

1000

1281

03

669

518

Изданіе Института Инженеровъ Путей Сообщенія Императора Александра I.

ИЗСЛѢДОВАНІЕ СПЛАВОВЪ МѢДИ И СУРЬМЫ

и

явленій закалки, въ нихъ наблюдаемыхъ.

838028

А. А. Байкова,

Лаборанта Института Инженеровъ Путей Сообщенія Императора Александра I.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая, № 9.

1902.

leaf

Печатано по распоряженію Института Инженеровъ Путей Сообщенія
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА І.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету запізненого транспорту
Інженерська Академія в Даврпана

Посвящается

Михаилу Николаевичу

ГЕРСЕВАНОВУ.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Настоящее изслѣдованіе посвящено вопросу, имѣющему большое практическое значеніе. Явленія закалки, наблюдаемыя до сихъ поръ почти исключительно на стали, играютъ настолько важную роль въ сталелитейномъ дѣлѣ, что не можетъ быть сомнѣнія въ необходимости детальнаго и всесторонняго изученія этого явленія. Хотя по этому вопросу существуетъ много замѣчательныхъ изслѣдованій, но всѣ они предметомъ своего изслѣдованія имѣли сталь. Это обстоятельство налагало извѣстную односторонность на самое явленіе, невольно пріучая смотрѣть на закалку, какъ на специфическое свойство стали. Поэтому, когда мнѣ пришлось подмѣтить на мѣдно-сурьмяныхъ сплавахъ явленія рекалесценціи, я считалъ полезнымъ подвергнуть ихъ подробному изученію, ожидая встрѣтить здѣсь нѣчто подобное закалкѣ стали. Когда мои первыя предположенія подтвердились, я приступилъ къ подробному изученію этихъ сплавовъ. Первое мое сообщеніе объ этомъ предметѣ было сдѣлано въ засѣданіи Р. Ф. Химическаго Общества 14 сентября 1900 г. и въ этомъ сообщеніи я высказалъ мысль, что явленія закалки мѣдно-сурьмяныхъ сплавовъ вполнѣ аналогичны тѣмъ явленіямъ, которыя наблюдаются въ стали. Строгое доказательство этого положенія потребовало значительнаго времени, чѣмъ и объясняется, что только теперь эта работа появляется въ законченномъ видѣ.

Изслѣдованіе это произведено въ Химической Лабораторіи Института Инженеровъ Путей Сообщенія. Считаю своимъ пріятнымъ долгомъ выразить благодарность Совѣту Института, оказавшему мнѣ содѣйствіе въ печатаніи этого труда. Приношу также свою благодарность К. К. Соловьеву, тогда еще студенту С.-Петербургскаго Университета, оказавшему мнѣ существенную помощь въ нѣкоторыхъ частяхъ моего изслѣдованія.

Ислѣдованіе сплавовъ мѣди и сурьмы и явленій закалки, въ нихъ наблюдаемыхъ.

I.

Подъ пменемъ закалки подразумѣваютъ такого рода явленія, когда тѣла, не измѣняя своего элементарнаго состава, пріобрѣтаютъ различныя физическія и механическія свойства въ зависимости оттого, съ какой быстротой происходило ихъ охлажденіе. Эти явленія, извѣстныя съ давнихъ поръ, до самого послѣдняго времени оставались безъ всякаго объясненія и относились къ случаямъ такъ называемой *физической изомеріи*. Вопросъ этотъ за послѣднія двадцать лѣтъ значительно выяснился и теперь можно уже съ большою вѣроятностью составить представленіе о природѣ этихъ явленій. Въ значительной мѣрѣ этому способствовало то обстоятельство, что съ наибольшей рѣзкостью явленія закалки наблюдаются въ стали—матеріалѣ, имѣющемъ громадное практическое значеніе. Всѣмъ хорошо извѣстно, какъ сильно измѣняются свойства стали въ зависимости отъ степени закалки и какъ разнообразны благодаря этому ея примѣненія. Для практики являлось чрезвычайно важнымъ овладѣть этимъ явленіемъ. Это обстоятельство и послужило поводомъ къ многочисленнымъ изслѣдованіямъ въ этой области, которыя, наконецъ, и привели къ разрѣшенію этого вопроса.

II.

Явленія закалки отпосага къ случаямъ такъ называемаго *ложнаго равновѣсія* (*faux équilibre*). Ложнымъ равновѣсіемъ называется такое состояніе матеріальной системы, когда отсутствіе какихъ-либо измѣненій или превращеній въ системѣ обуславливается не тѣмъ, что внутреннія силы системы находятся въ равновѣсіи съ внѣшними условіями, но тѣмъ что при данныхъ внѣшнихъ условіяхъ превращеніе вообще не можетъ совершаться ни въ томъ, ни въ другомъ направленіи. По отношенію къ физическимъ и химическимъ превращеніямъ такому условію удовлетво-

ряютъ всѣ системы, находящіяся *ниже температуры начала превращенія* и обладающія наибольшимъ возможнымъ запасомъ энергіи. Всѣ такія системы характеризуются тѣмъ, что перейти къ состоянію истиннаго (подвижнаго) равновѣсія онѣ могутъ только послѣ того, какъ въ нихъ произойдетъ экзотермическое превращеніе, которое происходитъ съ большей или меньшей **быстротой**, какъ только система будетъ нагрѣта до температуры начала превращенія. Перейдя такимъ образомъ черезъ эту температуру, система **становится устойчивой** и при дальнѣйшемъ нагрѣваніи она можетъ испытывать **только такія** превращенія, которыя подчиняются закону **Ле-Шателье-Вант-Гоффа**, т. е. съ повышеніемъ температуры въ ней происходятъ **процессы, идущіе съ поглощеніемъ теплоты**, а при охлажденіи — **процессы, сопровождаемые выдѣленіемъ теплоты**. При этомъ въ зависимости отъ **числа дѣйствующихъ тѣлъ** и числа фазъ, составляющихъ систему, превращеніе **можетъ** происходить или при одной опредѣленной температурѣ, **которая называется точкой перехода** (point de transition), или же въ **нѣкоторомъ промежуткѣ** температуры. Общимъ способомъ для полученія системъ въ состояніи ложнаго равновѣсія является быстрое охлажденіе. **Способъ этотъ** основывается на томъ, что *всякое превращеніе совершается не мгновенно, но съ нѣкоторой опредѣленной скоростью, достигающей иногда очень значительной величины*. Поэтому, если систему, находящуюся въ состояніи подвижнаго равновѣсія, охлаждать медленно, то превращеніе будетъ успѣвать совершаться и система достигнетъ температуры начала превращенія все время оставаясь въ состояніи устойчиваго равновѣсія. Но если охлажденіе произвести съ быстротой, превосходящей скорость превращенія, то только часть вещества успѣетъ подвергнуться превращенію и ниже температуры начала превращенія, когда превращеніе совершенно прекратилось, мы получимъ систему въ такомъ состояніи, которое отвѣчаетъ высокимъ температурамъ, а при низкихъ температурахъ будетъ находиться въ неустойчивомъ ложномъ равновѣсіи. Частнымъ случаемъ полученія системъ въ состояніи ложнаго равновѣсія является закалка въ собственномъ смыслѣ этого слова, которая отвѣчаетъ такимъ системамъ, въ которыхъ превращеніе совершается въ твердомъ состояніи.

III.

Изъ всѣхъ тѣлъ по своей способности закаливаться выдѣляются сталь и стекло. Эти два тѣла могутъ служить примѣрами двухъ родовъ закалки: закалки аморфныхъ тѣлъ и кристаллическихъ. Представляя сходство въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ эти два рода закалки существенно различаются между собой по характеру тѣхъ превращеній, которыя совершаются въ нихъ при нагрѣваніи и охлажденіи. Въ аморфныхъ тѣлахъ

въ родѣ стекла, являющихся въ сущности говоря не твердыми тѣлами, но *твердыми жидкостями*, явленія закалки сводятся главнымъ образомъ къ образованію громадныхъ силъ поверхностнаго натяженія въ томъ поверхностномъ слоѣ, который отдѣляетъ массу тѣла отъ окружающаго пространства. Благодаря значительной вязкости жидкость при быстромъ охлажденіи не успѣваетъ соответственнымъ образомъ измѣнять свой объемъ и вслѣдствіе этого между внутренними слоями и наружной оболочкой не наступаетъ надлежащаго равновѣсія. Ни при быстромъ, ни при медленномъ охлажденіи стекла въ немъ не происходитъ образованія новыхъ фазъ, здѣсь собственно говоря превращенія мы не имѣемъ. Хотя въ настоящее время мы еще не можемъ съ достаточной ясностью анализировать сущность тѣхъ явленій, которыя происходятъ при закалкѣ аморфныхъ тѣлъ, тѣмъ не менѣе можно указать характерное отличіе между закалкой аморфныхъ тѣлъ и кристаллическихъ. Какъ извѣстно, для кристаллическихъ тѣлъ существуетъ опредѣленная температура, до которой оно должно быть нагрѣто, чтобы закалка дѣйствительно произошла. Какъ бы долго ни нагрѣвалось тѣло ниже необходимой температуры, закалка не произойдетъ, и только при нагрѣваніи выше нѣкоторой температуры явленія закалки обнаруживаются въ болѣе или менѣе значительной степени въ зависимости отъ продолжительности нагрѣва, состава и т. п. Такимъ образомъ для кристаллическихъ тѣлъ закалка начинается внезапно, какъ бы скачкомъ. Совершенно обратную картину мы наблюдаемъ при закалкѣ аморфныхъ тѣлъ, напр. стекла. Тамъ степень закалки является непрерывной функціей отъ температуры нагрѣва и въ зависимости отъ нея при одномъ и томъ же составѣ можно получить любую степень закалки. Къ этому слѣдуетъ еще прибавить, что повидимому всѣ твердыя жидкости — аморфныя тѣла способны испытывать закалку, тогда какъ далеко не всѣ кристаллическія тѣла обладаютъ этихъ свойствомъ, а только такія, которыя обладаютъ вполне опредѣленными признаками.

Что касается кристаллическихъ тѣлъ, то вопросъ о ихъ закалкѣ изученъ довольно обстоятельно, главнымъ образомъ на стали. Нашими свѣдѣніями въ этомъ отношеніи мы обязаны преимущественно работамъ Чернова, Осмонда и Робертса Аустина, а систематическая сводка ихъ данныхъ и объясненіе съ точки зрѣнія правила фазъ было сдѣлано Розебумомъ ¹⁾. Эти изслѣдованія показали, что явленія закалки стали обуславливаются двумя обстоятельствами: полиморфизмомъ желѣза и образованіемъ твердыхъ растворовъ углерода въ желѣзѣ. Желѣзо существуетъ по крайпей мѣрѣ въ трехъ полиморфныхъ разновидностяхъ, которыя

¹⁾ Литература этого вопроса приведена въ статьѣ Д. Х. Завриева: *Очеркъ металлографическихъ изслѣдованій желѣза и его сплавовъ съ углеродомъ*. Журн. Р. Физ. Хим. Общ. XXXIII, 3, отд. 2, стр. 39.

Осмондъ обозначилъ буквами γ , β и α . При высокихъ температурахъ устойчиво желѣзо γ , которое при 850° Ц. переходитъ въ желѣзо β , а оно при 730° Ц. превращается въ желѣзо α . Разновидность γ образуетъ съ углеродомъ твердые растворы, которые при охлажденіи распадаются, причемъ углеродъ выдѣляется въ видѣ карбида желѣза Fe_3C , а желѣзо γ переходитъ въ желѣзо α . Эти превращенія сопровождаются выдѣленіемъ теплоты, которыми обуславливаются явленія рекалесценціи. Быстрымъ охлажденіемъ эти превращенія могутъ быть задержаны и тогда при обыкновенной температурѣ мы будемъ имѣть сталь въ томъ состояніи, которое отвѣчаетъ высокимъ температурамъ, т. е. твердые растворы углерода въ желѣзѣ γ . Такимъ образомъ въ зависимости отъ быстроты охлаждения мы будемъ имѣть или закаленную сталь—однородного строенія, или отпущенную—неоднороднаго строенія, состоящую изъ смѣси желѣза α (феррита) и карбида желѣза Fe_3C (цементита), что дѣйствительно и подтверждается микроструктурой стали.

Занимаясь изученіемъ строенія эвтектическихъ сплавовъ, я замѣтилъ, что сплавъ мѣди и сурьмы, отвѣчающій второй эвтектической точкѣ (69% Cu) представляетъ неодинаковое строеніе въ зависимости отъ быстроты охлаждения. Такъ какъ раньше уже Ле-Шателье установилъ, что эти сплавы образуютъ твердые растворы, то можно было ожидать, что здѣсь будутъ наблюдаться тѣже явленія, что и въ стали. Съ этой цѣлью я и приступилъ къ детальному изученію этихъ сплавовъ.

IV.

Первыми точными свѣдѣніями о природѣ сплавовъ мѣди и сурьмы мы обязаны Ле-Шателье. Опредѣливши кривую плавкости этихъ сплавовъ ¹⁾, онъ нашелъ, что мѣдь и сурьма образуютъ опредѣленное химическое соединеніе, отвѣчающее формулѣ $SbCu_2$. Тѣло это замѣчательно тѣмъ, что окрашено въ чистый фіолетовый цвѣтъ. Тогда же Ле-Шателье указалъ, что несовпаденіе maximum'a кривой плавкости съ составомъ, отвѣчающимъ формулѣ, слѣдуетъ приписать образованію твердыхъ растворовъ. Шарпи изслѣдовалъ микроструктуру этихъ сплавовъ ²⁾ и пришелъ къ выводамъ, согласнымъ съ данными Ле-Шателье. Микроструктурой этихъ же сплавовъ занимался нѣсколько позже Сидъ ³⁾, который при-

¹⁾ Bulletin de la Société d'Encouragement, 1895, p. 569. См. также Les alliages metalliques, Revue generale des sciences pures et appliquees, 1895, № 12. Русскій переводъ послѣдней статьи помѣщенъ въ трудахъ Металлографической Комиссіи при И. Р. Т. О.: *Материалы для изученія металлографіи, издаваемые подъ редакціей проф. Н. С. Куриакова*, Запскп И. Р. Т. О. 1902 г. февраль, стр. 39.

²⁾ Bulletin de la Société d'Encouragement, 1897, № 3. Русскій переводъ см. Зап. И. Р. Т. О. 1902 г. февраль, стр. 63.

³⁾ J. E. Stead. *Microstructure of Alloys*. Journal of the Society of Chemical industry. December 31, 1898.

шелъ къ результатамъ нѣсколько инымъ. Подтвердивши существованіе соединенія $SbCu_2$, онъ пришелъ къ заключенію, что существуетъ и другое соединеніе, которому слѣдуетъ приписать формулу $SbCu_3$. По поводу этой работы Ле-Шателье опубликовалъ свои наблюденія надъ коэффициентами расширенія ¹⁾ мѣдно-сурьмяныхъ сплавовъ и въ этой работѣ подтверждаетъ свои прежнія заключенія, объясняя данныя Стида образованіемъ однородныхъ твердыхъ растворовъ.

Въ виду такого разногласія я прежде всего приступилъ къ рѣшенію вопроса о томъ, какія соединенія образуютъ мѣдь и сурьма, и какъ эти соединенія относятся къ мѣди и сурьмѣ. Съ этой цѣлью мною были произведены наблюденія надъ температурами плавленія этихъ сплавовъ и микроструктурой, а г. Соловьевъ опредѣлилъ для нихъ съ помощью склерометра твердость и электровозбудительныя силы. Кривая плавкости была опредѣлена мною съ особенной тщательностью и на основаніи большого числа точекъ, въ виду того, что этого рода опредѣленія болѣе всего даютъ указанія на природу сплавовъ.

V.

Опредѣленіе температуръ плавленія производилось при помощи термоэлектрическаго пирометра Ле-Шателье. Градуировка этого пирометра производилась при помощи слѣдующихъ тѣлъ:

Тающій ледъ	0° Ц.
Кипѣніе воды	100° Ц.
Кипѣніе нафталина	217° Ц.
Плавленіе свинца	325° Ц.
Плавленіе цинка	420° Ц.
Кипѣніе сѣры	448° Ц.
Плавленіе алюминія	655° Ц.

Опредѣлять высшія точки не было надобности, такъ какъ высшая температура которую приходилось опредѣлять не превосходила 680° Ц. и потому при опредѣленіяхъ въ промежуткѣ отъ 655 до 680° можно было воспользоваться значеніями дѣленій для промежутка 448°—655° Ц. Такъ какъ термоэлектрическая пара пирометра Ле-Шателье, состоящая изъ платиновой и родисто-платиновой проволоки, подвергается дѣйствию расплавленныхъ металловъ, въ особенности сурьмы ²⁾, то при работахъ

¹⁾ Comptes Rendus, 1899, Juin 12, также Bul. de la Soc. d'Encour. 1899.

²⁾ Сурьма, какъ показали изслѣдованія Лямина и мои (Ж. Р. Ф. Х. О., т. 32, № 4), образуетъ съ платиной опредѣленное химическое соединеніе $PtSb_2$. Это соединеніе получается при прямомъ прикосновеніи платины съ расплавленной сурьмой и реакція совершается съ громаднымъ выдѣленіемъ теплоты.

съ нею необходимо обратить особенное вниманіе на то, чтобы конецъ пирометра былъ совершенно предохраненъ отъ соприкосновенія съ металломъ и его парами. Обыкновенно для этого пользуются тонкостѣнными глиняными цилиндриками, закрытыми съ одного конца, и конецъ пирометра вставляютъ въ такой цилиндрикъ. Этимъ, конечно, достигается полная изоляція между пирометромъ и металломъ, но вслѣдствіе того, что глина худой проводникъ теплоты, чувствительность прибора понижается. Чтобы избѣжать этого недостатка, который для моихъ цѣлей былъ особенно не желателенъ, я обматывалъ конецъ пирометра тонкимъ азбестовымъ волокномъ. Благодаря тонкой обмоткѣ пирометръ сохранялъ свою чувствительность и былъ въ тоже время настолько предохраненъ отъ дѣйствія расплавленныхъ металловъ, что даже при сурьмяныхъ сплавахъ мнѣ удавалось производить съ однимъ и тѣмъ же пирометромъ до 10 опредѣленій. Каждый разъ, какъ конецъ пирометра портился, я снова производилъ полную градуировку прибора. Такимъ образомъ мною было произведено пять серій наблюдений, при чемъ каждая серія отвѣчаетъ особой градуировкѣ пирометра.

Наблюденія надъ температурами плавленія производились въ тѣхъ же условіяхъ, въ какихъ производилась градуировка, это позволяло избѣгать различныхъ поправокъ. Въ опытахъ, требующихъ особой точности я пользовался двойнымъ пирометромъ, т. е. бралъ двѣ термо-электрическія пары и вводилъ въ цѣпь ихъ послѣдовательно, при этомъ вторые контакты и при градуировкѣ и при опредѣленіяхъ я погружалъ въ тающій снѣгъ. Чтобы показать степень чувствительности пирометра, съ которымъ я работалъ, привожу двѣ градуировки, изъ которыхъ одна для серіи А отвѣчаетъ простому пирометру, а другая—для серіи В—двойному. прибавлю еще, что шкала гальванометра каждый разъ устанавливалась такъ, чтобы при погруженіи конца пирометра въ тающій ледъ, зайчикъ стоялъ на нулѣ. Въ нижеслѣдующей таблицѣ приведены отклоненія гальванометра при погруженіи пирометра въ соотвѣтствующія ванны:

	Отклоненіе гальванометра.		
	T	A	B
Тающій ледъ.	0	0,0	0,0
Кипѣніе воды	100	7,0	14,2
Кипѣніе нафталина.	217	17,0	34,0
Плавленіе свинца	325	—	53,5
Плавленіе цинка	420	—	72,0
Кипѣніе сѣры	448	37,0	—
Плавленіе алюминія	655	61,0	121,5

Какъ видно изъ этой таблицы отклоненія при двойномъ пирометрѣ почти совершенно точно вдвое больше, чѣмъ для простого пирометра.

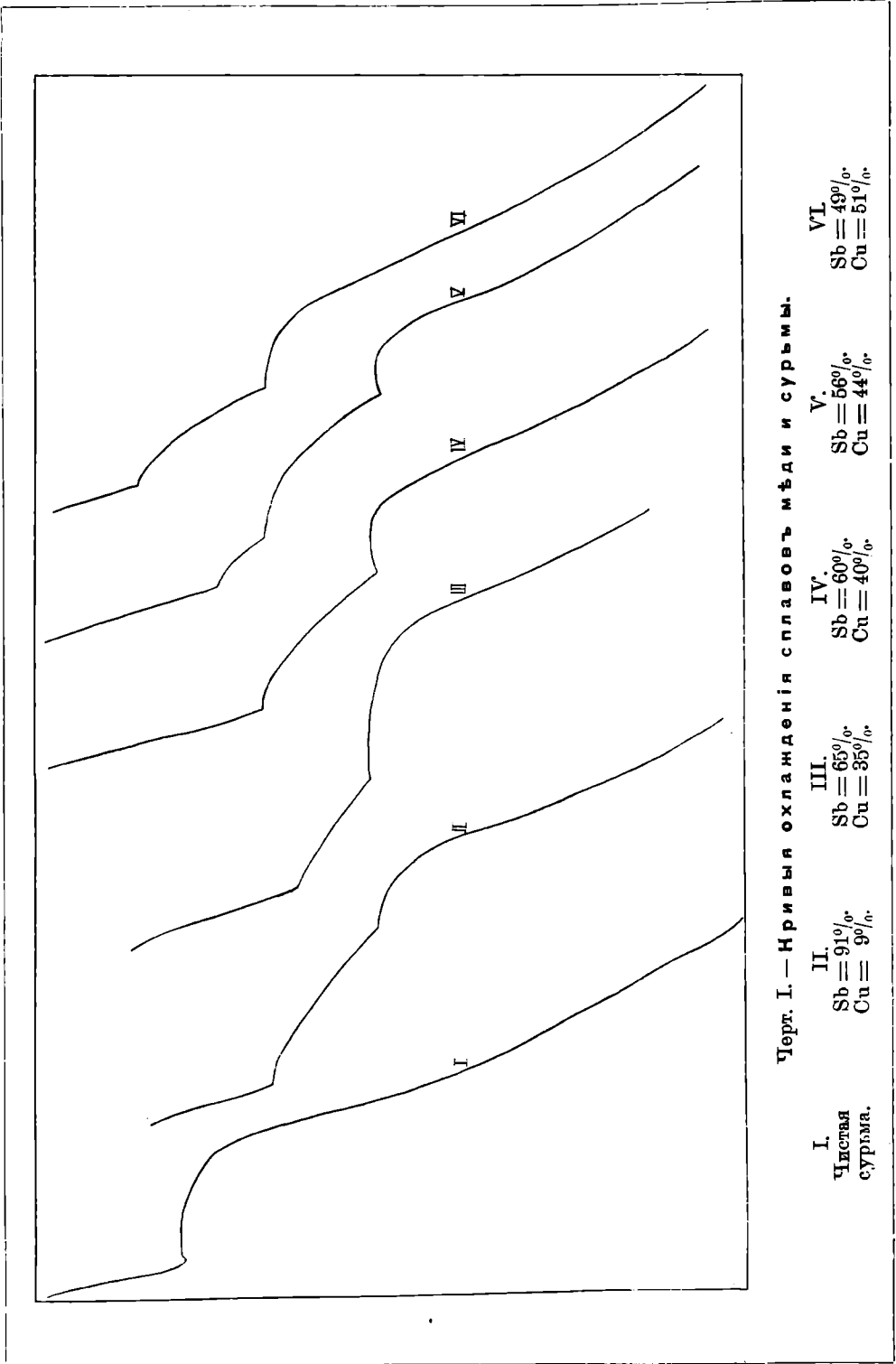
Изъ этихъ данныхъ слѣдуетъ, что при простомъ пирометрѣ одно дѣленіе отвѣчаетъ приблизительно 10° , а при двойномъ 5° , а такъ какъ отчеты можно вести съ точностью до $\frac{1}{2}$ дѣленія, то слѣдовательно при двойномъ пирометрѣ точность опредѣленія лежитъ въ предѣлахъ 2° — 3° Ц.

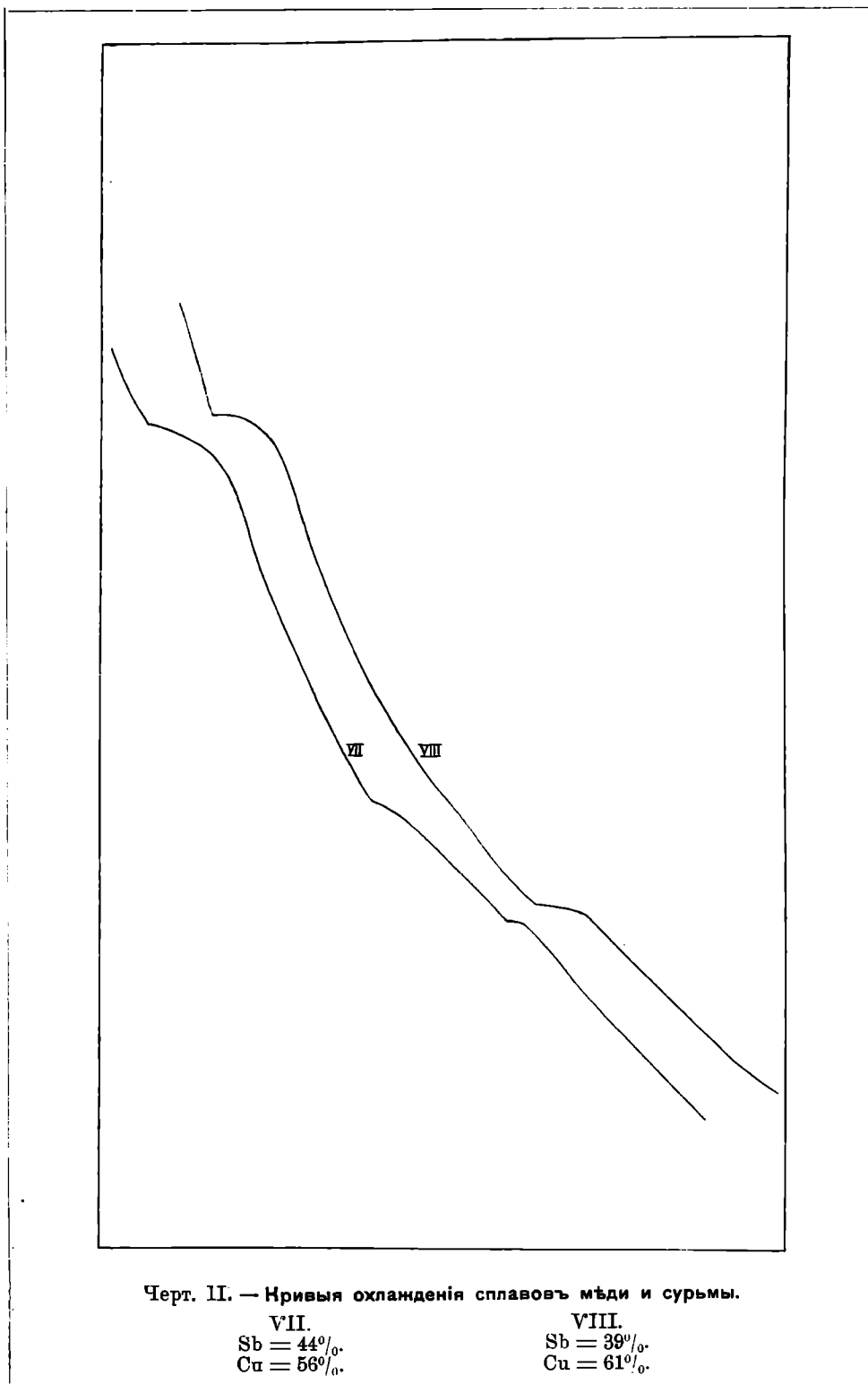
VI.

Опредѣленіе температуръ плавленія я производилъ наблюдая скорость охлажденія расплавленныхъ сплавовъ. Для этого я или пользовался метропомомъ, записывая показанія пирометра при каждомъ ударѣ метронома и затѣмъ при помощи полученныхъ данныхъ вычерчивая кривую, или же пользовался самопишущимъ приборомъ Робертса-Аустина, въ которомъ показанія пирометра автоматически вычерчиваются на фотографической пластинкѣ, движущейся съ равномерной скоростью. Оба способа приводятъ къ совершенно одинаковымъ результатамъ. Такимъ образомъ для каждаго сплава я получалъ кривую охлажденія. Самый опытъ производился слѣдующимъ образомъ: сплавъ въ количествѣ около 60 гр. помѣщался въ фарфоровой тигель и нагрѣвался до полнаго расплавленія обыкновенной газовой горѣлкой. Когда все превращалось въ жидкость, въ нее погружался конецъ пирометра, пускался въ ходъ метрономъ, затѣмъ горѣлка убиралась и при каждомъ ударѣ метронома записывалось показаніе пирометра. Опытъ заканчивался тогда, когда пирометръ указывалъ, что температура упала до 200 — 250° Ц. Если полученные данныя изобразить графически, откладывая на оси X-въ величины, пропорціональныя времени, истекшему отъ начала опыта, а по оси Y-въ величины пропорціональныя температурѣ, то кривыя будутъ представлять слѣдующій видъ: сначала кривая плавно спускается къ оси X-овъ до тѣхъ поръ пока въ сплавѣ не начнется какой-нибудь процессъ сопровождаемый выдѣленіемъ теплоты, тогда скорость охлажденія замедляется, ходъ кривой измѣняется и она становится болѣе пологой и даже горизонтальной; когда этотъ процессъ кончится, то кривая приметъ свой первоначальный ходъ. Такимъ образомъ каждому процессу, сопровождаемому выдѣленіемъ теплоты, на кривой охлажденія будетъ отвѣчать или горизонтальный участокъ или переломъ кривой. При помощи этого способа возможно слѣдить не только за затвердѣваніемъ сплава, но и за тѣми превращеніями, которыя совершаются въ отвердѣвшемъ сплавѣ. На чертежахъ I и II представлены кривыя, полученные такимъ образомъ, для нѣсколькихъ характерныхъ сплавовъ.

Приборъ Робертса-Аустина даетъ возможность непосредственно воспроизводить такіа кривыя.

