохронными цѣпями ( $L_1=1000$  см.,  $C_1=10^{-18}$  CGS эл.-мг. еднн.,  $R_1=0,01\omega$  и  $L_2=25000$ ,  $C_2=\frac{1}{25} \cdot 10^{-18}$ ,  $R_2=1\omega$ ), обладающими  $T=19,86 \cdot 10^{-8}$  сек. Обербекъ получилъ періоды:  $T_1=25,2$  и  $T_2=12,6$  стотысячныхъ секунды.

Обербекъ получилъ законъ зависимости  $V_2$  отъ отношенія емкостей (форм. 6) и понялъ его важность, но не обратилъ вниманіе на существенное значеніе бѣній для пониманія этого закона. Это обстоятельство вполне ясно изложено въ слѣдующемъ по времени изслѣдованіи Домалипа и Колачека (9); данною ими теоріею они пояснили свои опыты опять же съ тесловымъ трансформаторомъ, которые натолкнули ихъ на слѣдующій фактъ: искра во вторичной цѣпи, а слѣд.  $V_2$ , увеличивается, при постоянномъ  $V_1$ , съ увеличеніемъ  $C_1$  и при каждомъ  $C_1$  достигаетъ максимума при изохронизмѣ цѣпей ( $C_2$  оставалась постояннымъ, подбиралась  $L_2$ ). Теорія показываетъ, что при тѣсной связи изохронизмъ играетъ роль способа получить наибольшую различныя періоды, слѣдовательно наибольшее частыя бѣнія (§ 9), а слѣдовательно первый максимумъ возможно болѣе близко къ началу колебаній, когда затуханіе еще мало ослабило энергію колебаній; значеніе возрастанія  $C_1$  объясняется формулою (6).

Въ томъ же году кн. Голицинъ теоретически пришелъ къ выводу о существованіи нѣсколькихъ періодовъ у системы связанныхъ вибраторовъ и примѣнилъ свою теорію къ объясненію нѣкоторыхъ фактовъ спектральнаго анализа (размытость линій), а также къ вопросамъ изъ ученія о молекулярныхъ силахъ, предположивъ, что частицы тѣлъ представляютъ собою электрическіе вибраторы (7).

Около того же времени пражскій физикъ Гейтлеръ (6), изслѣдуя Гертцовскія волны, подошелъ къ вопросу о сложномъ вибраторѣ, т. е. о колебаніяхъ въ системѣ связанныхъ цѣпей. Свои теоретическія, весьма общія разсужденія онъ резюмируетъ слѣдующимъ положеніемъ: система  $n$  взаимно дѣйствующихъ гертцовскихъ вибраторовъ, симметричныхъ относительно одной плоскости, можетъ обладать по большей мѣрѣ  $n$  различными періодами колебаній, отличными отъ  $n$  періодовъ, принадлежащихъ каждой цѣпи въ отдѣльности (s. 426). Гейтлеръ указываетъ возможность примѣнить его теорію къ объясненію спектральныхъ линій, разсматривая, на примѣръ, спектральные дублеты (двѣ близкія линіи спектра, отдѣленные отъ остальныхъ его частей большими промежутками) двумя періодами системы двухъ связанныхъ вибраторовъ. Что касается схемы Теслы, то, по Гейтлеру, Обербекъ неправильно отождествляетъ качественно схемы фиг. 7 и 8; Гейтлеръ утверждаетъ, что дѣйствительная Теслова схема (фиг. 7) обладаетъ тремя періодами въ виду трехъ цѣпей, входящихъ въ нее.

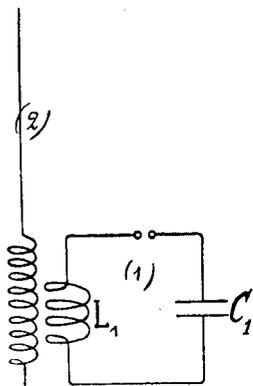
16. Затѣмъ слѣдуютъ двѣ статьи Макса Вина (11 и 13), раздѣленные пятилѣтнимъ промежуткомъ; въ первой изъ нихъ выводятся общіе законы взаимодѣйствія между резонаторомъ и вибраторомъ, во второй—эти выводы примѣняются къ Брауновской схемѣ беспроводнаго телеграфа. Винъ разсматриваетъ три вида связи между электрически колеблющимися системами аналогичныхъ трехъ способамъ связи упругихъ системъ: 1) связь ускоренія (взаимная индукція), системы (2) и (3) на фиг. 7; 2) связь силовая (электростатическими силовыми линіями, (1) и (2) на фиг. 7); 3) связь тренія. Наибольшее вниманіе удѣляется первому виду, магнитной связи, которой посвящали свои изслѣдованія и предыдущіе авторы. Отправляющая и приемная станціи по системѣ Брауна представляютъ собою схемы именно этого типа; Винъ выясняетъ, какими особенностями отличаются при этомъ случаи тѣсной и слабой связи.

Здѣсь необходимо составить представленіе о точной мѣрѣ магнитной связи: взаимная индукція (съ коэффициентомъ  $M$ ) мѣряетъ ту силу,

съ которою дѣйствуютъ системы одна на другую; электрическое ускореніе, которое подъ ея дѣйствіемъ происходитъ, обратно пропорціонально инерціи системы, то есть ея  $L$ ; слѣдовательно, дѣйствіе связи въ первой системѣ мѣряется величиною  $k_1 = \frac{M}{L_1}$ , во второй  $k_2 = \frac{M}{L_2}$ ; мѣрою связи принимается  $k = \sqrt{k_1 k_2} = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$ . Согласно

сказанному въ § 11, кромѣ величины связи для пониманія ея результатовъ важно имѣть въ виду разность затуханій связанныхъ системъ.

Въ отправляющей станціи вибраторомъ служить «замкнутая» система (1) на фиг. 9, весьма слабо излучающая (§ 4); резонаторомъ—прямо-



Фиг. 9.

линейный проводъ, «мачта» съ сильнымъ излученіемъ, для котораго она и служитъ; замкнутая система присоединяется къ мачтѣ около ея узла (§ 13, в). Пусть (примѣръ Вина)  $L = 10^{-6}$  генри,  $C_1 = 25 \cdot 10^{-3}$  микрофар.,  $L_2 = 35 \cdot 10^{-5}$  г.,  $C_2 = 7 \cdot 10^{-5}$  мф.; это—изохронныя системы съ періодомъ  $T = 10^{-6}$  сек.;  $\gamma_1 = 0,5$ ,  $\gamma_2 = 0,25$ .

Въ случаѣ тѣсной связи  $k > \alpha_1 - \alpha_2$  сложная система обладаетъ большимъ затуханіемъ (формула 4\*), но за то во (2) получается напряженіе  $V_2$  разъ въ 10 больше, чѣмъ  $V_1$ . Если положить искровой промежутокъ въ (1) цѣпи равнымъ 1 см. и оцѣнить (согласно большинству современныхъ авторовъ) напряженіе, потребное для такой искры, въ  $3 \cdot 10^4$  в., то мы получимъ  $V_2 = 300000$  в. Въ виду такого напряженія происходитъ необычайно быстрое излученіе; Винъ полагаетъ, что въ теченіе приблизительно трехъ періодовъ излучается  $\frac{1}{3}$  всей энергіи (1) системы, равной  $\frac{C_1 V_1^2}{2} = \frac{25 \cdot 10^{-7} \cdot 9 \cdot 10^8}{2} = 11$  джоу-

лямъ; при такомъ предположеніи излученіе оцѣнивается огромною мощностью въ  $3,3 \cdot 10^6$  ват. равняется приблизительно 1500 лощ. силъ.

Такое взрывное разсѣянiе энергіи особенно подходяще для дѣйствія на большія разстоянія.

\*) Оно одно и тоже для обоихъ періодовъ и среднее между  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , первое изъ которыхъ велико.

Приемная станція по системѣ Брауна представляетъ собою ту же схему, только мачта здѣсь является вибраторомъ, а въ замкнутой цѣпи вмѣсто искрового промежутка включенъ, напримѣръ, когереръ. Мачта, которая должна на этой станціи быть хорошимъ приемникомъ волнъ, можетъ быть равна мачтѣ излучающей (§ 5). Если и здѣсь примѣнить тѣсную связь, то слѣдуетъ воспользоваться ею, какъ способомъ увеличенія напряженія, которое приводитъ въ дѣйствіе когереръ. Въ виду этого, въ замкнутой цѣпи должна быть меньшая емкость, чѣмъ въ мачтѣ; Винъ, продолжая свой примѣръ, беретъ  $\epsilon = 10^{-5}$  мф. (тогда самоиндукція  $= 25 \cdot 10^{-4}$  генри); при этомъ напряженіе у когерера увеличивается въ сравненіи съ мачтой въ 2,7 раза. Эта малая емкость приводитъ еще къ другому результату: уменьшеніе затуханіе замкнутой системы приемника, она вслѣдствіе тѣсной связи уменьшаетъ затуханіе всей схемы и потому дѣлаетъ установку болѣе способною къ настройкѣ (§ 6); но все же эта способность остается выраженною весьма въ слабой степени, вслѣдствіе большого затуханія станціи отправленія, въ степени не болѣе, чѣмъ въ установкѣ, состоящей просто изъ двухъ мачтъ, одна изъ которыхъ соединена съ искрою, другая—съ когереромъ; дѣйствительно, насколько въ сложной схемѣ въ сравненіи съ простой уменьшено затуханіе приемника, на столько же оно увеличено у передаточнаго аппарата. Вся выгода его заключается въ увеличеніи напряженія, достигающемъ въ примѣръ до 30 разъ ( $= 10 \times 2,7$ ), и происходящей отсюда возможности увеличить дальность передачи.

Для случая слабыхъ связей  $k < \alpha_1 - \alpha_2$  мы приходимъ къ противоположному результату. Слабая связь, сближая декременты колеблющихся цѣпей, оставляетъ ихъ различными; вслѣдствіе этого одно изъ двухъ колебаній, происходящихъ въ каждой цѣпи, быстро затухаетъ, а съ нимъ вмѣстѣ исчезаетъ и нѣкоторая доля энергіи колебанія; остается мало затухающее, но и мало энергичное колебаніе; оно-то и дѣйствуетъ въ установкѣ. Въ виду этого въ сложномъ излучателѣ со слабой связью нужно взять замкнутую цѣпь (1) фиг. 9 съ возможно меньшимъ затуханіемъ; Винъ для мачты предыдущаго примѣра беретъ  $L_1 = 5 \cdot 10^{-5}$  генри;  $C_1 = 4,7 \cdot 10^{-4}$  мф.; такимъ образомъ въ цѣпи получается весьма мало затухающее колебаніе съ амплитудой болѣе, чѣмъ въ 10 разъ меньшей искрового потенциала цѣпи (1). Отсюда слѣдуетъ, что эта система не годится для большихъ разстояній, но зато имѣетъ и свое преимущество, позволяя тонкую настройку приемника; какъ слѣдствіе этого, является возможность одновременнаго телеграфированія съ различными точно опредѣленными періодами. Понятно, что и затуханіе приемника должно быть достаточно мало, чтобы не было испорчено выгодное свойство передатчика; поэтому обыкновенно рекомендуется и для приемника слабо связанная система.

Въ 1904 году Друде (16), исходя изъ представления о магнитномъ потокѣ, изслѣдовалъ резонансъ связанныхъ системъ; при этомъ онъ имѣлъ въ виду столь подробно изученный имъ на опытѣ и теоретически трансформаторъ Теслы, то есть, витокъ, замкнутый на большую емкость, колебания которого индуктируются во вторичную цѣпь, состоящую изъ катушки (безъ сердечника), вставленной внутрь этого витка.

Разсматривая тѣ же случаи магнитной связи, которые изучалъ и Впнъ, Друде пришелъ къ тѣмъ же результатамъ; но онъ отмѣчаетъ еще случай особо тѣсной связи ( $k$  близко къ единицѣ), когда, по его мнѣнію, опять исчезаетъ явление бѣшенія (затуханія двухъ періодовъ различны) и становится возможнымъ точное настраиваніе на консонансъ. Однако, самъ авторъ сомнѣвается въ выполнимости этой идеи; дѣйствительно,  $k$  приближается къ единицѣ лишь, если коэффициенты самоиндукціи почти равны коэффициентамъ взаимной индукціи, т. е. почти все магнитное поле одной цѣпи охватываетъ и другую; этому можно удовлетворить какъ угодно близко въ тѣхъ частяхъ цѣпей, которыя состоятъ изъ витковъ, приближая витки одной къ виткамъ другой, но невозможно—въ прямолинейныхъ частяхъ, какъ мачта; или эту послѣднюю нужно сдѣлать очень короткой, что уменьшаетъ ея способность излученія.

Этотъ историческій обзоръ показываетъ, какое значеніе въ развитіи ученія о резонансѣ связанныхъ системъ играла схема Теслы; въ этой схемѣ наиболѣе ярко выступили результаты естественнаго взаимодействія колеблющихся системъ вмѣсто тѣхъ насильныхъ колебаній, которыя производятся въ трансформаторѣ переменнаго тока. Система Брауна есть частный случай схемы Теслы. Интересно, что подобная же схема, только безъ искры въ первичной цѣпи, лѣтъ за 35 до опытовъ Теслы, въ опытахъ Кнохенгауера (1857 г.) впервые дала вообще явленіе электрическаго резонанса; но оно не было понято самимъ авторомъ (9).

17. Фактъ появленія двухъ періодовъ въ системѣ изъ двухъ изохронныхъ, тѣсно связанныхъ цѣпей не подлежитъ сомнѣнію; его доказываетъ длинный рядъ косвенныхъ опытовъ, точная теорія; непосредственное измѣреніе этихъ періодовъ волномѣрами, т. е. приборами, періодъ которыхъ можетъ быть подогнанъ въ консонансъ съ изучаемою цѣпью и отсчитанъ на шкалѣ (разумѣется, волномѣръ долженъ быть по возможности слабо связанъ съ изслѣдуемою цѣпью); наконецъ, въ настоящей статьѣ приводятся доводы, вытекающіе изъ закона сохранения энергіи. Фактъ этотъ объясняетъ значеніе изохронности цѣпей Тесловой схемы.

Но легко придти къ мысли, что все ученіе о связанныхъ цѣпяхъ приводитъ своими весьма окольными путями къ давно извѣстной неполной формулѣ трансформатора переменнаго тока; дѣйствительно, формула (6) можно думать, гово-

рить лишь, что  $V_2$  больше  $V_1$  на множитель равный коэффициенту трансформации, который приблизительно равенъ  $\sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$ . Нерѣдко

можно встрѣтить это ошибочное представление о схемѣ Теслы, какъ обычномъ трансформаторѣ.

Однако, не должно увлекаться приблизительнымъ совпадениемъ результатовъ: 1) ошибочная теорія не объясняетъ значенія консонанса частей схемы Теслы; 2) въ современной теоріи  $L_2$  и  $L_1$  не суть коэффициенты самоиндукціи обмотокъ, но цѣпей, взятыхъ цѣликомъ, а слѣдовательно,

$\sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$  не равно отношенію чиселъ витковъ соб-

ственно трансформатора; 3) современная теорія способна къ развитію; въ ней есть мѣсто, которое можетъ и должно быть глубже изучено, что поставить ее еще ближе къ фактамъ. Дѣло въ томъ, что на опытахъ  $V_2$  часто признается значительно большимъ, чѣмъ слѣдуетъ по формулѣ (6), признается главнымъ образомъ по тѣмъ внѣшнимъ (внѣ проводника) эффектамъ, которыми окружена теслова дѣйствующая схема, какъ искра и другія формы разряда. По современной теоріи энергія переключивается во вторичную цѣпь; если это сопряжено съ особенно большимъ отрываніемъ силовыхъ линий отъ проводника (излученіемъ), то теслова схема представляетъ собою способъ необычайно быстро разсѣянія энергіи, возбужденія внѣшнихъ явленій громадной мощности и весьма малой продолжительности. Излученіе проводника, въ которомъ происходятъ электрическія колебанія, вообще еще мало изучено, хотя вопросъ этотъ можетъ имѣть значеніе даже для обыкновенныхъ электрическихъ сѣтей: и въ нихъ вслѣдствіе связаннаго резонанса какого либо участка можетъ происходить накопленіе энергіи въ немъ и сильное, бесполезное пока, излученіе съ его проводовъ. Непосредственные опыты показываютъ, какую связь имѣетъ излученіе съ существованіемъ искрового промежутка въ цѣпи; изученіе электрической искры, въ цѣпи колебаній, которое теперь вновь оживилось въ наукѣ, играетъ, слѣдовательно, важную роль въ выясненіи этого вопроса.

1. Н. Helmholtz. Lehre von den Tonempfindungen. 2 Aufl. 1865.

2. I. Strutt, baron Rayleigh. Die Theorie des Schalles. (Uebers. v. Neesen). 1880.

3. Köhler. Ueber Töne, die durch eine begrenzte Anzahl von Impulsen erzeugt werden. Ann. d. Physik. X. 1880.

4. Bjerknæs. Dämpfung schneller elektrischen Schwingungen. Тамъ же. 44. 1891.

5. Его же. Ueber elektrische Resonanz. Тамъ же. 55. 1895.

6. Geitler. Hertz'sche Wellen. Тамъ же. 57. 1896.

7. Кн. Б. Б. Голицынъ. Изв. Имп. Акад. Наукъ. Май-Іюнь, 1895.

8. Oberbeck. Ueber den Verlauf der elektrischen Schwingungen. Ann. d. Physik. 55. 1895.

9. Domalip и Kolacek. Studien über elektrische Resonanz. Тамъ же. 57. 1896.

10. Planck. Absorption und Emission elektrischer Wellen. Тамъ же.

11. M. Wien. Ueb. die Rückwirkung eines resonirenden Systems. Тамъ же. 59. 1897.

12. H. Helmholtz. Vorlesungen üb. die mathematischen Principien der Akustik. 1898.

13. M. Wien. Ueb. die Verwendung der Resonanz bei der drahtlosen Telegraphie. Ann. d. Physik. 8. 1902.

14. Drude. Ueb. die induktive Erregung zweier elektrischen Schwingungskreise. Тамъ же. 13. 1904.

*В. Лебедевский*

## Къ теоріи нагрѣванія кабеля.

За послѣднее время вопросъ о предѣльной нагрузкѣ кабеля въ виду его нагрѣванія вновь занялъ вниманіе изслѣдователей. Этотъ важный вопросъ, играющій огромную роль въ современной технике при проектировкѣ подземныхъ линий, съ теоретической стороны разработанъ очень мало. Эмпирическія формулы и таблицы предѣльныхъ нагрузокъ, конечно, существуютъ, но и съ опытной стороны имѣется много пробѣловъ, которые въ настоящее время постепенно заполняются новыми изслѣдованіями. Таблицы предѣльной нагрузки для одножильнаго кабеля и напряженія до 700 вт. принятыя съѣздомъ германскихъ электротехниковъ, представляють серьезное значеніе, такъ какъ работа, необходимая для составления этихъ таблицъ, выполнена очень добросовѣстно и тщательно. Но работа эта имѣетъ чисто опытный характеръ и та формула, которая предложена для вычисления величины предѣльнаго тока, не имѣетъ подъ собою теоретическаго основанія.

Между тѣмъ, теоретическое разсмотрѣніе вопроса для одножильнаго кабеля не представляетъ математическихъ трудностей и приводитъ къ простымъ конечнымъ формуламъ. Вопросъ этотъ разобранъ Тейхмюллеромъ \*), который совершенно резонно протестовалъ противъ установленія эмпирическихъ формулъ въ то время, когда формулы могутъ быть получены теоретическимъ путемъ.

Стационарное состояніе кабеля можетъ быть выражено обычнымъ Лапласовымъ уравненіемъ съ двумя независимыми переменными. Въ случаѣ цилиндрическаго кабеля, съ круговымъ сѣченіемъ, распределение температуры можетъ быть выражено функцией одной переменной, разстоянія отъ оси кабеля. Въ этомъ случаѣ интегралъ уравненія будетъ логарифмической функцией отъ радиуса вектора, проведеннаго изъ центра сѣченія кабеля:

$$\vartheta = C \ln r + C_1,$$

гдѣ  $\vartheta$  — есть температура;  $r$  — радиусъ векторъ;  $C$  и  $C_1$  произвольныя постоянныя. Изотермами въ поперечномъ разрѣзѣ кабеля будутъ концентрическіе круги. Пусть  $r_1$  есть радиусъ сѣченія провода, которому можно приписать опредѣленную температуру во всей массѣ, въ виду значительной теплопроводности мѣди,  $\vartheta_1$  — эта температура; пусть какаядругая изотерма имѣетъ радиусъ  $r_a$  и температуру  $\vartheta_a$ . Тогда въ пространствѣ между двумя этими изотермами распределение температуры выражается формулой:

$$\vartheta = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_a}{\ln \frac{r_a}{r_1}} \ln r + C_1.$$

Для опредѣленія потока тепла въ направленіи нормалей къ этимъ изотермамъ воспользуемся формулой Фурье, по формѣ тождественной съ формулой, выражающей законъ распространенія тока въ проводникѣ

$$q = \frac{2\pi r}{\delta} \cdot \frac{d\vartheta}{dr}.$$

Потокъ тепла рассчитанъ на единицу длины кабеля;  $\delta$  — изображаетъ удѣльное сопротивление среды тепловому потоку. Пользуясь выведенной выше формулой для распределения температуры, находимъ для величины теплового потока слѣдующее выраженіе:

$$q = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_a}{\frac{\delta}{2\pi} \ln \frac{r_a}{r_1}}.$$

Величину, стоящую въ знаменателѣ, можно разсматривать, какъ сопротивление тепловому потоку; обозначимъ ее черезъ  $S$ . Представимъ себѣ кабель, представляющій въ сѣченіи нѣсколько концентрическихъ колецъ съ различными удѣльными сопротивлениями. Выраженіе для теплового потока можно представить любой изъ дробей, имѣющихъ вышесказанный видъ и составленныхъ для каждаго изъ разнородныхъ колецъ. Кроме того, можно представить это выраженіе въ такомъ видѣ, что въ него войдутъ только температура кабеля и температура послѣдней цилиндрической поверхности, температуры же промежуточныхъ слоевъ не будутъ входить явными образомъ. Пусть  $\vartheta_n$  изображаетъ температуру внѣшней изотермы послѣдняго слоя,  $S_k$  — сопротивление тепловому потоку  $k$  слоя, тогда выраженіе для  $q$  напишется такъ:

$$q = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_n}{\sum S_k}.$$

При стационарномъ состояніи кабеля этотъ тепловой потокъ представляетъ то количество тепла, которое въ единицу времени производится въ кабелѣ при протеканіи электрическаго тока  $J$ . Это количество, представляющее Джоулево тепло въ термическихъ единицахъ, выражается формулой:

$$q = 0,24 \frac{J^2}{Q} \rho.$$

гдѣ  $Q$  — площадь сѣченія кабеля,  $\rho$  — удѣльное сопротивление мѣди. Отсюда для предѣльной нагрузки находимъ выраженіе:

$$J = \sqrt{\frac{2\pi}{0,24\rho} \cdot \frac{Q \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_n)}{\sum S_k}}$$

Для того, чтобы воспользоваться этой формулой, необходимо вычислить величину  $\sum S_k$ . Для цилиндрическихъ слоевъ, прилежащихъ къ проводу, это сдѣлать нетрудно; можно пренебречь сопротивленіемъ металлическихъ слоевъ, какъ-то свинцоваго и желѣзнаго, и взять среднюю величину для термическаго сопротивления изолирующихъ слоевъ. Но въ землѣ, окружающей кабель, изотермы не представляютъ уже круговыхъ цилиндровъ, а деформируются по мѣрѣ приближенія къ поверхности земли. Если кабель заложенъ достаточно глубоко, т. е. отношеніе разстоянія кабеля отъ поверхности земли къ радиусу его, достаточно велико, то линіи тепловыхъ потоковъ представляютъ изъ себя круги, центры которыхъ лежатъ на поверхности земли, а изотермы представляютъ также рядъ эксцентрично расположенныхъ круговъ, центры которыхъ спускаются все ниже по мѣрѣ приближенія къ поверхности земли. Графически распределение температуры въ землѣ изображено на фиг. 10. Числа, которыми отмѣлены отдѣльныя изотермы, представляютъ относительные разстояніе температуры

\*) Е. Т. Z. 1904, Н. 44, s. 933.

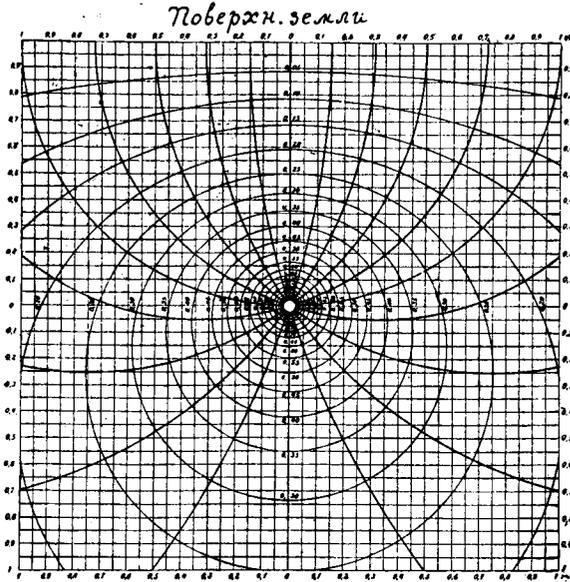
При такомъ распредѣленіи температуры термическое сопротивление слоя земли, окружающаго кабель выразится такъ:

$$S_n = \frac{\delta_n}{2\pi} \ln \left( n + \sqrt{n^2 - 1} \right)$$

гдѣ  $n$  есть отношеніе между разстояніемъ кабеля отъ поверхности земли и радіусомъ кабеля. Если  $n$  достаточно велико, то формула еще упрощается, и можно написать

$$S_n = \frac{\delta_n}{2\pi} \ln \frac{2l}{r_a},$$

гдѣ  $l$ —глубина, на которой заложенъ кабель,  $r_a$ —его внѣшній радіусъ.



метры.

Фиг. 10.

При тѣхъ упрощеніяхъ, о которыхъ упомянуто выше, т. е. пренебрегая термическимъ сопротивленіемъ металлическихъ слоевъ и принимая среднюю величину для удѣльнаго сопротивления изолирующихъ слоевъ, общее сопротивление тепловому потоку выразится формулой:

$$2\pi \Sigma S_k = \delta_k \ln \frac{r'_a}{r_i} + \delta_n \ln \frac{2l}{r_a}.$$

Въ этомъ выраженіи  $r'_a$  есть величина средняя между радіусомъ мѣднаго провода и внѣшнимъ радіусомъ кабеля, которая зависитъ отъ относительной толщины концентрическихъ колецъ въ кабелѣ и пропорціональна внѣшнему радіусу его  $r_a$ .

Если назовемъ черезъ  $m$  отношеніе удѣльнаго термического сопротивления изолирующихъ слоевъ къ соответствующей величинѣ для почвы, то предыдущее выраженіе можетъ быть представлено въ болѣе компактномъ видѣ.

$$2\pi \Sigma S_k = \delta_n \ln \left( \frac{r'_a}{r_i} \right)^m \cdot \frac{2l}{r_a}.$$

Подставляя эту величину въ формулу для вычисления предѣльнаго тока, получаемъ:

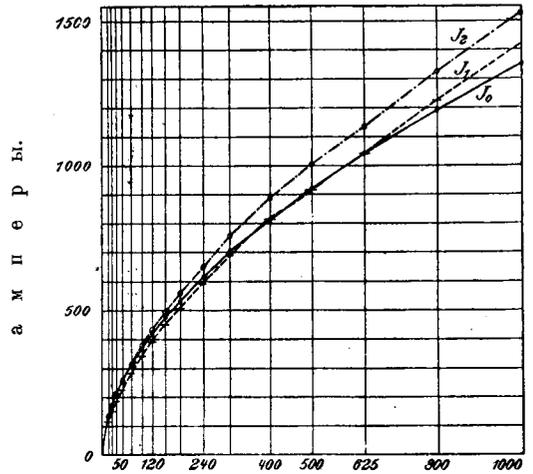
$$J = \frac{c}{\sqrt{\rho \delta \pi}} \sqrt{\frac{Q (t_i - t_n)}{m \log \frac{r'_a}{r_i} + \log \frac{2l}{r_a}}}$$

Въ этой формулѣ  $c$  отвѣченное число, постоянный коэффициентъ, равный 16,52;  $\rho$ —есть удѣльное сопротивление мѣди, которое, принимая во вниманіе нагреваніе кабеля, вычислится по формулѣ

$$\rho = \rho_{15} [1 + 0,004 (t_i - t_{15})],$$

т. е. принимая температуру на поверхности земли въ 15° и допуская нагреваніе кабеля на 25°, можно положить  $\rho = 0,01925$ . Термическое сопротивление почвы согласно имѣющимся даннымъ можетъ быть принято равно 50, а величина  $m$  можетъ принимать значенія отъ 15 до 11.