Существенную часть этого прибора составляетъ гальванометръ, соединяемый съ термо-электрической парой, и часовой механизмъ, позволяю-





щій получать равнобѣрное движеніе съ различной скоростью. Гальванометръ снабженъ зеркальцомъ, отъ котораго отражается пучекъ свѣта въ видѣ тонкой свѣтлой линіи. Въ зависимости отъ силы тока зеркальцо поворачивается и свѣтлая линія перемѣщается въ горизонтальномъ направленіи вдоль узкой горизонтальной щели. Передъ этой щелью помѣщается касетъ, заряженный фотографической пластинкой, на которую свѣтлая линія гальванометра проектируется въ видѣ точки. Этотъ касетъ при помощи часового механизма равнобѣрно двигается въ вертикальномъ направленіи. Отъ совмѣстнаго движенія касета и свѣтлой линіи, отражаемой зеркальцемъ гальванометра и проектирующей на пластинкѣ въ видѣ свѣтлой точки, фотографируется кривая охлажденія. Образчики такихъ кривыхъ можно видѣть на чертежѣ III. Чтобы по этимъ кривымъ можно было опредѣлять температуры, на одной и той же пластинкѣ фотографируются кривыя охлажденія какихъ-нибудь металловъ. Я пользовался обыкновенно цинкомъ ($+20^{\circ}$), алюминіемъ (655°) и сурьмой (631°). Плавление этихъ металловъ, получающееся на пластинкѣ въ видѣ горизонтальныхъ линій, даетъ возможность вычислять температуры любой точки на получаемыхъ кривыхъ. Обыкновенно я на одной и той же пластинкѣ получалъ кривыя охлажденія для трехъ сплавовъ и двѣ кривыя плавления. Чтобы слѣдить за ходомъ опыта, въ цѣпь гальванометра прибора Робертса-Аустина я включалъ второй гальванометръ обыкновеннаго пирометра Ле-Шателье, при помощи котораго во всякій моментъ можно было слѣдить, все ли идетъ правильно.

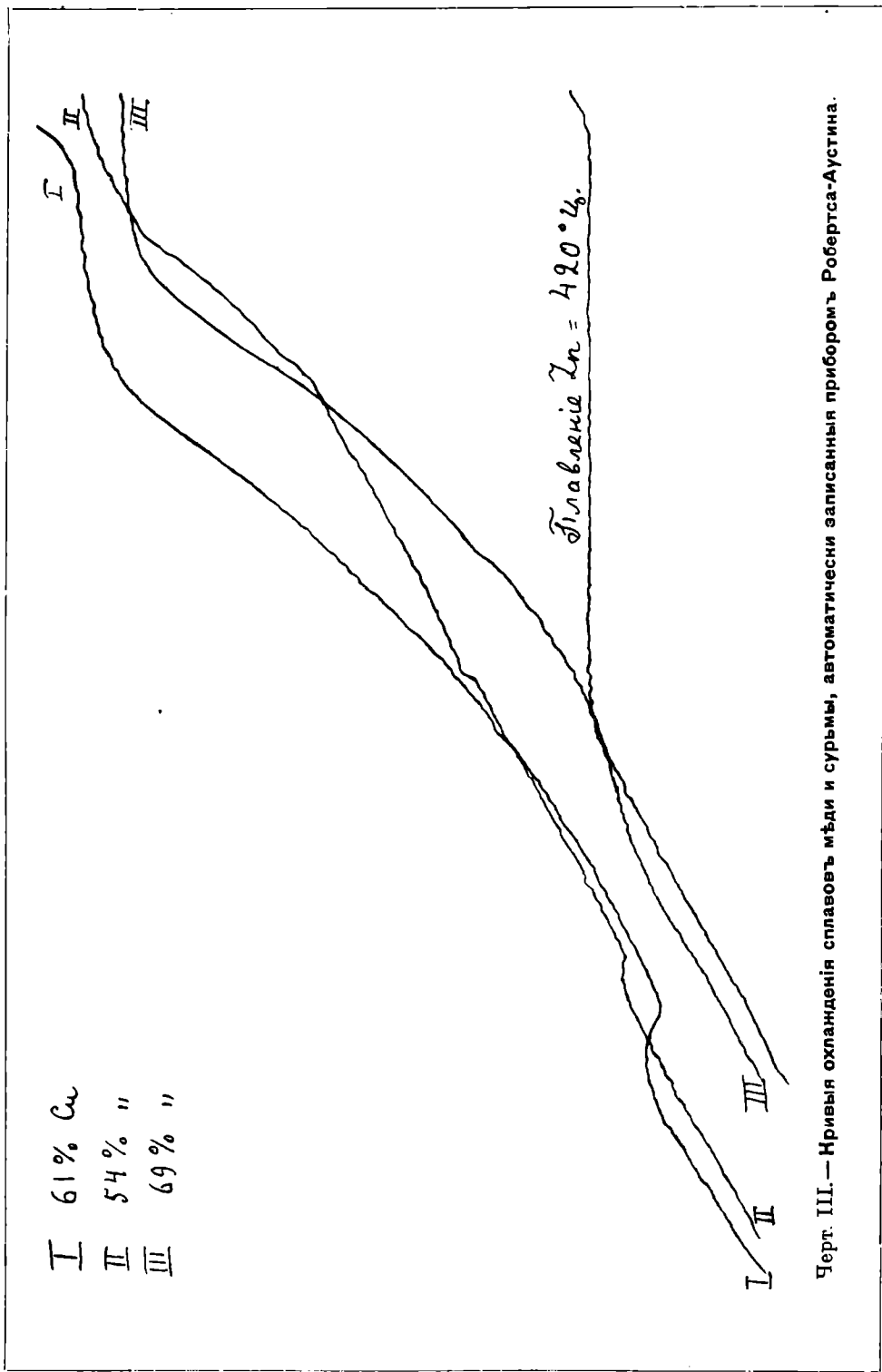
Всего мною было сдѣлано пять серій наблюденій и изъ нихъ серія E сдѣлана при помощи прибора Робертса Аустина. Съ особой тщательностью была сдѣлана серія B, произведенныя съ двойнымъ пирометромъ, ей я придаю самое большее значеніе. Серія D имѣла цѣлью наблюдать остановки въ твердомъ состояніи, поэтому при ней градуировка высшихъ температуръ не была сдѣлана и вслѣдствіе этого температуры плавления для нее не могли быть опредѣлены точно.

VII.

Ислѣдованные мною сплавы приготовлялись непосредственнымъ плавленіемъ мѣди и сурьмы въ надлежащихъ количествахъ.

Металлическую сурьму я имѣлъ двухъ родовъ: одна мною была написана отъ Мерка и отличалась большой чистотой. Анализъ ея показалъ, что въ ней не было мышьяка и содержались ничтожныя слѣды мѣди. Температура плавленія ея, опредѣленная мною съ помощью двойного пирометра, оказалась 631° Ц., что очень близко къ числу, данному Гейкокомъ и Невилемъ, которые нашли для нея $629,49^{\circ}$ Ц. ¹⁾ Удѣльный вѣсъ ея послѣ спла-

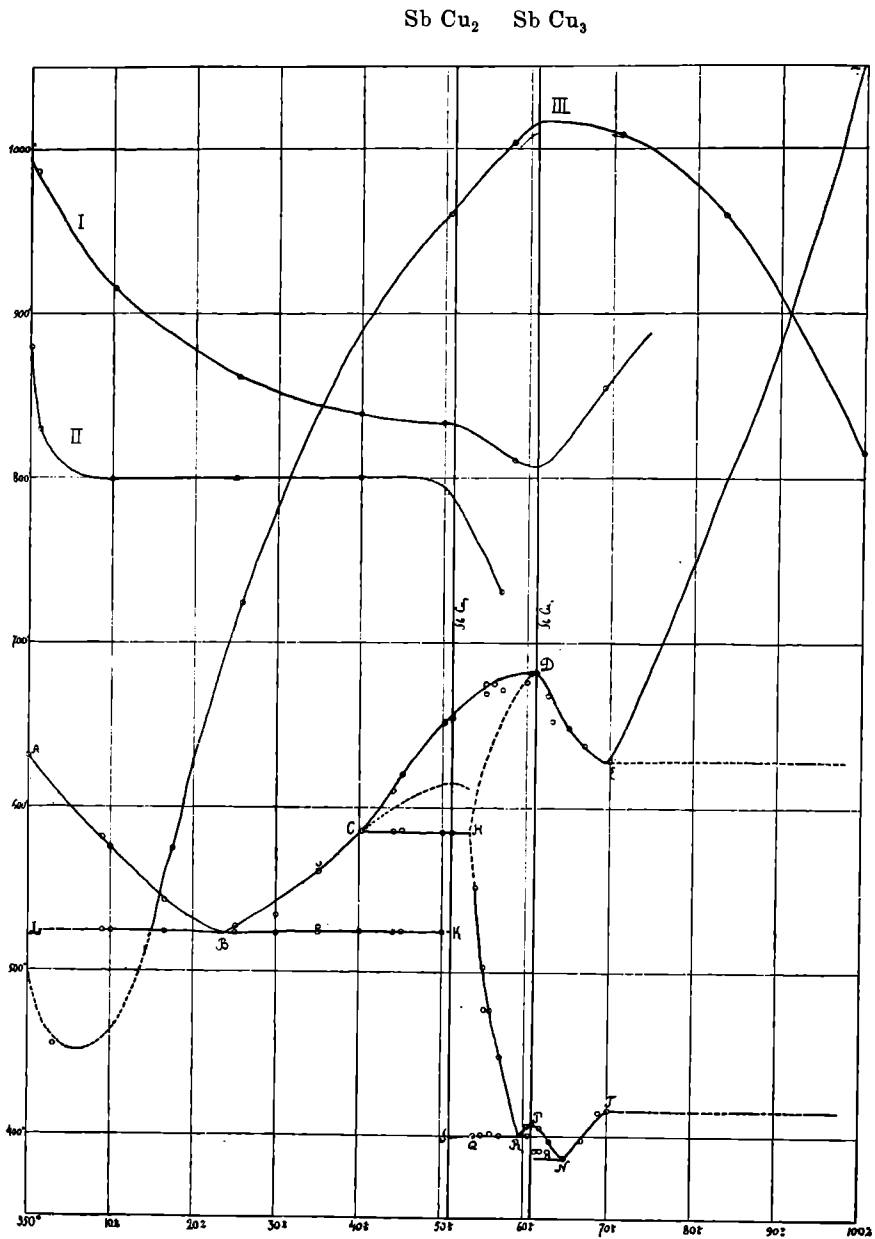
¹⁾ Philosophical Transactions of the B. S. of London v. 189 (1897 г.) p.p. 25.



Черт. III.—Кривыя охладженія сплавовъ мѣди и сурьмы, автоматически записанныя приборомъ Робертса-Аустина.

вления найденъ 6,67. Съ этой сурьмой были произведены опыты серий А и Б. Другая сурьма, менѣ чистая, была получена мною отъ Штоль и Шмита. Мѣдь бралась самая чистая въ видѣ тонкой проволоки. Сплавы приготовлялись передъ самымъ опытомъ такимъ образомъ, что сначала въ фарфоровомъ тиглѣ расплавлялась сурьма, а затѣмъ въ ней растворялось отвѣшенное количество мѣди, свернутой въ видѣ жгута. Чтобы избѣжать окисленія сверху насыпался слой толченаго древеснаго угля. Такимъ образомъ легко было получать сплавы съ содержаніемъ мѣди до 70%. Сплавовъ болѣе богатыхъ мѣдью я не изслѣдовалъ, такъ какъ они для моей цѣли не представляли интереса. Какъ показало особое изслѣдованіе, составъ сплава при такомъ способѣ приготовления вслѣдствіе окисленія и летучести сурьмы измѣняется не болѣе, чѣмъ на 0,5%. Такимъ образомъ при наиболѣе точныхъ опредѣленіяхъ (серія В) ошибка въ опредѣленіи состава достигаетъ 0,5%, а ошибка въ опредѣленіи температуры достигаетъ 2°—3°. Результаты, полученные при помощи такихъ опредѣленій, представлены въ нижеслѣдующей таблицѣ I. Въ этой таблицѣ для каждаго сплава даны двѣ остановки пирометра, послѣдніе два столбца, напечатанные жирнымъ шрифтомъ, *относятся къ твердому состоянію*, т. е. тогда, когда сплавъ уже вполне отвердѣлъ.

Если эти данныя изобразить графически, откладывая по оси абсциссъ процентный составъ сплавовъ, а по оси ординатъ температуры, затвердѣванія, то мы получимъ діаграмму плавкости (чертежъ IV*), которая представлена кривой ABCDEF съ дополнительными прямыми LBK и CH. Какъ видно изъ этой діаграммы, кривая состоитъ изъ четырехъ отдѣльныхъ вѣтвей, пересѣкающихся въ особыхъ точкахъ. Каждая вѣтвь отвѣчаетъ выдѣленію изъ жидкаго раствора особой твердой фазы. Чтобы дать себѣ отчетъ, каковы эти твердыя фазы, обратимся къ анализу кривой. Прежде всего замѣтимъ, что относительной максимумъ на этой кривой отвѣчаетъ сплаву содержащему 61% мѣди. Этотъ составъ очень точно отвѣчаетъ формулѣ $SbCu_3$, которая требуетъ 61,2% Cu. Поэтому можно заключить, что сплавъ такого состава представляетъ однородное тѣло — опредѣленное химическое соединеніе $SbCu_3$. Сильнымъ доводомъ въ пользу существованія этого соединенія является то обстоятельство, что оно отвѣчаетъ водородистому соединенію SbH_3 , которое согласно періодической системѣ является типичнымъ для сурьмы. Если принять во вниманіе, что въ періодической системѣ элементовъ мѣдь находится въ числѣ элементовъ первой группы, то существованіе соединенія $SbCu_3$ является вполне законнымъ. Въ обѣ стороны отъ этого соединенія кривая понижается, т. е. избытокъ и сурьмы и мѣди понижаетъ температуры затвердѣванія, подобно тому, какъ это наблюдается и въ соляныхъ растворахъ. Такимъ образомъ вѣтвь CDE отвѣчаетъ выдѣленію въ качествѣ твердой фазы соединенія $SbCu_3$. Вос-



Черт. IV. — Диаграмма физических свойств сплавов мѣди и сурьмы.

- ABCDE — кривая температуръ плавленія.
 HRPNT — " закалки.
 I " твердости.
 II " электровозбудительной силы.
 III " коэффициентовъ расширенія.

ТАБЛИЦА I.

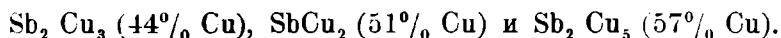
Температуры остановокъ, наблюдаемыхъ при охлажденіи сплавовъ мѣди и сурьмы.

Sb ⁰ / ₀	Cu ⁰ / ₀	T ₁	T ₂	T ₃	Твердое состояніе.	
С е р і я А.						
100	—	629	—	—	—	—
90	10	576,5	—	524,5	—	—
75	25	527	—	524,5	—	—
65	35	562,5	—	524,5	—	—
55	45	619,5	586	524,5	—	—
50	50	652,5	586	524,5	—	—
45	55	676	—	—	467,5	410,5
40	60	676	—	—	—	409,5
38	62	667	—	—	—	401
33	65	648	—	—	—	401
С е р і я В.						
100	—	631	—	—	—	—
91	9	582,5	—	524,5	—	—
83,5	16,5	543,5	—	524,5	—	—
65	35	567	—	528,5	—	—
60	40	586	—	526,5	—	—
56	44	610	585,5	525,5	—	—
49	51	652,5	584	—	—	—
44	56	676	—	—	467	402
39,5	60,5	681	—	—	406	401
39	61	681	—	—	407	—
С е р і я С.						
70	30	534	—	522,5	—	—
30	70	628	—	—	—	401
С е р і я Д.						
45	55	668	—	—	503	401
43	57	672	—	—	448	401
38	62	667	—	—	405	392
37	63	652	—	—	397	388
35	65	648	—	—	—	388
33	67	638	—	—	—	397
С е р і я Е.						
46	54	"	—	—	552	400
39,5	60,5	"	—	—	—	397
39	61	"	—	—	—	391
38,5	61,5	"	—	—	—	391
37	63	"	—	—	—	391
35	65	"	—	—	—	386
31	69	"	—	—	—	417
30	70	"	—	—	—	415

ходящая вѣтвь EF оканчивается у чистой мѣди — она отвѣчаетъ выдѣленію изъ раствора кристалловъ мѣди, точка E есть эвтектическая точка, т. е. тогда одновременно выдѣляются и кристаллы мѣди и кристаллы $SbCu_3$. Вѣтвь CB указываетъ, что существуетъ еще и второе соединеніе мѣди съ сурьмой; предѣлы ¹⁾ для опредѣленія состава этого соединенія даются переходной точкой C и точкой D; такъ какъ точка C лежитъ при 40% Cu, а точка D при 61%, то слѣдовательно въ этомъ соединеніи содержаніе мѣди X должно удовлетворять неравенству:

$$40\% \leq X < 61\%.$$

Простѣйшія формулы, удовлетворяющія этому условію будутъ слѣдующія:



Чтобы рѣшить, какой изъ этихъ формулъ отдать предпочтеніе, обратимся къ разсмотрѣнію полнаго процесса затвердѣванія. Какъ видно изъ діаграммы плавкости, сплавы въ предѣлахъ отъ 40% Cu до 61% Cu разбиваются на три группы; сплавы отъ 61% Cu до 54% Cu имѣютъ только одну остановку, температура которой измѣняется въ зависимости отъ состава; сплавы съ содержаніемъ мѣди отъ 54 до 51% даютъ двѣ остановки: одну измѣняющуюся съ составомъ, другую постоянную (прямая CH) при 586° Ц., наконецъ, сплавы съ содержаніемъ мѣди отъ 51 до 40%, даютъ три остановки: одну измѣняющуюся съ составомъ, а другія—постоянныя при 586° Ц. (прямая CH) и при 524° Ц. (прямая BK). Значеніе этихъ постоянныхъ остановокъ опредѣлить нетрудно: остановка при 586° Ц. есть точка перехода, т. е. то температура, ниже которой соединеніе $SbCu_3$ превращается въ другое соединеніе, только при этой температурѣ оба соединенія могутъ находиться въ равновѣсїи въ присутствїи жидкой фазы, такъ какъ при этомъ мы имѣемъ два вещества и четыре фазы: двѣ твердыхъ, одну жидкую и одну парообразную. Поэтому, согласно правилу фазъ, независимо отъ состава исходнаго раствора, этотъ переходъ долженъ происходить всегда при одной и той же температурѣ (конечно при постоянномъ давленіи), что и имѣетъ мѣсто для даннаго случая при 586° Ц. Вторая постоянная остановка при 524° Ц. отвѣчаетъ затвердѣванію эвтектической смѣси. Компонентами этой смѣси должны быть тѣ вещества, выдѣленію которыхъ въ качествѣ твердыхъ фазъ отвѣчаютъ вѣтви AB и BC. Вѣтвь AB начинается отъ чистой сурьмы, и отвѣчаетъ тѣмъ сплавамъ, при затвердѣваніи которыхъ начинаютъ выдѣляться

¹⁾ См. Н. С. Курнаковъ, „О взаимныхъ соединеніяхъ металловъ“. Ж. Р. Ф. Х. О. 1899 г. Также его же: „Нахожденіе состава опредѣленныхъ соединеній по методу плавкости“, З. И. Р. Т. О., 1901 г.

138078

кристаллы сурьмы, т. е. тѣмъ сплавамъ, въ которыхъ сурьма является растворителемъ. Вѣтвь BC отвѣчаетъ тѣмъ сплавамъ, затвердѣваніе которыхъ начинается съ выдѣленія кристалловъ второго соединенія, которое слѣдовательно въ этомъ случаѣ является растворителемъ. Обѣ вѣтви пересѣкаются въ эвтектической точкѣ В, когда оба тѣла начинаютъ кристаллизоваться одновременно и когда весь сплавъ затвердѣваетъ при постоянной температурѣ. **Слѣдовательно, компонентами эвтектической смѣси, затвердѣвающей при 524° Ц., являются сурьма и второе соединеніе.** Поэтому при затвердѣваніи **мѣдно-сурьмяныхъ сплавовъ** остановка при 524° Ц. возможно только до тѣхъ поръ, **пока будетъ избытокъ свободной, несоединенной сурьмы.** Какъ видно изъ **диаграммы** остановка при 524° Ц. наблюдается при 50% Cu, и исчезаетъ при 51% Cu. Слѣдовательно свободной сурьмы не существуетъ, лишь только **мы подходимъ** къ сплавамъ съ 51% Cu. А такъ какъ соединеніе $SbCu_2$ **какъ разъ и требуетъ** 51,2% Cu, то отсюда вытекаетъ, что составъ второго **соединенія** выражается формулой $SbCu_2$. Ниже мы найдемъ и другія **доказательства въ пользу** существованія этого соединенія, теперь же я замѣчу, **что это соединеніе можетъ быть** получено въ хорошихъ **фіолетовыхъ кристаллахъ, анализъ** которымъ вполне подтверждаетъ формулу $SbCu_2$.

Чтобы закончить разсмотрѣніе **диаграммы плавкости,** намъ еще нужно разсмотрѣть сплавы отъ 54 до 69% Cu. Всѣ эти сплавы даютъ при затвердѣваніи только одну остановку, которая отвѣчаетъ не постоянной температурѣ, но нѣкоторому небольшому промежутку температуры. Это указываетъ на образованіе твердыхъ растворовъ, т. е. кристаллическихъ твердыхъ тѣлъ переменнаго состава, такъ называемыхъ смѣшанныхъ кристалловъ.

Такимъ образомъ сплавы въ этой области при затвердѣваніи выдѣляютъ не чистые кристаллы $SbCu_3$, по кристаллы этого соединенія содержащія или сурьму или мѣдь, смотря по тому, что находится въ избыткѣ. Теорія показываетъ, что затвердѣваніе въ этихъ случаяхъ не должно происходить строго при одной и той же температурѣ, но будетъ совершаться въ нѣкоторомъ промежуткѣ температуръ, величина котораго опредѣляется первоначальнымъ составомъ жидкаго сплава. Въ этомъ случаѣ мы имѣемъ явленіе распредѣленія какого-нибудь тѣла (сурьмы или мѣди въ данномъ примѣрѣ) между жидкой и твердой фазой. Если бы коэффициентъ распредѣленія былъ равенъ единицѣ, т. е. выдѣляющаяся твердая фаза имѣла бы ту же концентрацію, что и жидкая, то выпаденіе ея не измѣняло бы состава жидкой фазы и затвердѣваніе происходило бы при постоянной температурѣ. Но такъ какъ вообще коэффициентъ распредѣленія не равенъ единицѣ, и весьма вѣроятно, что растворимость въ твердой фазѣ менѣе, чѣмъ въ жидкой, то выпаденіе первыхъ кристалловъ должно

измѣнить составъ жидкой фазы и вслѣдствіе этого дальнѣйшее выпаденіе кристалловъ должно совершаться при пониженіи температуры. Этимъ и объясняется, почему затвердѣваніе твердыхъ растворовъ сопровождается пониженіемъ температуры. Только въ томъ случаѣ, когда составъ сплава точно отвѣчаетъ опредѣленному соединенію, затвердѣваніе происходитъ при постоянной температурѣ. Дѣйствительно, мнѣ приходилось наблюдать, что чѣмъ ближе сплавъ приближается къ составу 61% Cu, тѣмъ горизонтальнѣе получается на кривыхъ охлажденія участокъ, отвѣчающій затвердѣванію сплава. Что касается предѣльной концентраціи твердаго раствора, то оно опредѣляется растворимостью даннаго тѣла въ кристаллахъ растворителя. Если при температурѣ ближайшей переходной точки (въ присутствіи жидкой фазы) растворимость въ твердомъ тѣлѣ еще не достигла насыщенія, то мы будемъ имѣть образованіе твердыхъ растворовъ вплоть до точки перехода и граница для образованія твердыхъ растворовъ будемъ опредѣляться растворимостью твердаго тѣла въ жидкой фазѣ, такой случай имѣетъ мѣсто, повидимому, на вѣтви DE, т. е. въ тѣхъ сплавахъ, гдѣ въ избыткѣ находится мѣдь. Здѣсь твердые растворы образуются непрерывно вплоть до точки E (69% Cu), т. е. до того момента, когда изъ жидкой фазы начинаютъ выдѣляться кристаллы мѣди, когда слѣдовательно въ жидкомъ растворѣ мѣдь начинаетъ играть роль растворителя. Если же растворимость въ твердой фазѣ достигаетъ насыщенія ранѣе, чѣмъ жидкій сплавъ достигнетъ переходной точки, то предѣльная концентрація твердыхъ растворовъ опредѣлится пересѣченіемъ кривой растворимости въ твердой фазѣ и линіей температуры перехода. Въ этомъ случаѣ жидкая фаза, дойдя до состава переходной точки, станетъ выдѣлять при постоянной температурѣ твердый растворъ предѣльной концентраціи и твердую фазу отвѣчающую переходной точкѣ. Такой случай имѣетъ мѣсто на вѣтви CD, отвѣчающей выпаденію въ качествѣ твердой фазы твердыхъ растворовъ $SbCu_3$ съ избыткомъ сурьмы.

VIII.

Такимъ образомъ, на основаніи данныхъ плавкости слѣдуетъ придти къ заключенію, что мѣдь и сурьма образуютъ два соединенія: $SbCu_2$ и $SbCu_3$. Эти два тѣла рѣзко различаются даже по своимъ внѣшнимъ свойствамъ. Если сплавлять сурьму и мѣдь въ количествахъ, отвѣчающихъ этимъ соединеніямъ, т. е. съ 51,2% и 61,2% мѣди, то первый сплавъ представляетъ ясный фіолетовый цвѣтъ, а второй имѣетъ бѣлый съ замѣтнымъ зеленоватымъ оттѣнкомъ. Всѣ сплавы, содержащіе мѣди менѣе 51% имѣютъ также замѣтный фіолетовый цвѣтъ, который все ослабѣваетъ по мѣрѣ того, какъ количество мѣди убываетъ. Желтый оттѣнокъ,

свойственный мѣди, начинаетъ появляться только въ сплавахъ, содержащихъ болѣе 70% Cu.

Отношеніе между этими двумя соединеніями такое же, какъ между какой-нибудь безводной солью и ея кристалло-гидратомъ, причемъ роль безводной соли играетъ $SbCu_3$. Это соединеніе и слѣдуетъ считать типичнымъ.

Соединеніе $SbCu_2$ характеризуется тѣмъ, что плавится съ разложеніемъ, подобно напр. $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$. Точка перехода при $586^\circ C$. и есть то температура, при которой разлагается $SbCu_2$. Такимъ образомъ это тѣло можетъ существовать только ниже $586^\circ C$. Поэтому тѣ сплавы, которые начинаютъ затвердѣвать выше этой температуры, всегда выдѣляютъ кристаллы $SbCu_2$, совершенно также, какъ растворы глауберовой соли выше $34^\circ C$. выдѣляютъ кристаллы безводной соли.

Поэтому образованіе соединенія $SbCu_2$ мы должны разсматривать, какъ результатъ присоединенія сурьмы къ $SbCu_3$:



Важнымъ слѣдствіемъ изъ этого обстоятельства является то, что въ твердыхъ растворахъ, образуемыхъ сплавами въ предѣлахъ отъ 54 до 61% мѣди, раствореннымъ тѣломъ является не $SbCu_2$, но сама сурьма. Это слѣдуетъ изъ того, что выпаденіе твердыхъ растворовъ происходитъ выше $586^\circ C$., т. е. тогда, когда соединеніе $SbCu_2$ уже не существуетъ.

Такимъ образомъ, кромѣ чисто-виѣшнихъ признаковъ, соединенія $SbCu_3$ и $SbCu_2$ могутъ быть охарактеризованы слѣдующимъ образомъ: соединенію $SbCu_3$ отвѣчаетъ максимумъ на кривой плавленія и плавится при $681^\circ C$., съ избыткомъ сурьмы и мѣди оно образуетъ твердые растворы, лежащіе въ предѣлахъ отъ 54 до 69% мѣди. Соединеніе это получается при прямомъ сплавленіи мѣди съ сурьмой и содержитъ 61,2% Cu.

Соединеніе $SbCu_2$ фіолетоваго цвѣта получается путемъ присоединенія сурьмы къ $SbCu_3$, плавится съ разложеніемъ при $586^\circ C$., и можетъ существовать только ниже этой температуры. Оно содержитъ 51,2% Cu.

Этими свойствами мѣдно-сурьмяныхъ соединеній опредѣляется ходъ кривой плавкости. Сплавы, содержащіе отъ 0 до 24% Cu (вѣтвь АВ), состоятъ изъ свободной сурьмы и соединенія $SbCu_2$. Въ этихъ сплавахъ сурьма играетъ роль растворителя и при замерзаніи она начинаетъ выдѣляться въ твердомъ видѣ. Температура начала затвердѣванія сплава измѣняется въ зависимости отъ состава, она тѣмъ ниже, чѣмъ болѣе сплавъ содержитъ мѣди. По мѣрѣ выпаденія кристалловъ сурьмы, жидкій сплавъ все болѣе и болѣе обогащается мѣдью и температура затвердѣванія все падаетъ до тѣхъ поръ, пока жидкій сплавъ не достигнетъ концентрации точки В (24% Cu), тогда одновременно съ кристаллами сурьмы

начинают выдѣляться кристаллы SbCu_2 , и такъ какъ вслѣдствіе одно-
временнаго выдѣленія сурьмы и SbCu_2 , составъ жидкой фазы не мѣ-
няется, то затвердѣваніе идетъ до конца при постоянной температурѣ.
Сообразно съ этимъ на кривыхъ охлажденія наблюдаются двѣ остановки:
одна переменная, другая постоянная при 524°Ц. , какъ это можно ви-
дѣть на черт. 1, кривая II. Сплавы съ содержаніемъ мѣди отъ 24 до
 40% (вѣтвь BC) состоятъ также изъ сурьмы и SbCu_2 , но въ нихъ роль
растворителя играетъ соединеніе SbCu_2 , выдѣленіемъ кристалловъ кото-
раго начинается затвердѣваніе сплавовъ, въ остальномъ явленіе совер-
шается также, какъ и на вѣтви AB, т. е. по мѣрѣ выпаденія кристал-
ловъ SbCu_2 , жидкая фаза обогащается сурьмой и температура все время
понижается, пока жидкая фаза не достигнетъ состава точки B, тогда
одновременно съ кристаллами SbCu_2 начинаютъ выдѣляться и кристаллы
сурьмы и дальнѣйшее затвердѣваніе идетъ уже при постоянной темпе-
ратурѣ. Поэтому кривыя охлажденія для этихъ сплавовъ такія же, какъ
и у предыдущихъ (черт. 1, кривая III). Такимъ образомъ всѣ сплавы
отъ 0 до 40% мѣди состоятъ изъ сурьмы и SbCu_2 , причемъ на вѣтви AB
растворителемъ служить сурьма, а на вѣтви BC— SbCu_2 . Изъ всѣхъ
этихъ сплавовъ при постоянной температурѣ затвердѣваетъ только одинъ
сплавъ, отвѣчающій точкѣ B (24% Cu), и для него кривая охлажденія
получается такая же какъ и для однороднаго тѣла, напр. чистой сурьмы
(черт. 1, кривая I), т. е. даетъ только одну остановку. Эта точка, из-
вѣстная подъ названіемъ эвтектической, отвѣчаетъ такому сплаву, въ ко-
торомъ при затвердѣваніи оба тѣла начинаютъ кристаллизоваться одно-
временно, и лежитъ при 24% Cu. Всѣ сплавы при затвердѣваніи при-
ходятъ къ этому сплаву и такимъ образомъ, имѣя начало затвердѣванія
при различныхъ температурахъ, оканчиваютъ затвердѣваніе при одной и
той же температурѣ 524°Ц. На діаграммѣ плавкости (черт. IV) это
обозначено горизонтальной линіей LBK проходящей черезъ точку B. Что
касается вѣтви CD, то здѣсь затвердѣваніе сплавовъ идетъ различно
въ зависимости оттого, на какой части вѣтви находится сплавъ. Сплавъ
отвѣчающій точки D (61% Cu) затвердѣваетъ весь при постоянной
температурѣ 681°Ц. (черт. II, кривая VIII) такъ какъ онъ отвѣчаетъ
чистому соединенію SbCu_2 . Сплавы отъ 61% до 54% Cu даютъ также
одну остановку, но при температурѣ нѣсколько измѣняющей, при чемъ
промежутокъ температуры, въ которомъ происходитъ затвердѣваніе, тѣмъ
шире, чѣмъ дальше удаляется составъ сплава отъ точки D. вспомога-
тельная кривая DH опредѣляетъ температурныя границы для этихъ
сплавовъ начала и конца затвердѣванія. Твердый растворъ предѣльной
концентраціи по моимъ наблюденіямъ отвѣчаетъ сплаву съ $53,5\%$ Cu,
потому что при 54% Cu еще не наблюдается остановка при 586°Ц.