Согласно этимъ даннымъ, были опредѣлены предѣльныя нагрузки для проводовъ съ различными поперечными сѣченіями. Зависимость между величиной предѣльнаго тока и площадью сѣченія изображена на фиг. 11. Изъ трехъ кривыхъ, изображенныхъ



к в. м м.

Фиг. 11.

на чертежѣ, двѣ (для случаевъ  $m=15$  и  $m=11$ ) получены изъ формулы, выведенной выше; третья же  $J_0$  представляетъ результаты опытныхъ опредѣленій, послужившихъ для опредѣленія нормъ, принятыхъ германскими электротехниками. Согласіе между опытными данными и вышеизложенной теоріей представляется весьма удовлетворительной.

Весьма интересное развитіе теоріи нагреванія кабеля дано Г. Ми \*) для случая многожильнаго кабеля. Если вышеизложенная теорія кабеля съ одной жилой, которая, впрочемъ, можетъ быть распространена на случай двойного или тройного, но коаксиальнаго кабеля, не представляютъ затрудненій съ математической стороны, то болѣе сложный случай многожильнаго кабеля, въ которомъ провода расположены вокругъ оси кабеля на равныхъ разстояніяхъ, представляетъ уже значительныя трудности для теоретическаго разбора. Для упрощенія задачи будемъ разсматривать тотъ случай, когда всѣ провода параллельны оси  $Z$ , т. е. когда кабель не скрученъ. Въ такомъ случаѣ въ разсмотрѣніе будутъ входить только двѣ переменныя  $x$  и  $y$ . Кромѣ того, будемъ считать, что теплопроводность металловъ настолько превосходитъ теплопроводность диэлектриковъ, что поверхности металлическихъ частей кабеля можно считать изотермами.

При этихъ допущеніяхъ намъ придется имѣть дѣло съ дифференціальнымъ уравненіемъ съ двумя независимыми переменными

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} = 0 \dots \dots \dots (1).$$

Для рѣшенія его вспомнимъ нѣкоторыя свойства функций отъ комплексныхъ переменныхъ. Такую функцию можно представить въ видѣ суммы двухъ частей, дѣйствительной и мнимой

$$f(x + iy) = \vartheta(x, y) + i\Psi(x, y).$$

Дифференцируя обѣ части этого тождества относительно  $x$ , находимъ

$$f'(x + iy) = \frac{\partial \vartheta}{\partial x} + i \frac{\partial \Psi}{\partial x},$$

дифференцируя же относительно  $y$ ,

$$if'(x + iy) = \frac{\partial \vartheta}{\partial y} + i \frac{\partial \Psi}{\partial y}.$$

Изъ этихъ двухъ равенствъ получаемъ

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial x} + i \frac{\partial \Psi}{\partial x} = -i \frac{\partial \vartheta}{\partial y} + \frac{\partial \Psi}{\partial y}.$$

Отсюда находимъ два тождества, характерныхъ для функции отъ комплекснаго переменнаго и опредѣляющихъ всѣ ея свойства

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial x} = \frac{\partial \Psi}{\partial y}, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial x} = -\frac{\partial \vartheta}{\partial y} \dots \dots \dots (2).$$

Изъ этихъ равенствъ видно, что какъ  $\vartheta(x, y)$ , такъ и  $\Psi(x, y)$  удовлетворяютъ уравненію (1), а потому это послѣднее удовлетворяется и суммой ихъ, или же  $f(x + iy)$ . Поэтому всякая функция комплексной переменной представляетъ рѣшеніе задачи, необходимо лишь подобрать функцию такъ, чтобы были удовлетворены пограничныя условія.

Пограничныя же условія таковы: необходимо, чтобы свинцовая оболочка, которая окружаетъ кабель, опредѣляла положеніе одной изотермы и чтобы контуры сѣченія проводовъ были также изотермами.

$$\text{Уравненія } \vartheta(x, y) = \text{const} \text{ и } \Psi(x, y) = \text{const} \dots (3).$$

опредѣляютъ двѣ системы линий, при томъ, какъ не трудно показать, ортогонально пересѣкающихся другъ друга. Въ самомъ дѣлѣ частныя производныя отъ  $\vartheta(x, y)$  и  $\Psi(x, y)$  по  $x$  и  $y$  пропорціональны косинусамъ угловъ, которые образуютъ нормали къ этимъ линиямъ съ осями  $X$  и  $Y$ . Перпендикулярность между собою почленно тождества (2) получаемъ

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial x} \cdot \frac{\partial \Psi}{\partial x} + \frac{\partial \vartheta}{\partial y} \cdot \frac{\partial \Psi}{\partial y} = 0.$$

Это и есть условіе ортогональности линий, опредѣляемыхъ уравненіями (3).

$\vartheta(x, y)$  есть дѣйствительная часть рѣшенія уравненія (1), т. е. и есть настоящее рѣшеніе задачи. Поэтому уравненія  $\vartheta(x, y) = \text{const}$  опредѣляютъ изотермическія линіи въ кабелѣ. Перпендикулярныя къ нимъ линіи  $\Psi(x, y) = \text{const}$ , суть линіи теплого потока.

Если кабель заключаетъ  $n$  проводовъ, то попытаемся удовлетворить условіямъ задачи функцией слѣдующаго вида

$$f(x + iy) = C_1 \ln \frac{(z - a_1)(z - a_2) \dots (z - a_n)}{(z - b_1)(z - b_2) \dots (z - b_n)} + C_2 \dots (4).$$

Въ этомъ выраженіи  $z = x + iy$  изображаетъ положеніе любой точки въ плоскости координатныхъ осей. Графически эта величина изобразится радіусомъ векторомъ, проведеннымъ изъ начала координатъ къ точкѣ  $(x, y)$ . Постоянныя величины  $a_1, \dots$  и  $b_1, \dots$  опредѣлимъ пока такъ. Проведемъ изъ начала координатъ радіусы, проходящіе черезъ центры поперечныхъ сѣченій проводовъ, и отложимъ на каждомъ изъ нихъ длины  $a$  и  $b$ ; тогда  $a_1, \dots$  и  $b_1, \dots$  изобразятся комплексными числами, опредѣляющими положеніе точекъ  $A_1, \dots$  и  $B_1, \dots$  въ плоскости координатныхъ осей.

если  $OA_1 = OA_2 = \dots = OA_n = a$  и  $OB_1 = OB_2 = \dots = OB_n = b$ . Величины  $a_1, \dots$  и  $b_1, \dots$  могутъ быть также представлены векторами. Геометрическое значеніе разностей, входящихъ въ выраженіе (4) станетъ ясно, если вспомнимъ правило сложения векторовъ. Если величина  $z$  изображается векторомъ  $OP$ , проведеннымъ изъ начала координатъ къ точкѣ  $(x, y)$ , а величина  $a_1$  — векторомъ  $OA_1$ , то разность  $z - a_1$  изобразится векторомъ  $AP$ , проведеннымъ изъ точки  $A_1$  къ точкѣ  $P$ . Поэтому каждая пара разностей  $z - a_k$  и  $z - b_k$  изобразится двумя векторами  $A_kP$  и  $B_kP$ , величины которыхъ будемъ изображать буквами  $r'_k$  и  $r''_k$ .

Вещественную часть  $f(x + iy)$  мы получимъ, если замѣнимъ разности, заключающіяся въ выраженіи (4), ихъ модулями

$$\vartheta(x, y) = C_1 \ln \frac{r_1 r_2 \dots r_n}{r'_1 r'_2 \dots r'_n} + C_2 \dots \dots (5).$$

Мнимая часть будетъ состоять изъ аргументовъ комплексныхъ, переменныхъ  $z - a_k$  и  $z - b_k$ , которые обозначимъ буквами  $\Psi_k$  и  $\Psi'_k$

$$\Psi(x, y) = C_1 [(\Psi_1 + \Psi_2 + \dots + \Psi_n) - (\Psi'_1 + \Psi'_2 + \dots + \Psi'_n)] \dots (6).$$

Уравненіе (5) можно представить въ болѣе простомъ видѣ, если вспомнить, что модули всѣхъ величинъ  $a_k$  и  $b_k$  равны соответственно  $a$  и  $b$ , а аргументы двухъ послѣдовательно слѣдующихъ одна за другой величинъ отличаются на одну и ту же величину  $\frac{2\pi}{n}$ . Величины, обладающія такими свойствами, суть корни двухчленныхъ уравненій

$$z^n - a^n = 0 \text{ и } z^n - b^n = 0.$$

Поэтому произведенія разностей, входящія въ выраженіе (4), можно представить въ видѣ двучленовъ

$$z^n - a^n \text{ и } z^n - b^n.$$

Если  $r$  есть модуль величины  $z$ , а  $\varphi$  — ея аргументъ, то ее можно, какъ всякую комплексную величину, представить въ видѣ

$$z = r e^{i\varphi}.$$

Модуль двучлена

$$z^n - a^n = r^n e^{in\varphi} - a^n,$$

возведенный въ квадратъ равенъ

$$r^{2n} - 2a^n r^n \cos n\varphi + a^{2n}.$$

Если замѣнить этимъ выраженіемъ произведеніе  $r_1 r_2 \dots r_n$  въ выраженіи (5) и произвести то же преобразование въ знаменателѣ подъ знакомъ логарифма, то получимъ выраженіе, которое зависитъ только отъ радіуса вектора  $r$

$$\vartheta = \frac{C_1}{2} \ln \frac{r^{2n} - 2a^n r^n \cos n\varphi + a^{2n}}{r^{2n} - 2b^n r^n \cos n\varphi + b^{2n}} + C_2 \dots (7).$$

Это выраженіе служитъ для опредѣленія изотермическихъ линій кабеля. Посмотримъ, удовлетворяетъ ли это рѣшеніе условіямъ нашей задачи. Аналогія и сходство внѣшняго вида  $f(x + iy)$  съ рѣшеніемъ для случая одножильнаго кабеля особенно ясны, если начало координатъ находится не въ центрѣ сѣченія кабеля. Въ самомъ дѣлѣ, тогда это рѣшеніе представится въ слѣдующемъ видѣ

$$\vartheta = \frac{C_1}{2} \ln (r^2 - 2ar \cos \varphi + a^2),$$

если  $r$  есть величина радіуса вектора какой нибудь точки,  $a$  — разстояніе центра сѣченія кабеля отъ начала координатъ, а  $\varphi$  — уголъ, который составляетъ радіусъ векторъ съ осью полярныхъ координатъ. Уже это формально сходство служитъ порукой тому, что

подобравъ соответственно величины  $a$  и  $b$  можно получить рѣшеніе, удовлетворяющее условіямъ задачи. Если разсмотрѣть характеръ изотермъ, опредѣляемыхъ уравненіемъ (7), то можно вполне убѣдиться въ этомъ.

Введемъ новое обозначеніе для краткости,

$$\frac{\vartheta - C_2}{e C_1} = C.$$

Тогда уравненіе изотермы можно написать въ такомъ видѣ:

$$\frac{r_1^{2n} - 2a r_1^n \cos n\varphi + a^{2n}}{r_2^{2n} - 2b^n r_2^n \cos n\varphi + b^{2n}} = C^2$$

или же

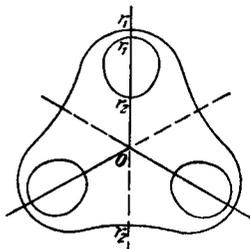
$$r^{2n} (C^2 - 1) - 2bn r^n \cos n\varphi \cdot \left[ \left( C^2 - \frac{a^n}{b^n} \right) + b^{2n} \left( C^2 - \frac{a^{2n}}{b^{2n}} \right) \right] = 0 \dots \dots (8).$$

Если  $C^2 = \frac{a^n}{b^n}$ , то уравненіе принимаетъ слѣдующій видъ

$$R^{2n} = a^n b^n \text{ или } R^2 = ab.$$

Это есть уравненіе круга. Подберемъ величины  $a$  и  $b$  такъ, чтобы окружность этого круга совпадала съ внутреннимъ контуромъ свинцовой оболочки кабеля; для удовлетворенія этого условія достаточно воспользоваться одной изъ величинъ  $a$  и  $b$ , другая же остается пока неопредѣленною.

Величины  $C^2 > \frac{a^n}{b^n}$ , очевидно, соответствуютъ изотермамъ, заключающимся внутри этого круга, такъ какъ температура этихъ изотермъ должна быть выше температуры свинцовой оболочки. Кроме того, если  $C > \frac{a^n}{b^n}$ , то послѣдній членъ уравненія есть величина положительная, то есть оба корня этого уравненія имѣютъ одинъ знакъ. Другими словами, изотермы въ этомъ случаѣ расположены всецѣло на одну сторону центра радіусовъ векторовъ и не заключаютъ его внутри себя. На фиг. 12 показано расположеніе двухъ



Фиг. 12.

различныхъ типовъ изотермическихъ линій. Одинъ—представляетъ одну сплошную линію, охватывающую всѣ провода кабеля, а также ось его; другой же—состоитъ изъ нѣсколькихъ контуровъ, соответственно числу проводовъ, которые охватываютъ каждый одинъ проводъ.