которая при 53% Cu уже замѣтна. Кривая плавленія въ этой части (отъ 61% до 53,5% Cu) спускается очень медленно, что обыкновенно наблюдается при образованіи твердыхъ растворовъ. На кривой охлажденія наблюдается только одна остановка (черт. II, кривая VII). Отвердѣвшіе сплавы въ этой области, представляя одну и ту же фазу— твердый растворъ Sb въ $SbCu_3$ — непрерывно измѣняютъ свой составъ въ нѣкоторыхъ предѣлахъ. Сплавы отъ 53,5 до 51% Cu уже даютъ двѣ остановки: одну переменную, другую постоянную при 586° Ц., отвѣчающую выдѣленію второго соединенія $SbCu_2$. Такимъ образомъ сплавы въ этой области будутъ состоять изъ твердыхъ растворовъ сурьмы въ $SbCu_3$ и $SbCu_2$. Чѣмъ ближе составъ сплава приближается къ 51% Cu, тѣмъ болѣе въ немъ будетъ $SbCu_2$ и при 51% Cu онъ нацѣло состоитъ изъ этого соединенія. Кривая охлажденія для этого сплава (черт. I, кривая VI) даетъ двѣ остановки: первая отвѣчаетъ температурѣ выпаденія первыхъ кристалловъ твердаго раствора сурьмы въ $SbCu_3$, вторая при 586° Ц. указываетъ температуру, при которой твердый растворъ нацѣло превращается въ соединеніе $SbCu_2$. Наконецъ, сплавы отъ 51 до 40% Cu даютъ три остановки (черт. I, кривая V): первая отвѣчаетъ выпаденію кристалловъ твердаго раствора, вторая переходу ихъ въ $SbCu_2$, а третья при 524° Ц. указываетъ, что вмѣстѣ съ кристаллами $SbCu_2$ начинаютъ выдѣляться кристаллы свободной сурьмы, находящейся въ избыткѣ.

На вѣтви DE наблюдается также только одна остановка, указывающаяся, что и здѣсь происходитъ образованіе твердыхъ растворовъ.

На вѣтви EI наблюдаются двѣ остановки: первая—отвѣчающая выпаденію первыхъ кристалловъ мѣди, вторая—затвердѣванію эвтектической смѣси въ точкѣ E.

Я съ нѣкоторою подробностью остановился на явленіяхъ затвердѣванія сплавовъ, чтобы показать, какія полезныя указанія даетъ методъ кривыхъ охлажденія для сужденія о природѣ сплавовъ. Въ заключеніе привожу тѣ данныя, при помощи которыхъ эти кривыя были мною получены. Я выбралъ только типическіе случаи, графическое изображеніе которыхъ дано на чертежахъ I и II. Представленные здѣсь числа суть непосредственныя показанія пирометра, записанныя черезъ равныя промежутки времени.

		Чистая сурьма			Серія В.	
		50 гр.				
		(чер. I, кр. I)				
134	126	117	116,5	116,5	116	115,5
132	123	116	116,5	116,5	116	115
130	120	116,5	116,5	116	116	115
128	118	116,5	116,5	116	115,5	115

114,5	105	86	73	63	53	43,5
114	104	85	72	62	52	42,5
114	102	84	71	61	51	42
113,5	100	82	70	60	50	41
113	98	81	69	59	49,5	40
113	96	80	68	58	48,5	39,5
112	94	79	67	57	48	39
111	92	78	66	56	47	
110	90	77	66,5	55	46	
109	89	75	65	54	45	
108	88	74	64	53,5	44,5	

Sb = 50 гр. = 91%

Cu = 5 гр. = 9%

(чер. I, кр. II)

120	104,5	99	93,5	78	59	45
119	104,5	98	93	76	58	44,5
118	104	97,8	93	75	57	43,5
116	103,5	97,2	92,5	74	56	43
114	103	97	92	73	55	42,5
112	103	96,5	91,5	72	54	42
110	102,8	96	91	70	53	41,5
109	102,5	95,5	90,5	69	52	41
107	102	95	90	68	51	40,5
106,5	101,8	94,5	89	67	50,5	40
106,2	101,5	94	88	66	50	39,5
106	101	94	87	65	49	39
106	100,8	94	85	64	48	38,5
106	100,5	94	83	63	47,5	38
105,5	100	93,5	82	62	47	
105	99,5	93,5	80	61	46	
105	99	93,5	79	60	45,5	

Sb = 39 гр. = 65%

Cu = 21 гр. = 35%

(чер. I, кр. III)

122	117	111	105	102,5	101,5	100,2
121	116	110	103,5	102	101	100
120	114	108	103	102	101	99,5
119	113	106	102,8	101,5	100,5	99,2

99	95	95	94	92	83	72
98,5	95	95	94	91,5	82	71
98,2	95	95	94	91	81	70
98	95	94,8	93,8	90,5	80	69
97,5	95	94,8	93,5	90	79	68
97	95	94,5	93,5	89	77	67
96,5	95	94,5	93	88	76	66
96,2	95	94,2	93	87	75	65
96	95	94,2	92,8	85,5	74	64
95,5	95	94,2	92,2	84	73	63
95	95					

Sb = 36 гр. = 60%

Cu = 24 гр. = 40%

(чер. I, кр. IV)

134	107	102,8	94,5	94	81	65,5
132	107	102	94	93,8	79,5	64,5
131	107	101,8	94,2	93	78,5	63,5
129	106,5	101	94,2	92,5	77	63
127	106,5	100,5	94,5	92	76	62
125	106,5	100	94,5	91	75	61
123	106	99,5	94,5	90	74	60
121	106	99	94,5	89	73	59
119	105,5	98,5	94,5	88	72	58
116	105	98	94,5	87	71	57,5
114	104,5	97,5	94,5	86	70	57
112	104,2	97	94,5	85	69	56
110	104	96	94,5	84	68	
109	103,2	95,5	94,2	83	67	
107	103	95	94	82	66	

Sb = 36 гр. = 56%

Cu = 27,5 гр. = 44%

(чер. I, кр. V)

135	126	116	111	108	106,8	105,8
134	125	115	111	107,5	106,5	105,5
132	123	113	110,5	107	106,5	105,2
131	121	112	110	106,8	106,2	105
129	120	111,8	109,5	106,8	101,1	105
128	118	111,5	108,8	106,8	106	104,5

104,2	96,5	93,5	81	68,5	57,5	50,5
103,8	96	93	80	67,5	57	50
103,2	95	92,5	79	67	57	49,5
103	94	92	78,5	66	56,5	49
102,5	93,5	91	77	65	56	48,5
102	94	90,5	76,5	64,5	55	48
101	94	90	75,5	64	54,5	47,5
100,5	94	89	74,5	63	54	47
100	94,2	88	73,5	62	53,5	46,5
99,5	94,2	87	72,5	61,5	53	46
99	94,2	86	71,5	61	52,5	45,5
98,5	94	84,5	70,5	60	52	45
98	94	83	70	59,6	51,5	44,5
97	94	82	69	58	51	44

Sb = 29,5 гр. = 49⁰/₁₀₀

Cu = 30,5 гр. = 51⁰/₁₀₀

(чер. I, кр. VI)

136	117,5	106,2	99	79,5	63,5	52,5
134	117	106	98	76	63	51,5
133	116,5	106	97	78	62,5	51
131	116	106	95	77	62	50,5
129	115	106	94	76	61	50
128	114	106	93	75	60	49,5
126	113,5	105,8	92	74	59,5	46
124	112	105,5	91	73	59	48,5
123	111,5	105	90	72	58,5	48
121	111	105	89,5	71	57,5	47,5
121	110	104,5	88,5	70,2	57	47
120,5	109	104	87,5	69,5	56,5	46,5
120	108	103,5	86	69	56	46
120	107	103,2	85	68	55	45,5
119,5	107	102,5	84	67	54,5	45
119	106,5	102	83	66,5	54	44,5
118,5	106,5	101	82	65,5	53,5	44
118	106,5	100	81	64,5	53	43

Sb = 27,5 гр. = 44⁰/₁₀₀

Cu = 35,0 гр. = 56⁰/₁₀₀

(чер. II, кр. VII)

135	132	130	128	126,5	126	125,8
134	131	129	127	126,2	126	125,2

125	114	91,5	80	70,5	62,5	52,5
125	112	90,5	79,5	70	61,5	52
124,8	110	89,5	79	69,5	61	51,5
124,5	108,5	88,5	78,5	69	60,5	51
124,2	107	87,5	78	68,8	60	50,5
124	106	86,5	77,5	68,2	59,5	50
123,8	105	86	77	68,2	59	49,5
123,2	104	85	76	68,2	58,5	49
123	102,5	84	76	68	58	48,5
122,5	101,5	83	75	67,5	57,5	48
122	100	82,5	74,5	67	57	47,5
121,2	99	82	74	66,5	56,2	47
120,5	98	81,5	73,5	66	55,5	46,5
120	97	81,2	73	65,5	55	46
119	95,5	81	72,5	65	54,5	45,5
118	94,5	81	72	64,5	54	45
116	93,5	80,5	71,5	64	53,5	
115	92,5	80	71	63	53	

Sb = 23,5 гр. = 39%

Cu = 36,5 гр. = 61%

(чер. II, кр. VIII)

140	121	95	77	69,2	59,5	50
139	120	94	76,5	69,2	59	49,8
137	119	93	75,5	69	58,5	49,2
134	118	92	75	68,8	58	49
132	117	91	74,5	68	57,5	48,5
131	115	90	74	67,5	57	48,2
129	114	89	73	67	56,5	48
127	112	88	72,5	66,5	56	47,5
127	111	87,5	72	66	55,5	47
127	109	87	71,5	65,5	55	46,7
127	108	86	71	65	55	46,2
127	107	85	70,5	64,4	54,5	46
126,5	106	84	70,2	64	54	45,8
126	104	83,5	70	63,5	53,5	45,2
126	103	83	70	63	53	45
126	102	82	69,8	62,5	52,5	44,8
125,5	101	81	69,5	62	52	44,2
125	100	80,5	69,2	61,5	51,5	44
125	99	80	69,2	61	51	43,8
124,5	98	79	69,2	60,5	50,5	43,5
124	97	78,5	69,2	60	50,2	43
123,5	96	78				

IX.

Выводы, полученные при помощи метода плавкости, вполне согласны съ тѣми заключеніями, къ которымъ приводитъ опредѣленіе другихъ физическихъ свойствъ мѣдно-сурьмяныхъ сплавовъ. Я остановлюсь здѣсь на измѣненіи трехъ свойствъ этихъ сплавовъ: твердости, электровозбудительной силы въ гальваническомъ элементѣ, образовавшемъ сурьмой и различными сплавами ея съ мѣдью и, наконецъ, коэффициентовъ расширения этихъ сплавовъ.

Измѣненіе твердости сплавовъ мѣди съ сурьмой, а также электровозбудительной силы ихъ, было изучено К. Соловьевымъ, которому приношу свою глубокую благодарность за его содѣйствіе моему изслѣдованію. Твердость опредѣлялась относительная при помощи склерометра, конструированнаго согласно указаніямъ Н. Н. Лямина. Существенную часть этого прибора составляетъ коническій алмазь, нажимаемый опредѣленной нагрузкой на горизонтальную отшлифованную поверхность сплава, который при помощи винта можетъ передвигаться въ горизонтальной плоскости. Полученныя на шлифѣ черты фотографировались съ помощью металлографическаго микроскопа при одномъ и томъ же увеличеніи (150 разъ) и затѣмъ ширина ихъ измѣрялась. Результаты получились слѣдующіе:

Cu:	1%	10 / ₀	25%	40%	50%	58%	69%
Sb:	99%	90%	75%	60%	50%	42%	31%
Ширина черты въ миллиметрахъ:	5,75	4,30	3,22	2,87	2,70	2,20	3,10.

Если эти данныя изобразить графически, откладывая по оси х-овъ составъ сплавовъ, а по оси у-овъ ширину черты, то получимъ кривую I на чертежѣ IV. Какъ видно изъ этихъ данныхъ maximum твердости отвѣчаетъ 58% Cu, причемъ въ обѣ стороны твердость уменьшается. Эти изслѣдованія были произведены еще ранѣе того, какъ было установлено существованіе соединенія $SbCu_3$. Поэтому для промежутка отъ 50% до 69% Cu былъ изслѣдованъ только одинъ сплавъ. Но тѣмъ не менѣе и изъ этихъ данныхъ видно, что положеніе maximum'a твердости лежитъ возлѣ сплава съ 61% Cu, т. е. отвѣчаетъ соединенію $SbCu_3$.

Существованіе второго соединенія съ помощью метода твердости обнаруживается съ достаточной ясностью на кривой переломомъ кривой (см. черт. IV). Какъ слѣдуетъ изъ предыдущаго, сплавы мѣди и сурьмы съ содержаніемъ отъ 0 до 51% Cu являются тѣлами неоднородными, состоящими изъ смѣси сурьмы и соединенія $SbCu_2$, причемъ количество послѣдняго возрастаетъ по мѣрѣ увеличенія въ сплавѣ мѣди.

При 51% Cu сплавъ становится однороднымъ, а затѣмъ снова дѣлается неоднороднымъ, состоящимъ, какъ это увидимъ ниже, изъ смѣси $SbCu_2$ и $SbCu_3$, причемъ количество $SbCu_3$ возрастаетъ по мѣрѣ приближенія сплава къ составу съ 61% Cu, когда онъ опять дѣлается однороднымъ и состоящимъ изъ $SbCu_3$. Такимъ образомъ вся серія сплавовъ начинается чистой сурьмой, переходитъ черезъ послѣдовательный рядъ смѣсей сурьмы и $SbCu_2$, потомъ черезъ чистое соединеніе $SbCu_2$, новый послѣдовательный рядъ смѣсей $SbCu_2$ и $SbCu_3$, затѣмъ черезъ чистое соединеніе $SbCu_3$ и, наконецъ, рядъ твердыхъ растворовъ мѣди въ $SbCu_3$. Твердость трехъ тѣлъ: сурьмы, $SbCu_2$ и $SbCu_3$ возрастаетъ отъ сурьмы къ $SbCu_3$ и до известной степени можетъ быть выражена величинами обратными ширинѣ штриховъ склерометра, т. е. выразится приблизительно числами $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{3}$ и $\frac{1}{2}$. Очевидно, что твердость промежуточныхъ смѣсей выразится промежуточными величинами и на кривой твердости долженъ наблюдаться переломъ въ точкѣ, отвѣчающей $SbCu_2$, т. е. при 51% Cu, что дѣйствительно и имѣетъ мѣсто. Такимъ образомъ съ помощью метода твердости ясно опредѣляются оба соединенія: $SbCu_2$ и $SbCu_3$.

Методъ электровозбудительныхъ сплъ позволяетъ съ несомнѣнностью установить соединеніе $SbCu_2$, но ничего не можетъ дать по вопросу о соединеніи $SbCu_3$. Какъ известно, этотъ методъ заключается въ томъ, что опредѣляютъ напряженіе поляризаціоннаго тока при пропусканіи тока черезъ электроды, изъ которыхъ одинъ состоитъ изъ чистаго болѣе окисляемаго металла, а другой изъ сплавовъ различнаго состава, и которые оба погружены въ растворъ какого-нибудь электролита. Сущность такого опредѣленія основана на томъ, что разность потенциаловъ на электродахъ остается постоянною, пока въ составъ сплавовъ входятъ одни и тѣ же компоненты, и сразу претерпѣваетъ конечное измѣненіе, какъ только въ сплавѣ исчезаетъ одинъ изъ компонентовъ, а такъ какъ исчезновеніе одного изъ компонентовъ происходитъ обыкновенно тогда, когда составъ сплава приближается къ опредѣленному соединенію, то сдвигая предѣлы въ составѣ тѣхъ сплавовъ, между которыми разность потенциаловъ претерпѣваетъ разрывъ, мы очень близко можемъ подойти къ составу соединенія. Самое опредѣленіе производилось такимъ образомъ, что въ разбавленный растворъ хлористой сурьмы въ соляной кислотѣ были погружены два электрода: одинъ — постоянный — изъ сурьмы, другой — переменный — изъ различныхъ сплавовъ; сурьма и сплавы были отлиты въ формѣ цилиндровъ, въ которые впаивались мѣдные проволоки для соединенія. Эти электроды соединялись съ батареей постоянного тока, причемъ въ цѣпь вводилось большое сопротивленіе. Отъ этихъ же электродовъ другая цѣпь шла черезъ гальванометръ и небольшой магазинъ сопротивленій. Постоянный токъ проходитъ черезъ электроды и электролитъ и производитъ электролити-

ческое разложение, въ то же время проходить черезъ вторую цѣпь и производить отклоненіе гальванометра. Отрицательный полюсъ батареи все время соединенъ съ электродомъ изъ чистой сурьмы, электродомъ же положительнаго полюса сначала служить чистая сурьма, а затѣмъ сплавы различнаго состава. Поляризаціонный токъ, слишкомъ слабый, чтобы идти въ главную цѣпь, главнымъ образомъ идетъ въ цѣпь съ гальванометромъ, и дѣйствуя въ обратномъ направленіи главному току, измѣняетъ показанія гальванометра.

Такъ какъ въ электродѣ изъ сплава компонентомъ, опредѣляющимъ величину поляризаціи, является болѣе окисляемый металлъ, т. е. сурьма, то нетрудно видѣть, что разность потенциаловъ будетъ оставаться постоянною только до тѣхъ поръ, пока поверхность дѣйствующей части сплава будетъ оставаться неизмѣнною, т. е. до тѣхъ поръ, пока въ сплавѣ будетъ находиться сурьма. Но какъ только мы перейдемъ къ сплавамъ, свободной сурьмы не содержащимъ, то во первыхъ и поверхность самого растворяемаго электрода будетъ измѣняться, а въ то же время и поверхность электрода, на которомъ происходитъ осажденіе металла, то же будетъ измѣняться вслѣдствіе того, что на немъ будетъ осаждаться и мѣдь (вообще второй металлъ), поэтому всѣ дальнѣйшіе сплавы будутъ показывать разность потенциаловъ все время измѣняющуюся. Такимъ образомъ этимъ методомъ можно констатировать существованіе *только перваго соединенія*, наиболѣе близко лежащаго къ тому металлу, который служитъ въ чистомъ видѣ электродомъ, всѣ же остальные соединенія при помощи этого метода не опредѣляются. Этимъ объясняется, почему Гершковичъ *), изслѣдуя этимъ способомъ различные сплавы, во всѣхъ случаяхъ могъ констатировать только одно соединеніе, хотя онъ изслѣдовалъ и такія пары, какъ мѣдь и цинкъ, или мѣдь и олово, которыя по меньшей мѣрѣ даютъ два соединенія, и весьма характерно, что указанная имъ соединенія всегда содержатъ наибольшее количество болѣе окисляемаго металла, напр. Zn_2Cu , $SnCu_3$, какъ это и слѣдуетъ на основаніи вышеизложеннаго.

Существованіе соединенія $SbCu_2$ этимъ методомъ констатируется съ необыкновенной ясностью, какъ это видно изъ данныхъ К. К. Соловьева, приведенныхъ въ нижеслѣдующей таблицѣ. Въ ней прямо даны отклоненія гальванометра при парахъ, составленныхъ изъ сурьмы и сплавовъ приводимаго состава:

% Cu:	0	1	10%	25%	40%	50%	57%
Отклоненіе гальванометра:	78°	73°	70°	70°	70°	69°	61°

*) Zeitschrift für Phys. Chem. 1898.

Не входя въ объясненіе этихъ чиселъ, графическое изображеніе которыхъ представлено на чертежѣ IV, кривая II, я обращаю вниманіе только на одно обстоятельство, а именно на то, что разность потенциаловъ не сразу достигаетъ постоянной величины, но только послѣ того, какъ будетъ перейденъ извѣстный $\%$ -ный составъ. Это указываетъ на то, что изъ мѣдно-сурьмяныхъ сплавовъ выпадаютъ кристаллы не чистой сурьмы, но твердаго раствора SbCu_2 въ сурьмѣ такъ что до извѣстнаго предѣла мѣди сплавъ застываетъ въ видѣ однороднаго тѣла, и только потомъ онъ является состоящимъ изъ двухъ фазъ. Сплавъ съ 1 $\%$ мѣди, судя по этимъ даннымъ, еще однороденъ, хотя здѣсь повидимому концентрація твердыхъ растворовъ уже близка къ предѣльной. Отсюда слѣдуетъ, что методъ электровозбудительныхъ силъ можетъ дать точное указаніе не на составъ перваго соединенія, но на составъ предѣльнаго твердаго раствора въ первомъ соединеніи. Въ данномъ случаѣ эта концентрація повидимому очень не велика, такъ какъ даже при 50 $\%$ Cu, т. е. когда свободной сурьмы всего 1 $\%$, разность потенциаловъ еще не претерпѣваетъ измѣненія, но вообще говоря могутъ быть случаи, когда твердые растворы будутъ достигать значительной концентрации. Вообще этотъ методъ для открытія твердыхъ растворовъ, повидимому, самый чувствительный и нѣтъ сомнѣнія, что онъ покажетъ, что отсутствіе твердыхъ растворовъ есть исключительное явленіе.

Я остановлюсь еще на изслѣдованіяхъ Ле-Шателье надъ расширеніемъ этихъ сплавовъ *). Изъ его данныхъ слѣдуетъ, что коэффициенты расширенія мѣдно-сурьмяныхъ сплавовъ начиная отъ чистой сурьмы возрастаютъ, достигаютъ maximum'a при 60 $\%$ Cu и затѣмъ начинаютъ уменьшаться. Этотъ maximum, очевидно, отвѣчаетъ опредѣленному соединенію SbCu_2 , которое обладаетъ значительно бѣльшимъ коэффициентомъ расширенія, нежели самая мѣдь и сурьма. Данныя Ле-Шателье отнесены къ процентному составу, выраженному въ эквивалентахъ, я перечислить ихъ на вѣсовой процентный составъ:

$\%$ экв. Cu.	$\%$ вѣс. Cu.	Расширеніе $\times 10^6$.
100	100	16,3
95	83,4	19,2
90	70,2	20,2
85	59,8	20,0
80	51	19,2
57	25,8	14,5

*) Bulletin de la Société d'Encouragement 1899.

% экв. Cu.	% вѣс. Cu.	Расширеніе $\times 10^6$.
33	11,5	11,5
10	2,8	9,1
—	—	10,0

Графическое изображеніе этихъ данныхъ представлено на черт. IV, кривая III.

Такимъ образомъ, совокупность всѣхъ четырехъ методовъ приводитъ къ согласному выводу, что мѣдь и сурьма образуютъ два соединенія: $SbCu_2$ и $SbCu_3$. Этотъ выводъ самымъ очевиднымъ образомъ подтверждается микроструктурой сплавовъ. Но прежде, чѣмъ приступить къ этой сторонѣ вопроса, я долженъ изложить явленія закалки въ этихъ сплавахъ, т. е. тѣ превращенія, которыя совершаются въ уже отвердѣвшихъ сплавахъ, и микроструктуру сплавовъ описать въ связи съ этими явленіями.

X.

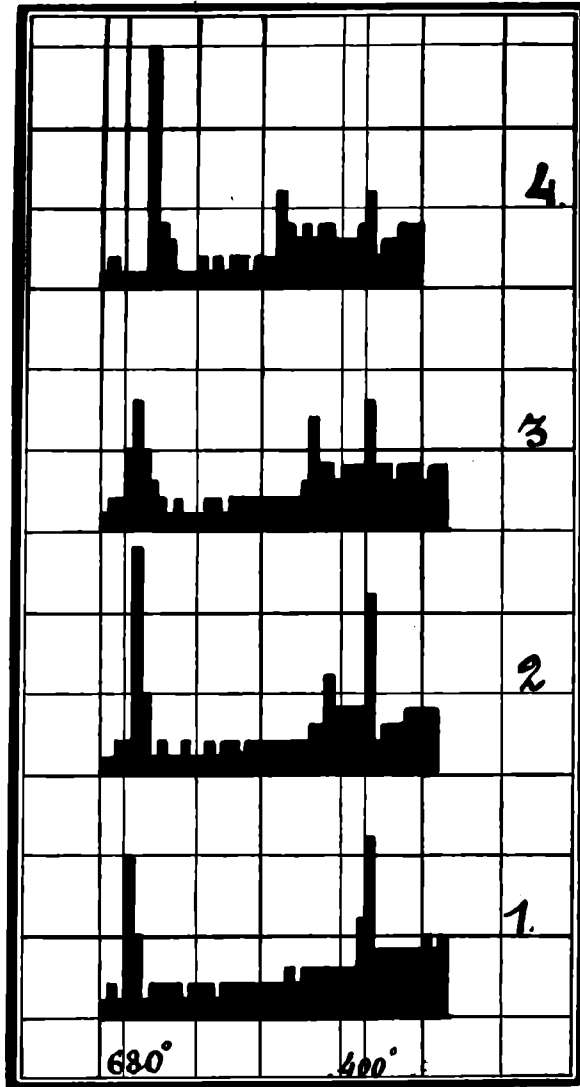
Разсматривая кривыя охлажденія сплавовъ (черт. I, II и III) можно видѣть, что кромѣ тѣхъ остановокъ, которыя отвѣчаютъ переходу изъ жидкаго состоянія въ твердое, на нихъ наблюдаются остановки, происходящія въ то время, когда сплавъ уже споина отвердѣлъ. Это явленіе имѣетъ мѣсто только при сплавахъ, содержащихъ свыше 51% Cu, т. е. на той вѣтви кривой, которая отвѣчаетъ выпаденію кристаловъ $SbCu_3$ и твердыхъ растворовъ этого тѣла, и указываетъ на то, что при охлажденіи уже отвердѣшаго сплава въ немъ происходитъ какое то превращеніе, сопровождаемое выдѣленіемъ теплоты. Это выдѣленіе теплоты настолько значительно, что очень часто можно наблюдать рѣзко выраженныя явленія переохлажденія, т. е. температура охлаждаемаго сплава правильно понижается, затѣмъ вдругъ начинаетъ подниматься, причемъ иногда поднятіе достигаетъ 20° Ц., нѣкоторое время устанавливается неподвижно, и потомъ опять начинаетъ правильно понижаться. Короче, здѣсь мы имѣемъ ясно выраженныя явленія рекалесценціи. Хотя эти остановки ясно выражаются на кривыхъ охлажденія, но еще лучше они выдѣляются, если вмѣсто кривыхъ охлажденія вычертить кривыя скорости охлажденія, какъ это сдѣлалъ Осмондъ для стали. Переходъ отъ первыхъ кривыхъ ко вторымъ дѣлается очень просто: для этого берутъ продолжительность охлажденія между двумя сосѣдними показаніями пирометра, выражая ее въ произвольныхъ единицахъ времени, и отлагаютъ ее какъ ординату, причемъ абсциссами служатъ соответственныя температуры. Въ нижеслѣдующей таблицѣ приведены данныя, перечисленныя на основаніи кривыхъ охлажденія для четырехъ сплавовъ:

ТАБЛИЦА II.

Скорость охлаждения сплавовъ мѣди и сурьмы.

Показанія цирметра:	$\frac{\% \text{Sb}}{\% \text{SbCu}_2}$				Показанія цирметра:	$\frac{\% \text{Sb}}{\% \text{SbCu}_2}$			
	1.	2.	3.	4.		1.	2.	3.	4.
	39,5	43	44	45		39,5	43	44	45
	6,7	42,4	57,2	72,6		6,7	42,4	57,2	72,6
70					49				
	2	—	—	—		2	2	2	2
69	1	—	—	—	48	2	2	2	2
68	1	1	2	1	47	2	2	2	2
67		1	1	1	46	2	2	2	6
66	2	1	2	2	45	2	2	2	4
65	1	2	2	1	44	3	2	2	3
64	9	2	5	1	43	2	2	2	4
63	5	15	8	1	42	3	2	3	3
62	1	5	5	17	41	3	3	7	4
61	2	1	3	4	40	3	3	4	4
60	2	2	2	3	39	3	6	4	3
59	2	1	1	1	38	3	4	3	3
58	2	1	2	1	37	3	4	4	3
57	1	2	1	1	36	6	4	4	4
56	2	1	1	2	35	11	11	8	6
55	2	1	1	1	34	4	2	4	2
54	2	2	2	2	33	4	3	4	3
53	1	1	2	1	32	4	3	3	3
52	2	2	1	2	31	4	3	4	4
51	2	2	2	2	30	4	4	4	4
50	2	1	2	1	29				

Если эти данныя изобразить графически, то всякое замедленіе при охлажденіи сплава будетъ выражаться сильнымъ увеличеніемъ ординаты, какъ это видно на чертежѣ V. Опредѣляя такимъ образомъ остановки въ твердомъ состояніи для различныхъ сплавовъ, можно замѣтить, что одна остановка, лежащая въ довольно узкихъ предѣлахъ, сказывается очень рѣзко, другая же остановка, температура которой измѣняется вмѣстѣ съ измѣненіемъ состава сплава, проявляется слабѣе. Въ нижеслѣ-



Чертежъ V.

Діаграмма рекристалізації мідно-сурьмянихъ сплавовъ.

1.	2.	3.	4.
Sb = 39,5%	Sb = 43%	Sb = 44%	Sb = 45%
Cu = 60,5%	Cu = 57%	Cu = 56%	Cu = 55%

дующей таблицѣ приведены данныя, относящіяся къ остановкамъ, наблюдаемымъ въ твердомъ состояніи:

ТАБЛИЦА III.