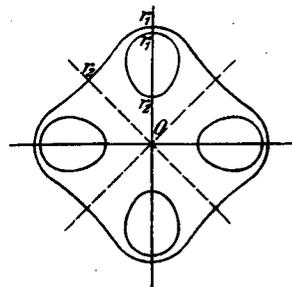
Посмотримъ теперь, что можно сказать относительно вида послѣднихъ. Проведемъ черезъ центръ одного изъ контуровъ радіусъ векторъ изъ начала. Въ такомъ случаѣ уголъ  $n\varphi$  равенъ кратному числу отъ  $2\pi$  и уравненіе изотермъ упрощается

$$r^{2n} - 2b^n r^n \cdot \frac{C^2 - \frac{a^n}{b^n}}{C^2 - 1} + b^{2n} \cdot \frac{C^2 - \frac{a^{2n}}{b^{2n}}}{C^2 - 1} = 0 \dots (8a).$$

Корни этого уравненія суть

$$r_1^n = b^n \cdot \frac{C + \frac{a^n}{b^n}}{C + 1} \text{ и } r_2^n = b^n \cdot \frac{C - \frac{a^n}{b^n}}{C - 1}.$$

Допустимъ, что эти корни соответствуютъ самой первой изотермѣ, прилегающей къ проводамъ. Если бы мы располагали обѣими величинами  $a$  и  $b$ , то могли бы задать  $r_1$  и  $r_2$  по произволу. Но одна изъ этихъ величинъ послужила для опредѣленія радіуса изотермы круга. Поэтому ограничимся тѣмъ, что зададимъ  $r_1$ ; это будетъ радіусъ круга, который касается снаружи всѣхъ проводовъ кабеля. Но для опредѣленія геометрическаго расположенія проводовъ необходимо еще знать форму контуровъ, опредѣляющихъ ихъ поперечное сѣченіе и размѣры послѣдняго. Одно изъ условій задачи заключается въ томъ, что контуры проводовъ должны быть кругами. Но какъ видно изъ уравненія (8), только въ случаѣ одного провода, т. е. для  $n=1$ , удовлетворяется это условіе. Для случая же многожильнаго кабеля уравненіе не разлагается на простѣйшія, а представляетъ кривую порядка  $n$ , состоящую изъ  $n$  частей. Отдѣльные контуры, составляющіе эту кривую въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ представляютъ свойства, сходныя съ геометрическими свойствами окружностей, расположенныхъ вокругъ центра сѣченія. Но въ дѣйствительности они представляютъ изъ себя овалы, симметричныя относительно линіи, проходящей черезъ начало координатъ и центръ сѣченія провода, и обращенныя къ началу координатъ концомъ съ большой кривизной. Форма этихъ контуровъ видна изъ фиг. 12 и 13. Но въ нѣкоторыхъ случаяхъ можно еще упростить рѣшеніе. Когда провода достаточно сближены, можно

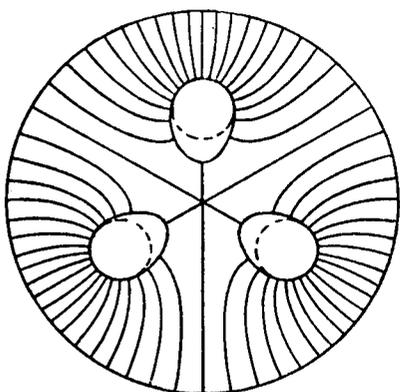


Фиг. 13.

принимать, что температура въ промежуткахъ между ними мало отличается отъ температуры проводовъ. Въ этомъ случаѣ, пренебрегая распредѣленіемъ температуры внутри кабеля между проводами, ограничиваемся разсмотрѣніемъ тѣхъ изотермъ, которыя сплошнымъ контуромъ окружаютъ всѣ провода. Картина, получающаяся при этомъ, изображена на фиг. 14.

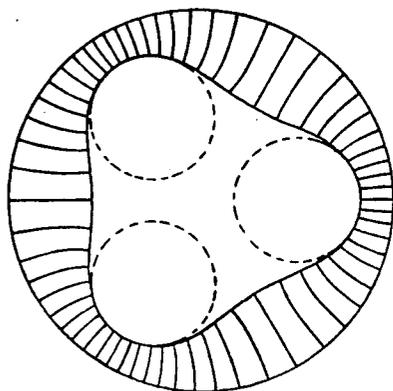
Для того, чтобы по возможности приблизить настоящее рѣшеніе къ истинѣ, распорядимся оставшимся произвольными постоянными. Одна изъ постоянныхъ  $a$ ,  $b$  и  $c$  уже была использована при опредѣленіи радіуса той изотермы, которая должна совпадать съ внутреннимъ контуромъ свинцовой оболочки. Двѣ другія опредѣлимъ такимъ образомъ, чтобы радіусъ круга, описаннаго изъ начала координатъ и охватывающаго и касающагося всѣхъ проводовъ кабеля, былъ равенъ дѣйствительному разстоянію крайнихъ точекъ проводовъ отъ оси кабеля, и чтобы кривизна изотермы, замѣняющей дѣйствительный контуръ сѣченія провода, въ точкѣ, наиболѣе удаленной отъ центра сѣченія кабеля, была равна кривизнѣ того круга, который представляетъ въ дѣйствительности сѣченіе провода. Опредѣливъ такимъ образомъ произвольныя постоянныя, мы получимъ рѣшеніе, кото-

рое вполне удовлетворительно представляет распределение изотерм и линий теплового потока. Последняя вычерчены на фиг. 14 и 15 для трехжильного кабеля.



Фиг. 14.

Для того, чтобы определить положение линий теплового потока, необходимо вычислить мнимую часть



Фиг. 15.

$f(x+iy)$ . Согласно сделанному допущению относительно вида этой функции, мнимая ее часть, то есть мнимая часть выражения

$$C_1 \ln \frac{z^n - a^n}{z^n - b^n} + C_2$$

в котором  $z$  есть комплексная переменная, выражается следующей формулой

$$\Psi = C_1 \left( \operatorname{arctg} \frac{r^n \sin n\varphi}{r^n \cos n\varphi - a^n} - \operatorname{arctg} \frac{r^n \sin n\varphi}{r^n \cos n\varphi - b^n} \right).$$

Как и раньше,  $r$  и  $\varphi$  изображают модуль и аргумент переменной  $z$ . Только что полученное выражение можно написать проще, воспользовавшись формулой для тангенса разности двух дуг:

$$\operatorname{tg} \frac{\Psi}{C_1} = \frac{(a^n - b^n) r^n \sin}{r^{2n} - (a^n + b^n) r^n \cos n\varphi + a^n b^n} \dots (9).$$

Как уже было сказано, уравнения

$$\Psi = \text{const}$$

определяют направление линий теплового потока. Чтобы получить уравнения этих линий в полярных координатах, будем давать  $\frac{\Psi}{C_1}$  всевозможные величины между 0 и  $2\pi$ .

Если  $K$ —коэффициент теплопроводности изолирующей массы, окружающей провода, то составляющая теплового потока по оси  $X$  и  $Y$  будут соответственно равны

$$Q_x = -K \frac{\partial \Psi}{\partial x} \text{ и } Q_y = -K \frac{\partial \Psi}{\partial y}.$$

Согласно уравнениям (2), можно переписать эти равенства в другом виде:

$$Q_x = -K \frac{\partial \Psi}{\partial y}; Q_y = K \frac{\partial \Psi}{\partial x}.$$

Таким образом тепловой поток через узкую полоску, параллельную оси кабеля и имеющую длину единицы и ширину  $ds$ , в направлении нормали  $n$  к ней выразится так:

$$dQ = -K \left( \frac{\partial \Psi}{\partial y} \cos(nx) - \frac{\partial \Psi}{\partial x} \cos(ny) \right) ds$$

или заменяя косинусы, которые составляют нормаль с координатными осями, косинусами углов, определяющих направление элемента  $ds$ , которые вследствие перпендикулярности этих двух направлений, связаны зависимостью  $\cos(nx) = -\cos(sy)$  и  $\cos(ny) = \cos(sx)$ , получаем новое выражение

$$dQ = K \left( \frac{\partial \Psi}{\partial x} \cos(sx) + \frac{\partial \Psi}{\partial y} \cos(sy) \right) ds = K \cdot d\Psi \dots (10).$$

Таким образом видим, что между двумя линиями теплового тока с определенной разностью параметров  $\Psi$  проходит определенной силы тепловой поток. Когда мы делаем в уравнении (9)  $\frac{\Psi}{C_1} = 0$ , то получаем уравнение для соответственной изотермы

$$n\varphi = 2\pi m;$$

это прямая линия, проведенная радиально через центр сечения провода. Другое значение параметра  $\frac{\Psi}{C_1} = \pi$  определяет такую же прямую, но проведенную в противоположном направлении. Эти две линии тока составляют продолжение одна другой и делят систему линий теплового потока на две совершенно подобные части (фиг. 13). Поэтому, чтобы получить все линии для каждого провода, необходимо изменять  $\Psi$  в пределах от 0 до  $2\pi C_1$ . Интегрируя в этих пределах уравнение (10), мы получим величину теплового потока для одного провода

$$Q = 2\pi C_1 K.$$

Тепловой поток, исходящий из всех  $n$  проводов и проходящий через свинцовую оболочку, равен

$$Q = 2\pi C_1 n K \dots (11).$$

Чтобы определить сопротивление тепловому потоку, необходимо знать температуру проводов и свинцовой оболочки.

Тогда по формуле

$$Q = \frac{\vartheta - \vartheta_0}{w}$$

можем найти  $w$ .

В формулу (11) входит неопределенная еще постоянная  $C_1$ . С постоянной  $C$  она связана зависимостью, которая может быть представлена в таком виде:

$$\vartheta = C_1 \ln C + C_2.$$

Пусть  $C$  имеет в этой формуле то значение, которое определяет контур проводов, тогда  $\vartheta$  есть температура свинцовой оболочки. При помощи подобной же



гдѣ  $R$  есть радиусъ какой либо изъ внѣшнихъ изо-термъ, напримѣръ, свинцовой оболочки, а  $r_1$  — радиусъ сѣченія провода, то станетъ ясна аналогія между этими двумя формулами. А именно случай многожильнаго кабеля можно привести къ случаю одножильнаго, у котораго радиусъ сѣченія провода

$$r_1 = r_1 \sqrt[n]{\frac{nr}{r_1 + r(n-1)}}.$$

Такимъ образомъ, пользуясь упрощенной формулой мы снова возвращаемся къ уже разобранному случаю одножильнаго провода, чѣмъ значительно облегчаемъ разсмотрѣніе вопроса. Что касается степени точности упрощенной формулы, то въ большинствѣ случаевъ, встрѣчающихся на практикѣ,  $\frac{r_1}{R}$  довольно близко къ единицѣ и ошибка при пользованіи приближенной формулой составляетъ лишь нѣсколько процентовъ. Сопротивленіе тепловому потоку получается нѣсколько больше того, который дается точной формулой. Но если вспомнить, что точная формула сама есть лишь приближеніе, что изотермы, замѣняющія согласно рѣшенію (14) контуры сѣченія проводовъ, не вполне совпадаютъ съ этими послѣдними и поэтому линіи теплового потока оказываются нѣсколько укороченными, то станетъ ясно, что точная формула должна для сопротивленія тепловому потоку давать величину меньшую истинной.

Поэтому, когда отношеніе  $\frac{r_1}{R}$  достаточно близко къ единицѣ, упрощенная формула можетъ давать результаты болѣе точные, чѣмъ общая формула.

Д. Р.

## НАУЧНЫЙ ОБЗОРЪ.

**Разрядъ въ газахъ при низкихъ температурахъ. Гольдштейнъ.** Опыты производились съ азотомъ при довольно большихъ давленіяхъ (нѣсколько сантиметровъ). Разрядъ производился при помощи индукціонной катушки, а трубка погружалась въ жидкій воздухъ. При обыкновенной температурѣ анодное свѣченіе представляетъ изъ себя тонкій пучекъ въ нѣсколько сантиметровъ длины, желтаго цвѣта, который въ присутствіи водяного пара и кислорода принимаетъ красноватый оттѣнокъ. Спектръ этого свѣченія вполне совпадаетъ съ обыкновеннымъ спектромъ азота. При погруженіи трубки въ жидкій воздухъ, пучекъ удлиняется до катода, и свѣтъ его становится значительно ярче. При дальнѣйшемъ охлажденіи толщина пучка увеличивается; онъ заполняетъ почти все сѣченіе трубки, и свѣтъ, испускаемый имъ, принимаетъ зеленоватый оттѣнокъ. При нѣсколько меньшихъ давленіяхъ сіяніе принимаетъ видъ эллипсоидальнаго давленія, висящаго между электродами. Въ этой окончательной стадіи спектръ свѣченія значительно отличается отъ первоначальнаго. Характерныя полосы въ красной, желтой и отчасти зеленой части спектра остаются, за то совершенно мѣняется вторая половина спектра, т. е. зеленая и фіолетовая ея часть. Въсто прежнихъ полосъ появляются новыя, по строенію похожія на полосы въ красной и желтой части спектра. Этотъ новый спектръ, по мнѣнію автора, принадлежитъ чистому азоту, изъ котораго удалены послѣдніе слѣды кислорода: послѣдній въ видѣ азотныхъ окисловъ долженъ спуститься при низкихъ температурахъ.

Можно было бы предположить, что первоначальный спектръ является слѣдствіемъ присутствія нѣкотораго количества кислорода. Но достаточно послѣднаго измѣненія спектра кончить въ цѣль.

ровой промежутокъ, чтобы снова появился прежній спектръ, обычный спектръ азота. Итакъ азотъ въ зависимости отъ характера разряда обнаруживаетъ два различныхъ спектра. Это явленіе, впрочемъ, не ново, такъ какъ уже 40 лѣтъ тому назадъ Гитторфъ и Пюкеръ нашли, что въ зависимости отъ характера разряда измѣняется спектръ азота, и объяснили это существованіемъ двухъ видоизмѣненной азота.

Указанныя измѣненія въ характерѣ аноднаго свѣченія и его спектра при погруженіи трубки въ жидкій воздухъ не происходятъ, если къ азоту прибавлено нѣсколько процентовъ азота. Другія примѣсы различно вліяютъ на спектръ, иногда совершенно маскируя спектръ азота. Иногда замѣчается появленіе характерныхъ новыхъ спектральныхъ линий, которые можно приписать образованію новыхъ соединений, имѣющему мѣсто лишь при низкихъ температурахъ.

Часто въ спектрѣ аноднаго сіянія, въ той формѣ, какую она принимаетъ при низкихъ температурахъ, замѣчается появленіе рѣзкихъ линій, которые не принадлежатъ ни ртути, ни спектру азота второго порядка. Оказывается, что эти линіи принадлежатъ тому металлу, изъ котораго сдѣланъ катодъ. Такая взгонка металла катода происходитъ даже тогда, когда катодъ сдѣланъ изъ крайне тугоплавкаго вещества, напримѣръ, платины или иридія. Пары металла распространяются по трубкѣ, достигая противоположнаго электрода. Образованіе ихъ оказывается, впрочемъ, независимымъ отъ аноднаго столба, такъ какъ оно происходитъ и тогда, когда электроды сближены настолько, что это сіяніе не можетъ образоваться. Такимъ образомъ разрядъ въ газахъ при низкихъ температурахъ даетъ возможность получить спектры тяжелыхъ металловъ съ большимъ количественъ и большой яркости. При помощи этого метода были получены спектры мѣди, серебра, золота, платины, палладія, иридія, марганца, желѣза, никкеля, кобальта, цинка, свинца и кадмія, изъ легкихъ же металловъ — алюминія и магнезія.