Sb%	Cu%			
46	54	552	400	—
45	55	503	401	—
44	56	467	402	—
43	57	448	401	—
39,5	60,5	406	401	—
39	61	407	—	—
38,5	61,5	—	—	391
38	62	405	—	392
37	63	397	—	388
{	35	65	—	386
	35	65	—	388
	33	67	397	—
	31	69	417	—
	30	70	415	—

Эти данныя взяты изъ таблицы I за исключеніемъ чиселъ серіи A, какъ менѣе точныхъ.

Уже при одномъ взглядѣ на эту таблицу видно, что сплавъ съ 39% Sb рѣзко раздѣляетъ ее на двѣ части, а принимая во вниманіе, что этотъ сплавъ очень близко отвѣчаетъ формулѣ $SbCu_3$, можно заключить, что данныя этой таблицы охватываютъ двѣ независимыя области превращеній твердыхъ растворовъ: сурьмы въ $SbCu_3$ и мѣди въ томъ же соединеніи.

При разсмотрѣніи этихъ данныхъ слѣдуетъ прежде всего обратить вниманіе на то, что превращенію подвергаются не только твердые растворы, но и само соединеніе $SbCu_3$. Мало этого, чѣмъ ближе составъ сплава приближается къ формулѣ $SbCu_3$, тѣмъ продолжительнѣй бываетъ остановка, тѣмъ болѣе рѣзко наблюдаются случаи переохлажденія и тѣмъ явственнѣй проявляется рекалесценція, что особенно замѣтно на чертежѣ III. Опытъ кромѣ того показываетъ, что явленіе это обратимо, т. е. при нагрѣваніи охлажденнаго сплава при температурѣ рекалесценціи наблюдается остановка пирометра и при новомъ охлажденіи снова наблюдается рекалесценція. Сплавъ этотъ и при быстромъ и при медленномъ охлажденіи остается, какъ увидимъ далѣе, совершенно однороднымъ. На основаніи всего этого можно заключить, что здѣсь мы имѣемъ случай полиморфизма, т. е. что соединеніе $SbCu_3$ при затвердѣніи жидкаго сплава выкристаллизовывается въ одной кристалличе-

ской формѣ, а при охлажденіи при температурѣ 407° Ц. оно переходитъ въ другую кристаллическую форму. Такое превращеніе согласно закону Ле-Шателье-Вантъ-Гоффа при пониженіи температуры должно происходить съ выдѣленіемъ теплоты, которое и является причиной остановки пирометра—рекалесценціи. Такимъ образомъ соединеніе $SbCu_3$ является диморфнымъ, при чемъ точка перехода изъ одной разновидности въ другую при обыкновенномъ давленіи лежитъ при 407° Ц. Согласно обозначеніямъ Осмонда для полиморфныхъ разновидностей желѣза, эти двѣ формы $SbCu_3$, можно обозначить буквами β и α , при чемъ буквой β обозначается разновидность, стойкая выше 407° Ц., а буквой α — разновидность, стойкая ниже этой температуры. Отношеніе между формами β и α такое, какъ между призматической и октаэдрической сѣрой, т. е. одновременно существовать и находиться въ равновѣсіи онѣ могутъ только при температурѣ перехода 407° Ц., но скорость превращенія во много разъ превышаетъ скорость превращенія одной сѣры въ другую.

Поэтому для того, чтобы получить форму β при обыкновенной температурѣ охлажденіе нужно произвести съ очень большой быстротой. Проще всего это достигается погруженіемъ накалинаго сплава въ воду, тогда превращенію формы β въ α подвергается только часть вещества, главная же масса останется въ формѣ β и, разъ достигнувъ обыкновенной температуры, она остается безъ измѣненія неопредѣленное время, такъ какъ температура начала превращенія:



лежитъ значительно выше обыкновенной температуры. Удѣльный вѣсъ этихъ двухъ разновидностей различается довольно значительно. Для опредѣленія его сплавъ, отвѣчающій формулѣ $SbCu_3$ (39% Sb) былъ расплавленъ въ фарфоровомъ тиглѣ и въ жидкомъ видѣ разлитъ въ два тигля. Одинъ тигель былъ оставленъ охлаждаться на воздухѣ, а въ другой тигель былъ погруженъ конецъ пирометра и когда онъ затвердѣлъ сполна и температура унала до 600° Ц. онъ былъ погруженъ въ стаканъ съ водой. Затѣмъ оба сплава—закаленный и незакаленный—были обточены съ поверхности и отшлифованы и полученные образчики послужили для опредѣленія удѣльнаго вѣса. Оказалось, что быстро охлажденный (въ водѣ) сплавъ имѣлъ уд. в. 8,51, а медленно — охлажденный (на воздухѣ)—8,68. Подобное явленіе, какъ извѣстно, имѣетъ мѣсто при случаяхъ полиморфизма, такъ сѣра имѣетъ удѣльный вѣсъ 1,93 и 2,04, желѣзо и сталь при закалкѣ понижаютъ свой уд. вѣсъ и т. п. Такимъ образомъ остановка, показываемая пирометромъ при 407° Ц. при охлажденіи сплава съ 39% Sb, обусловливается переходомъ полиморфной разновидности β въ разновидность α . Если бы при затвердѣніи

сплавовъ, содержащихъ болѣе 39% Sb, соединеніе $SbCu_3$ выкристаллизовывалось въ чистомъ видѣ, то эти сплавы обнаруживали бы остановку при той же температурѣ. Но, какъ было уже указано ранѣе, въ этихъ условіяхъ выдѣляются твердые растворы сурьмы въ $SbCu_3$ и потому точка перехода такихъ смѣшанныхъ кристалловъ не можетъ остаться неизмѣнной, но должна или повышаться или понижаться въ зависимости оттого, распадается при этомъ переходѣ твердый растворъ или же остается однороднымъ, измѣняя только свою кристаллическую форму. Рѣшеніе этого вопроса возможно только опытнымъ путемъ и представляетъ большія трудности. Эти трудности обуславливаются двумя обстоятельствами: во первыхъ, благодаря тому, что образованіе твердыхъ растворовъ, какъ это указано выше, происходитъ при непрерывномъ возрастаніи концентраціи ихъ, затвердѣвшій сплавъ не является вполне однороднымъ, но представляетъ изъ себя совокупность кристалловъ, составъ которыхъ непрерывно измѣняется отъ центра къ периферіи. Вслѣдствіи этого температура перехода такихъ кристаллическихъ образований непрерывно измѣняется отъ периферіи къ центру, и остановка пирометра лежитъ въ нѣкоторыхъ предѣлахъ температуры. Второе обстоятельство, затрудняющее рѣшеніе вопроса, заключается въ томъ, что какъ мы сейчасъ увидимъ, кромѣ превращенія разновидности β въ α въ этихъ же сплавахъ совершается другое превращеніе, состоящее въ выдѣленіи изъ твердыхъ растворовъ соединенія $SbCu_2$. Это второе превращеніе сопровождается также выдѣленіемъ теплоты и происходитъ при температурѣ тѣмъ болѣе низкой, чѣмъ дальше составъ сплава отстоитъ отъ состава соединенія $SbCu_2$ (51% Cu). Кривая этого превращенія (чер. IV, вѣтвь HR), начинаясь при 586° Ц. для сплава съ 53,5% Cu, подходит очень близко къ ординатѣ, отвѣчающей составу $SbCu_3$, и точка пересѣченія ея съ кривой перехода β и α лежитъ около 60% Cu. Поэтому эта вторая кривая RP (превращенія смѣшанныхъ кристалловъ β въ α) можетъ быть наблюдаема лишь въ предѣлахъ отъ 60 до 61% Cu, и вслѣдствіе такого незначительнаго протяженія измѣненіе температуры перехода смѣшанныхъ кристалловъ β въ α очень небольшое, всего нѣсколько градусовъ.

О величинѣ этого пониженія можно составить нѣкоторое представленіе пользуясь формулой Вантъ-Гоффа для молекулярнаго пониженія:

$$A = \frac{0,02 T^2}{W}$$

гдѣ T есть температура (абсолютная) превращенія чистаго растворителя, а W — скрытая теплота превращенія. Тогда принимая, что точка пересѣченія обѣихъ кривыхъ—выдѣленія $SbCu_2$ и перехода смѣшанныхъ кристалловъ β въ α —отвѣчаетъ сплаву $SbCu_3$ съ однимъ процентомъ сурьмы,

понижение может быть вычислено по формулѣ:

$$T - T_1 = \frac{0,02 T^2 \cdot 1}{W \cdot M} \dots \dots \dots (1)$$

гдѣ M есть молекулярный вѣсъ сурьмы. Въ этомъ выраженіи $T = 273^\circ + 407^\circ = 680^\circ$. Величина W теплота перехода разновидности β въ α — неизвѣстна, но, пользуясь кривыми охлажденія сплавовъ близкихъ по составу къ формулѣ $SbCu_3$, и вычисляя теплоемкость соединения $SbCu_3$, по закону Коппа изъ теплоемкостей мѣди и сурьмы, я опредѣлялъ ее равной 2,5 кал. Подставляя эти данныя въ уравненіе (1), получимъ:

$$T - T_1 = \frac{0,02 \cdot 680^2}{2,5 \cdot M} = \frac{9248}{2,5 M}$$

Чтобы по этой формулѣ вычислить пониженіе $T - T_1$, необходимо знать величину частицы сурьмы M .

Для металлической сурьмы опредѣленія плотности пара даютъ величину, лежащую въ предѣлахъ между Sb_2 и Sb_3 . Это показываетъ, что при температурахъ кипѣнія пары сурьмы испытываютъ диссоціацію и что частица ея по меньшей мѣрѣ должна выражаться формулой Sb_3 ; тогда, подставляя вмѣсто M величину 120×3 , для $T - T_1$ получимъ $10,2^\circ$ Ц.; принимая же во вниманіе, что опредѣленіе плотности пара производится при температурахъ выше 1000° Ц., а переходъ разновидности β въ α при 400° Ц., а также и ту глубокую аналогію, которая существуетъ между фосфоромъ, мышьякомъ и сурьмой, мы съ большою вѣроятностью можемъ принять, что частица сурьмы будетъ Sb_4 , а тогда въ формулѣ Вантъ-Гоффа вмѣсто молекулярнаго вѣса M нужно подставить 120×4 . Сдѣлавши такую подстановку, мы вмѣсто пониженія въ $10,2^\circ$ Ц. получили величину $7,7^\circ$ Ц. Такимъ образомъ наибольшее паденіе температуры превращенія смѣшанныхъ кристалловъ β въ кристаллы α составляетъ около 8° Ц. Принимая же во вниманіе малое протяженіе этой кривой всего на промежуткѣ отъ 61 до 60% Cu , неоднородность состава смѣшанныхъ кристалловъ, если только они точно не отвѣчаютъ чистому соединенію $SbCu_3$, и то, что чувствительность даже двойного пирометра не превышаетъ 2° , становится понятнымъ, что экспериментальное рѣшеніе этого вопроса очень затруднительно. Тѣмъ не менѣе мнѣ удалось констатировать пониженіе температуры превращенія смѣшанныхъ кристалловъ пользуясь двойнымъ пирометромъ и принимая необходимыя предосторожности для того, чтобы опыты были произведены по возможности въ тождественныхъ условіяхъ. Вотъ опытныя данныя, относящіяся къ четыремъ сплавамъ. Данныя эти получены при одномъ и томъ же двойномъ пирометрѣ, причемъ второй контактъ былъ погруженъ въ тающій снѣгъ.

Sb %	Cu %	Отклоненія гальванометра.		
		Затвердѣ- ваніе.	Выдѣленіе SbCu ₂	Переходъ β въ α.
44	56	126	82	68,2
43,7	57,3	126	81,5	68,2
39,5	60,5	127	69	68,0
39	61	127	—	69,2

Весьма замѣчательно, что **всѣ** эти сплавы въ твердомъ видѣ даютъ двѣ остановки, за **исключеніемъ послѣдняго** (39% Sb), составъ котораго почти точно отвѣчаетъ **формулѣ SbCu₃**; кромѣ того вторая остановка у всѣхъ сплавовъ одна и **таже и при томъ** на 1,2 дѣленія ниже, чѣмъ для сплава, отвѣчающаго **формулѣ SbCu₂**. А такъ какъ вторая остановка у этихъ сплавовъ отвѣчаетъ **наинизшей температурѣ** превращенія кристалловъ β въ α (въ стали—это перлитовая точка), то разницу между температурами этой остановки и **остановки чистаго соединенія SbCu₃**, слѣдуетъ приписать пониженію **температуры** превращенія смѣшанныхъ кристалловъ вслѣдствіе присутствія въ нихъ раствореннаго тѣла (твердый растворъ). Опытъ для этого пониженія даетъ величину въ 1,2 дѣленія, что соотвѣтствуетъ 6°, тогда какъ теорія приводитъ къ величинѣ 7,7°, согласіе болѣе, чѣмъ достаточное, принимая во вниманіе всю осложненность этого явленія. Непосредственный выводъ изъ этихъ данныхъ тотъ, что при превращеніи смѣшанныхъ кристалловъ β въ α твердые растворы распадаются и становятся неоднородными уже не въ смѣсь непрерывнаго измѣненія ихъ состава, а въ смыслѣ распадаенія ихъ на два различныя тѣла: изъ непрерывно—неоднородныхъ кристалловъ твердаго раствора они превращаются въ прерывисто—неоднородную *механическую* смѣсь кристалловъ α SbCu₃ и соединенія SbCu₂. Такимъ образомъ соединеніе SbCu₃ и смѣшанные кристаллы этого соединенія съ избыткомъ сурьмы (твердые растворы) испытываютъ полиморфное превращеніе при температурахъ тѣмъ болѣе низкихъ, чѣмъ больше концентрація твердыхъ растворовъ и при этомъ твердые растворы распадаются на два тѣла SbCu₃ и SbCu₂. Чистое соединеніе SbCu₃ переходитъ изъ формы β въ форму α сполна при одной и той же температурѣ 407° Ц., твердые же растворы испытываютъ такое превращеніе въ нѣкоторомъ промежуткѣ температуры, при чемъ сначала изъ твердаго раствора начинаютъ выдѣляться кристаллы формы α — это будетъ первая остановка — начало превращенія, по мѣрѣ выдѣленія этихъ кристалловъ концентрація остающагося твердаго раствора возрастаетъ, и когда она достигнетъ насыщенія по отношенію къ SbCu₂, то вмѣстѣ съ выпаденіемъ кристалловъ α SbCu₃ выдѣляется и соединеніе SbCu₂. Такое одновременное выдѣленіе изъ твердаго раствора **обоихъ тѣлъ** происходитъ при постоянной температурѣ,

которая и является низшимъ предѣломъ существованія смѣшанныхъ кристалловъ β . Составъ твердаго раствора, отвѣчающаго этой концентраціи лежитъ около сплава съ 60% Cu (нѣсколько болѣе), а температура этого превращенія лежитъ около 400° Ц. Это та точка, которая при застываніи жидкихъ системъ называется эвтектической (образованіе криогидрата), а для превращеній стали—перлитовой (0,85% C), при которой твердый растворъ углерода въ желѣзѣ γ распадается на ферритъ (желѣзо α) и цементитъ (Fe_3C).

Кромѣ разсмотрѣннаго превращенія, обусловленнаго полиморфизмомъ соединенія SbCu_3 , смѣшанные кристаллы этого соединенія и сурьмы испытываютъ другое превращеніе, обусловленное выдѣленіемъ изъ твердыхъ растворовъ соединенія SbCu_2 . Какъ было указано раньше предѣльный твердый растворъ при застываніи жидкихъ сплавовъ выдѣляется при сплавѣ съ 46,5% Sb. Смѣшанные кристаллы этого состава представляютъ твердый растворъ сурьмы въ SbCu_3 , причемъ концентрація твердаго раствора сурьмы въ SbCu_3 достигаетъ 12,5%. Этотъ твердый растворъ выдѣляется при 586° Ц. и эта температура является переходной точкой для соединенія SbCu_2 , которое при этой температурѣ плавится съ разложеніемъ. Но ниже этой температуры оно можетъ существовать и поэтому при охлажденіи твердыхъ растворовъ сурьмы въ SbCu_3 ниже 586° Ц. изъ нихъ должна выдѣляться не сурьма, но соединеніе SbCu_2 .

Если рассчитать, какому количеству SbCu_2 отвѣчаютъ 12,5% избыточной сурьмы, то оказывается, что оно соответствуетъ 77%. Такимъ образомъ сплавъ съ 53,5% Cu отвѣчаетъ твердому раствору съ 12,5% Sb, а если изъ него выпадаетъ SbCu_2 , то концентрація раствора по отношенію SbCu_2 достигаетъ 77%. Этотъ твердый растворъ при 586° Ц. является насыщеннымъ по отношенію къ SbCu_2 , поэтому при пониженіи температуры, вслѣдствіе уменьшенія растворимости онъ уже не можетъ остаться однороднымъ, но распадается вслѣдствіе выдѣленія SbCu_2 . Этимъ объясняется, почему сплавы содержащіе менѣе 53,5% Cu даютъ при застываніи жидкаго сплава постоянную остановку при 586° Ц.: при этой температурѣ выдѣлившіеся кристаллы твердаго раствора сурьмы въ SbCu_3 начинаютъ выдѣлять SbCu_2 , а такъ какъ такое превращеніе, обусловленное соединеніемъ сурьмы съ SbCu_3 , сопровождается выдѣленіемъ теплоты, то наблюдается остановка пирометра. Твердые растворы меньшей концентраціи, образующіеся при застываніи сплавовъ, содержащихъ болѣе 53,5% Cu, при 586° Ц. еще не являются насыщенными, поэтому они распадаются при низшихъ температурахъ, когда сплавъ уже сполна отвердѣлъ и поэтому остановка пирометра для нихъ наблюдается уже въ твердомъ состояніи при температурахъ тѣмъ болѣе низкихъ, чѣмъ слабѣе концентрація твердаго раствора, т. е. чѣмъ ближе составъ

сплава приближается къ составу опредѣленнаго соединенія SbCu_3 — 61% Cu. Эти остановки даютъ вторую кривую (чер. IV, HR) — кривую выдѣленія SbCu_2 — которая начинается при 586°Ц. у сплава съ 53,5% Cu и оканчивается при 400°Ц. у сплава съ 60% Cu, гдѣ она пересѣкается съ кривой превращенія смѣшанныхъ кристалловъ β въ α . Кромѣ этой остановки, обусловленной выдѣленіемъ SbCu_2 , эти сплавы даютъ еще вторую остановку, независимую отъ состава сплава, при 400°Ц. Остановка эта объясняется просто: по мѣрѣ выпаденія изъ твердаго раствора SbCu_2 составъ смѣшанныхъ кристалловъ все болѣе и болѣе обогащается соединеніемъ SbCu_3 , и, наконецъ, доходитъ до такого состава, когда начинается выдѣленіе изъ смѣшанныхъ кристалловъ формы αSbCu_3 . Начиная съ этого момента вслѣдствіе выпаденія изъ твердаго раствора одновременно и SbCu_2 и αSbCu_3 , составъ фазы остается постояннымъ, вслѣдствіе чего и превращеніе ея совершается при постоянной температурѣ. На діаграммѣ IV эта постоянная остановка представлена горизонтальнымъ отрезкомъ SQR.

Такимъ образомъ всѣ сплавы отъ 53,5% до 61% Cu, состоящіе изъ смѣшанныхъ кристалловъ сурьмы и соединенія βSbCu_3 при охлажденіи испытываютъ превращеніе, которое обуславливается двумя процессами: полиморфнымъ переходомъ βSbCu_3 въ αSbCu_3 (чер. IV, вѣтвь PR) и выдѣленіемъ соединенія SbCu_2 (чер. IV, вѣтвь HR). Оба эти превращенія совершаются при температурахъ тѣмъ болѣе низкихъ, чѣмъ больше концентрація твердыхъ растворовъ по отношенію къ растворенному тѣлу, и кривыя этихъ превращеній, направляясь отъ соответственныхъ ординатъ къ оси x -овъ, пересѣкаются при 400°Ц. въ точкѣ R, причемъ сплавъ отвѣчающій этой точкѣ состоитъ изъ 60% Cu и 40% Sb. Эта точка раздѣляетъ область твердыхъ растворовъ на двѣ части, причемъ по одну сторону отъ нея превращеніе начинается съ выдѣленія кристалловъ αSbCu_3 , а по другую — съ выдѣленія соединенія SbCu_2 , и оба заканчиваются одновременнымъ выпаденіемъ обоихъ этихъ тѣлъ при постоянной температурѣ 400°Ц. (горизонтальная линія SQR), когда составъ твердаго раствора достигнетъ 60% Cu и 40% Sb. Только этотъ твердый растворъ весь превращается при одной и той же температурѣ, всѣ же остальные совершаютъ превращеніе въ нѣкоторомъ предѣлѣ температуры и даютъ двѣ остановки: первую — начало выпаденія изъ твердаго раствора растворителя, которымъ на одной вѣтви является SbCu_3 , а на другой SbCu_2 , и вторую — одновременнаго выпаденія обоихъ тѣлъ, которую можно назвать эвтектической или перлитовой по аналогіи съ жидкими растворами или сталью. Эта эвтектическая точка отвѣчаетъ такому твердому раствору, который испытываетъ превращеніе при самой низкой температурѣ: ниже этой температуры никакой твердый растворъ уже не можетъ существовать.

Такимъ образомъ общая картина явленій, происходящихъ въ отвердѣвшихъ сплавахъ мѣди и сурьмы въ предѣлахъ отъ 53,5% до 61% Cu, представляется въ слѣдующемъ видѣ: соединеніе $SbCu_3$ (61% Cu), существуетъ въ двухъ полиморфныхъ разновидностяхъ β и α . Разновидность β выкристаллизовывается при затвердѣваніи жидкаго сплава и устойчива до 407° Ц. При этой температурѣ она переходитъ въ разновидность α съ выдѣленіемъ 2,5 калорій. Съ сурьмой разновидность β образуетъ твердые растворы — смѣшанные кристаллы, составъ которыхъ можетъ непрерывно измѣняться отъ 61% Cu до 53,5% Cu, причемъ послѣдній составъ отвѣчаетъ твердымъ растворамъ съ 12,5% Sb. Разновидность α неспособна растворять сурьму, поэтому смѣшанные кристаллы β , переходя въ кристаллы α распадаются на $SbCu_3$ и $SbCu_2$. Твердые растворы предѣльной концентрации (53,5% Cu), содержащія 12,5% Sb, при температурѣ ихъ выпаденія изъ жидкой фазы + 586° Ц., еще не насыщены по отношенію къ сурьмѣ, но насыщены по отношенію къ соединенію $SbCu_2$, содержа его 77%, и поэтому при пониженіи температуры это соединеніе начинаетъ выдѣляться изъ твердаго раствора. Распаденіе однородныхъ твердыхъ растворовъ, являющихся смѣшанными кристаллами β , обуславливается двумя превращеніями: выдѣленіемъ соединенія $SbCu_2$ (вѣтвь HR) и выпаденіемъ разновидности α $SbCu_3$ (вѣтвь PR). Температурныя границы существованія однородныхъ твердыхъ растворовъ, кристаллографически являющихся формою β (въ стали — это мартенситъ), опредѣляются съ одной стороны кривой растворимости соединенія $SbCu_2$ въ кристаллахъ β $SbCu_3$, — эта кривая HR начинается у твердаго раствора состава 53,5% Cu и 46,5% Sb при 586° Ц. и оканчивается у твердаго раствора съ 60% Cu при 400° Ц., а съ другой стороны кривой PR перехода кристалловъ β въ кристаллы α , начинающейся у чистаго соединенія $SbCu_3$ — 61% Cu — при 407° Ц. и оканчивающейся — у твердаго раствора съ 60% Cu при 400° Ц. Другими словами эти двѣ кривыя, направляясь къ оси x-овъ пересѣкаются въ точкѣ R, координатами которой являются: составъ — 60% Cu и 40% Sb — и температура + 400° Ц. Всякій твердый растворъ, начиная свое превращеніе съ выдѣленія или $SbCu_2$ или α $SbCu_3$, въ зависимости отъ состава при соответственной температурѣ (опредѣляемой составомъ), непременно доходитъ до состава, отвѣчающаго точкѣ пересѣченія этихъ кривыхъ, т. е. 60% Cu и 40% Sb, при которомъ изъ твердаго раствора одновременно при постоянной температурѣ выдѣляются оба тѣла. Поэтому всякій твердый растворъ при охлажденіи даетъ двѣ температурныя остановки: первую — переменную — начала распаденія, измѣняющуюся съ составомъ и вторую — постоянную (400° Ц.), при которой распаденіе доходитъ до конца. Одинъ только твердый растворъ съ 60% Cu даетъ одну

остановку при 400° Ц., такъ какъ изъ него одновременно начинаютъ выпадать оба компонента. Всѣ эти соотношенія съ наглядностью представляются на діаграммѣ распадаенія твердыхъ растворовъ, представленной на чертежѣ IV.

Какъ видно изъ этой діаграммы распаденіе твердыхъ растворовъ совершенно подобно распадению жидкихъ растворовъ, когда изъ однородной жидкой фазы выпадаютъ двѣ твердыя фазы, напр. ледъ и вода. И подобно тому, какъ выпаденію **каждой** составляющей: соли и льда, отвѣчаетъ своя остановка, **первая начала** замерзанія, когда выпадаютъ кристаллы растворителя, а **вторая—конца** замерзанія, когда одновременно выпадаютъ соль и ледъ въ **видѣ эвтектической смѣси**, такъ и для твердыхъ растворовъ выпаденію **каждаго** компонента отвѣчаетъ своя остановка. Замѣтимъ при этомъ, **что существованіе** двухъ остановокъ при превращеніи твердыхъ растворовъ обуславливается тѣмъ, что оба тѣла, образующіе твердый растворъ, *мѣняютъ свое физическое состояніе*, совершенно также, какъ при замерзаніи растворовъ и соль и вода выдѣляются изъ жидкой фазы въ твердомъ состояніи, и если бы при превращеніи твердаго раствора только одно тѣло мѣняло свое физическое состояніе, то діаграмма этого превращенія состояла бы изъ одной вѣтви, асимптотически приближающейся къ ординатѣ компонента, не мѣняющаго физическаго состоянія, и направляющейся къ абсолютному нулю. На этомъ основаніи перлитовая остановка въ стали является неопровержимымъ доказательствомъ полиморфизма желѣза.

Проводя аналогію между распадениемъ жидкихъ и твердыхъ растворовъ, необходимо указать на одно различіе между ними. Хотя образованіе жидкихъ растворовъ изъ газообразной фазы и твердыхъ растворовъ изъ жидкой фазы совершается по одной и той же схемѣ, но въ жидкихъ растворахъ силы диффузіи благодаря легкоподвижности жидкаго состоянія очень быстро приводятъ всю систему въ состояніе однородности, которая является необходимымъ условіемъ равновѣсія системы. При образованіи же твердыхъ растворовъ неоднородность послѣдовательно выдѣляющихся кристалловъ, хотя также вызываетъ силы диффузіи, по достиженіе равновѣсія путемъ полученія твердаго раствора совершенно однороднаго во всѣхъ своихъ частяхъ требуетъ громаднаго промежутка времени, такъ какъ диффузія въ твердомъ тѣлѣ совершается очень медленно, а ниже температуры начала реакціи быть можетъ совершенно прекращается. Поэтому отвердѣвшіе сплавы сдѣлаться однородными путемъ диффузіи могутъ только послѣ продолжительнаго отжига при надлежащей температурѣ. Вслѣдствіе этого въ твердомъ растворѣ концентрація непрерывно возрастаетъ отъ центра къ периферіи и вслѣдствіе этого различныя части смѣшаннаго кристалла начинаютъ испыты-

вать превращение при различных температурах, так что сначала превращение начинается по периферии, затѣмъ въ сосѣднихъ слояхъ и т. д. пока не дойдетъ до центральныхъ частей, заканчивается во всѣхъ слояхъ при одной и той же температурѣ — такъ происходитъ явление, если начинается выдѣленіе $SbCu_2$, если же начинается выдѣленіе α $SbCu_3$, то превращение идетъ въ обратномъ порядкѣ отъ центра къ периферіи. И конечно при нѣкоторомъ составѣ въ сплавѣ могутъ одновременно происходить въ центрѣ выдѣленія α $SbCu_3$, на периферіи выдѣленіе $SbCu_2$, и оба эти превращенія будутъ распространяться одно на встрѣчу другому, сходясь въ тѣхъ слояхъ, составъ которыхъ отвѣчаетъ эвтектической—перлитовой точкѣ. Само собой понятно, что такія превращенія могутъ происходить только при медленномъ охлажденіи, при быстромъ же охлажденіи превращение не успѣетъ совершиться и тогда при обыкновенной температурѣ мы будемъ имѣть однородные кристаллы β твердаго раствора въ состояніи ложнаго равновѣсія. Это и будутъ закаленные сплавы.

XI.

Превращенія, испытываемыя твердыми растворами мѣди въ $SbCu_3$, т. е. сплавами, содержащими болѣе 61% Cu, поддаются изслѣдованію труднѣе, чѣмъ только что рассмотрѣнные, вслѣдствіе того, что измѣненіе температуры остановокъ очень незначительно, да и тепловой эффектъ выдѣленія мѣди изъ твердыхъ растворовъ значительно меньше, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ. Разматривая данныя таблицы III (стр. 34), нельзя не обратить вниманія на рѣзкое измѣненіе температуры второй остановки, которая съ 400°—402° Ц. сразу падаетъ до 391—386° Ц., какъ только составъ переходитъ за 61% Cu. Эта остановка при 390° Ц. наблюдается въ сплавахъ отъ 61% Cu до 65% Cu, причемъ въ этихъ же сплавахъ наблюдается еще и вторая остановка, при температурахъ выше 390° Ц., но эта вторая остановка не такъ рѣзко выражена, какъ первая. Начиная съ 65% Cu сплавы даютъ только одну остановку, температура которой возрастаетъ по мѣрѣ увеличенія содержанія въ сплавѣ мѣди и когда содержаніе мѣди достигнетъ 69%, то дальше уже остановка дѣлается постоянной при 415° Ц., такъ какъ сплавы состоятъ изъ однихъ и тѣхъ же компонентовъ, которыхъ только относительное количество измѣняется.