Обычный способъ полученія спектра металловъ при помощи разряда въ атмосферѣ водорода существенно отличается отъ описаннаго здѣсь явленія. Въ присутствіи водорода линіи металловъ вовсе не получаются, хотя распыленіе катода очень замѣтно. Зато, чѣмъ чище азотъ, тѣмъ ярче и богаче линіями спектръ металла и тѣмъ замѣтнѣе даже для простаго глаза свѣченіе паровъ металла. Наибольшей яркости достигаетъ свѣченіе, когда катодная часть трубки погружается въ жидкій воздухъ. Весьма отчетливо наблюдается свѣченіе даже при дневномъ свѣтѣ, если матеріаломъ катода является палладій, серебро или мѣдь. Когда пары металла попадаютъ въ полосу аноднаго сіянія, они окрашиваютъ его въ соответственный цвѣтъ, а при прекращеніи разряда видно, какъ подымается свѣтящееся облако паровъ металла, отъ катода къ аноду.

Замѣчательно, что появленіе спектра металловъ происходитъ одновременно съ появленіемъ спектра азота. Поэтому весьма сомнительно, чтобы взгонка металла обуславливалась нагрѣваніемъ катода. Кромѣ того, появленіе паровъ металла происходитъ не только при электродахъ съ малой поверхностью, такъ какъ тѣ же явленія наблюдаются, напримѣръ, съ мѣдной проволокой, 8 мм. толщины. Тепловыя причины, стало быть не играютъ здѣсь замѣтной роли, и образованіе паровъ, по всей вѣроятности, чисто электрическаго происхожденія. (Phys. Ztschr.).

**Удаленіе кислорода при помощи накаленной платины. А. Магнуса.** Проволоки изъ платины, иридія и палладія накаливались токомъ и были помѣщены въ атмосферу, содержащую кислородъ. Опыты производились съ начала при небольшихъ давленіяхъ и количество кислорода было не велико. По манометру наблюдалось измѣненіе давленія газа, послѣ болѣе или менѣе продолжительнаго дѣйствія на газъ накаленной проволоки. Когда про-

волокна была изъ платины или иридія, то замѣчалось медленное паденіе давления газа. Когда это паденіе прекращалось, то убыль газа соотвѣтствовала какъ разъ содержанію кислорода въ изслѣдуемомъ объемѣ газа. Опыты производились съ различными смѣсями, содержащими кислородъ. Такъ, наприимѣрь, въ опытѣ съ воздухомъ паденіе давления черезъ 20 минутъ, когда уже было достигнуто стационарное состояніе, составляло 20,7%.

При большихъ давленияхъ поглощеніе идетъ медленно, но даже при 300 мм. автору удалось обнаружить поглощеніе кислорода воздуха. Въ виду этого, такой методъ удаленія кислорода обладаетъ преимуществомъ передъ методомъ Гольдштейна, который пользуется нагрѣваніемъ электродовъ разрядомъ черезъ газъ и потому долженъ ограничиваться небольшими давлениями. Кроме того, при разрядѣ черезъ Гейслеровую трубку отчасти поглощаются и другіе газы, кромѣ кислорода, хотя значительно медленно.

Способъ Магнуса свободенъ отъ этихъ недостатковъ и поэтому удобнѣе для практическихъ примѣненій. Но необходимо замѣтить, что поглощеніе при пользованіи методомъ Магнуса происходитъ медленно, чѣмъ при способѣ Гольдштейна.

Поглощеніе кислорода несомнѣнно связано съ измѣненіемъ химическаго состава поверхности электрода. Кислородъ переходитъ въ какое-то соединеніе съ названными металлами. Поэтому иридій, который легче распыляется въ качествѣ электрода, быстрѣе поглощаетъ кислородъ.

Совершенно иной характеръ носитъ явленіе въ томъ случаѣ, когда проволока сдѣлана изъ палладія. Распыленіе металла здѣсь очень сильно, но измѣненіе давления въ трубкѣ весьма незначительно. Это обстоятельство заставляетъ предполагать, что въ то время, какъ платина и иридій передъ распыленіемъ переходятъ въ химическое соединеніе съ кислородомъ, распыленіе палладія имѣетъ характеръ сублимации.

Опыты съ уголькомъ лампы накаливанія показали, что въ этомъ случаѣ поглощаются не только кислородъ, но въ равной мѣрѣ и азотъ. Такъ давление воздуха въ теченіе трехъ часовъ упало съ 0,210 мм. до 0,005, что соотвѣтствуетъ поглощенію въ 98%. Быть можетъ въ этомъ случаѣ игралъ нѣкоторую роль разрядъ черезъ газъ, такъ какъ концы уголька имѣли разность потенциаловъ около 100 вольтъ.

(Phys. Ztschr.).

## ОБЗОРЪ.

### Стерилизація воды при помощи озона.

Вопросъ о снабженіи городского населенія чистой и безвредной для питья водою приобретаетъ въ настоящее время, можно сказать, трагическое значеніе для Петербурга, въ виду свирѣпствующей эпидеміи брюшного тифа и приближающейся эпидеміи холеры. Исслѣдованія, произведенныя во время послѣднихъ эпидемій, показали, что прежніе критеріи, примѣнявшіеся при изслѣдованіи доброкачественности воды, какъ наприимѣрь, прозрачность, чистота, свѣжесть, оказываются недействительными, и даже ключевая вода, отвѣчая всѣмъ предыдущимъ требованіямъ, но неудовлетворительная съ бактериологической точки зрѣнія, была наприимѣрь, въ Парижѣ, источникомъ и носительницей заразы.

Всѣ примѣняемые до сихъ поръ средства для очистки воды можно раздѣлить на двѣ категоріи, именно:

- 1) Очистку механическую или фильтрованіе.
- 2) Химическую, т. е. воздѣйствіе реагентами, уничтожающими бактеріи.

Что касается фильтрованія, то цѣль его заключается не въ уничтоженіи, конечно, всѣхъ колоній микробовъ, но въ возможномъ уменьшеніи числа ихъ до величины, безвредной для здоровья. Для действительности фильтрованія скорость движенія должна

быть совершенно ничтожна: наприимѣрь, хорошіе песчаные фильтры не должны пропускать болѣе 0,1 куб. м. воды въ часъ черезъ кв. метръ поверхности фильтра.

При большихъ основныхъ затратахъ, дѣйствіе ихъ не вполне надежно и можетъ съ теченіемъ времени утрачивать свою правильность.

Болѣе цѣлесообразнымъ является химическое воздѣйствіе, именно при помощи озона, какъ это предлагается фирмою Фризь, устроившей въ Парижѣ специальную испытательную станцію, о коей упомянуто будетъ ниже.

Какъ извѣстно, озонъ представляетъ изъ себя неустойчивое видоизмѣненіе кислорода, содержащее въ молекулѣ три атома вмѣсто двухъ. При распаденіи озона и превращеніи его въ кислородъ, этотъ послѣдній *in statu nascente* обладаетъ специфическимъ свойствомъ истреблять всѣ тѣ микроорганизмы, на которые обыкновенный кислородъ никакого вліянія не оказываетъ. Наприимѣрь, изъ опытовъ Проскауера и Шудера (Proskauer, Schuder) въ институтѣ заразныхъ болѣзней въ Берлинѣ\*) слѣдуетъ, что для истребленія содержащихся въ 1,7 гр. воздуха отъ 26000—55000 колоній понадобилось отъ 0,3 до 0,6 гр. озона; а для истребленія содержащихся въ 1 куб. см. воды 203000 колоній понадобилось 2,5 гр. озона.

Такой результатъ объясняется легкой растворимостью озона въ водѣ.

Итакъ весь вопросъ сводится къ добыванію озона въ большихъ размѣрахъ и въ насыщеніи имъ очищаемой воды.

Промышленное добываніе озона производится, пропуская токъ высокаго напряженія между двумя полюсами, расположенными на такомъ разстояніи другъ отъ друга, которое не допускаетъ образованія вольтовой дуги. Кислородъ, заключающійся въ воздухѣ, проходящемъ между полюсами, будучи подверженъ дѣйствію этихъ тихихъ разрядовъ, переходитъ въ озонъ.

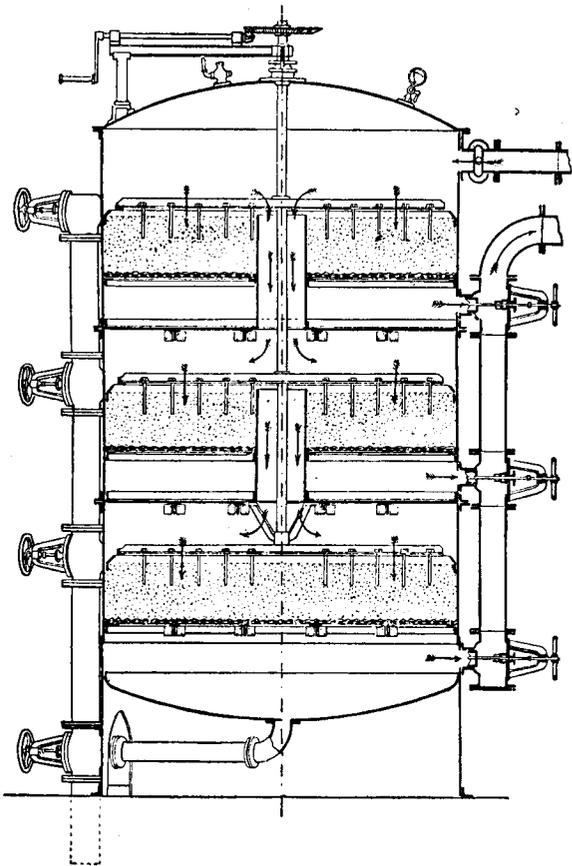
Большое значеніе имѣетъ при этомъ напряженіе тока. По наблюденіямъ Шасси (Chassy), проф. Лионскаго университета, образованіе озона начинается при напряженіи не ниже 9000 влт., а начиная съ 13000 вольтъ количество добытаго озона пропорціонально квадрату разности потенциаловъ между электродами. Другимъ важнымъ факторомъ является температура воздуха, подвергающагося озонизаціи. Хотя при электризаціи замѣчается нѣкоторое повышеніе температуры, но оно не должно перейти извѣстной границы, такъ какъ озонъ разлагается отъ теплоты. Существуетъ нѣкоторая критическая температура, которой соотвѣтствуетъ максимумъ получающагося озона. По Риделю (Rideal), образованіе озона, равное 0 при 6°, увеличивается отъ 6 до 24°, послѣ чего, при дальнѣйшемъ возрастаніи температуры, начинать уменьшаться.

Проф. Шасси произвелъ также наблюденія надъ тѣмъ тѣмъ, въ какой зависимости находится количество получаемаго изъ данного объема кислорода--озона отъ времени озонизаціи. Если принять за 1 промежутокъ времени, потребный для добыванія количества озона, составляющаго  $\frac{1}{3}$ % массы кислорода, то мы получимъ слѣдующую таблицу:

Продолжительность озонизац.	Количество получ. озона въ %.	Продолжительность озонизаціи	Количество получ. озона въ %.
1	5	10	31,5
2	9,1	12	34,5
3	12,7	14	37,4
4	16,1	20	44
5	19,2	36	54
6	22,2	60	64,5
7	25	90	70,5
8	27,2	120	73

\*) См. Труды Третьяго Всероссийскаго Электротехническаго Съезда, т. II, стр. 195а

Из этой таблицы слѣдуетъ, что для полученія известнаго количества озона выгоднѣе слабо озонировать большія количества кислорода, чѣмъ добывать небольшое количество воздуха съ большимъ % содержаниемъ озона. Что касается самой конструкции фильтра, рекомендуемаго фирмою Фризь, то она очень проста и понятна изъ прилагаемаго чертежа. Фильтръ (фиг. 16) работаетъ подъ давленіемъ отъ 2 до 3 кгр. на см<sup>2</sup>. и состоитъ собственно изъ 3 отдѣльныхъ другъ надъ другомъ расположенныхъ фильтровъ. Вода накачивается въ верхній фильтръ, а въ



Фиг. 16.

нижніе попадаетъ чрезъ широкую центральную трубу. Каждый фильтръ снабженъ самостоятельнымъ выпускнымъ краномъ. Циркуляція воды обозначена стрѣлками. Для чистки фильтра перемѣняютъ направление тока воды, такъ что вода направляется снизу вверхъ, и вытекаетъ изъ трубы, видной по лѣвую сторону рисунка; при этомъ для совершенной очистки всѣ части, дно и фильтрующая масса приводятся во вращеніе при помощи рукоятки и центральной оси.

Опытная станція, построенная въ Сень-Морѣ, въ состояніи доставлять въ часъ 150 куб. метровъ воды, т. е. достаточна для снабженія очищенной водой города съ населеніемъ въ 3500 человекъ. Вода берется изъ рѣки Марны, при выходѣ изъ фильтровъ и затѣмъ гонится въ особый резервуаръ. Замѣтимъ, что предварительное фильтрованіе необходимо для удаленія взвѣшенныхъ въ водѣ твердыхъ частицъ, могущихъ только содѣйствовать бесполезному расходу озона. Но это фильтрованіе должно быть гораздо болѣе грубо, а значитъ и болѣе дешево, чѣмъ въ фильтрахъ бактериологическихъ: въ то время какъ въ этихъ послѣднихъ, какъ было уже упомянуто, скорость воды не должна превосходить 0,1 м. въ сек.

въ фильтрахъ, предшествующихъ озонированію, можно допустить 4 м., т. е. въ 40 разъ больше.

Станція представляетъ изъ себя трехэтажное зданіе съ подваломъ, гдѣ помѣщается локомобиль въ 45 силъ, двѣ динамо Граммона, типа Мордея, для озонизаціи и освѣщенія трансформаторъ въ 80000 влт.; центробѣжный насосъ, могущій поднять въ 1 часъ 150 куб. м. воды на высоту 15 метровъ; въ томъ же подвалѣ находятся далѣе два желѣзныхъ осушителя воздуха, или дессикатора. Они имѣютъ четырехугольное очертаніе и заключаютъ внутри себя рядъ рѣшетокъ съ хлористымъ кальціемъ для осушенія воздуха, предназначаемаго для электризаціи. Накачивается воздухъ при помощи трехъ компрессоровъ, изъ которыхъ одинъ запасной; въ часъ компрессоры доставляютъ до 160 куб. м. воздуха.

Собственно озонаторы, т. е. приборы, превращающіе кислородъ воздуха въ озонъ, имѣютъ слѣдующее устройство: каждый приборъ состоитъ изъ горизонтальнаго полуцилиндрическаго корыта изъ желтой мѣди, которое снабжено металлической покрывкой, такъ что въ прослойкѣ можетъ циркулировать вода для охлажденія. Все это покрыто стеклянной оболочкой, соединено съ землею и образуетъ одинъ электродъ. Другой электродъ составляютъ концентрическія съ корытомъ мѣдные полудиски изъ листовой мѣди, снабженные по поверхности острыми. Диаметръ ихъ на 60 мм. меньше диаметра корыта, такъ что разстояніе между электродами достигаетъ 3 см. Диски расположены вертикально на равныхъ разстояніяхъ вдоль корыта. Диски эти ввинчены въ вертикально повѣшенные стеклянныя трубочки, наполненныя соответствующей жидкостью, въ качествѣ сопротивленія, чрезъ которое проходитъ токъ высокаго напряженія. Токъ подводится при помощи платиновыхъ проволочекъ, впаянныхъ въ дно трубки и погруженныхъ въ жидкое сопротивленіе.