На основаніи этихъ данныхъ картину распада твердыхъ растворовъ въ этой области можно представить слѣдующимъ образомъ: смѣшанные кристаллы $SbCu_3$ формы β распадаются, выдѣляя или кристаллы α $SbCu_3$ или твердые растворы сурьмы въ мѣди, въ зависимости отъ состава сплава. Кристаллы α $SbCu_3$, выдѣляясь изъ формы β твердыхъ растворовъ, совсѣмъ или почти совсѣмъ не содержатъ мѣди, наоборотъ

мѣдь выдѣляясь изъ твердыхъ растворовъ можетъ содержать значительныя количества сурьмы. При содержаніи мѣди отъ 61% до 65% распаденеіе сплава начинается съ выдѣленія кристалловъ α SbCu_3 ; по мѣрѣ выпаденія этихъ кристалловъ остающійся твердый растворъ обогащается мѣдью, температура выдѣленія α SbCu_3 понижается, до тѣхъ поръ пока составъ твердаго раствора не дойдетъ до содержанія 65% Cu , въ этой точкѣ растворимость мѣди въ кристаллахъ α SbCu_3 при температурѣ превращенія 390°C . достигаетъ насыщениа и начинаютъ выдѣляться образованія мѣди, но такъ какъ мѣдь въ этихъ условіяхъ способна растворять большія количества сурьмы, то выдѣляется не чистая мѣдь, но твердый растворъ сурьмы въ мѣди. Сплавы, содержащіе болѣе 65% Cu начинаютъ распадаться съ выдѣленіемъ образованій мѣди, причемъ вся сурьма находится въ растворенномъ состояніи, выдѣленія кристалловъ α SbCu_3 уже не происходитъ и поэтому въ этихъ сплавахъ второй остановки не наблюдается (чер. IV, вѣтвь PNF). Распаденеіе это можно уподобить превращенію изъ парообразнаго состоянія въ жидкое системы, состоящей изъ такихъ двухъ компонентовъ, изъ которыхъ одинъ способенъ растворяться въ жидкомъ состояніи въ другомъ, а другой неспособенъ. Такой случай представляетъ изъ себя бромъ и вода. Вода способна растворять значительныя количества брома, но жидкій бромъ не растворяетъ воды или растворяетъ ея ничтожныя количества. Поэтому, если смѣсь паровъ брома и воды охлаждать, то въ томъ случаѣ, когда въ смѣси находится большее количество брома и малое количество воды, при охлажденіи сначала выдѣлятся капли брома, а потомъ начнутъ выдѣляться капли воды, насыщенной бромомъ при данныхъ температурѣ и давленіи, наоборотъ при охлажденіи смѣсей, содержащихъ избытокъ водяныхъ паровъ, начнутъ выдѣляться капли воды насыщенной бромомъ и если въ смѣси мало брома, то весь бромъ выдѣлится въ видѣ воднаго раствора и второго слоя не образуется. Такимъ образомъ здѣсь въ зависимости отъ состава однородная фаза распадается или на двѣ другія фазы, или же превращается въ систему, состоящую также изъ одной фазы, но другого физическаго состоянія.

XII.

Всѣ вышеприведенныя заключенія съ особенной ясностью обнаруживаются при изученіи микроструктуры сплавовъ. Изслѣдованіе микроструктуры этихъ сплавовъ производилось обычнымъ способомъ, т. е. сплавы тщательно отшлифовывались, затѣмъ вытравлялись надлежащими реагентами и разсматривались при увеличеніи отъ 100 до 200 разъ. Приготовленіе шлифовъ этихъ сплавовъ не представляетъ особенныхъ трудностей, такъ какъ они всѣ обладаютъ значительными твердостью и

хрупкостью — качествами наиболее благоприятными для получения хороших шлифовъ. Что касается вытравленія этихъ шлифовъ, то здѣсь пришлось прибѣгнуть въ нѣкоторыхъ случаяхъ къ особннымъ приемамъ. Въ этомъ отношеніи всѣ изученные мною сплавы соответственно тѣмъ компонентамъ, изъ которыхъ они состоятъ, можно разбить на четыре группы:

1-ая группа обнимаетъ сплавы отъ чистой сурьмы до чистаго соединенія $SbCu_2$, т. е. сплавы, въ которыхъ содержаніе мѣди измѣняется отъ 0 до 51%.

2-ая группа обнимаетъ сплавы отъ чистаго соединенія $SbCu_2$ до чистаго соединенія $SbCu_3$, т. е. сплавы съ содержаніемъ мѣди отъ 51 до 61%.

3-ья группа обнимаетъ сплавы отъ чистаго соединенія $SbCu_3$ до предѣльнаго чистаго твердаго раствора мѣди въ $SbCu_3$, т. е. сплавы содержащіе отъ 61 до 69% Cu.

4-ая группа обнимаетъ сплавы, состоящіе изъ предѣльнаго твердаго раствора мѣди въ $SbCu_3$ и свободной мѣди, т. е. сплавы, начинающіеся при 69% мѣди и заканчивающіеся чистой мѣдью.

I группа. Компонентами этой группы являются сурьма и соединеніе $SbCu_2$. Вытравливаніе этихъ сплавовъ производится легко и ясный и отчетливый рисунокъ получается при помощи различныхъ кислыхъ вытравителей, но лучше всего вытравленіе производить или при помощи крѣпкой царской водки (смѣси HCl и HNO_3) или при помощи разведенной соляной кислоты. Царскую водку слѣдуетъ брать нѣсколько постоявшую и пожелтѣвшую, шлифъ погружается на нѣсколько секундъ и затѣмъ быстро промывается водой. Обыкновенно сразу получается отчетливый рисунокъ, который въ полѣ микроскопа позволяетъ рассмотреть всѣ подробности структуры, но если желательно сдѣлать фотографическій снимокъ, то необходимо добиться того, чтобы образованія $SbCu_2$ получили черный цвѣтъ, для чего требуется нѣкоторый промежутокъ времени, при короткой же обработкѣ они получаютъ фіолетовый цвѣтъ, что для фотографированія невыгодно. Но при этомъ не слѣдуетъ подвергать вытравливанію шлифъ и слишкомъ долго, такъ какъ въ такомъ случаѣ и сурьма начинаетъ чернѣть; во всякомъ случаѣ послѣ нѣсколькихъ пробъ нетрудно получить хорошее вытравливаніе. Еще удобнѣе производить вытравливаніе шлифовъ въ соляной кислотѣ при помощи гальваническаго тока по способу Ле Шателье *) Въ этомъ случаѣ при надлежащей плотности тока $SbCu_2$ чернѣетъ, а сурьма остается неизмѣненной. Нѣсколько затруднительнѣй вытравлять сплавы, приближающіеся къ опре-

*) Bul. de la Soc. d'Enc. 1896 г.

дѣленному соединенію $SbCu_2$, но и они даютъ хорошіе результаты при помощи способа Ле-Шателье. На фигурахъ 1—11 представлены микрофотографіи шлифовъ, вытравленныхъ этими двумя способами. Всѣ снимки сдѣланы при увеличеніи въ 150 разъ, и на всѣхъ нихъ бѣлыя части отвѣчаютъ свободной сурьмѣ, а черныя—соединенію $SbCu_2$. На этихъ сплавахъ можно наглядно прослѣдить связь между кривой плавкости и микроструктурой сплавовъ. **Всѣ эти сплавы на кривой плавкости лежатъ на вѣтвяхъ АВ и ВС, и какъ мы уже упоминали, всѣ они, за исключеніемъ сплава отвѣчающаго эвтектической точкѣ, затвердѣваютъ въ нѣкоторомъ промежутокѣ температуры, давая на кривыхъ скоростей охлажденія двѣ рѣзко выраженныхъ остановки:** первую—начала затвердѣванія, измѣняющуся съ составомъ сплава, и вторую—конца затвердѣванія—постоянную для всѣхъ сплавовъ. **Каждая** изъ этихъ остановокъ отвѣчаетъ моменту, когда изъ жидкаго раствора начинаетъ выпадать новая твердая фаза, поэтому двѣ остановки указываютъ на существованія въ твердомъ сплавѣ двухъ составляющихъ. Сплавъ, отвѣчающій эвтектической точкѣ, затвердѣваетъ сначала до конца при постоянной температурѣ—наинизшей изъ всѣхъ возможныхъ температуръ, при которыхъ онъ еще можетъ оставаться жидкимъ. Въ этой точкѣ обѣ составляющія выпадаютъ изъ жидкаго раствора одновременно, такъ какъ при ней взаимная растворимость обоихъ тѣлъ достигаетъ предѣла при одной и той же температурѣ. Разсмотримъ микроструктуры мы начнемъ съ этого сплава. Типичную картину строенія эвтектическихъ смѣсей представляетъ фиг. 7. Характернымъ признакомъ такого строенія является равномерное распределеніе обоихъ тѣлъ во всѣхъ частяхъ сплава и отсутствіе хорошо выраженныхъ кристалловъ. Очень часто эвтектическіе сплавы имѣютъ раковистый изломъ, что въ связи съ постоянствомъ температуры затвердѣванія считалось прежде доказательствомъ образованія опредѣленнаго соединенія. Такой характеръ строенія эвтектическихъ сплавовъ обуславливается механизмомъ затвердѣванія жидкаго раствора, и зависитъ отъ явленій переохлажденія и неодинаковой скорости кристаллизаціи выделяющихся тѣлъ *). Благодаря явленіямъ переохлажденія при затвердѣваніи эвтектическихъ сплавовъ кристаллы одного изъ тѣлъ могутъ развиться въ достаточной степени и тогда, разумѣется, въ жидкой части сплава концентрація второго компонента увеличится и онъ тоже начнетъ выдѣляться въ видѣ развитыхъ кристалловъ. Вслѣдствіе этого получить сплавъ, хотя бы и отвѣчающій по составу эвтектической точкѣ, во всѣхъ частяхъ одинакового строенія удастся сравнительно рѣдко. Обык-

*) См. протоколъ засѣд. Металлогр. Коммис. при И. Р. Т. О. Сообщение А. А. Байкова: «О механизмѣ затвердѣванія эвтектическихъ смѣсей».

новенно же рядомъ съ настоящей эвтектической структурой находятся мѣста, въ которыхъ преобладаетъ то одно, то другое тѣло. Микрофотографіи 5, 6, 7 и 8 всѣ сдѣланы съ одного и того же куска сплава, имѣющаго составъ эвтектической смѣси: изъ нихъ только фиг. 7 отвѣчаетъ истинному строенію эвтектической смѣси, на фиг. же 5 и 6 мы имѣемъ кристаллы сурьмы, окруженные эвтектической смѣсью, а на фиг. 8—кристаллы $SbCu_2$, окруженные также эвтектикой. Если взять сплавъ, содержащій избытокъ одного изъ компонентовъ, то затвердѣваніе начнется выдѣленіемъ кристалловъ этого компонента, которые будутъ расти до тѣхъ поръ, пока жидкій сплавъ не достигнетъ состава эвтектической смѣси, когда начнетъ выдѣляться и второй компонентъ, одновременно съ первымъ, въ видѣ эвтектической смѣси. Сообразно съ этимъ микроструктура сплава будетъ состоять изъ кристалловъ компонента, взятаго въ избытѣ, окруженныхъ эвтектической смѣсью. Примѣромъ такой микроструктуры можетъ служить фиг. 1, представляющая строеніе сплава, содержащаго избытокъ сурьмы (90%). На ней видны бѣлые кристаллы сурьмы, окруженные эвтектической смѣсью. Такъ какъ выдѣляющіеся при затвердѣваніи кристаллы имѣютъ удѣльный вѣсъ иной, чѣмъ жидкій сплавъ, то они не остаются въ равновѣсіи въ жидкости, но или тонуть или всплываютъ—происходитъ такъ называемое явленіе ликвиціи, обуславливающее неравномѣрное распредѣленіе кристалловъ въ массѣ сплава. Фиг. 2, 3 и 4 представляютъ строеніе различныхъ частей того же куска, съ котораго сдѣлана микрофотографія на фиг. 1. Если взять сплавъ содержащій болѣе 24% мѣди, то сначала начнутъ выдѣляться кристаллы $SbCu_2$, а потомъ эвтектическая смѣсь, какъ это видно на фиг. 9, представляющей микроструктуру сплава съ 30% мѣди. По мѣрѣ увеличенія мѣди количество кристалловъ возрастаетъ, а количество эвтектики уменьшается, какъ это видно на фиг. 10 и 11. При 51% сплавъ является совершенно однороднымъ и состоящимъ изъ кристалловъ $SbCu_2$ —эвтектическая смѣсь совершенно отсутствуетъ.

ХІІІ.

Всѣ сплавы, рассмотрѣнные до сихъ поръ, имѣютъ одинаковую структуру, независимо оттого, съ какой быстротой они охлаждаются послѣ затвердѣванія. Сплавы, содержащіе мѣди свыше 51%, напротивъ того представляютъ существенное различіе въ строеніи въ зависимости оттого, насколько быстро происходило ихъ охлажденіе. Въ виду этого для каждаго сплава микроструктура наблюдалась на двухъ образцахъ: быстро-охлажденномъ (закаленномъ) и медленно-охлажденномъ (отпущенномъ). Образцы эти приготовлялись слѣдующимъ образомъ: сплавъ, полученный

непосредственнымъ сплавленіемъ мѣди и сурьмы въ надлежащихъ количествахъ, въ жидкомъ видѣ разливался въ два тигля; одинъ тигель охлаждался медленно самъ собой на воздухѣ, а въ другой тигель помещался конецъ пирометра, при помощи котораго можно было слѣдить за паденіемъ температуры. Когда пирометръ указывалъ, что процессъ затвердѣванія окончился, и температура начинала понижаться, сплавъ погружался въ холодную воду и такимъ образомъ быстро охлаждался. Отшлифованные и вытравленные образцы полученныхъ такимъ образомъ сплавовъ показали, что скорость охлажденія существеннымъ образомъ вліяетъ на микроструктуру, при чемъ слѣдуетъ обратить вниманіе на то, что различіе въ строеніи отпущенныхъ и закаленныхъ образцовъ обуславливается исключительно превращеніями, совершающимися *въ твердомъ состояніи*, такъ какъ до полного затвердѣванія и тѣ и другіе образцы находились въ одинаковыхъ условіяхъ охлажденія.

Микроструктура закаленныхъ сплавовъ съ содержаніемъ мѣди отъ 53,5 до 69% является совершенно одинаковой. Образцы ея представлены на фиг. 12, 13 и 29, на которыхъ изображены микрофотографіи сплавовъ съ 55%, 61% и 63,5% мѣди. Вытравленіе этихъ сплавовъ можно производить или царской водкой или при помощи гальваническаго тока въ соляной кислотѣ. Послѣ такого вытравленія сплавы въ полѣ микроскопа представляются совершенно однородными, раздѣленными тонкими линіями на замкнутые контуры. Такое строеніе обуславливается механизмомъ затвердѣванія твердыхъ растворовъ: затвердѣваніе начинается въ центрахъ кристаллизаціи и распространяется отъ нихъ во всѣ стороны, такъ что границы соприкосновенія двухъ смежныхъ областей затвердѣваютъ въ самомъ концѣ и здѣсь скопляются всѣ примѣси, которыя, хотя бы и въ ничтожныхъ количествахъ, всегда присутствуютъ въ сплавѣ — они то и обуславливаютъ образованіе такихъ тонкихъ линій. Кромѣ того, какъ это было изложено ранѣе, затвердѣваніе твердыхъ растворовъ происходитъ такимъ образомъ, что вначалѣ выдѣляются твердые растворы самой слабой концентраціи, а потомъ все болѣе концентрированные. Поэтому на границахъ находятся твердые растворы наибольшей концентраціи, которые даже при очень быстромъ охлажденіи успѣваютъ разложиться и выдѣлить растворенное тѣло. Въ сплавахъ, содержащихъ мѣди менѣе 61%, выдѣляется $SbCu_2$, а при содержаніи мѣди болѣе — выдѣляется мѣдь (твердый растворъ съ большимъ содержаніемъ мѣди). Вслѣдствіе этого въ первыхъ сплавахъ эти линіи при вытравленіи остаются бѣлыми — чернѣетъ подъ вліяніемъ вытравленія тѣло кристалла, какъ содержащее болѣе мѣди, тогда какъ во вторыхъ сплавахъ чернѣютъ линіи — отвѣчающіе оболочкѣ кристалла, а самый кристаллъ остается неизмѣненнымъ (см. фиг. 12, 13 и 29).

Такимъ образомъ данныя микроструктуры вполне подтверждаютъ выводы, полученные на основаніи кривой плавкости о существованіи однородныхъ твердыхъ растворовъ, составъ которыхъ измѣняется отъ 53,5 до 69% Cu. Только при большемъ содержаніи мѣди затвердваніе сплава приводитъ къ неоднородному тѣлу — начинаютъ выдѣляться кристаллы мѣди *) и кристаллы предѣльнаго твердаго раствора, какъ это видно на фиг. 14, гдѣ представлена микрофотографія сплава съ 70% Cu. При дальнѣйшемъ увеличеніи мѣди строеніе остается такимъ же, только относительное количество мѣди возрастаетъ, а количество твердаго раствора убываетъ.

Совершенно другую картину представляетъ строеніе этихъ сплавовъ послѣ медленнаго охлажденія. Въ этомъ случаѣ твердые растворы распадаются и въ результатъ появляется тѣло неоднородное, состоящее изъ двухъ различныхъ тѣлъ. Только одинъ сплавъ при медленномъ охлажденіи остается также однопороднымъ, какъ и при быстромъ охлажденіи — это тотъ сплавъ, составъ котораго отвѣчаетъ формулѣ $SbCu_3$ (61% Cu), хотя и его строеніе измѣняется. На фиг. 15, 16, 17 и 18 представлены микрофотографіи медленно охлажденныхъ сплавовъ — первый изъ нихъ отвѣчаетъ соединенію $SbCu_3$, остальные содержатъ избытокъ сурьмы. Всѣ эти сплавы при быстромъ охлажденіи даютъ микроструктуру такую, какая представлена на фиг. 12. Всѣ эти сплавы (фиг. 12, 15, 16, 17 и 18) вытравлены одинаковымъ образомъ—царской водкой—и сняты при одномъ и томъ же увеличеніи — около 100 діам. Одного взгляда достаточно, чтобы видѣть какія глубокія измѣненія претерпѣваютъ эти сплавы при медленномъ охлажденіи. Чтобы уяснить настоящимъ образомъ, какъ велики эти измѣненія, необходимо припомнить, что образованіе твердыхъ растворовъ совершается выше точки перехода $SbCu_2$ въ $SbCu_3$, другими словами, твердые растворы являются смѣшанными кристаллами сурьмы и соединенія $SbCu_3$, но распаденіе ихъ совершается ниже точки перехода и поэтому сурьма выдѣляется въ видѣ соединенія $SbCu_2$. Мы уже видѣли, что предѣльный твердый растворъ (53,5% Cu) по отношенію къ сурьмѣ имѣетъ концентрацію 12,5%, тогда какъ по отношенію къ $SbCu_3$ концентрація выразится числомъ = 77%. Это число показываетъ, какія значительныя количества $SbCu_2$ должны выдѣляться изъ однороднаго тѣла—твердаго раствора—даже если концентрація ихъ по отношенію къ сурьмѣ не велика, и каковы слѣдовательно должны быть внутреннія напряженія въ закаленныхъ сплавахъ, которые, такъ сказать, на-

*) Строго говоря это кристаллы не мѣди, но твердаго раствора сурьмы въ мѣди, и концентрація его довольно значительна, судя по тому, что цвѣтъ этихъ кристалловъ блѣдно-желтый, тогда какъ обыкновенно кристаллы мѣди имѣютъ красно-розовый цвѣтъ.

сильно удержаны от распада. Приведенныя микрофотографіи иллюстрируют эти соотношенія. Насколько велики здѣсь напряжения можно судить изъ того, что мнѣ не разъ приходилось наблюдать, какъ при отпускѣ закаленныхъ образцовъ они распадались на мелкіе куски, и въ нѣкоторыхъ случаяхъ такое распадѣніе превращало въ мелкій порошокъ отпускаемый образецъ.

Такимъ образомъ въ этихъ сплавахъ закалка оказываетъ существенное вліяніе на микроструктуру. Выше уже было указано, что здѣсь вліянія закалки обусловливаются двумя обстоятельствами: распадѣніемъ твердыхъ растворовъ и полиморфизмомъ соединенія $SbCu_3$. Оба эти обстоятельства сказываются на строеніи сплавовъ и каждое изъ нихъ проявляется одинаковымъ и постояннымъ образомъ. Чтобы прослѣдить вліяніе этихъ факторовъ необходимо для одного и того же сплава примѣнить два различныхъ вытравленія: одно сильное—позволяющее обнаружить неоднородность сплава, обусловленную распадѣніемъ твердаго раствора, и другое—тонкое, которое позволяетъ обнаружить измѣненіе кристаллической структуры, обязанное явленіямъ полиморфизма. Для сплавовъ, отвѣчающихъ формулѣ $SbCu_3$ или взятыхъ съ избыткомъ сурьмы (отъ 39% до 46,5% Sb) въ качествѣ сильнаго вытравителя всего лучше оказалась вода. Если на хорошо отполированную поверхность сплава помѣстить каплю воды, то подъ вліяніемъ кислыхъ паровъ, находящихся въ воздухѣ, сплавъ начинаетъ окисляться и по прошествіи нѣсколькихъ минутъ (5—10) покрывается буровато-краснымъ весьма тонкимъ слоемъ окисловъ. Оказывается, что такому окисленію подвергается прежде всего соединеніе $SbCu_3$, соединеніе же $SbCu_2$ остается неизмѣненнымъ. Этотъ способъ вытравленія для медленно-охлажденныхъ сплавовъ въ предѣлахъ отъ 51% Cu до 61% Cu, которые состоятъ только изъ двухъ соединеній $SbCu_2$ и $SbCu_3$, даетъ прекрасные результаты и легко позволяетъ прослѣдить, какъ измѣняются относительныя количества этихъ двухъ тѣлъ съ измѣненіемъ состава сплава. Если затѣмъ такой вытравленный водой шлифъ обработать слабой соляной кислотой, то окислы растворяются, шлифъ становится бѣлымъ, но при этомъ обнаруживается тонкій и характерный рисунокъ, обязанный той перекристаллизациі, которая происходитъ при переходѣ полиморфной разновидности кристалловъ β въ кристаллы α . Микрофотографіи 19 и 20 показываютъ эти соотношенія для сплава, отвѣчающаго соединенію $SbCu_3$; первый рисунокъ получается при вытравленіи водой — онъ состоитъ изъ крупныхъ кристаллообразованій соединенія $SbCu_3$ *), окаймленныхъ на границахъ тонкой оторочкой соединенія $SbCu_2$. Присутствіе этой оторочки объясняется тѣмъ, что сплавъ

*) Правильные твердыхъ растворовъ сурьмы въ $SbCu_3$, но только очень слабой концентраціи.

содержать незначительный избыток сурьмы, которая в видѣ твердаго раствора замѣтной концентраціи выдѣлилась при самомъ концѣ затвердѣванія, и при медленномъ охлажденіи этотъ твердый растворъ распался съ образованіемъ $SbCu_2$. На этой микрофотографіи черныя окисленные части представляютъ соединеніе $SbCu_3$, если же его обработать соляной кислотой, то окислы удаляются и обнаруживается структура, представленная на фиг. 20. Эта структура, состоящая изъ ряда параллельныхъ штриховъ, пересекающихся подъ опредѣленными углами, характерна для разновидности α $SbCu_3$, форма же β (быстроохлажденный сплавъ), какъ это видно на фиг. 13, ни при сильномъ, ни при слабомъ вытравленіи этой штриховатой структуры не обнаруживается. Правильность и ориентированность въ расположеніи этихъ штриховъ не оставляетъ никакого сомнѣнія въ томъ, что происхожденіе ихъ обязано кристаллографическимъ силамъ, дѣйствующимъ во время превращенія формы β въ форму α . Фиг. 21 и 22 представляютъ подобное же соотношеніе для сплава съ 60% Cu, т. е. содержащаго уже замѣтный избытокъ сурьмы. Этотъ сплавъ на кривой распадения твердыхъ растворовъ (см. черт. IV) лежитъ близко къ эвтектической (перлитовой) точкѣ. Въ немъ центральныя массы кристаллообразованій $SbCu_3$ уже содержатъ значительныя количества $SbCu_2$ (см. фиг. 21) и вслѣдствіе этого правильность въ направленіи штриховатыхъ линій (фиг. 22) полиморфнаго превращенія менѣе замѣтна, такъ какъ включенія $SbCu_2$ не даютъ свободы для ихъ распространенія. Чѣмъ больше избытокъ сурьмы, тѣмъ больше выдѣляется соединенія $SbCu_2$, какъ это видно на фиг. 23 и 24, которыя отвѣчаютъ сплавамъ съ 41% и 43% Sb и оба вытравлены водой. На фиг. 25 представленъ сплавъ съ 44% Sb, вытравленный водой; въ немъ бѣлаго соединенія $SbCu_2$ уже больше половины, и если послѣ окисленія водой его промыть соляной кислотой, то получается рисунокъ, изображенный на фиг. 26. Этотъ рисунокъ очень характеренъ и наглядно показываетъ фазы превращенія твердаго раствора. Какъ нами показано выше, эти сплавы при охлажденіи въ твердомъ видѣ даютъ двѣ остановки: первую — выдѣленія изъ смѣшанныхъ кристалловъ β соединенія $SbCu_2$, вторую — перехода кристалловъ β въ кристаллы α . Если сопоставить микрофотографіи 12, 25 и 26, то вліяніе каждой остановки опредѣленнымъ образомъ обнаруживается на микроструктурѣ. Застывая сплавъ имѣетъ структуру, изображенную на фиг. 12. Это однородные смѣшанные кристаллы β . Достигая температуры первой остановки, онъ выдѣляетъ соединеніе $SbCu_2$ и становится неоднороднымъ; этому моменту отвѣчаетъ фиг. 25; наконецъ, при дальнѣйшемъ охлажденіи, достигая 400° Ц. онъ даетъ вторую остановку, при которой кристаллы β переходятъ въ кристаллы α — результатомъ чего является характерная штриховатость, которая слабо замѣтна на фиг. 25, и отчет-

ливо обнаруживается на фиг. 26, на которой соединение $SbCu_2$ (не показывающее явлений полиморфизма) является не заштрихованным, а соединение $SbCu_3$ покрыто штрихами.

Если взять сплав, отвечающий предельному твердому раствору (53,5% Cu), то получить его вполне однородным при закалке после затверждения нельзя, так как для него температура распада совпадает с температурой затверждения и поэтому уже во время затверждения он начинает выделять соединение $SbCu_2$. Поэтому быстрым охлаждением можно только задержать дальнейшее распадение твердого раствора. Микроструктура такого полу-закаленного сплава представлена на фиг. 27. Наконец, если взять сплав с еще большим содержанием сурьмы, то соединение $SbCu_2$ начинает выделяться в то время, когда еще не вся масса затвердела, и при этом из смешанных кристаллов тоже начинается выделение $SbCu_2$. Поэтому, если такой сплав быстро охладить тотчас после затверждения, то в нем ясно можно видеть соединение $SbCu_2$ в двух видах: вылившееся из жидкого раствора — в виде широких светлых оторочек, окружающих центральные массы и резко от них отделенных (фиг. 28), и вылившееся из твердого раствора в виде тонких иголок, имеющих известную ориентацию.

Если обратиться к твердым растворам, содержащим избыток мѣди, то и для них мы получим подобныя же соотношенія и рѣзкое различіе между структурой быстро и медленно охлажденных образцовъ. Образчикомъ такого измѣненія структуры могутъ служить микрофотографіи сплава съ 63,5% мѣди на фиг. 29 — быстроохлажденного (закаленного) и на фиг. 30 — медленноохлажденного (отпущеннаго). На послѣдней микрофотографіи ясно видно, что и здѣсь соотвѣтственно двумъ остановкамъ мы имѣемъ два рѣзко различающихся структурныхъ элемента. Не вдаваясь въ детальное разсмотрѣніе этого вопроса, такъ какъ эта область сплавовъ мѣди и сурьмы мною не изслѣдована съ достаточной полнотой, считаю нужнымъ указать на то, что изученіе этихъ сплавовъ можетъ дать новыя и неожиданныя данныя по вопросу о превращеніяхъ, совершающихся въ твердомъ состояніи. Повидимому явленіе здѣсь сложнѣе, чѣмъ въ сплавахъ, содержащихъ избытокъ сурьмы, но разобратъся въ немъ тѣмъ болѣе интересно, что микроструктура этихъ сплавовъ и ея особенности весьма сходны съ тѣми явленіями, которыя наблюдаются въ бронзѣ. Вопросъ о строеніи и явленіяхъ закалки въ сплавахъ олова и мѣди, несмотря на многочисленныя изслѣдованія выдающихся изслѣдователей, до сихъ поръ полонъ противорѣчій и совершенно не разъясненъ. Это конечно объясняется сложностью вопроса и различными трудностями, возникающими при изученіи этихъ сплавовъ.

Очень возможно, что сплавы мѣди и сурьмы въ этомъ отношеніи ока-

жуются болѣе благопріятными и дадутъ указанія, которыя могутъ значительно облегчить разъясненіе природы бронзы. Кажется, что къ этой же категоріи относится и аустенитъ — структурный элементъ, характерный для стали съ большимъ содержаніемъ углерода, и о природѣ котораго до сихъ поръ мы не имѣемъ удовлетворительнаго представленія.

XIV.

Заканчивая настоящій очеркъ, я не могу не остановиться на нѣкоторыхъ соображеніяхъ по вопросу объ образованіи и распаденіи твердыхъ растворовъ.

До сихъ поръ мы пока еще не имѣемъ полной теоріи твердыхъ растворовъ, удовлетворительно объясняющей затвердѣваніе системъ, выдѣляющихъ смѣшанные кристаллы. Простыя и согласующіяся съ фактами соображенія высказалъ Вантъ-Гоффъ, но онъ разобралъ образованіе только первыхъ смѣшанныхъ кристалловъ, начало затвердѣванія, и не представилъ схемы полнаго затвердѣванія. Розебумъ систематически разобралъ различные случаи образованія твердыхъ растворовъ и сдѣлалъ попытку дать полное рѣшеніе вопроса и представить механизмъ затвердѣванія системы, выдѣляющей смѣшанные кристаллы, до самаго конца. Согласно его взглядамъ образованіе смѣшанныхъ кристалловъ происходитъ до конца затвердѣванія только въ томъ случаѣ при постоянной температурѣ, если затвердѣвающий растворъ занимаетъ на кривой плавкости максимум или минимумъ, и при этомъ условіи составъ твердой и жидкой фазы является одинаковымъ. Если же исходный растворъ занимаетъ на кривой плавкости какое-нибудь другое мѣсто, то образованіе смѣшанныхъ кристалловъ происходитъ въ нѣкоторомъ промежуткѣ температуры, при чемъ температурныя границы зависятъ отъ состава исходнаго раствора, и составъ выдѣляющейся твердой фазы тоже измѣняется въ нѣкоторыхъ предѣлахъ. Насколько справедлива первая часть этого представленія, настолько же трудно допустить правильность второй части. Это слѣдуетъ изъ того, что если просуммировать смѣшанные кристаллы, допуская, что они образуются согласно схемѣ Розебума, то мы не получимъ составъ исходнаго раствора, такъ какъ концентрація всѣхъ выдѣляющихся кристалловъ менѣе концентраціи исходнаго жидкаго раствора и только послѣдніе кристаллы будутъ имѣть его составъ. Поэтому приходится допустить, что въ такихъ случаяхъ зависятъ отъ состава затвердѣвающего раствора только составъ первыхъ кристалловъ, составъ же послѣднихъ кристалловъ опредѣляется или ближайшимъ минимумомъ или ближайшей переходной точкой. Другими словами, затвердѣваніе системы, начинаясь выпаденіемъ смѣшанныхъ кристалловъ, составъ которыхъ опредѣляется составомъ исходной

жидкой фазы, всегда заканчивается выпадением смѣшанных кристаллов предѣльной концентрации, которая не зависитъ отъ состава исходной жидкой фазы. Предположеніе Розебума справедливо въ томъ смыслѣ, что составъ значительной части смѣшанныхъ кристалловъ будетъ заключаться въ нѣкоторыхъ предѣлахъ, подобно тому какъ при перегонкѣ смѣси жидкостей главная масса раствора будетъ перегоняться въ нѣкоторыхъ температурныхъ границахъ, но какъ въ этомъ случаѣ, такъ и при образованіи твердыхъ растворовъ составъ послѣднихъ выдѣленій будетъ опредѣляться видомъ кривой упругости пара или кривой плавкости, и не зависитъ отъ состава исходной фазы. Фактическимъ подтвержденіемъ этого положенія является **микроструктура** изслѣдованныхъ мною твердыхъ растворовъ сурьмы въ **соединеніи** $SbCu_3$. Какъ бы близко взятые сплавы не приближались къ **формулѣ** соединенія $SbCu_3$, на нихъ всегда можно наблюдать, что **главныя центральныя** массы этого соединенія окружены свѣтлой оторочкой, **болѣе или менѣе** тонкой, но всегда очень явственной, соединенія $SbCu_3$, **обусловленной** распаденіемъ тонкаго слоя предѣльнаго твердаго раствора, **который, какъ** это было указано ранѣе, начинаетъ распадаться уже въ то время, **когда** сплавъ еще затвердѣваетъ, и распаденіе котораго нельзя **поэтому** предотвратить быстрымъ охлажденіемъ сполна затвердѣвшаго сплава. **Примѣры** такого явленія можно видѣть на фиг. 12 и 19.

Такимъ образомъ слѣдуетъ допустить, что при образованіи твердыхъ растворовъ только составъ первыхъ кристалловъ зависитъ отъ состава жидкой фазы, составъ же послѣднихъ кристалловъ отъ нея не зависитъ, всегда одинъ и тотъ же, и опредѣляется видомъ кривой плавкости, и если присутствіе такихъ образований не всегда можно обнаружить (пирометромъ при застываніи или микроскопомъ), то это зависитъ оттого, что масса ихъ достигаетъ замѣтной величины только въ томъ случаѣ, если исходная жидкая фаза перейдетъ за извѣстный составъ. Этимъ объясняется, почему въ образцахъ стали, даже съ сравнительно небольшимъ содержаніемъ углерода, всегда находится, правда въ ничтожныхъ количествахъ, такъ называемый графитообразный углеродъ отжига.

Распаденіе твердыхъ растворовъ и строеніе ихъ до сихъ поръ изучалось почти исключительно на стали. Какъ извѣстно, въ отпущенный (медленно охлажденной) стали принимаются три структурныхъ элемента: ферритъ—являющійся чистымъ или почти чистымъ желѣзомъ, цементитъ или карбидъ желѣза Fe_3C и перлитъ, который является состоящимъ изъ чередующихся слоевъ феррита и цементита. Образованіе этихъ элементовъ и ихъ взаимное отношеніе, т. е. структура, по общепринятому въ настоящее время взгляду аналогичны тому, что наблюдается при затвердѣваніи жидкихъ растворовъ, причемъ ферритъ и цементитъ отвѣчаютъ

двумъ компонентамъ, образующимъ систему, а перлитъ соответствуетъ эвтектической смѣси. Аналогія эта имѣетъ мѣсто не только по виду кри-
выхъ превращенія, но и по характеру строенія. Подобно тому, какъ при
затвердѣваніи жидкаго раствора, т. е. при его распаденіи, всегда полу-
чается строеніе, состоящее **изъ комбинаціи только одного компонента и**
эвтектической смѣси или одной эвтектической смѣси, и никогда не встрѣ-
чаются одновременно оба компонента и эвтектическая смѣсь, такъ и при
распаденіи твердыхъ растворовъ ферритъ никогда не встрѣчается въ ком-
бинаціи съ цементитомъ, а только съ перлитомъ и наоборотъ. Мало этого,
даже строеніе перлита по своему внѣшнему виду очень напоминаетъ
строеніе эвтектическихъ смѣсей. На основаніи такой глубокой аналогіи
полагаютъ, что **при распаденіи твердыхъ растворовъ** происходитъ дѣй-
ствительное распаденіе ихъ и отдѣленіе феррита отъ цементита. Если
взять напр. сталь, отвѣчающую перлитовой точкѣ, т. е. съ содержаніемъ
0,85 углерода, и разсматривать ее въ полѣ микроскопа послѣ надлежа-
щаго вытравленія, то какъ извѣстно получается характерная картина,
состоящая изъ тонкихъ чередующихся свѣтлыхъ и черныхъ полосъ.
Полагаютъ, что свѣтлыя полосы состоятъ изъ феррита, т. е. чистаго
жельза, а темныя полосы представляютъ изъ себя карбидъ жельза
 Fe_3C . Съ этимъ мнѣніемъ никакъ нельзя согласиться и въ такое
представленіе о строеніи стали необходимо ввести существенныя по-
правки. Нельзя допустить, чтобы однородное кристаллическое твердое
тѣло, испытывая превращеніе, распалось на части конечныхъ размѣ-
ровъ, представляющія рѣзкое различіе въ составѣ. Предполагая, что
при распаденіи мартенсита, вполне однороднаго во всѣхъ частяхъ, въ
однихъ мѣстахъ собирается жельзо, а въ другихъ карбидъ, приходится
допустить въ твердомъ тѣлѣ существованіе такой диффузіи, представить
которую нѣтъ никакой возможности. Такая диффузія тѣмъ болѣе непо-
нятна, что она должна совершаться въ то время, когда однородность
уже нарушена, когда твердый растворъ уже пересталъ существовать.
Вѣдь если намъ извѣстны случаи диффузіи одного твердаго тѣла въ дру-
гомъ, хотя бы на примѣръ углерода въ жельзѣ во время цементациі, то
именно образованіемъ твердыхъ растворовъ мы и объясняемъ возмож-
ность такого явленія. Это затрудненіе въ пониманіи структуры стали еще
болѣе возрастаетъ, если вмѣсто перлита мы возьмемъ сталь съ меньшимъ
содержаніемъ углерода, когда наблюдаются довольно значительныя обра-
зованія феррита въ комбинаціи съ перлитомъ. Строеніе распавшихся
твердыхъ растворовъ въ сплавахъ мѣди и сурьмы также вызываетъ боль-
шое недоумѣніе. Разсматривая микрофотографіи 21, 23, 24, 25, 26, 16
нельзя не обратить вниманія на ту рѣзкую границу, которая отдѣляетъ
черныя образованія $SbCu_3$ и свѣтлыя $SbCu_2$, и на ту скученность, кото-

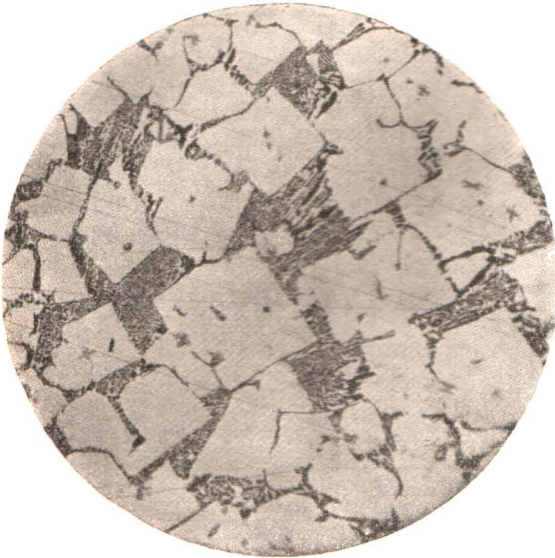
рая наблюдается въ расположеніи этихъ образованій. Нельзя допустить, чтобы въ то короткое время — всего нѣсколько минутъ — во время котораго происходило остываніе сплава, могло произойти такое проникновеніе одного твердаго тѣла черезъ другое. Нельзя этого объяснить также механизмомъ застыванія жидкаго сплава, потому что хотя при этомъ составъ выпадающихъ кристалловъ все время измѣняется, то онъ измѣняется непрерывно и постепенно, а глядя на эти микрофотографіи приходится допустить, что сначала выпадаютъ кристаллы одного состава, а потомъ вдругъ сразу начинаютъ выдѣляться кристаллы состава, рѣзко отличающагося отъ только что предшествующихъ. Въ этомъ отношеніи особенно непонятны микрофотографіи 16 и 26. Объяснить всё эти противорѣчія возможно только однимъ путемъ, а именно приходится придти къ заключенію, что та структура, которая наблюдается въ распавшихся твердыхъ растворахъ, есть структура не вещественныхъ соотношеній, а кристаллографическихъ. Другими словами различное отношеніе отдѣльныхъ участковъ къ вытравителю обусловливается не различіемъ состава ихъ, а различіемъ кристаллографическихъ свойствъ поверхностей этихъ участковъ. Въ самомъ дѣлѣ, если распаденіе твердыхъ растворовъ обусловливается двумя независимыми превращеніями: переходомъ одного компонента изъ одной полиморфной формы въ другую, и образованіемъ изъ первой полиморфной разновидности второго компонента иной кристаллической формы, то можно себѣ представить, что если въ какомъ-нибудь участкѣ произошло первымъ одно изъ этихъ превращеній, то оно и придастъ этимъ участкамъ тѣ кристаллографическія свойства, которыя присущи образовавшемуся тѣлу, и если потомъ въ этомъ участкѣ произойдетъ второе превращеніе, то какъ совершающееся въ меньшей мѣрѣ, оно уже будетъ неспособно преобразовать кристаллографическія свойства этого участка сообразно своимъ свойствамъ. Поэтому, если въ сплавѣ составъ непрерывно измѣняется отъ центра къ периферіи, то въ центральномъ ядрѣ первымъ пачнется одно превращеніе, а по периферіи первымъ совершится другое превращеніе, въ промежуткѣ же должна находиться перлитовая область, гдѣ оба превращенія могутъ совершаться одновременно и если эта перлитовая область незначительна (что зависитъ отъ кривой плавкости) то она будетъ незамѣтна. Вслѣдствіе этого центральныя части будутъ обладать одними кристаллографическими свойствами, наружныя другими и такъ какъ кристаллографическія свойства играютъ существенную роль при разѣданіи—вытравленіи, то мы и получимъ ту картину, которая наблюдается въ дѣйствительности.

Что касается строенія перлита, гдѣ одновременно совершаются оба превращенія, то образованіе въ немъ участковъ различныхъ кристаллографическихъ свойствъ легко станетъ понятнымъ, если принять во вни-

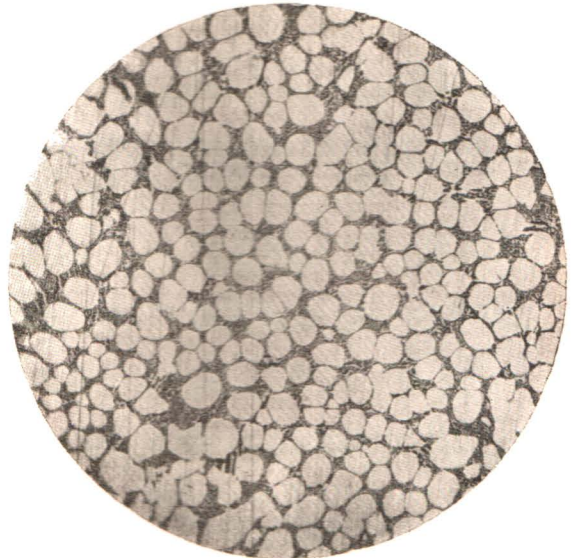
маніе, что превращенія здѣсь все время совершаются путемъ переохлажденія, при чемъ распространяется то одно, то другое превращеніе, совершенно такъ же, какъ происходитъ затвердѣваніе эвтектическихъ растворовъ, такъ что въ дѣйствительности на одномъ и томъ же участкѣ одновременно оба превращенія никогда не совершаются.

Такимъ образомъ. та структура, которая свойственна распавшимся твердымъ растворамъ, есть явленіе исключительно кристаллографическое и та аналогія, которая существуетъ между ними и отвердѣвшими жидкими растворами-сплавами, обуславливается лишь аналогіей механизма превращенія. Если въ обыкновенномъ сплавѣ, при помощи вытравителя мы наблюдаемъ дѣйствительное распредѣленіе различныхъ тѣлъ въ массѣ сплава, то для распавшагося твердаго раствора этимъ способомъ мы можемъ наблюдать лишь порядокъ и распространеніе превращеній, обуславливающихъ его распаденіе, иначе говоря структура распавшихся твердыхъ растворовъ есть явленіе исключительно оптическое.

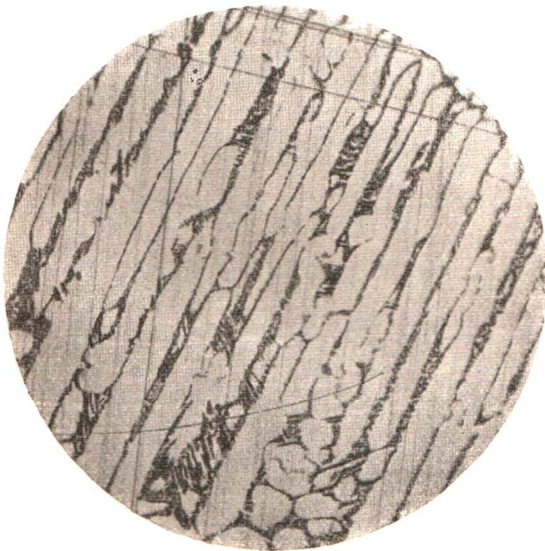




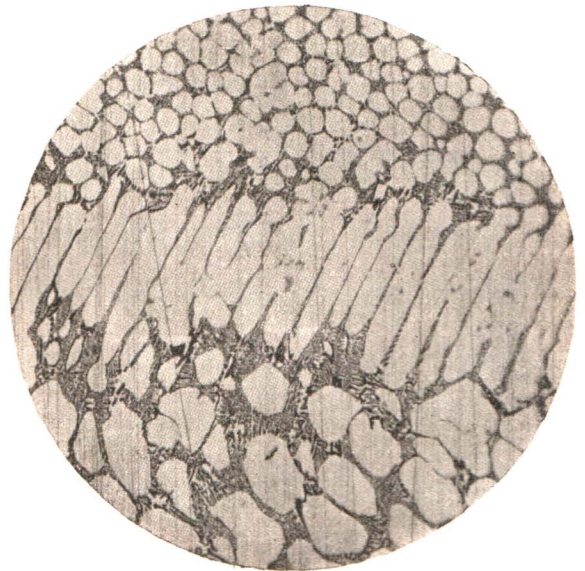
Фиг. 1. — $Sb = 90\%$, $Cu = 10\%$.
Компоненты: Sb — бѣлая составляющая.
 $SbCu_2$ — черная "
Кристаллы сурьмы и эвтектическая смѣсь.



Фиг. 2. — $Sb = 90\%$, $Cu = 10\%$.
Компоненты: Sb — бѣлая составляющая.
 $SbCu_2$ — черная "
Кристаллы сурьмы и эвтектическая смѣсь.



Фиг. 3. — $Sb = 90\%$, $Cu = 10\%$.
Компоненты: Sb — бѣлая составляющая.
 $SbCu_2$ — черная "
Кристаллы сурьмы и эвтектическая смѣсь.



Фиг. 4. — $Sb = 90\%$, $Cu = 10\%$.
Компоненты: Sb — бѣлая составляющая.
 $SbCu_2$ — черная "
Кристаллы сурьмы и эвтектическая смѣсь.



Фиг. 5. — $\text{Sb} = 76\%$, $\text{Cu} = 24\%$.
Компоненты: Sb — белая составляющая.
 SbCu_2 — черная ”
Кристаллы сурьмы и эвтектическая
смесь.



Фиг. 6. — $\text{Sb} = 76\%$, $\text{Cu} = 24\%$.
Компоненты: Sb — белая составляющая.
 SbCu_2 — черная ”
Эвтектическая смесь с небольшим из-
бытком сурьмы.



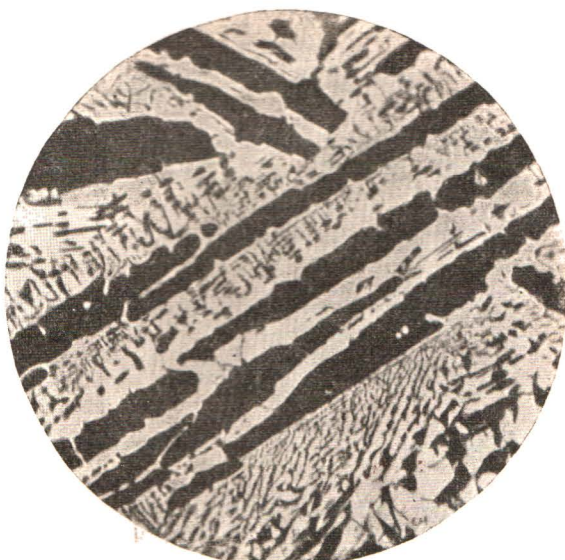
Фиг. 7. — $\text{Sb} = 76\%$, $\text{Cu} = 24\%$.
Компоненты: Sb — белая составляющая.
 SbCu_2 — черная ”
Эвтектическая смесь.



Фиг. 8. — $\text{Sb} = 76\%$, $\text{Cu} = 24\%$.
Компоненты: Sb — белая составляющая.
 SbCu_2 — черная ”
Кристаллы соединения SbCu_2 и эвтектиче-
ская смесь.



Фиг. 9. — Sb = 70%, Cu = 30%.
Компоненты: Sb — бѣлая составляющая.
SbCu₂ — черная
Кристаллы соединения SbCu₂ и эвтектиче-
ская смѣсь.



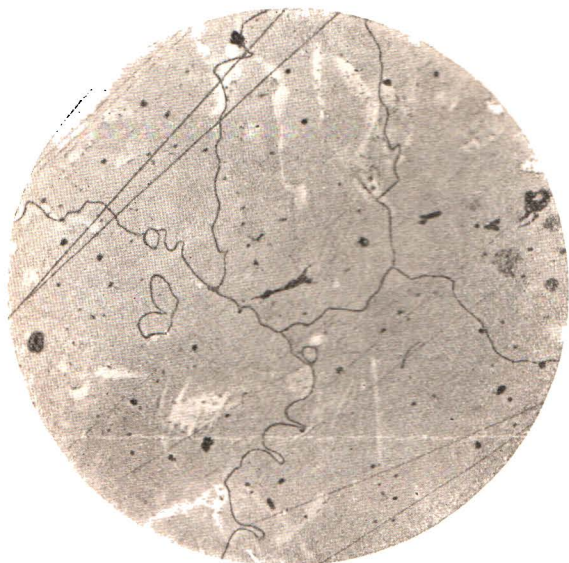
Фиг. 10. — Sb = 65%, Cu = 35%.
Компоненты: Sb — бѣлая составляющая.
SbCu₂ — черная
Кристаллы соединения SbCu₂ и эвтектиче-
ская смѣсь.



Фиг. 11. — Sb = 55%, Cu = 45%.
Компоненты: Sb — бѣлая составляющая.
SbCu₂ — черная
Кристаллы соединения SbCu₂.



Фиг. 12. — Sb = 45%, Cu = 55%.
Сплавъ быстро-охлажденный.
Твердый растворъ сурьмы и соединения
SbCu₂.
Смѣшанные кристаллы -- форма β.



Фиг. 13. — Sb = 39%, Cu = 61%.
Сплав быстро-охлажденный.
Определенное соединение $SbCu_3$ —форма β .



Фиг. 14. — Sb = 30%, Cu = 70%.
Компоненты: Cu — черная составляющая.
Тв. р. ($SbCu_3 + Cu$) — белая
Кристаллы меди и твердый раствор.



Фиг. 15%. — Sb = 39 и Cu = 61%.
Сплав медленно охлажденный.
Определенное химическое соединение
 $SbCu_3$ —форма α .



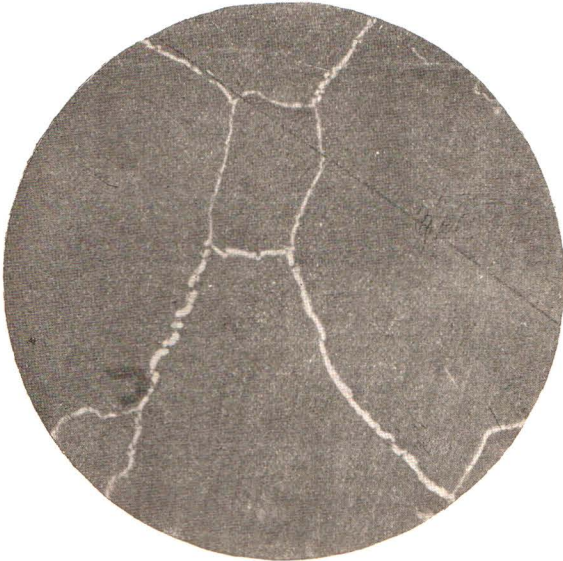
Фиг. 16. — Sb = 43%, Cu = 57%.
Сплав медленно охлажденный.
Компоненты: $SbCu_2$ — белая составляющая.
 $SbCu_3$ — черная
Распавшийся твердый раствор.



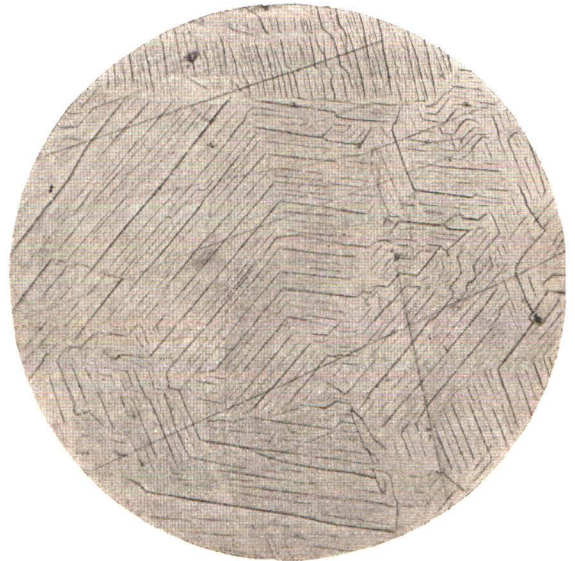
Фиг. 17. — Sb = 45%, Cu = 55%.
Сплав медленно охлажденный.
Компоненты: $SbCu_2$ — белая составляющая.
 $SbCu_3$ — черная "
Распавшийся твердый растворъ.



Фиг. 18. — Sb = 45,5%, Cu = 54,5%.
Сплав медленно охлажденный.
Компоненты: $SbCu_2$ — белая составляющая.
 $SbCu_3$ — черная "
Распавшийся твердый растворъ.



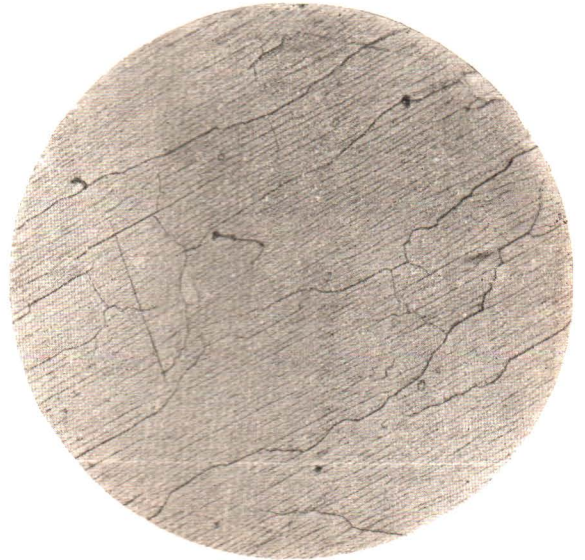
Фиг. 19. — Sb = 39%, Cu = 61%.
Сплав медленно охлажденный.
Определенное химическое соединение
 $SbCu_3$ — форма α .



Фиг. 20. — Sb = 39%, Cu = 61%.
Сплав медленно охлажденный.
Определенное химическое соединение
 $SbCu_3$ — форма α .



Фиг. 21. — Sb = 40%, Cu = 60%.
Сплав медленно охлажденный.
Компоненты: $SbCu_2$ — белая составляющая.
 $SbCu_3$ — черная
Распавшийся твердый раствор.



Фиг. 22. — Sb = 40%, Cu = 60%.
Сплав медленно охлажденный.
Распавшийся твердый раствор.



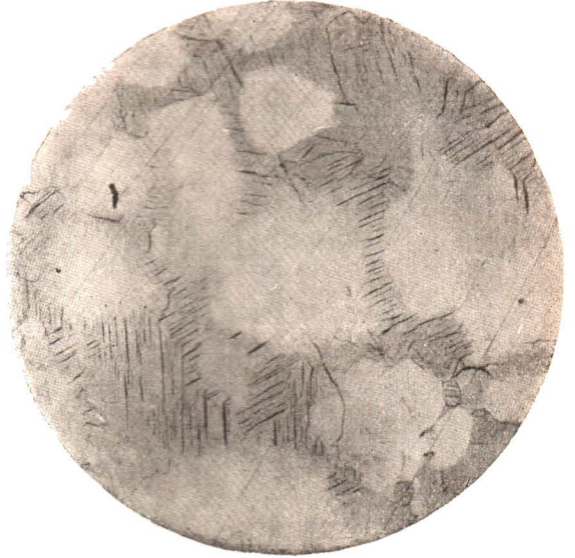
Фиг. 23. — Sb = 41%, Cu = 59%.
Сплав медленно охлажденный.
Компоненты: $SbCu_2$ — белая составляющая.
 $SbCu_3$ — черная
Распавшийся твердый раствор.



Фиг. 24. — Sb = 43%, Cu = 57%.
Сплав медленно охлажденный.
Компоненты: $SbCu_2$ — белая составляющая
 $SbCu_3$ — черная
Распавшийся твердый раствор.



Фиг. 25. — Sb = 44%. Cu = 56%.
Сплав медленно охлажденный.
Компоненты: SbCu₂ — белая составляющая
SbCu₃ — черная
Распавшийся твердый раствор.



Фиг. 26. — Sb = 44%. Cu = 56%.
Сплав медленно охлажденный.
Распавшийся твердый раствор.



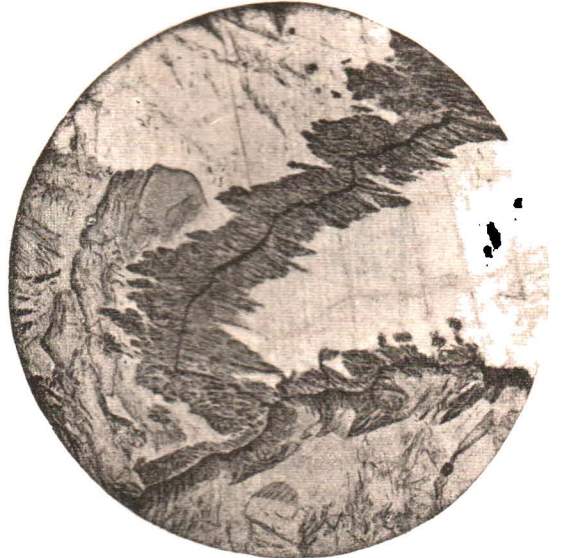
Фиг. 27. — Sb = 46,5%. Cu = 53,5%.
Сплав быстро охлажденъ послѣ первой
остановки.
Начало распаденія предѣльнаго твердаго
раствора (SbCu₃ + Sb).



Фиг. 28. — Sb = 47%. Cu = 53%.
Сплав быстро охлажденъ тотчасъ послѣ
затвердѣванія.
Компоненты: SbCu₂ — белая составляющая.
SbCu₃ — черная
Соединеніе SbCu₂ и предѣльный твердый
растворъ, начавшій распадаться.



Фиг. 29.— Sb = 36,5%. Cu = 63,5%.
Сплавъ быстро охлажденный.
Твердый раствор (SbCu₃ + Cu).



Фиг. 30.— Sb = 36,5%. Cu = 63,5%.
Сплавъ медленно охлажденный.
Распавшійся твердый растворъ.

Изданіе Института Инженеровъ Путей Сообщенія Императора Александра I.

Д. Бобылевъ.

О НѢКОТОРЫХЪ СЛУЧАЯХЪ ИЗГИБА
ПРЯМЫХЪ СТЕРЖНЕЙ
ПОДЪ ВЛІЯНІЕМЪ СОСРЕДОТОЧЕННЫХЪ ГРУЗОВЪ
И
СОПРОТИВЛЕНІЯ ГРУНТА.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая, № 9.

1902.

~~~~~  
Печатано по распоряженію **Иститута Инженеровъ Путей Сообщенія**  
**ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I**  
~~~~~

О Г Л А В Л Е Н И Е.

	СТР.
<i>Введение</i>	5
§ 1. Условіе относительно направленій осей координатъ и условія относительно положительныхъ и отрицательныхъ направленій тангенціальныхъ напряженій и положительныхъ и отрицательныхъ моментовъ напряженій, приложенныхъ къ правымъ и лѣвымъ сторонамъ поперечнаго сѣченія	6
§ 2. Выраженіе для Q и M . Дифференціальное уравненіе упругой линіи при сопротивленіи грунта, пропорціональномъ углубленію.	7
§ 3. Коночныя управленія равновѣсія для разныхъ частей стержня и ихъ слѣдствія.	8
§ 4. Полный интегралъ дифференціального уравненія (5); различные виды его	10
§ 5. Нѣкоторыя свойства функцій φ , ψ , θ , ω , которыми придется пользоваться въ послѣдующихъ выводахъ	11
§ 6. Рѣшеніе вопроса объ изгибѣ стержня конечной длины подъ вліяніемъ сопротивленія грунта и сосредоточеннаго груза, приложеннаго къ сѣченію, отстоящему на данную длину отъ праваго конца стержня	13
§ 7. Непосредственное рѣшеніе вопроса объ изгибѣ симметрично нагруженной поперечины	17
§ 8. Частные случаи	21
§ 9. Сравненіе формулъ (40) и (41) съ формулами (94) и (96) Циммерманна	22
§ 10. Сравненіе выраженій y и y_1 въ величинахъ ρ и ξ . Теорема Циммерманна	23

О нѣкоторыхъ случаяхъ изгиба прямыхъ стержней подѣ вліяніемъ сосредоточенныхъ грузовъ и сопротивленія грунта.

Д. Бобылева.

Докторъ Циммерманнъ, въ своей книгѣ *Die Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues* полагаетъ, что выводъ выраженія упругой линіи поперечнаго лежня помощью опредѣленія значеній произвольныхъ постоянныхъ, входящихъ въ полный интеграль дифференціального уравненія упругой линіи, представляетъ весьма большія трудности (*ausserordentliche Schwierigkeiten*) вслѣдствіе сложности представляющихся равенствъ (*sehr verwickelte Gleichungen*).