Жидкое сопротивленіе имѣетъ цѣлью регулировать силу тока, чтобы предупредить образованіе полевой дуги, которая не только не содѣйствуетъ образованію озона, но наоборотъ способствуетъ распаденію его. Въ другихъ системахъ озонаторовъ применялись для этой цѣли стеклянныя діэлектрики, но примѣненіе ихъ неудобно, во-первыхъ: потому, что нельзя примѣнять токовъ очень высокаго напряженія, пробивающихъ стекло, во-вторыхъ, нельзя производить охлажденія водою, потому что стекло можетъ потрескаться. Точно также не выдерживаетъ строгой критики конструкция, въ которой электроды, укрѣпленные въ соответствующихъ подшипникахъ, могутъ поворачиваться, такъ что образовавшаяся вольтова дуга можетъ быть уничтожена отклоненіемъ подвижнаго электрода на нѣкоторый уголъ; не годится эта конструкция потому, что она только уничтожаетъ вредное явленіе, но не предупреждаетъ его. Конструкция, примѣняемая компаніею Фризь, не имѣетъ вышеописанныхъ недостатковъ.

Корыто закрыто съ обѣихъ сторонъ; съ одной стороны воздухъ накачивается, проходитъ между электродами, превращающими кислородъ его частью въ озонъ, и выходитъ съ другой стороны. Для охлажденія нагрѣтаго отъ электризаціи воздуха, поверхность корыта охлаждается при помощи рефрижираторовъ, состоящихъ изъ цилиндра съ водою, въ которомъ по змѣевикамъ пробѣгаетъ охлаждающая жидкость. Озонаторы расположены въ два ряда по три группы въ каждомъ. Въ каждой группѣ по три элемента. Установлены они въ темномъ помѣщеніи, чтобъ лучше можно было наблюдать за цвѣтомъ получающагося озона, который при исправномъ дѣйствіи приборовъ долженъ быть голубовато-фіолетовый.

При помощи компрессоровъ, о коихъ было упомянуто выше, озонированный воздухъ, то есть смѣсь воздуха съ озономъ, вводится въ нижнюю часть стерилизаторовъ. Это высокіе цилиндры около 8 м., состоящие изъ отдѣльныхъ частей по 50 мм. высо-

тою, раздѣленныхъ діафрагмами изъ целлулоида съ массою мелкихъ дырочекъ диаметромъ до  $\frac{1}{100}$  мм.

Вода и озонированный воздухъ вводятся въ нижнюю часть стерилизатора при помощи насосовъ, причемъ вслѣдствіе значительной живой силы накачиваемой воды, она проходя, кромѣ того, сквозь столь узкія отверстія, основательно перемѣшивается съ озономъ и выходитъ сверху уже очищенною. Изъ стерилизаторовъ вода отводится въ городской резервуаръ.

Очень важнымъ факторомъ является стоимость обработки воды озономъ. Въ виду отсутствія примѣненія этого способа въ грандіозныхъ размѣрахъ трудно опредѣлить, во что обойдется онъ вслѣдствіи. Но если принять во вниманіе то обстоятельство, что для озонирования 1000 куб. метровъ воды въ часъ требуется не болѣе 100—150 лопш. силъ и 3-хъ человекъ персонала, можно во всякомъ случаѣ à priori утверждать, что стоимость эта не настолько велика, чтобы помѣшать распространенію этого способа въ широкихъ предѣлахъ.

Въ виду того, что образованная французскимъ комитетомъ народнаго здравія комиссія, изслѣдовавъ этотъ способъ, пришла къ очень удовлетворительнымъ результатамъ и выводамъ, рѣшено произвести въ 1905 г. опыты по очень широкой программѣ, включающей въ себя самые неблагоприятные случаи, встречающіеся при водоснабженіи городовъ. Было бы желательно, чтобы петербургская комиссія городского водоснабженія, равно какъ и кievское городское управленіе, собирающееся соорудить грандіозные фильтры, въ настоящее время считающіеся гигиенистами не достигающими своей цѣли, обратили бы серьезное вниманіе на эти изслѣдованія.

**Новая щетка для динамомашинъ.** Новѣйшія конструкціи щетокъ для динамомашинъ преслѣдуютъ главнымъ образомъ ту цѣль, чтобы наряду съ хорошей электропроводностью металлическихъ щетокъ достигалось отсутствіе искръ, характеризующее угольные. Успѣхъ въ этомъ направленіи представляютъ собой, повидимому, „бронзово-угольные“ щетки фирмы „Svenska Dynamoborst fabriken“ въ Стокгольмѣ. Названіе это, впрочемъ, не совѣмъ точно; щетки состоятъ не изъ смѣси бронзы и угля, какъ можно было бы думать, а изъ агломерата очень мелкихъ графитовыхъ зеренъ, каждое изъ которыхъ покрыто сперва слоемъ мѣди, а сверху слоемъ олова. Способъ изготовленія такихъ зеренъ составляетъ фабричный секретъ (очевидно, что онъ во всякомъ случаѣ гальваностегическій; *ref.*); готовый металлизированный порошокъ прессуется подъ высокимъ давленіемъ въ сухомъ видѣ, безъ связующихъ веществъ и при обыкновенной температурѣ, причемъ, измѣняя давленіе, можно получать щетки любой твердости. Послѣ этого уже щетки нагрѣваются достаточно сильно для того, чтобы олово соединилось съ мѣдью и образовало бронзу. Благодаря такой обработкѣ вся масса является совершенно однородной, легко принимаетъ полировку, можетъ паяться, а благодаря содержанию около 20% графита оказываетъ также смазывающее дѣйствіе. Какъ показали изслѣдованія, произведенныя въ Королевскомъ Шведскомъ Институтѣ для испытанія матеріаловъ, новыя щетки обладаютъ такой же электропроводностью и такимъ переходнымъ сопротивленіемъ, какъ и обыкновенныя металлическія. Поэтому потери энергіи въ нихъ значительно меньше, чѣмъ въ угольныхъ щеткахъ; разниця эта, конечно, тѣмъ замѣтнѣй, чѣмъ болѣе плотность тока; такъ, на примѣръ, на 110 вольтовой динамомашинѣ при плотности тока 10 амперъ на 1 квадрат. см. и периферической скорости 15 метровъ въ секунду, потеря у коллектора была съ угольной щеткой 34,5 ватта, съ бронзовоугольной только 3,4 ватта. Въ отношеніи же свободы отъ искръ бронзовоугольные щетки нисколько не уступаютъ угольнымъ и при одинаковыхъ для одной и той же машины

размѣрахъ и формѣ могутъ ихъ вполне замѣнять безъ всякаго усиленія искрообразованія. Изнашиваніе новыхъ щетокъ нѣсколько болѣе, чѣмъ металлическихъ; но за то онѣ могутъ быть использованы у коллектора гораздо дольше.

(Elektr. Ztschr. 1905).

**Новые электрическіе краны.** Всякому, бывавшему на заводѣ, бросалось въ глаза, какъ много времени приходится терять рабочему, ожидая пока кранъ дойдетъ до него съ другого конца мастерской. На Западѣ, гдѣ цѣна электрической энергіи достаточно низка и проявляется стремленіе къ дальнѣйшему пониженію, а рабочія руки дорожаютъ, оказывается выгоднымъ затрачивать нѣкоторый избытокъ энергіи, лишь бы кранъ двигался скорѣе. Интересный примѣръ проектированнаго съ этой точки зрѣнія мостового крана представляетъ 30-тонный кранъ, установленный въ мастерскихъ фирмы Томсонъ-Гуостонъ. Вотъ главныя данныя, характеризующія его дѣйствіе

Скорость поднятія груза въ 30 тоннъ . . . . .	3 м. въ мин.
Скорость движенія лебедки по мосту . . . . .	30 „ „
Скорость движенія моста . . . . .	90 „ „
Скорость поднятія груза въ 5 тоннъ . . . . .	15 „ „

Отсюда видно, что средняя скорость передвиженія крана по мастерской, достигающая  $90 \times 60 = 5.4$  км. въ часъ достаточно, чтобы опередить рабочего, идущаго нормальнымъ шагомъ. Правда, большая скорость движенія требуетъ нѣсколько болѣе солидной конструкціи балокъ, но это окупается болѣею производительностью. Кранъ снабженъ электромагнитнымъ тормазомъ, сидящимъ на валу электродвигателя, вращающаго лебедку, — чтобы мгновенно остановить ее въ моментъ замыканія тока. Дѣйствовать, само собою разумѣется, можетъ онъ въ обѣ стороны. Кромѣ того, еще имѣется и другой тормазъ, сидящій не на главной, а на одной изъ передаточныхъ осей лебедки. Не дѣйствуя во время поднятія груза, онъ автоматически зажимаетъ ось въ то время, когда грузъ виситъ неподвижно на крюкѣ, а затѣмъ при спускѣ груза онъ слегка, но не вполне, сдѣетъ, такъ что при посредствѣ его — грузъ, опускаясь — вращаетъ въ обратную сторону электродвигатель и возвращаетъ часть энергіи обратно въ цѣпь. Сбоку одной изъ станинъ лебедки имѣется бронированный электродвигатель, передвигающій тѣлѣжку съ лебедкой по мосту. Число оборотовъ, какъ перваго, такъ и втораго двигателей, выбрано небольшое — отъ 400 до максим. 800, несмотря на болѣе большіе размѣры ихъ, для того, чтобы въ случаѣ плохой смазки, подшипники не грѣлись. Самая тѣлѣжка особенно оригинальнаго ничего не представляетъ; барабаны, на которые навиваются цѣпи, снабжены каждый двумя желобами, идущими по винтовой линіи; шагъ обоихъ винтовъ одинаковъ и противоположенъ по направленію, такъ что при поднятіи и опусканіи бокового смѣщенія груза произойти не можетъ. Для уменьшенія изнашиванія цѣпи взяты барабаны настолько большого діаметра, чтобы уголъ наклона цѣпного звена былъ бы меньше угла тренія.

Заканчивая описаніе этого крана, замѣтимъ, что передвигается кранъ обыкновеннымъ способомъ, при помощи особаго двигателя, дѣйствующаго на продольный валикъ, идущій вдоль главныхъ балокъ и соединенный при помощи передачи съ колесами, поддерживающими кранъ. Въ виду большой скорости передвиженія крана могутъ, кромѣ обычныхъ напряженій отъ перерѣзывающихъ вертикальныхъ усилій и изгибающихъ моментовъ, возникнуть дополнительные напряженія отъ дѣйствія силъ инерціи при мгновенныхъ остановкахъ. Въ виду этого, какъ те-

лѣжка, такъ и мость, составлены изъ клепанных балокъ солиднаго коробчатого сѣченія.

Другой интересный кранъ построенъ недавно фирмой Штукгольца для верфи „Вулканъ“ въ Штеттинѣ. Онъ предназначенъ для перемѣщенія броневыхъ плитъ въ 25 тоннъ. Весь пролетъ моста достигаетъ 52,5 м. Но такъ какъ ширина бронепрокатной мастерской всего 26 м., то на грузъ въ 25 тоннъ рассчитана только средняя часть крана, такъ что 25 тоннъ онъ можетъ перемѣщать по длинѣ въ 26 метровъ; 10 тоннъ по длинѣ въ 34 метра, а 5 тоннъ по всей длинѣ. Мость поддерживается двумя двуногими козлами, съ ногами отстоящими на 10 м. другъ отъ друга, лебедка приводится въ движеніе при помощи трехфазнаго электродвигателя 500 в. напряженія и 1440 оборотовъ въ мин., мощностью въ 11 силъ. Для передачи служитъ безконечный винтъ, вращающійся въ подшипникахъ на шарикахъ и погруженный въ мѣстѣ сѣпленія съ зубчаткой въ ванну съ масломъ. Для передвиженія лебедки служитъ двигатель въ 4 силы.

Говоря о кранахъ, нельзя не упомянуть о новомъ примѣненіи электричества въ подъемныхъ механизмахъ, предложенныхъ фирмою „International electrical Engineering Co“, специально занимающейся постройкой электрическихъ крановъ. Именно, для поднятія желѣзныхъ грузовъ, они пользуются не крюкомъ, а электромагнитомъ, благодаря чему сберегается время и облегчается подъемъ груза. Добавочный расходъ энергіи по даннымъ этой фирмы не великъ; такъ напримѣръ, электромагнитъ, поддерживающій грузъ въ 2,5 тонны, потребляетъ 7500 ваттъ. Компания эта строитъ два типа крановъ: въ одномъ имѣется одинъ электромагнитъ на концѣ цѣпи, въ другомъ же къ цѣпи придѣланъ солидный стержень, на обоихъ концахъ котораго имѣется по магниту. Электромагнитъ самъ состоитъ изъ двухъ частей—изъ собственно электромагнита и окружающій его рамы для защиты отъ толчковъ и поврежденій. По виду онъ напоминаетъ колоколь.

**Утилизация водопадовъ** \*). Въ послѣднихъ №№ нѣкоторыхъ иностранныхъ журналовъ находится небезинтересныя данныя о тѣхъ завоеваніяхъ, которыя дѣлаетъ примѣненіе живой силы паденія воды для цѣлей промышленности. Недавно составленъ инженеромъ Эшонде проектъ электрической станціи для города Неаполя. Предполагается использовать паденіе рѣки Вольтурно, причемъ предполагается сдѣлать отводное русло трапециoidalнаго сѣченія и при помощи 5 турбоальтернаторовъ, мощностью каждый въ 1800 лощ. силъ, передавать токъ въ 4500 влт. напряженія въ Неаполь. Мощность полного паденія рѣки Вольтурно исчисляется отъ 12 до 32000 л. с. и болѣе.