Въ настоящей замѣткѣ я нахожу умѣстнымъ показать, что всѣ пайдешные докторомъ Циммерманномъ результаты могутъ быть найдены безъ особенныхъ затрудненій. Для примѣра я привожу выводъ уравненія упругой линіи продольнаго лежня конечной длины, имѣющаго сосредоточенную нагрузку не на серединѣ, но гдѣ бы то ни было, въ любомъ поперечномъ сѣченіи его. Другимъ примѣромъ служитъ непосредственный выводъ уравненія упругой линіи симметрично нагруженнаго поперечнаго лежня.

Въ первыхъ пяти параграфахъ я привожу основныя формулы и условія теоріи упругости прямыхъ горизонтальныхъ стержней, поперечные размѣры которыхъ незначительны сравнительно съ длиною.

Въ § 6-мъ я рѣшаю вопросъ объ изгибѣ лежня конечной длины подѣ вліяніемъ сопротивленія грунта и сосредоточенной нагрузки вѣса P , приложенной къ какому-либо поперечному сѣченію лежня. У Циммерманна рассмотрѣнъ только тотъ случай, когда сосредоточенный грузъ приложенъ къ среднему поперечному сѣченію. Въ этомъ случаѣ я получаю формулы, отличающіяся отъ формулъ Циммерманна только по виду. Отъ нихъ легко перейти къ виду формулъ, приведенныхъ въ его книгѣ, но формулы приведенныя мною нагляднѣе показываютъ симметричность упругой линіи и кривой моментовъ и антисимметричность кривой наклона и кривой срѣзывающаго напряженія.

Въ § 7-мъ я привожу непосредственное рѣшеніе вопроса объ изгибѣ поперечины подѣ вліяніемъ сопротивленія грунта и двухъ равныхъ со-

средоточенныхъ грузовъ, приложенныхъ къ сѣченіямъ симметричнымъ относительно середины поперечины. Рѣшеніе вопроса никакихъ трудностей не представляетъ. Формулы получаются тѣ же самыя, какъ у Циммерманна, какъ показано въ § 9-мъ, но я пахожу болѣе удобнымъ оставить ихъ въ томъ видѣ, въ какомъ онѣ получены мною. Упругая линия для симметрично нагруженной поперечины выражается двумя формулами. Формула (40) выражаетъ ординаты y поперечныхъ сѣченій для которыхъ ξ меньше ρ , формула (41)—ординаты y_1 поперечныхъ сѣченій, для которыхъ ξ больше ρ . Можно замѣтить, что y выражается въ величинахъ ξ и ρ такимъ же образомъ, какимъ y_1 выражается въ ρ и ξ , то есть, если въ выраженіи y замѣнить ρ черезъ ξ , а ξ — черезъ ρ , то получимъ выраженіе для y_1 . На этомъ основывается теорема, приведенная у Циммерманна на стр. 75 его книги.

§ 1. Условіе относительно направленій осей координатъ и условія относительно положительныхъ и отрицательныхъ направленій тангенціальныхъ напряженій и положительныхъ и отрицательныхъ моментовъ напряженій, приложенныхъ къ правымъ и лѣвымъ сторонамъ поперечнаго сѣченія.

Прямой стержень или лежень въ неизогнутомъ состояніи лежитъ на горизонтальномъ грунтѣ. Начало координатъ O находится въ пѣкоторой точкѣ линии центровъ поперечныхъ сѣченій. Положительная ось X -овъ горизонтальна, совпадаетъ съ линіею центровъ поперечныхъ сѣченій и на чертежѣ направлена вправо; положительная ось Y -овъ направлена внизъ, положительная ось Z -овъ направлена горизонтально.

Толщина стержня вездѣ одинакова и весьма незначительна сравнительно съ длиною, ширина (параллельно оси Z -овъ) равна b .

Какое-либо поперечное сѣченіе стержня A перпендикулярно къ оси X и положеніе его вполне опредѣляется величиною абсциссы x .

Совокупность молекулярныхъ силъ, со стороны всѣхъ молекулъ находящихся съ лѣвой стороны сѣченія A , на молекулы, находящіяся съ правой стороны его приводится къ одной силѣ и къ парѣ силъ, если стержень изогнуть въ мѣстѣ сѣченія A . Сила эта представляетъ *напряженіе*, приложенное къ правой сторонѣ всей площади сѣченія, и можетъ быть разложена на двѣ взаимно-перпендикулярныя составляющія: горизонтальное или *нормальное* къ сѣченію *напряженіе* H и вертикальное или *тангенціальное* къ сѣченію *напряженіе* Q . Последнее направлено параллельно *отрицательной* оси Y -овъ и *тогда принимается положительнымъ*, или же оно параллельно *положительной* оси Y -овъ, но *тогда считается отрицательнымъ*. Моментъ пары силъ есть моментъ молекулярныхъ силъ вокругъ параллельной оси Z -овъ прямой, проведенной черезъ центръ сѣче-

нія. Онъ называется *моментомъ напряженій* и обозначается буквою *M*. Этотъ моментъ считается *положительнымъ*, если пара стремится дать вращеніе въ сторону вращенія стрѣлокъ часовъ.

Совокупность же молекулярныхъ силъ со стороны всѣхъ молекулъ, находящихся съ правой стороны сѣченія *A* на молекулы, находящіяся съ лѣвой стороны его, даетъ тангенціальное напряженіе, приложенное къ сѣченію *A* и считаемое *положительнымъ*, если оно направлено параллельно положительной оси *Y*-овъ. Моментъ этихъ напряженій считается *положительнымъ*, если эквивалентная ему пара стремится дать вращеніе противоположное вращенію стрѣлокъ часовъ.

§ 2. Выраженіе для *Q* и *M*. Дифференціальное уравненіе упругой линіи при сопротивленіи грунта, пропорціоальному углубленію.

Въ теоріи упругости доказывается, что *M* и *Q* напряженій, дѣйствующихъ съ лѣвой стороны сѣченія на правую, выражаются такъ:

$$M = - EJ \frac{d^2 y}{dx^2}, \quad \dots \quad (1)$$

$$Q = \frac{dM}{dx}, \quad \dots \quad (2)$$

гдѣ *E*—Юнговъ модуль упругости, *J*—моментъ инерціи площади поперечнаго сѣченія вокругъ прямой параллельной оси *Z*-овъ. Въ томъ случаѣ, когда къ стержню приложены сплошнымъ вдоль оси *X*-въ образомъ силы, направленные параллельно положительной оси *Y*-овъ, причемъ на элементъ длины оси *X*-овъ, заключающійся между абсциссами *x* и *x+dx*, приходится сила *pdx*, дифференціальное уравненіе упругой линіи будетъ слѣдующее:

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = - p, \quad \dots \quad (3)$$

что также доказывается въ теоріи упругости.

Въ разсматриваемыхъ здѣсь вопросахъ распределенною сплошнымъ образомъ силою служить упругое сопротивленіе грунта, направленное параллельно отрицательной оси *Y*-овъ, пропорціоальное углубленію *y* и ширинѣ *b*. Поэтому здѣсь

$$p = - Cby,$$

гдѣ *C* сопротивленіе, при единичѣ ширины и при углубленіи на единицу длины, приходящееся на единицу длины оси *X*-овъ.

По этому дифференціальное уравненіе будетъ:

$$\frac{d^4 y}{dx^4} = - 4k^4 y,$$

гдѣ

$$k^4 = \frac{Cb}{4EJ}. \quad (4)$$

Означивъ kx черезъ ξ , получимъ дифференціальное уравненіе въ слѣдующемъ видѣ:

$$\frac{d^4 y}{d\xi^4} = -4y \quad . . . (5)$$

Тангенсъ угла ν , составляемаго касательною къ упругой линіи съ положительною осью X -овъ, выразится такъ:

$$\operatorname{tg} \nu = k \frac{dy}{d\xi} . . . (6)$$

По формулѣ (1) моментъ M выразится такъ:

$$M = -\frac{Cb}{4k^3} \frac{d^2 y}{d\xi^2} , . . . (7)$$

а по формулѣ (2) тангенціальное напряженіе Q —такъ:

$$Q = -\frac{Cb}{4k} \frac{d^3 y}{d\xi^3} . . . (8)$$

§ 3. Конечныя уравненія равновѣсія для разныхъ частей стержня и ихъ слѣдствія.

Для части стержня между поперечными сѣченіями A (абсцисса a) и C (абсцисса c), если къ сѣченію B (абсцисса b), находящемуся между A и C , приложенъ сосредоточенный грузъ P , должны имѣть мѣсто: уравненіе равновѣсія всѣхъ вертикальныхъ силъ къ нему приложенныхъ и уравненіе равновѣсія моментовъ вокругъ оси Z -овъ.

При составленіи уравненія равновѣсія силъ надо принять во вниманіе слѣдующія вертикальныя силы:

1) параллельно отрицательной оси Y -овъ къ сѣченію A приложено тангенціальное напряженіе:

$$Q_x = -\frac{Cb}{4k} y_x''',$$

гдѣ y_x''' есть производная третьяго порядка отъ y по ξ , въ которую вмѣсто ξ подставлено $\alpha = ka$;

2) параллельно той же оси приложены сопротивленія грунта на всѣ элементы части стержня, т. е. сумма квадратуръ

$$\frac{Cb}{k} \int_{\alpha}^{\beta} y d\xi + \frac{Cb}{k} \int_{\beta}^{\gamma} y d\xi,$$

гдѣ

$$\alpha = ka, \quad \beta = kb, \quad \gamma = kc;$$

но такъ какъ

$$y = -\frac{1}{4} \frac{d^4 y}{d\xi^4},$$

то, взявъ квадратуры между означенными предѣлами, получимъ:

$$- \frac{Cb}{4k} (y_{\beta}''')_1 + \frac{Cb}{4k} y_1''' - \frac{Cb}{4k} y_{\gamma}''' + \frac{Cb}{4k} (y_{\beta}''')_2,$$

здѣсь y_{γ}''' означаетъ величину производной третьяго порядка отъ y по ξ при $\xi = \gamma$, далѣе $(y_{\beta}''')_1$ означаетъ величину такой же производной на лѣвой сторонѣ сѣченія B , а $(y_{\beta}''')_2$ — на правой сторонѣ того же сѣченія.

3) параллельно положительной оси Y -овъ къ сѣченію B приложена сила P ; такъ какъ она противоположна предыдущимъ силамъ, то ее надо взять съ минусомъ:

$$- P;$$

4) параллельно положительной же оси Y -овъ къ сѣченію C приложено тангенціальное напряженіе со стороны частей стержня, находящихся справа отъ C , поэтому оно равно:

$$- Q_{\gamma} = \frac{Cb}{4k} y_{\gamma}''''.$$

Въ суммѣ, приравненной нулю, по сокращеніи, получимъ:

$$(y_{\beta}''')_2 - (y_{\beta}''')_1 = \frac{4k}{Cb} P. \quad \dots \quad (9)$$

Это значить, что въ томъ сѣченіи, къ которому приложенъ сосредоточенный грузъ P , производная третьяго порядка отъ y по ξ претерпѣваетъ разрывъ такого рода, что разность величины этой производной съ правой стороны сѣченія и съ лѣвой стороны его равна величинѣ P , умноженной на $4k$ и дѣленной на Cb , гдѣ b — ширина стержня.

При составленіи уравненія равновѣсія моментовъ надо составить и приравнять нулю сумму слѣдующихъ моментовъ.

1) Моментъ M_x пары напряженій, дѣйствующихъ съ лѣвой стороны поперечнаго сѣченія A :

$$M_x = - \frac{Cb}{4k^2} y_x'';$$

2) моментъ $(-M_{\gamma})$ пары напряженій, дѣйствующихъ съ правой стороны сѣченія C :

$$- M_{\gamma} = \frac{Cb}{4k^2} y_{\gamma}'';$$

3) моментъ вокругъ OZ напряженія Q_{α} , дѣйствующаго съ лѣвой стороны сѣченія A ; такъ какъ оно направлено параллельно отрицательной оси Y -овъ и плечо его равно $\frac{\alpha}{k}$, то этотъ моментъ, вращающій справа на лѣво, надо взять со знакомъ минусъ:

$$- \left(Q_{\alpha} \frac{\alpha}{k} \right) = \frac{Cb}{4k^2} \alpha y_x''';$$

4) моментъ вокругъ OZ напряженія, дѣйствующаго съ правой стороны сѣченія C ; такъ какъ плечо его равно $\frac{\gamma}{k}$, величина его равна $Q\gamma$, но направленіе параллельно положительной оси Y -овъ, то слѣдовательно моментъ его вращаетъ вокругъ O слѣва на право и равенъ:

$$Q\gamma \frac{\gamma}{k} = -\frac{Cb}{4k^2} \gamma y_\gamma'''';$$

5) моментъ вокругъ OZ груза P :

$$P \frac{\beta}{k};$$

6) сумма моментовъ вокругъ OZ всѣхъ сопротивленій грунта (вращающихся справа на лѣво):

$$-\frac{Cb}{k^2} \int_x^{\beta} y\xi d\xi - \frac{Cb}{k^2} \int_{\beta}^{\gamma} y\xi d\xi.$$

Въ послѣднемъ выраженіи вмѣсто y подставимъ отрицательно взятую четверть производной четвертаго порядка отъ y по ξ и возьмемъ квадратуры, получимъ:

$$\begin{aligned} & \frac{Cb}{4k^2} \beta (y_\beta'''')_1 - \frac{Cb}{4k^2} \alpha y_\alpha'''' - \frac{Cb}{4k^2} (y_\beta'''')_1 + \frac{Cb}{4k^2} y_\alpha'''' + \\ & + \frac{Cb}{4k^2} \gamma y_\gamma'''' - \frac{Cb}{4k^2} \beta (y_\beta'''')_2 - \frac{Cb}{4k^2} y_\gamma'''' + \frac{Cb}{4k^2} (y_\beta'''')_2. \end{aligned}$$

Сложивъ и приравнявъ нулю всѣ эти моменты и произведя сокращенія, получимъ:

$$-\frac{Cb\beta}{4k^2} \{(y_\beta'''')_2 - (y_\beta'''')_1 - P\} + \frac{Cb}{4k^2} \{(y_\beta'''')_2 - (y_\beta'''')_1\} = 0;$$

отсюда, на основаніи равенства (9), получимъ:

$$(y_\beta'''')_2 = (y_\beta'''')_1 \dots \dots \dots (10)$$

Это значитъ, что въ сѣченіи B производная второго порядка отъ y по ξ , а стало быть и моментъ напряженій (дѣйствующихъ слѣва на право) разрыва не претерпѣваетъ, т. е. измѣняется сплошнымъ образомъ.

§ 4. Полный интегралъ дифференціального уравненія (5); различные виды его.

Полный интегралъ дифференціального уравненія (5) включаетъ четыре произвольныхъ постоянныхъ и можетъ быть представленъ подъ различными видами, таковы нижеслѣдующіе три:

$$y = A_1 e^{\xi} \cos \xi + A_2 e^{-\xi} \cos \xi + A_3 e^{\xi} \sin \xi + A_4 e^{-\xi} \sin \xi \dots (11)$$

$$y = a\theta_1 + b\theta_2 + c\omega_1 + \omega_2 d, \dots (12)$$

гдѣ $A_1, A_2, A_3, A_4, a, b, c, d$ — произвольныя постоянныя, $\theta_1, \theta_2, \omega_1, \omega_2$ — слѣдующія функции отъ ξ :

$$\begin{aligned} \theta_1 &= 2 \cos i\xi \cos \xi; & \theta_2 &= 2i \sin i\xi \sin \xi \\ \omega_1 &= 2 \cos i\xi \sin \xi; & \omega_2 &= 2i \sin i\xi \cos \xi, \end{aligned}$$

причемъ:

$$2 \cos i\xi = e^{\xi} + e^{-\xi}, \quad 2i \sin i\xi = e^{-\xi} - e^{\xi}.$$

Я преимущественно буду пользоваться слѣдующимъ видомъ интеграла:

$$y = \alpha\varphi_1 + \beta\varphi_2 + \gamma\psi_1 + \varepsilon\psi_2, \quad (13)$$

гдѣ $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$ — произвольныя постоянныя, а $\varphi_1, \varphi_2, \psi_1, \psi_2$ — слѣдующія функции отъ ξ :

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \cos i\xi \cos \xi + i \sin i\xi \sin \xi, \\ \varphi_2 &= \cos i\xi \cos \xi - i \sin i\xi \sin \xi, \\ \psi_1 &= \cos i\xi \sin \xi + i \sin i\xi \cos \xi, \\ \psi_2 &= \cos i\xi \sin \xi - i \sin i\xi \cos \xi. \end{aligned}$$

Производныя отъ функций $\varphi, \psi, \theta, \omega$ по ξ выражаются такъ:

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi_1}{d\xi} &= -\omega_1; & \frac{d\varphi_2}{d\xi} &= -\omega_2; & \frac{d\psi_1}{d\xi} &= -\theta_2; & \frac{d\psi_2}{d\xi} &= \theta_1; \\ \frac{d\theta_1}{d\xi} &= -2\psi_1; & \frac{d\theta_2}{d\xi} &= -2\psi_2; & \frac{d\omega_1}{d\xi} &= 2\varphi_2; & \frac{d\omega_2}{d\xi} &= -2\varphi_1. \end{aligned}$$

Поэтому нетрудно получить слѣдующія выраженія для $\text{tg } \nu, M$ и Q :

$$\frac{\text{tg } \nu}{k} = \frac{dy}{d\xi} = -\alpha\omega_1 - \beta\omega_2 - \gamma\theta_2 + \varepsilon\theta_1, \quad (14)$$

$$-\frac{4k^2}{Cb} M = \frac{d^2y}{d\xi^2} = -2\alpha\varphi_2 + 2\beta\varphi_1 + 2\gamma\psi_2 - 2\varepsilon\psi_1, \quad (15)$$

$$-\frac{4k}{Cb} Q = \frac{d^3y}{d\xi^3} = 2\alpha\omega_2 - 2\beta\omega_1 + 2\gamma\theta_1 + 2\varepsilon\theta_2, \quad (16)$$

§ 5. Нѣкоторыя свойства функций $\varphi, \psi, \theta, \omega$, которыми придется пользоваться въ послѣдующихъ выводахъ.

При выводахъ придется воспользоваться слѣдующими свойствами вышесказанныхъ функций:

$$\varphi_1\theta_1 = 2 \cos^2 i\xi \cos^2 \xi + \frac{1}{2} \sin 2\xi \cdot i \sin 2i\xi,$$

$$\varphi_1\theta_2 = 2 (i \sin i\xi)^2 \sin^2 \xi + \frac{1}{2} \sin 2\xi \cdot i \sin 2i\xi,$$

$$\varphi_1\omega_1 = \cos^2 i\xi \sin 2\xi + \sin^2 \xi \cdot i \sin 2i\xi,$$

$$\begin{aligned}
 \varphi_1 \omega_2 &= \cos^2 \xi \cdot i \sin 2i\xi + (i \sin i\xi)^2 \sin 2\xi, \\
 \varphi_2 \theta_1 &= 2 \cos^2 i\xi \cos^2 \xi - \frac{1}{2} \sin 2\xi \cdot i \sin 2i\xi, \\
 \varphi_2 \theta_2 &= -2 (i \sin i\xi)^2 \sin^2 \xi + \frac{1}{2} \sin 2\xi \cdot i \sin 2i\xi, \\
 \varphi_2 \omega_1 &= \cos^2 i\xi \sin 2\xi - \sin^2 \xi \cdot i \sin 2i\xi, \\
 \varphi_2 \omega_2 &= \cos^2 \xi i \sin 2i\xi - (i \sin i\xi)^2 \sin 2\xi, \\
 \psi_1 \theta_1 &= \cos^2 i\xi \sin 2\xi + \cos^2 \xi \cdot i \sin 2i\xi, \\
 \psi_1 \theta_2 &= \sin^2 \xi \cdot i \sin 2i\xi + (i \sin i\xi)^2 \sin 2\xi, \\
 \psi_1 \omega_1 &= 2 \cos^2 i\xi \sin^2 \xi + \frac{1}{2} \sin 2\xi \cdot i \sin 2i\xi, \\
 \psi_1 \omega_2 &= 2 (i \sin i\xi)^2 \cos^2 \xi - \frac{1}{2} \sin 2\xi \cdot i \sin 2i\xi, \\
 \psi_2 \theta_1 &= \cos^2 i\xi \sin 2\xi - \cos^2 \xi \cdot i \sin 2i\xi, \\
 \psi_2 \theta_2 &= \sin^2 \xi \cdot i \sin 2i\xi - (i \sin i\xi)^2 \sin 2\xi, \\
 \psi_2 \omega_1 &= 2 \cos^2 i\xi \sin^2 \xi - \frac{1}{2} \sin 2\xi \cdot i \sin 2i\xi, \\
 \psi_2 \omega_2 &= -2 (i \sin i\xi)^2 \cos^2 \xi + \frac{1}{2} \sin 2\xi \cdot i \sin 2i\xi.
 \end{aligned}$$

Въ нижеслѣдующихъ параграфахъ придется выражать x, y въ z и u изъ уравненій слѣдующаго вида:

$$\left. \begin{aligned}
 x\varphi_2 - y\varphi_1 &= z\psi_2 - u\psi_1 \\
 x\omega_2 - y\omega_1 &= -z\theta_1 - u\theta_2
 \end{aligned} \right\} \dots \dots (17)$$

Пользуясь предыдущими формулами для произведеній функций $\varphi, \psi, \theta, \omega$, легко убѣдиться, что

$$\begin{aligned}
 \varphi_1 \omega_2 - \varphi_2 \omega_1 &= -(\sin 2\xi - i \sin 2i\xi), \\
 -(\psi_2 \omega_1 + \varphi_1 \theta_1) &= -2 \cos^2 i\xi, \\
 \psi_1 \omega_1 - \varphi_1 \theta_2 &= 2 \sin^2 \xi, \\
 -(\psi_2 \omega_2 + \varphi_2 \theta_1) &= -2 \cos^2 \xi, \\
 \psi_1 \omega_2 - \varphi_2 \theta_2 &= 2 (i \sin i\xi)^2,
 \end{aligned}$$

поэтому x и y выражаются въ z и u такъ:

$$\left. \begin{aligned}
 x &= \frac{2 \cos^2 i\xi}{\sin 2\xi - i \sin 2i\xi} z - \frac{2 \sin^2 \xi}{\sin 2\xi - i \sin 2i\xi} u, \\
 y &= \frac{2 \cos^2 \xi}{\sin 2\xi - i \sin 2i\xi} z - \frac{2 (i \sin i\xi)^2}{\sin 2\xi - i \sin 2i\xi} u
 \end{aligned} \right\} \dots \dots (18)$$

§ 6. Рѣшеніе вопроса объ изгибѣ стержня конечной длины подѣ вліяніемъ сопротивленія грунта и сосредоточеннаго груза, приложеннаго къ сѣченію, отстоящему на данную длину отъ праваго конца стержня.

Примемъ начало координатъ O въ мѣстѣ приложенія груза P , пусть длина правой части стержня равна l , лѣвой— l_1 ; вся длина $l+l_1$. Означимъ kl черезъ λ и kl_1 черезъ λ_1 . Постоянныя для правой части означимъ черезъ $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$, для лѣвой—черезъ $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \varepsilon_1$. Величины ординатъ для правой части означимъ черезъ y , а для лѣвой—черезъ y_1 . Такимъ образомъ:

$$y = \alpha\varphi_1 + \beta\varphi_2 + \gamma\psi_1 + \varepsilon\psi_2$$

$$y_1 = \alpha_1\varphi_1 + \beta_1\varphi_2 + \gamma_1\psi_1 + \varepsilon_1\psi_2.$$

Для опредѣленія восьми постоянныхъ имѣемъ слѣдующія восемь условій.

Въ сѣченіи $\xi = 0$ стержень составляетъ одно цѣлое, поэтому при $\xi = 0$ ординаты y и y_1 равны между собою.

I. $(y)_0 = (y_1)_0$, или $\alpha + \beta = \alpha_1 + \beta_1$,

потому что при $\xi = 0$ функціи φ_1 и φ_2 равны единицѣ, а ψ_1 и ψ_2 равны нулю.

Въ томъ же сѣченіи стержень не долженъ имѣть излома, поэтому при $\xi = 0$ должно быть:

II. $\frac{dy}{d\xi} = \frac{dy_1}{d\xi}$, то есть $\varepsilon = \varepsilon_1$,

потому что при $\xi = 0$ функціи ω_1, ω_2 и θ_2 равны нулю, а $\theta_1 = 2$, производная же отъ y по ξ выражается формулою (14).

Въ этомъ сѣченіи ($\xi = 0$) на основаніи равенства (10) производныя второго порядка равны; при $\xi = 0$.

III. $\frac{d^2y}{d\xi^2} = \frac{d^2y_1}{d\xi^2}$, то есть $\beta - \alpha = \beta_1 - \alpha_1$ по форм. (15).

Изъ I-го и III-го условій слѣдуетъ, что $\alpha_1 = \alpha$ и $\beta_1 = \beta$. Въ томъ же сѣченіи на основаніи равенства (9) и выраженія (16):

(IV). $4\gamma - 4\gamma_1 = \frac{4k}{Cb} P$

и отсюда

$$\gamma_1 = \gamma - \frac{kP}{Cb} \dots \dots \dots (19)$$

Далѣе, на правомъ концѣ стержня, гдѣ $\xi = l$, моментъ напряженія равенъ нулю, такъ какъ конецъ этотъ свободенъ; слѣдовательно:

V. При $\xi = \lambda$, $\frac{d^2 y}{d\xi^2} = 0$, то есть:

$$\alpha(\varphi_2) - \beta(\varphi_1) = \gamma(\psi_2) - \varepsilon(\psi_1), \quad . \quad . \quad . \quad (20)$$

гдѣ поставленныя въ скобкахъ функціи φ и ψ обозначаютъ величины ихъ при $\xi = \lambda$.

Кромѣ того на томъ же концѣ тангенціальное напряженіе равно нулю, такъ что при $\xi = \lambda$

VI. $\frac{d^3 y}{d\xi^3} = 0$, то есть:

$$\alpha(\omega_2) - \beta(\omega_1) = -\gamma(\theta_1) - \varepsilon(\theta_2), \quad . \quad . \quad . \quad (21)$$

гдѣ поставленныя въ скобкахъ функціи θ_1 , θ_2 , ω_1 и ω_2 означаютъ величины ихъ при $\xi = \lambda$.

Уравненія же (20) и (21) тождественны съ уравненіями (17), если въ послѣднихъ замѣнить x , y , z , u — величинами α , β , γ , ε , а въ функціяхъ отъ ξ замѣнить ξ черезъ λ . Поэтому, по формуламъ (18):

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= C_2 \gamma - S_1 \varepsilon \\ \beta &= C_1 \gamma - S_2 \varepsilon \end{aligned} \right\}, \quad . \quad . \quad . \quad (22)$$

гдѣ

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{2 \cos^2 \lambda}{\sin 2\lambda - i \sin 2i\lambda}, & S_1 &= \frac{2 \sin^2 \lambda}{\sin 2\lambda - i \sin 2i\lambda}, \\ C_2 &= \frac{2 \cos^2 i\lambda}{\sin 2\lambda - i \sin 2i\lambda}, & S_2 &= \frac{2 (i \sin i\lambda)^2}{\sin 2\lambda - i \sin 2i\lambda}. \end{aligned}$$

На лѣвомъ концѣ стержня, который тоже свободенъ, должны быть удовлетворены подобныя же условія:

$$\text{VII.} \quad \frac{d^2 y_1}{d\xi^2} = 0, \quad \text{при } \xi = -\lambda_1,$$

$$\text{VIII.} \quad \frac{d^3 y_1}{d\xi^3} = 0, \quad \text{при томъ же } \xi;$$

Изъ нихъ такимъ же образомъ получимъ:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= -C_2' \gamma_1 + S_1' \varepsilon_1 \\ \beta_1 &= -C_1' \gamma_1 + S_2' \varepsilon_1 \end{aligned} \right\}, \quad . \quad . \quad . \quad (23)$$

гдѣ

$$\begin{aligned} C_1' &= \frac{2 \cos^2 \lambda_1}{\sin 2\lambda_1 - i \sin 2i\lambda_1}, & S_1' &= \frac{2 \sin^2 \lambda_1}{\sin 2\lambda_1 - i \sin 2i\lambda_1}, \\ C_2' &= \frac{2 \cos^2 i\lambda_1}{\sin 2\lambda_1 - i \sin 2i\lambda_1}, & S_2' &= \frac{2 (i \sin i\lambda_1)^2}{\sin 2\lambda_1 - i \sin 2i\lambda_1}. \end{aligned}$$

Такъ какъ $\alpha_1 = \alpha$ и $\beta_1 = \beta$, $\varepsilon_1 = \varepsilon$, какъ показано выше, а кромѣ того разность между γ_1 и γ выражается равенствомъ (19), то изъ (22) и (23) получимъ два равенства:

$$(C_2 + C_2') \gamma - (S_1 + S_1') \varepsilon = C_2' \frac{kP}{Cb}$$

$$(C_1 + C_1') \gamma - (S_2 + S_2') \varepsilon = C_1' \frac{kP}{Cb},$$

изъ которыхъ опредѣлимъ γ и ε .