Такое напряженіе, какъ 45000 влт., не представляетъ собою теперь чего либо исключительнаго. Какъ сообщаетъ „La Houille Blanche“, въ настоящее время проектируется передача энергіи токомъ въ 57000 влт., именно отъ Мутье до Лиона. Разстояніе между этими пунктами—180 км. Это будетъ самое большое разстояніе, на которое когда-либо передавалась энергія въ Европѣ. Напомнимъ, что извѣстная линия С.-Морисъ-Лозанна имѣетъ въ длину всего 58 км. и напряженіе тока тамъ 22000 в. Мощность проектируемой гидро-электрической станціи въ Мутье—6300 л. силъ, паденіе—65 м. Преимущество отдано постоянному току высокаго напряженія въ 56960 влт. Такое напряженіе достигнуто послѣдовательнымъ соединеніемъ динамо. Постоянный токъ выбранъ вслѣдствіе меньшей затраты на мѣдъ въ проводахъ. Въ Лионѣ токъ будетъ подводиться при помощи двухъ тщательно изолированныхъ подземныхъ кабелей. Здѣсь кстати будетъ привести нѣкоторыя данныя относительно линій передачи электрической энергіи.

Самая длинная линія для передачи работы принадлежитъ американской компаніи „California Gas and Electric Co“; линія длиною въ 370 км. идетъ отъ Сабла до С.-Франциско. Это же общество владеетъ и двумя другими линіями, именно отъ Колгаты (Colgate) до Оклэнда (Oakland) длиною въ 230 км. а также отъ Колгаты до С.-Жозе.

Напряженіе, примѣняемое въ Америкѣ для передачи на далекія разстоянія, колеблется отъ 55000 до 67000 влт. Слѣдующая таблица даетъ на этотъ счетъ небезинтересныя свѣдѣнія:

Названіе линіи.	Число силъ.	Вольты.	Длина линіи.
Гванайято (Мексика)	6000	60000	162
Спокане . . . . .	9000	60000	176
Лосъ-Анжелесъ . . .	7500	67500	176
Пьера . . . . .	19500	53000	64
Мексико . . . . .	—	60000	176
Виннитгъ . . . . .	7500	60000	96
Ниагара . . . . .	37500	60000	149
Онтарио . . . . .	—	60000	149

**О преобразованіи каналовъ въ электрическія желѣзныя дороги.** Въ статьѣ, напечатанной въ журналѣ „Public Works“, Беннетъ говоритъ о томъ, что каналы, послѣ ихъ засыпки, могли бы оказаться весьма удобными мѣстами для прокладки полотна электрическихъ жел. дорогъ. Получился бы большой выигрышъ въ скорости и удобствѣ передвиженія и притомъ, въ Англіи, напримѣръ, для соединенія подобной дорогой главныхъ городовъ Ланкашира, Йоркшира, Стаффордшира и Варвейкшира понадобилось бы лишь 70 км. добавочныхъ путей.

Стоимость подобнаго преобразованія исчисляется авторомъ въ 89060 фр. на километръ.

(L'Ind. Electr.).

**Электроакустическій способъ измѣренія глубины моря.** Очень остроумный способъ измѣренія глубины моря безъ всякаго матеріальнаго соединенія съ его дномъ придуманъ недавно норвежскимъ инженеромъ Бергграфомъ. Способъ этотъ заключается въ томъ, что съ того мѣста, гдѣ производится измѣреніе, посылается чрезъ воду ко дну моря звукъ и затѣмъ опредѣляется промежутокъ времени  $t$ , чрезъ который слышится отраженіе его отъ дна. Такъ какъ скорость распространенія звука въ водѣ составляетъ 1200 метровъ въ секунду, то глубина моря равна  $\frac{1200 \cdot t}{2}$ .

Аппаратъ Бергграфа состоитъ изъ трехъ частей: передатчика звука, приемника и измѣрителя времени. Передатчикъ представляетъ собой камертонъ, испускающій низкій звукъ и приводящійся въ дѣйствіе электромагнитомъ, токъ котораго замыкается періодически медленно вращающимся дискомъ. Отраженный отъ дна моря звукъ улавливается микрофономъ и передается телефону, снабженному резонаторной трубкой, настроенной на тонъ передатчика.

## Журналы Собранія непремѣльныхъ членовъ VI (электротехническаго) Отдѣла

Засѣданіе 22 марта 1905 года.

Предсѣдательствовали А. И. Смирновъ.

Присутствовали непр. члены: П. К. Войводъ,

П. Д. Войнаровскій, Н. Н. Георгіевскій, С. Д.

\*) См. также Э-во т. г. № 1, стр. 144 областная универсальная библиотека

Гефтеръ, Ч. К. Скржинскій, Н. М. Сокольскій, Л. И. Толлочко, В. Я. Флоренсовъ и Б. А. Эфронъ.

1. Прочтенъ и утвержденъ журналъ Собранія непремѣнныхъ членовъ 7 марта 1905 г.

2. По вопросу о лекціяхъ С. Д. Гефтеръ подтвердилъ изложенное имъ въ письмѣ 7 марта о томъ, что нѣкоторые изъ гг. членовъ VI Отдѣла находятъ устройство подобнахъ лекцій въ настоящее время несвоевременнымъ. Въ виду этого слѣдовало бы обсудить, устраивать ли лекціи теперь или отложить до другого времени. Самъ С. Д. Гефтеръ считаетъ, что лекціи могли бы быть организованы еще въ текущемъ полугодіи.

П. Д. Войнаровскій заявилъ, что въ виду выраженного Комиссіей желанія привлечь къ участию въ организациі лекцій Общество Инженеръ-электриковъ, имъ было создано Правленіе этого Общества, въ которомъ подробно былъ разработанъ вопросъ объ организациі лекцій, причѣмъ Правленіе Общества Инженеръ-электриковъ исходило изъ того предположенія, что данныя лекціи будутъ представлять изъ себя не что либо временное и случайное, а получать постоянную организацию и будутъ повторяться въ томъ или другомъ видѣ ежегодно. Обсужденіе вопроса по отношенію къ настоящимъ лекціямъ въ Правленіи Общества Инженеръ-электриковъ привело къ слѣдующимъ результатамъ:

1) Цѣль лекцій. Ознакомленіе въ общедоступномъ изложеніи съ важнѣйшими примѣненіями электричества.

2) Чтеніе лекцій будетъ производиться къ электротехническому Институту Императора Александра III-го въ вечерніе часы (отъ 8 до 10 час. вечера). На каждую лекцію полагается полтора часа времени, каковое дѣлится на два промежутка по  $\frac{3}{4}$  часа каждый, причѣмъ между этими періодами устраивается перерывъ въ  $\frac{1}{4}$  часа.

3) Лекціи сопровождаются не только демонстраціею во время чтенія, но, по возможности, и особыми опытами и измѣреніями, производимыми лаборантами въ Лабораторіяхъ Электротехническаго Института въ особые для этого часы.

Въ тѣ дни, когда производятся опыты въ Лабораторіяхъ, чтеніе лекцій не производится.

4) Въ виду курсоваго характера лекцій, желающіе слушать таковыя приглашаются записываться предварительнаго либо на всѣ лекціи, либо на лекціи опредѣленнаго отдѣла. Билеты на разовыя лекціи выдаются лишь въ томъ случаѣ, когда остаются свободныя мѣста въ аудиторіи послѣ предварительной записи на весь курсъ или отдѣлъ лекцій.

5) Лица, записавшіяся на весь курсъ или на отдѣлъ, вносятъ плату впередъ, причѣмъ за пропущенныя лекціи плата не возвращается.

6) Къ слушанію лекцій допускаются всѣ желающіе, но изложеніе лекцій принаровлено для слушателей, обладающихъ познаніями въ объемѣ 4-хъ классовъ гимназій, реальныхъ училищъ, низшихъ техническихъ школъ и т. п. учебныхъ заведеній.

7) Чтеніе лекцій будетъ производиться по слѣдующей общей программѣ:

1 Лекція. Понятіе объ электричествѣ. Электростатическая емкость. Постоянный электрическій токъ. Законы Ома, Кирхгоффа, Джоуля. Электрическая работа.

2 Лекція. Магнетизмъ. Силовыя линіи, магнитная цѣпь. Электромагнетизмъ, явленія намагничиванія токомъ, электромагниты. Электромагнитная индукція.

3 Лекція. Гальваническіе элементы и аккумуляторы.

4 Лекція. Понятіе о переменномъ токѣ. Механическіе способы полученія простаго, двухфазнаго и трехфазнаго токовъ. Самоиндукція и ея вліяніе на явленія переменнаго тока. Вліяніе емкости.

5 Лекція. Динамомашинныя переменнаго тока. Принципы и типичныя конструкціи. Основныя явленія въ динамомашинныхъ переменнаго (однофазнаго, двухфазнаго и трехфазнаго) тока. Работа динамомашинъ переменнаго тока.

6 Лекція. Выпрямленіе переменнаго тока. Принципы динамо постоянного тока. Основныя явленія въ динамо постоянного тока. Типичныя конструкціи. Работа динамошинъ постоянного тока.

7 Лекція. Электродвигатели постоянного тока. Свойства и работа ихъ.

8 Лекція. Электродвигатели для простаго и трехфазнаго переменныхъ токовъ. Свойства и работа ихъ.

9 Лекція. Трансформаторы переменнаго тока.

10 Лекція. Умформеры и конвертеры.

11 Лекція. Центральныя электрическія станціи и подстанціи.

12 Лекція. Канализація электрической энергіи и распредѣленіе ея между электрическими приемниками. Электрическія свѣта.

13 Лекція. Устройство воздушныхъ, подземныхъ и подводныхъ электрическихъ линій. Устройство проводки внутри зданій.

14 Лекція. Электрическая передача на большія разстоянія.

15 Лекція. Электрическая передача на заводахъ, для подъема грузовъ. Подъемныя машины въ жилыхъ зданіяхъ.

16 Лекція. Источники электрическаго свѣта.

17 Лекція. Электрическое освѣщеніе.

18 Лекція. Электрическая тяга на городскихъ желѣзныхъ дорогахъ.

19 Лекція. Электрическія желѣзныя дороги большой скорости.

20 Лекція. Электрическіе телеграфы.

21 Лекція. Электрическіе телефоны.

22 Лекція. Герцевскіе колебанія.

23 Лекція. Беспроволочное телеграфированіе и телефонированіе.

24 Лекція. Электрическая сварка металловъ, электрическая обработка металловъ и рудъ. Электрическія печи.

25 Лекція. Историческій обзоръ развитія электротехники. Будущее электрической энергіи.

8) Лабораторные опыты производятся по Отдѣламъ: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11 и 12. Кромѣ того, въ учебныхъ станціяхъ Института будутъ производиться демонстраціи и объясненія по отдѣламъ: 6 и 10. Остальныя лекціи будутъ сопровождаться, по возможности, осмотрами электротехническихъ сооружений и заводовъ.

9) Плата за полный курсъ лекцій—10 рублей, для учащихся и для рабочихъ—5 рублей. Плата за каждую лекцію при записи на цѣлый отдѣлъ—40 коп., для учащихся и рабочихъ—20 коп. Плата за отдѣльную лекцію: въ первомъ ряду 1 рубль, въ остальныхъ—50 копѣекъ.

10) Чистый доходъ отъ лекцій распределяется слѣдующимъ образомъ: 10%, въ пользу Общества вспомоществованія студентовъ Электротехническаго Института, 10%, въ пользу школы рабочихъ электротехниковъ, 10%, въ пользу школы рабочихъ электротехниковъ Императорскаго Русскаго Техническаго Общества.

Остальныя деньги поступаютъ въ кассу Общества Инженеръ Электриковъ для организаціи общедоступныхъ лекцій по электротехникѣ.

11) Въ случаѣ изданія литографированныхъ конспектовъ лекцій, экземпляры таковыхъ могутъ приобретаться слушателями за общую плату, не превышающую 10 копѣекъ за экземпляръ каждой лекціи.

Желающіе получить такіе конспекты заявляютъ о томъ при предварительной записи на лекціи.

Плата за литографированные конспекты поступаетъ всецѣло въ пользу автора.

Н. М. Сокольскій указываетъ, что въ принципѣ идея организаціи лекцій заслуживаетъ вниманія. Подобныя курсы желательны и объ организаціи ихъ уже не разъ возбуждался вопросъ въ VI Отдѣлѣ Императорскаго Русскаго Техническаго Общества; но все до сихъ бывшія попытки организаціи подобныхъ лекцій Отдѣломъ носили случайный характеръ. Съ программой, представленной П. Д. Войнаровскимъ, нельзя, казалось бы, согласиться. Врядъ ли возможно въ 25 полуторачасовыхъ лекцій изложить сколько нибудь сносно всю электротехнику; подобныя курсы дадутъ очень поверхностныя свѣдѣнія. Организація лекцій безусловно желательна; но, по мнѣнію Н. М. Сокольскаго, слѣдовало взять какую-либо одну часть и прочесть ее такимъ образомъ, чтобы всякій слушатель получилъ вполне законченныя свѣдѣнія. Кромѣ того, по мнѣнію Н. М. Сокольскаго, Техническому или какому либо другому Обществу слѣдовало бы организовать повторительныя или болѣе спеціальныя курсы для лицъ съ высшимъ техническимъ образованіемъ, въ родѣ курсовъ, существующихъ для врачей, напр., при Клиническомъ Институтѣ Елены Павловны.

Что же касается до времени организаціи какихъ-либо курсовъ, то, по мнѣнію Н. М. Сокольскаго, настоящее время неблагоприятно для начала подобныхъ чтеній.

П. Д. Войнаровскій указываетъ, что организуя лекціи по предложенной программѣ, можно пользоваться

жить начало одному изъ отдѣленій народнаго университета.

Б. А. Эфронъ противъ организаціи лекцій въ настоящее время, такъ какъ устройство ихъ явилось бы аномаліей въ то время, когда все учебныя заведенія Россіи забастовали. Б. А. Эфронъ глубоко убѣжденъ, что на первой же организованной лекціи будетъ обструкція.

Л. И. Толлоchio указываетъ, что протестъ могъ бы быть, если бы лекціи читались только для студентовъ; надо имѣть въ виду, что настоящія лекціи предполагаются для лицъ съ низшимъ образованіемъ.

Много возраженій вызвалъ вопросъ о распределеніи суммъ, вырученныхъ съ лекцій. По объясненію П. Д. Войнаровскаго, отчисленія въ пользу студентовъ Института и школъ должны производиться съ общей суммы поступлений, и слѣдовательно въ 70%, отчисляемыхъ въ кассу Общества Инженеръ-Электриковъ, должны быть включены все расходы по организаціи лекцій.

С. Д. Гефтеръ безусловно противъ подобнаго распределенія доходовъ. Онъ настаиваетъ на отчисленіи всего чистаго дохода въ пользу недостаточныхъ студентовъ. Онъ противъ образованія какого бы то ни было фонда для дальнѣйшей организаціи лекцій. Средства на начальную организацію подобныхъ лекцій въ дальнѣйшемъ всегда найдутся у любого Общества.

Послѣ постановки на баллотировку вопроса о томъ, устраивать ли лекціи въ текущемъ полугодіи или отложить до будущаго полугодія, Собраніе большинствомъ высказалось за немедленную организацію лекцій.

По вопросу же о распределеніи доходовъ съ лекцій Собраніе постановило образовать особую Комиссію изъ членовъ VI Отдѣла и Общества Инженеръ-электриковъ, которой и поручить разработать вопросъ о финансово-сторонѣ дѣла. Въ составъ Комиссіи отъ VI Отдѣла вошли: Н. Н. Георгіевскій, С. Д. Гефтеръ, П. К. Войводъ и Н. М. Сокольскій.

Все остальные предложенія П. Д. Войнаровскаго относительно деталей устройства лекцій Собраніемъ приняты.

З. А. И. Смирновъ доложилъ Собранію отчетъ по изданію журнала «Электричество» за 1904 годъ.

Собраніе благодарило А. И. Смирнова за его труды по изданію органа VI Отдѣла.

4. Закрытой баллотировкой произведены выборы представителей отъ VI Отдѣла въ Комиссію при Обществѣ по Технической Промышленности. Избраны: П. А. Ковалевъ, Н. М. Сокольскій, П. П. Дмитренко, Ч. К. Скржинскій и Э. Р. Ульманъ.

5. Заявилъ желаніе вступить въ число действительныхъ членовъ Общества по VI Отдѣлу Павелъ Андреевичъ Краацъ, подполковникъ, портовый инженеръ и электротехникъ С.-Петербургскаго Порта.

Возраженій со стороны гг. непрѣмѣнныхъ членовъ Отдѣла не было.

*Засѣданіе 8 апрѣля 1905 года.*

Предсѣдательствовалъ А. И. Смирновъ.

Присутствовали: П. К. Войводъ, П. Д. Войнаровский, Н. Н. Георгіевскій, Н. В. Поповъ, Ч. К. Сиржинскій и Н. М. Сокольскій.

1. Прочтенъ и утвержденъ журналъ Собранія непременныхъ членовъ Отдѣла 22 марта 1905 года.

2. Доложено извѣщеніе Общества Инженеръ-электриковъ о томъ, что въ члены Комиссіи по организаціи въ Электротехническомъ Институтѣ, совместно съ Императорскимъ Русскимъ Техническимъ Обществомъ, общедоступныхъ лекцій по электротехникѣ со стороны Общества Инженеръ-электриковъ избраны: П. Д. Войнаровский, А. А. Кракау, А. А. Кузнецовъ, Л. И. Толлочко и Ф. И. Холуяновъ.

3. Доложена выписка изъ журнала засѣданія финансовой Комиссіи 8 февраля 1905 года о введеніи однообразнаго порядка расходованія суммъ и о денежной отчетности по устраиваемымъ Обществомъ Съѣздамъ и Выставкамъ.

Содержаніе выписки принято къ свѣдѣнію.

4. Доложена просьба Г. К. Геха о разсмотрѣніи изобрѣтеннаго имъ способа и аппарата для предупрежденія столкновеній судовъ съ металлическими предметами, о напечатаніи описанія этого изобрѣтенія въ одномъ изъ органовъ Общества и о сообщеніи, находитъ ли Общество настоящее изобрѣтеніе полезнымъ.

Постановлено просить А. С. Попова взять на себя трудъ разсмотрѣнія изобрѣтенія г. Геха и составленія на него отзыва.

5. Доложена просьба А. Жукова о разсмотрѣніи изобрѣтеннаго имъ способа передачи по телеграфу и телефону рисунковъ и чертежей и, въ случаѣ, если изобрѣтеніе заслуживаетъ вниманія, объ опубликованіи его.

Постановлено просить П. С. Осадчаго взять на себя трудъ разсмотрѣнія этого изобрѣтенія и о составленіи на него отзыва.

6. Доложено отношеніе Секретаря Общества по возбужденному Совѣтомъ Общества вопросу о назначеніи гонорара за работы, вызываемыя поступающими въ Общество техническими запросами.

При обмѣнѣ мнѣній выяснилось, что Отдѣлъ полагаетъ невозможнымъ назначить какую-либо норму для подобныхъ работъ. Вознагражденіе за подобныя работы должно быть назначаемо согласно суммъ затрачиваемой работы и поэтому оно въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ различно. До настоящаго времени Отдѣлъ держался слѣдующаго порядка (напр., при разсмотрѣніи электрическихъ установокъ въ Ялтѣ, Симферополѣ, Петербургѣ, въ Государственной Типографіи, на Александровскомъ рафинадномъ заводѣ близъ Одессы и т. д.): вопросъ докладывался Отдѣлу, избираалась Комиссія или отдѣльное лицо, и уже Комиссія или отдѣльное лицо входили въ непосредственныя переговоры. Такого порядка въ подобныхъ вопросахъ слѣдовало бы, по мнѣнію Отдѣла, держаться и въ будущемъ.

Въ пользу Общества Отдѣлъ полагалъ бы возможнымъ отчислять до 10 % съ гонорара.

7. Н. В. Поповъ сообщилъ объ оборудованіи Государственной Типографіи тихоходными электродвигателями (39 электродвигателей и конверторъ). Если кто интересуется этимъ устройствомъ, то можно было бы организовать осмотръ. Собраніе просило Н. В. Попова устроить осмотръ устройства.

8. Доложено заявленіе Александра Алексѣевича Соловьева, химика Франко-Русскаго завода о желаніи его вступить въ члены Общества по I и VI Отдѣламъ.

Въ виду того, что специальность А. А. Соловьева относится къ I Отдѣлу и, кромѣ того, VI Отдѣлъ выставленъ въ заявленіи карандашемъ, Отдѣлъ полагалъ бы направить это заявленіе въ I Отдѣлъ.

## БИБЛИОГРАФІЯ.

Monographien über angewandte Electrochemie. XVII Band. **Hypochlorite u. elektrische Bleiche** von E. Abel. Halle a S. Verl. v. W. Knapp. 1905.

Монографіи по прикладной электрохимии. XVII выпускъ. **Электрохимическое добываніе хлорноватистыхъ и бѣлильныхъ солей.** Э. Абеля. Часть I—теоретическая. Галле. Изд. В. Кнаппъ. 1905. Стр. 110 съ 10 черт. и 10 табл. въ текстѣ. Ц. 4 м. 50 пф. (=225 рб.).

Появленіе этой прекрасной книжки удачно дополняетъ серію вышедшихъ уже монографій по прикладной электрохимии, изъ которыхъ одна, а именно VIII выпускъ, была посвящена этому же вопросу, но разсматривала его со спеціальной технической точки зрѣнія. Настоящій выпускъ вовсе не касается техники производства и конструктивной части, а всецѣло занятъ теоретическимъ разсмотрѣніемъ электрохимическихъ процессовъ, играющихъ сколько-нибудь значительную роль при электролизѣ хлористыхъ соединений. Этому вопросу посвящено было довольно много изслѣдованій, и въ электрохимической литературѣ, какъ научной, такъ и технической, онъ занимаетъ видное мѣсто. Но, несмотря на то, что вопросъ до сихъ поръ можетъ до нѣкоторой степени считаться моднымъ, оно представляетъ еще область не вполне изученную. Электролизъ хлористыхъ металловъ есть явленіе весьма сложное, въ которомъ основные электрохимическіе процессы переплетаются съ побочными, чисто химическими реакціями, а потому процессъ электролиза можетъ разсматриваться съ различныхъ точекъ зрѣнія. Гипотезы и предположенія относительно механизма реакцій не всегда могутъ быть проверены непосредственнымъ опытомъ. Нерѣдко случайныя явленія вводили изслѣдователей въ заблужденіе относительно истиннаго значенія происходящихъ при электролизѣ процессовъ.

Но всетаки въ этой еще молодой отрасли современной электрохимии уже много сдѣлано. Хотя и возможны еще споры между представителями различныхъ теорій, хотя нѣкоторыя детали еще не освѣщены вполне и не разрѣшены, несомнѣнно, что основы теоріи электрохимии бѣлильныхъ солей начинаютъ уже опредѣляться, и поэтому весьма своевременнымъ является попытка автора настоящей монографіи свести воедино все, что сдѣлано и добыто до сихъ поръ въ этой области. И надо отдать автору справедливость, что онъ не ограничился механической сводкой существующихъ взглядовъ и теорій, а далъ продуманное, критически обоснованное изложеніе вопроса.

Монография начинается изложением энергетических основ вопроса, а именно рассмотрены с точки зрения термодинамики свойства различных ионов, играющих главную роль при электролизе, и обратимых процессов, ведущих к образованию конечных продуктов электролиза. Из последних главными, конечно, является процесс образования

аниона хлорноватисто-кислых солей  $\text{ClO}_2$ . Не касаясь механизма его, автор при помощи ряда выкладок приходит к теоретической величине напряжения на электродах в том предположении, что все процессы протекают вполне обратимо. В этом случае, т. е. при обратимости процессов, механизм реакций и не может играть какой-либо роли, так как какими бы путями ни шел процесс, лишь бы он оставался обратимым и приходил к тому же конечному пункту, изменение свободной энергии химической системы, или количество затраченной электрической энергии, всегда остается одно и то же. С такой же точки зрения рассматриваются и другие второстепенные вопросы: о переходе хлорноватисто-кислых солей в хлорноватокислые, об электролитическом выделении на аноде анионов этих солей. Эти общие соображения, касающиеся электрохимических свойств ионов и их реакций, позволяют вычислить теоретически необходимую затрату энергии при электролизе раствора хлористого натрия.

Все эти вопросы интересны и с точки зрения чистой теории; но, кроме того, рассмотрение их позволяет убедиться, что в действительности процессы идут вовсе не обратимо и вовсе не так, как бы следовало на основании теории. Опыт показывает, как это часто случается при электрохимических исследованиях, что те продукты, которые можно считать непосредственным результатом работы электрических сил, в действительности являются продуктом вторичных процессов, протекающих вдали от электродов. Таким именно и является образование иона хлорноватисто-кислой соли, поэтому теоретический расчет, данный в первых параграфах, оказывается несогласным с опытом и для электролиза раствора хлористого металла требуется гораздо больше значительная затрата работы. Поэтому можно считать, что образование хлорноватисто-кислых солей есть процесс необратимый и независимый от того, что происходит непосредственно у электродов.

Этим собственно заканчивается теория электрохимического добывания хлорноватистых солей. Дальнейшее изложение посвящено тем реакциям и процессам, которые играют отрицательную роль, уменьшая продуктивность электролиза. К таким реакциям принадлежат: восстановление хлорноватисто-кислого иона свободным водородом, распадение названного иона с образованием хлорноватокислого и выделением свободного кислорода. Действие этих процессов доступно математическому рассмотрению, и новейшие опыты, сделанные для проверки полученных формул, вполне подтверждают их. Эти параграфы в связи с теми, которые посвящены рассмотрению наилучших условий, при которых возможна наиболее продуктивная работа электрического тока и наибольшая отдача, имеют, конечно, огромный интерес и значение для техников, так как только полное знание и отчетливое понимание всех процессов, происходящих при электролизе, может послужить основанием рациональной постановки производства. В этих параграфах много таких данных, которые непосредственно могут быть применены на практике, а потому знакомство с ними в высшей степени полезно и поучительно.

Особый параграф посвящен механизму бильярдного процесса и разбору с этой точки зрения свойств бильярдных солей.

Таким образом настоящая книжка довольно обстоятельно излагает процессы образования бильярдных солей. При обилии и некоторой запутанности литературы по этому вопросу, она является хорошим подспорьем для желающего разобраться в существующих теоретических представлениях. Что такая работа прямо необходима, что она принесет большую пользу технике электролиза хлористых металлов,—этого не надо и доказывать, так как несомненно, что в этой области меньше, чем где либо, техника может обойтись без указаний теории.

Д. Р.

Technische Abhandlungen aus Wissenschaft und Praxis. Herausgegeben von Siegfried Herzog, Ingenieur. Zürich. Verlag von Alb. Raustein.

Drittes Heft **Berechnung eines Städtischen Lichtverteilungsnetzes**, von León Legros. Zurich. 1904.

**Расчет городской осветительной сети.** Леона Легро. Цюрих. 1904 года. 40 стр. в 8 д. л. Цена 1.20 м. (=60 к.).

Рекомендуемая читателю книжка в 40 страниц представляет собою сборник различных методов исчисления кабельной сети для освещения городов. В ней приведены способы Герцога и Фельдмана, Тейхмюллера, Жерара, Кеннели и др. Краткое изложение основных положений и последовательный ход расчетов делает эту книжку полезным руководством для инженеров и учащихся в высших учебных заведениях.

Л. Ш.

Sechstes Heft. **Die praktischen Methoden zur Prüfung electrischer Maschinen**, von E. Schulz.

**Практические методы для испытания электрических машин.** Е. Шульц. Цюрих. 1905 г. 58 стр. в 8 д. л. Цена 2 м. (=1 рб.).

Краткое руководство в 58 страниц убоистой печати даст читателю все необходимое в смысле описания, формулировки и решения задач, как по испытанию готовых машин подлежащих приемке, так и по определению места и качества различного рода повреждений или неисправностей. В состав содержания книги входят: 1) устройство испытательных станций; 2) исследование динамомашин постоянного тока и электродвигателей во всех проявлениях электрического и механического свойства; 3) изменения в синхронных машинах переменного тока и 4) изменения в асинхронных двигателях.

Л. Ш.

## НОВЫЯ ИЗДАНИЯ.

Профес. С. Ньюкомъ. **Астрономія для всѣхъ.** Переводъ съ англійскаго съ предисловіемъ А. Р. Орбинскаго, приватъ-доцента Императорскаго Новороссійскаго университета. Съ портретомъ автора, 64 рис. въ текстѣ и 1 отд. табл. Цена 1 руб. 50 коп. Изданіе книгоиздат. „Mathesis“. 1905. Одесса. 285 стр. въ 8 д. л.

Die Wissenschaft. Heft 5. **Die Entwicklung der elektrischen Messungen.** Von Dr. O. Frölich. Mit 124 eingedruckt. Abbildungen. 1905. Braunschweig. Druck und Verlag von Fr. Vieweg und Sohn. Preis 6 M. (=3 рб.) 192 стр. въ 8 д. л.

**Bau und Instandhaltung der Oberleitungen elektrischer Bahnen.** Von Ingenieur P. Poschenrieder. Mit 226 Text Abbildungen und 6 Tafeln. München und Berlin. Druck und Verlag von R. Oldenbourg. 1904. 200 стр. въ 8 бол. д. л. Цена М. 9 (=4 р. 50 к.).