Получатся слѣдующія величины:

$$\gamma = \frac{kP}{CbK} (C_1' (S_1 + S_1') - C_2' (S_2 + S_2')), \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon = \frac{kP}{CbK} (C_2 C_1' - C_1 C_2'), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

гдѣ

$$K = (C_1 + C_1') (S_1 + S_1') - (C_2 + C_2') (S_2 + S_2').$$

Далѣе, по выведеннымъ выше формуламъ, найдемъ:

$$\gamma_1 = \frac{kP}{CbK} (C_2 (S_2 + S_2') - C_1 (S_1 + S_1')) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (26)$$

$$\alpha_1 = \alpha = \frac{kP}{CbK} (C_2 (C_1' S_1' - C_2' S_2') + C_2' (C_1 S_1 - C_2 S_2)) \quad . \quad . \quad (27)$$

$$\beta_1 = \beta = \frac{kP}{CbK} (C_1 (C_1' S_1' - C_2' S_2') + C_1' (C_1 S_1 - C_2 S_2)) \quad . \quad . \quad (28)$$

Въ томъ случаѣ, когда сосредоточенный грузъ приложенъ къ серединѣ стержня, длины l и l_1 равны между собою, а потому $C_1' = C_1$, $S_1' = S_1$, $C_2' = C_2$, $S_2' = S_2$, $K = 4 (C_1 S_1 - C_2 S_2)$ $\varepsilon = \varepsilon_1 = 0$

$$\alpha = \alpha_1 = \frac{kP}{2Cb} C_2, \quad \beta = \beta_1 = \frac{kP}{2Cb} C_1$$

$$\gamma = \frac{kP}{2Cb}, \quad \gamma_1 = - \frac{kP}{2Cb}$$

и слѣдовательно для правой половины стержня:

$$\left. \begin{aligned} y &= \frac{kP}{2Cb} (C_2 \varphi_1 + C_1 \varphi_2 + \psi_1), \\ \text{tg } \nu &= - \frac{k^2 P}{2Cb} (C_2 \omega_1 + C_1 \omega_2 + \theta_2), \\ M &= \frac{P}{4k} (2C_2 \varphi_2 - 2C_1 \varphi_1 - 2\psi_2), \\ Q &= - \frac{P}{4} (2C_2 \omega_2 - 2C_1 \omega_1 + 2\theta_1); \end{aligned} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad (29)$$

а для лѣвой половины стержня:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= \frac{kP}{2Cb} (C_2 \varphi_1 + C_1 \varphi_2 - \psi_1), \\ (\text{tg } \nu)_1 &= -\frac{k^2 P}{2Cb} (C_2 \omega_1 + C_1 \omega_2 - \theta_2), \\ (M)_1 &= \frac{P}{4k} (2C_2 \varphi_2 - 2C_1 \varphi_1 - 2\psi_2), \\ (Q)_1 &= -\frac{P}{4} (2C_2 \omega_2 - 2C_1 \omega_1 - 2\theta_1). \end{aligned} \right\} \dots \dots (30)$$

На лѣвой половинѣ стержня всѣ ξ отрицательныя: если принять во вниманіе, что $\varphi_1, \varphi_2, \theta_1$ и θ_2 суть функціи отъ ξ четныя, т. е. не мѣняющія величины и знака при перемѣнѣ ξ на $(-\xi)$, а функціи $\psi_1, \psi_2, \omega_1, \omega_2$ — нечетныя, то есть **измѣняющія** свой знак не измѣняя абсолютной величины при перемѣнѣ ξ на $-\xi$, то не трудно убѣдиться, что на равныхъ разстояніяхъ отъ **середины**, формулы (29) и (30) даютъ:

$$y_1 = y; \quad (M)_1 = M;$$

$$(\text{tg } \nu)_1 = -\text{tg } \nu; \quad (Q)_1 = -Q.$$

Отличіе формулъ (29) отъ формулъ (16,6) Циммерманна (приведенныхъ на стр. 17-й его книги), только наружное. По его обозначеніямъ:

$$\frac{e^\xi + e^{-\xi}}{2} = \text{Cof } \xi = \cos i\xi$$

$$\frac{e^\xi - e^{-\xi}}{2} = \text{Sin } \xi = -i \sin i\xi;$$

затѣмъ обозначенные имъ черезъ u и v коэффициенты можно представить такъ:

$$u = \frac{2 + \cos 2\lambda - \sin 2\lambda + e^{-2\lambda}}{\sin 2\lambda - i \sin 2i\lambda} =$$

$$= \frac{2 + \cos 2\lambda - \sin 2\lambda + \cos 2i\lambda + i \sin 2i\lambda}{\sin 2\lambda - i \sin 2i\lambda} =$$

$$= \frac{1 + \cos 2\lambda + 1 + \cos 2i\lambda}{\sin 2\lambda - i \sin 2i\lambda} - 1 =$$

$$= C_1 + C_2 - 1;$$

$$v = \frac{\cos 2\lambda + \sin 2\lambda - e^{-2\lambda}}{\sin 2\lambda - i \sin 2i\lambda} =$$

$$= \frac{1 + \cos 2\lambda - (1 + \cos 2i\lambda)}{\sin 2\lambda - i \sin 2i\lambda} + 1 =$$

$$= C_1 - C_2 + 1.$$

Далѣе:

$$\begin{aligned}\eta &= e^{-\xi} (\cos \xi + \sin \xi) = \\ &= (\cos i\xi + i \sin i\xi) (\cos \xi + \sin \xi) = \varphi_1 + \psi_1, \\ \mu &= e^{-\xi} (\cos \xi - \sin \xi) = \varphi_2 - \psi_2, \\ \eta' &= -e^{-\xi} \sin \xi = -\frac{(\omega_1 + \theta_2)}{2}, \\ \mu' &= -e^{-\xi} \cos \xi = -\frac{(\theta_1 + \omega_2)}{2}.\end{aligned}$$

Отсюда слѣдуетъ, что

$$C_2 = \frac{u-v}{2} + 1, \quad C_1 = \frac{u+v}{2},$$

а потому:

$$\begin{aligned}&C_2 \varphi_1 + C_1 \varphi_2 + \psi_1 = \\ &= \varphi_1 + \psi_1 + u \cos i\xi \cos \xi - vi \sin i\xi \sin \xi = \\ &= \eta + u \cos i\xi \cos \xi - vi \sin i\xi \sin \xi \\ y &= \frac{kP}{2Cb} (\eta + u \cos i\xi \cos \xi - vi \sin i\xi \sin \xi).\end{aligned}$$

Подобнымъ же образомъ можно повѣрить тождество и другихъ трехъ формулъ (29) съ формулами (16,6) Циммерманна.

§ 7. Непосредственное рѣшеніе вопроса объ изгибѣ симметрично нагруженной поперечины.

Стержень длины $2l$ ($kl = \lambda$), начало координатъ въ серединѣ его; въ разстояніяхъ $(+r)$ и $(-r)$ отъ середины онъ нагруженъ сосредоточенными грузами, каждый изъ которыхъ имѣетъ величину P .

Упругая линія изогнутаго стержня будетъ симметрична относительно оси Y -овъ и въ среднемъ сѣченіи $\text{tg } \nu$ будетъ равенъ нулю. Кривая линія моментовъ также должна быть симметрична относительно той же оси, такъ что моментъ долженъ имѣть минимумъ въ среднемъ сѣченіи; стало быть, по формулѣ (2), въ среднемъ сѣченіи Q равно нулю.

Ординаты для части стержня отъ $\xi = 0$ до $\xi = \rho = kr$ означимъ черезъ y , а коэффициенты для этой части будутъ $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$. Ординаты для части стержня отъ $\xi = \rho$ до $\xi = \lambda$ означимъ черезъ y_1 , коэффициенты для этой части пусть будутъ $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \nu_1$.

Такъ какъ при $\xi = 0$, по формуламъ (14) и (16); $\text{tg } \nu = 2\varepsilon k$; $Q = -\frac{Cb}{2k} 2\gamma$, то ε и γ должны быть равны нулю вслѣдствіе того, что $\text{tg } \nu$ и Q въ этомъ сѣченіи должны быть равны нулю.

Слѣдовательно:

$$y = \alpha\varphi_1 + \beta\varphi_2$$

$$y_1 = \alpha_1\varphi_1 + \beta_1\varphi_2 + \gamma_1\psi_1 + \varepsilon_1\psi_2.$$

Величины восьми функций въ сѣченіи $\xi = \rho$ означимъ такъ:

$$\varphi_1 = \phi_1, \quad \varphi_2 = \phi_2, \quad \psi_1 = \kappa_1, \quad \psi_2 = \kappa_2$$

$$\theta_1 = f_1, \quad \theta_2 = f_2, \quad \omega_1 = g_1, \quad \omega_2 = g_2.$$

Для опредѣленія шести коэффициентовъ $\alpha, \beta, \alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \varepsilon_1$, должны служить шесть нижеслѣдующихъ условій:

I.	$y = y_1$	}	при $\xi = \rho$
II.	$\frac{dy}{d\xi} = \frac{dy_1}{d\xi}$		
III.	$\frac{d^2y}{d\xi^2} = \frac{d^2y_1}{d\xi^2}$		
IV.	$\frac{d^3y}{d\xi^3} = \frac{d^3y_1}{d\xi^3} - \frac{4k}{Cb} P$		
V.	$\frac{d^2y_1}{d\xi^2} = 0$	}	при $\xi = \lambda$.
VI.	$\frac{d^3y_1}{d\xi^3} = 0$		

Условия I и II можно представить въ видѣ равенствъ:

$$(\alpha - \alpha_1)\phi_1 + (\beta - \beta_1)\phi_2 = \gamma_1\kappa_1 + \varepsilon_1\kappa_2$$

$$(\alpha - \alpha_1)g_1 + (\beta - \beta_1)g_2 = \gamma_1f_2 - \varepsilon_1f_1.$$

Если возьмемъ уравненія (17) и замѣнимъ въ нихъ x черезъ $(\beta - \beta_1)$, y — черезъ $(\alpha_1 - \alpha)$, z — черезъ ε_1 , u — черезъ $(-\gamma_1)$, а функции $\varphi_1, \varphi_2, \psi_1, \psi_2, \theta_1, \theta_2, \omega_1, \omega_2$ — величинами $\phi_1, \phi_2, \kappa_1, \kappa_2, f_1, f_2, g_1, g_2$, то получимъ предыдущія два равенства. Поэтому, по формуламъ (18), разности $(\alpha - \alpha_1)$ и $(\beta - \beta_1)$ выразятся въ γ_1 и ε_1 такъ:

$$\left. \begin{aligned} \alpha - \alpha_1 &= -s_2\gamma_1 - q_1\varepsilon_1 \\ \beta - \beta_1 &= +s_1\gamma_1 + q_2\varepsilon_1 \end{aligned} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad (31)$$

гдѣ

$$q_1 = \frac{2 \cos^2 \rho}{\sin 2\rho - i \sin 2i\rho}, \quad s_1 = \frac{2 \sin^2 \rho}{\sin 2\rho - i \sin 2i\rho},$$

$$q_2 = \frac{2 \cos^2 i\rho}{\sin 2\rho - i \sin 2i\rho}, \quad s_2 = \frac{2 (i \sin i\rho)^2}{\sin 2\rho - i \sin 2i\rho}.$$

Условіе III представится въ видѣ равенства:

$$-(\alpha - \alpha_1) \phi_2 + (\beta - \beta_1) \phi_1 - \gamma_1 \kappa_2 + \varepsilon_1 \kappa_1 = 0;$$

подставивъ же въ него вмѣсто $(\alpha - \alpha_1)$ и $(\beta - \beta_1)$ полученныя выше выраженія (31), получимъ:

$$(s_2 \phi_2 + s_1 \phi_1 - \kappa_2) \gamma_1 + (q_1 \phi_2 + q_2 \phi_1 + \kappa_1) \varepsilon = 0. \quad (32)$$

Тричленъ, помноженный на γ_1 , можно вычислить такъ:

$$\begin{aligned} & s_2 \phi_2 + s_1 \phi_1 - \kappa_2 = \\ & = \frac{2i \sin ip (\phi_2 i \sin ip + \kappa_2 \cos ip) + 2 \sin \rho (\phi_1 \sin \rho - \kappa_2 \cos \rho)}{\sin 2\rho - i \sin 2ip}; \end{aligned}$$

но

$$\phi_2 i \sin ip + \kappa_2 \cos ip = \sin \rho$$

$$\phi_1 \sin \rho - \kappa_2 \cos \rho = i \sin ip,$$

поэтому тричленъ этотъ равенъ

$$\frac{2f_2}{\sin 2\rho - i \sin 2ip}.$$

Тричленъ, помноженный на ε_1 , по вычисленіи подобнымъ же образомъ, оказывается равнымъ:

$$\frac{2f_1}{\sin 2\rho - i \sin 2ip}.$$

Поэтому равенство (32) обращается въ $f_2 \gamma_1 + f_1 \varepsilon_1 = 0$; отсюда слѣдуетъ:

$$\varepsilon_1 = -\gamma_1 \frac{f_2}{f_1}. \quad (32, \text{bis})$$

Условіе (IV) приводитъ къ равенству:

$$(\alpha - \alpha_1) g_2 - (\beta - \beta_1) g_1 - \gamma_1 f_1 - \varepsilon_1 f_2 = -\frac{2kP}{Cb}.$$

Подставивъ сюда вмѣсто $(\alpha - \alpha_1)$ и $(\beta - \beta_1)$ ихъ выраженія (31), получимъ:

$$(s_2 g_2 + s_1 g_1 + f_1) \gamma_1 + (q_1 g_2 + q_2 g_1 + f_2) \varepsilon_1 = \frac{2kP}{Cb}. \quad (33)$$

Тричлены, помноженные на γ_1 и ε_1 , вычисляются такъ:

$$\begin{aligned} & \frac{2i \sin ip (g_2 i \sin ip - f_1 \cos ip) + 2 \sin \rho (g_1 \sin \rho + f_1 \cos \rho)}{\sin 2\rho - i \sin 2ip} = \\ & = \frac{-4i \sin ip \cos \rho + 4 \sin \rho \cos ip}{\sin 2\rho - i \sin 2ip} = \frac{4\kappa_2}{\sin 2\rho - i \sin 2ip}; \end{aligned}$$

$$\frac{2 \cos \rho (g_2 \cos \rho + f_2 \sin \rho) + 2 \cos i\rho (g_1 \cos i\rho - f_2 i \sin i\rho)}{\sin 2\rho - i \sin 2i\rho} =$$

$$= \frac{4\kappa_1}{\sin 2\rho - i \sin 2i\rho}.$$

Поэтому равенство (33) приведется къ виду:

$$\frac{\kappa_2 \gamma_1 + \kappa_1 \varepsilon_1}{\sin 2\rho - i \sin 2i\rho} = \frac{kP}{2Cb},$$

что на основаніи (32 bis) обратится въ

$$\gamma_1 \frac{\kappa_2 f_1 - \kappa_1 f_2}{\sin 2\rho - i \sin 2i\rho} = \frac{kP}{2Cb} f_1;$$

но изъ формулъ параграфа 5-го найдемъ, что

$$\psi_2 \theta_1 - \psi_1 \theta_2 = \sin 2\xi - i \sin 2i\xi,$$

поэтому, замѣнивъ ξ черезъ ρ , увидимъ, что въ первой части предыдущаго равенства отношеніе, помноженное на γ_1 , равно единицѣ, а потому получимъ слѣдующее выраженіе величины γ_1 :

$$\gamma_1 = \frac{kP}{2Cb} f_1, \quad (34)$$

а изъ равенства (32, bis):

$$\varepsilon_1 = -\frac{kP}{2Cb} f_2 \quad (35)$$

Условія V и VI, какъ показано въ предыдущемъ параграфѣ, приведутъ къ равенствамъ:

$$\alpha_1 = C_2 \gamma_1 - S_1 \varepsilon_1$$

$$\beta_1 = C_1 \gamma_1 - S_2 \varepsilon_1,$$

изъ которыхъ, по подстановленіи вышенайденныхъ величинъ γ_1 и ε_1 , получимъ:

$$\alpha_1 = \frac{kP}{2Cb} (C_2 f_1 + S_1 f_2) \quad (36)$$

$$\beta_1 = \frac{kP}{2Cb} (C_1 f_1 + S_2 f_2) \quad (37)$$

Затѣмъ по формуламъ (31) найдемъ и величины коэффициентовъ α и β :

$$\alpha = \frac{kP}{2Cb} (C_2 f_1 + S_1 f_2 + g_2). \quad (38)$$

$$\beta = \frac{kP}{2Cb} (C_1 f_1 + S_2 f_2 + g_1). \quad (39)$$

Здѣсь g_2 и g_1 явились потому, что

$$\begin{aligned} -s_2 f_1 + q_1 f_2 &= g_2 \\ s_1 f_1 - q_2 f_2 &= g_1. \end{aligned}$$

Въ самомъ дѣлѣ:

$$\begin{aligned} -4 (i \sin i\rho)^2 \cos i\rho \cos \rho + 4 \cos^2 \rho \cdot i \sin i\rho \sin \rho &= \\ = 2i \sin i\rho \cos \rho (\sin 2\rho - i \sin 2i\rho), \\ 4 \sin^2 \rho \cos i\rho \cos \rho - 4 \cos^2 i\rho \cdot i \sin i\rho \sin \rho &= \\ = 2 \cos i\rho \sin \rho (\sin 2\rho - i \sin 2i\rho). \end{aligned}$$

Такимъ образомъ выраженія для y и y_1 оказываются слѣдующими:

$$\begin{aligned} y = \frac{kP}{2Cb} [((C_2 + C_1) f_1 + (S_1 + S_2) f_2 + 2\mathcal{M}_1) \cos i\xi \cos \xi + \\ + ((C_2 - C_1) f_1 + (S_1 - S_2) f_2 - 2\mathcal{M}_2) i \sin i\xi \sin \xi]. \quad (40) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_1 = \frac{kP}{2Cb} [((C_2 + C_1) f_1 + (S_1 + S_2) f_2) \cos i\xi \cos \xi + \\ + ((C_2 - C_1) f_1 + (S_1 - S_2) f_2) i \sin i\xi \sin \xi + \\ + 2\mathcal{G}_2 \cos i\xi \sin \xi + 2\mathcal{G}_1 i \sin i\xi \cos \xi] \quad (41) \end{aligned}$$

§ 8. Частные случаи.

1) Если $\rho = 0$, такъ что оба груза находятся на среднемъ сѣченіи, то $f_1 = 2$, $f_2 = 0$, $\mathcal{G}_2 = 1$, $\mathcal{G}_1 = 1$, формула (41) получаетъ слѣдующій видъ:

$$y_1 = \frac{kP}{Cb} (C_2 \varphi_1 + C_1 \varphi_2 + \psi_1);$$

она отличается отъ первой формулы (29) только тѣмъ, что вмѣсто P здѣсь входитъ $2P$.

2) Если $\rho = \lambda$, то есть оба груза приложены къ концамъ стержня, то для всѣхъ ξ должна имѣть мѣсто формула (40). Коэффициенты (38) и (39) въ этомъ случаѣ получаютъ слѣдующій видъ

$$\alpha = \frac{kP}{2Cb} (2C_2 \cos i\lambda \cos \lambda + 2S_1 i \sin i\lambda \sin \lambda + 2i \sin i\lambda \cos \lambda),$$

$$\beta = \frac{kP}{2Cb} (2C_1 \cos i\lambda \cos \lambda + 2S_2 i \sin i\lambda \sin \lambda + 2 \cos i\lambda \sin \lambda).$$

Замѣнивъ C_1 , C_2 , S_1 , S_2 ихъ выраженіями въ λ и приведя то, что

находится въ скобкахъ, къ одному знаменателю, найдемъ, что

$$\alpha = \frac{2kP}{Cb} \frac{\cos i\lambda \cos \lambda + i \sin i\lambda \sin \lambda}{\sin 2\lambda - i \sin 2i\lambda},$$

$$\beta = \frac{2kP}{Cb} \frac{\cos i\lambda \cos \lambda - i \sin i\lambda \sin \lambda}{\sin 2\lambda - i \sin 2i\lambda}.$$

Слѣдовательно выраженіе для y будетъ слѣдующее:

$$y = \frac{4kP}{Cb} \frac{\cos i\lambda \cos \lambda \cos i\xi \cos \xi + i \sin i\lambda \sin \lambda \cdot i \sin i\xi \sin \xi}{\sin 2\lambda - i \sin 2i\lambda}.$$

§ 9. Сравненіе формулъ (40) и (41) съ формулами (94) и (96) Циммерманна.

Полученныя здѣсь формулы (40) и (41) обращаются въ формулы (94) и (96), приведенныя на стр. 73-й и 74-й книги Циммерманна.

Въ самомъ дѣлѣ между тремя коэффициентами

$$u = \frac{2 + \cos 2\lambda - \sin 2\lambda + e^{-2\lambda}}{\sin 2\lambda - i \sin 2i\lambda}$$

$$v = \frac{\cos 2\lambda + \sin 2\lambda - e^{-2\lambda}}{\sin 2\lambda - i \sin 2i\lambda}$$

$$w = \frac{2 - \cos 2\lambda + \sin 2\lambda - e^{-2\lambda}}{\sin 2\lambda - i \sin 2i\lambda}$$

и четырьмя величинами C_1, C_2, S_1, S_2 существуетъ такая зависимость:

$$C_2 + C_1 = 1 + u,$$

$$C_1 - C_2 = v - 1,$$

$$S_1 - S_2 = w - 1,$$

причемъ

$$S_1 + S_2 = C_2 - C_1, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

поэтому

$$\left. \begin{aligned} (C_2 + C_1) f_1 + (S_1 + S_2) f_2 &= 2u\rho + 2\phi_1, \\ (C_2 - C_1) f_1 + (S_1 - S_2) f_2 &= -2v\rho + 2\phi_2, \end{aligned} \right\} . \quad . \quad (43)$$

гдѣ $u\rho$ и $v\rho$ суть величины, приведенныя подъ видомъ (93, а) на стр. 72-й книги Циммермана:

$$u\rho = u \cos i\rho \cos \rho - v \cdot i \sin i\rho \sin \rho$$

$$v\rho = v \cos i\rho \cos \rho - w \cdot i \sin i\rho \sin \rho.$$

Далѣе, такъ какъ $\cos i\xi + i \sin i\xi = e^{-\xi}$, то:

$$\begin{aligned} & 2 (\varphi_1 \cos i\xi \cos \xi + \varphi_1 i \sin i\xi \cos \xi) + \\ & + 2 (\varphi_2 \cos i\xi \sin \xi + \varphi_2 i \sin i\xi \sin \xi) = \\ & = 2 (\varphi_1 e^{-\xi} \cos \xi + \varphi_2 e^{-\xi} \sin \xi) = \\ & = e^{-\xi} \cos \xi ((e^\rho + e^{-\rho}) \cos \rho - (e^{-\rho} - e^\rho) \sin \rho) + \\ & + e^{-\xi} \sin \xi ((e^\rho + e^{-\rho}) \cos \rho + (e^{-\rho} - e^\rho) \sin \rho) = \\ & = e^{-(\xi-\rho)} (\cos (\xi - \rho) + \sin (\xi - \rho)) + \\ & + e^{-(\xi+\rho)} (\cos (\xi + \rho) + \sin (\xi + \rho)); \end{aligned}$$

по обозначеніямъ Циммерманна это равно суммѣ:

$$\eta_{(\xi-\rho)} + \eta_{(\xi+\rho)};$$

такимъ образомъ формула (41) обращается въ слѣдующую:

$$y_1 = \frac{kP}{Cb} \left\{ \frac{1}{2} (\eta_{(\xi-\rho)} + \eta_{(\xi+\rho)}) + u_\rho \cos i\xi \cos \xi - v_\rho i \sin i\xi \sin \xi \right\}$$

согласно съ первую изъ формулъ (94).

Въ формулѣ (40) послѣ преобразований, выраженныхъ равенствами (43), будутъ входить: сумма $2(\varphi_1 + \kappa_1)$ и разность $2(\varphi_2 - \kappa_2)$, которыя, какъ видно изъ послѣднихъ формулъ § 6-го равны:

$$2(\varphi_1 + \kappa_1) = 2\eta_\rho; \quad 2(\varphi_2 - \kappa_2) = 2\mu_\rho;$$

Принявъ обозначенія Циммерманна (95) на стр. 74:

$$\eta_\rho + u_\rho = [\eta_0], \quad \mu_\rho - v_\rho = [\mu_0],$$

приведемъ формулу (40) къ виду:

$$y = \frac{kP}{Cb} ([\eta_0] \cos i\xi \cos \xi + [\mu_0] i \sin i\xi \sin \xi)$$

согласно съ видомъ 1-й изъ формулъ (96) Циммерманна.

§ 10. Сравненіе выраженій y и y_1 въ величинахъ ρ и ξ . Теорема Циммерманна.

По формулѣ (40), выражающей ординаты упругой линіи для ξ не большихъ ρ :

$$\begin{aligned} y &= \frac{kP}{Cb} ((C_2 + C_1) \cos i\rho \cos \rho + (S_1 + S_2) i \sin i\rho \sin \rho) \cos i\xi \cos \xi + \\ &+ \frac{kP}{Cb} ((C_2 - C_1) \cos i\rho \cos \rho + (S_1 - S_2) i \sin i\rho \sin \rho) i \sin i\xi \sin \xi + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{kP}{Cb} (\cos i\rho \sin \rho \cos i\xi \cos \xi + i \sin i\rho \cos \rho \cos i\xi \cos \xi) + \\
 & + \frac{kP}{Cb} (i \sin i\rho \cos \rho \cdot i \sin i\xi \sin \xi - \cos i\rho \sin \rho \cdot i \sin i\xi \sin \xi). \quad . \quad . \quad (44)
 \end{aligned}$$

Въ формулѣ же (41) замѣнимъ $(S_1 + S_2)$ равною ей величиною $(C_2 - C_1)$ и обратно (см. равенство (42)) и перепишемъ эту формулу въ такомъ видѣ:

$$\begin{aligned}
 y_1 = & \frac{kP}{Cb} ((C_2 + C_1) \cos i\xi \cos \xi + (S_1 + S_2) i \sin i\xi \sin \xi) \cos i\rho \cos \rho + \\
 & + \frac{kP}{Cb} ((C_2 - C_1) \cos i\xi \cos \xi + (S_1 - S_2) i \sin i\xi \sin \xi) i \sin i\rho \sin \rho + \\
 & + \frac{kP}{Cb} (\cos i\xi \sin \xi \cos i\rho \cos \rho + i \sin i\xi \cos \xi \cos i\rho \cos \rho) + \\
 & + \frac{kP}{Cb} (i \sin i\xi \cos \xi \cdot i \sin i\rho \sin \rho - \cos i\xi \sin \xi \cdot i \sin i\rho \sin \rho). \quad . \quad . \quad (45)
 \end{aligned}$$

Формула эта выражаетъ ординаты упругой линіи для той части стержня, гдѣ ξ не меньше ρ .

Изъ сравненія формулъ (44) и (45) видно, что на тѣхъ мѣстахъ формулы (44), гдѣ стоятъ ξ , въ формулѣ (45) стоятъ ρ , и обратно, гдѣ въ формулѣ (44) стоятъ ρ , тамъ въ формулѣ (45) стоятъ ξ .

На основаніи этого замѣчанія слѣдуетъ теорема.

Возьмемъ произвольную точку (c) той части упругой линіи, абсцисса которой ξ_c меньше ρ ; пусть $(y)_c$ будетъ ордината этой точки.

Если снимемъ грузы съ сѣченій R (абсциссы: ρ и $-\rho$) и приложимъ ихъ къ сѣченіямъ C (абсциссы $\xi = \xi_c$ и $\xi = -\xi_c$), то въ новомъ видѣ упругой линіи ордината $(y)_c$ будетъ равна ординатѣ $(y)_c$ при прежнемъ положеніи грузовъ.

Теорема эта высказана Циммерманномъ на стр. 75-й его книги.

1902 г. Мая 18-го дня
Токсово.

Изданіе Института Инженеровъ Путей Сообщенія Императора Александра I.

О НАИВЫГОДНѢЙШЕМЪ РАСПРЕДѢЛЕНІИ
ГЕНЕРАТОРНЫХЪ И ВТОРИЧНЫХЪ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХЪ СТАНЦІЙ
И ПИТАЮЩИХЪ ПРОВОДОВЪ.

~~~~~

**Н. Караулова,**

Инженера Путей Сообщенія.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.  
Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая, № 9.  
1902.

~~~~~  
Печатано по распоряженію Института Инженеровъ Путей Сообщенія
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I.
~~~~~

## ОГЛАВЛЕНИЕ.

|                                                                                                                        | СТР.      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ                                                                                                               | 1         |
| <b>I. Наивыгоднѣйшее распредѣленіе станцій и питающихъ проводовъ при системѣ непосредственнаго распредѣленія . . .</b> | <b>6</b>  |
| I. Расположеніе генераторной станціи . . . . .                                                                         | 7         |
| II. Распредѣленіе питающихъ проводовъ . . . . .                                                                        | 14        |
| 1. Сѣть, имѣющая видъ одной линіи, съ равной длины питающими проводами . . . . .                                       | 16        |
| 2. Сѣть имѣющая видъ одной линіи, съ питающими проводами неравной длины . . . . .                                      | 28        |
| 3. Сложная сѣть . . . . .                                                                                              | 38        |
| III. Распредѣленіе генераторныхъ станцій                                                                               | 47        |
| <b>II. Наивыгоднѣйшее распредѣленіе вторичныхъ и генераторныхъ станцій при системѣ непрямого распредѣленія</b>         | <b>58</b> |
| IV. Распредѣленіе вторичныхъ станцій . . . . .                                                                         | 59        |
| 1. Сѣть, имѣющая видъ одной линіи . . . . .                                                                            | —         |
| 2. Сложная сѣть . . . . .                                                                                              | 63        |
| V. Распредѣленіе генераторныхъ станцій                                                                                 | 66        |

## О наивыгоднѣйшемъ распредѣленіи генераторныхъ и вторичныхъ электрическихъ станцій и питающихъ проводовъ.

Кромѣ условія возможнаго техническаго совершенства, каждое инженерное сооруженіе должно удовлетворять также условію возможной его экономичности. Этому послѣднему условію должна, конечно, удовлетворять и каждая электрическая установка, будь то линия электрической желѣзной дороги, сѣть освѣщенія и т. п.

Экономичность установки выражается какъ въ наиболѣе низкой стоимости первоначальнаго ея оборудованія, такъ и въ наименьшей суммѣ ежегодныхъ расходовъ. Первое играетъ первенствующую роль при установкахъ временныхъ и съ такъ называемыми эластичными сѣтями<sup>1)</sup>, второе — при установкахъ съ неэластичными сѣтями.

Стоимость первоначальнаго оборудованія установки складывается изъ стоимости генераторной станціи (или станцій), стоимости вторичныхъ станцій и стоимости сѣти проводовъ питающихъ и распредѣлительныхъ. Ежегодные же расходы на установку складываются изъ расходовъ по производству энергіи и изъ расходовъ по уплатѣ  $\frac{0}{\%} \frac{0}{\%}$  на затраченный на установку капиталъ, по амортизаціи этого капитала, по ремонту установки

<sup>1)</sup> Эластичною называется, какъ извѣстно, сѣть, размѣры проводовъ которой такъ подобраны, что любое, — внутри возможныхъ вообще предѣловъ, — измѣненіе числа присоединенныхъ къ сѣти приемниковъ тока не оказываетъ замѣтнаго вліянія на функціонированіе ни одного, даже наиболѣе чувствительнаго, изъ приемниковъ тока сѣти.

и пр.; послѣдніе расходы могутъ быть выражены въ  $\frac{1}{100}$  стоимости установки.

Стоимость генераторной, а также вторичныхъ станцій, можетъ быть, какъ извѣстно, выражена линейной функціей ея мощности. Стоимость же сѣти проводовъ можетъ быть представлена линейной функціей сѣченія проводовъ. При этомъ при опредѣленіи этого сѣченія, — кромѣ условія экономически допустимой потери энергіи въ проводахъ, — не маловажную роль играютъ какъ условія механическія — прочность проводовъ — такъ въ особенности и условіе, чтобы провода не подвергались чрезмѣрному нагрѣванію, равнымъ образомъ то обстоятельство, что всякая сѣть, для возможности правильнаго функціонированія пріемниковъ тока, должна обладать извѣстною степенью эластичности.

Какъ стоимость устройства станцій съ одной стороны и стоимость сѣти проводовъ съ другой стороны, такъ и ежегодный расходъ на установку, выражающійся въ  $\frac{1}{100}$  стоимости первоначальнаго ея оборудованія, и расходъ по производству энергіи подлежатъ извѣстнымъ, другъ другу противорѣчающимъ условіямъ. Чѣмъ меньше число станцій, чѣмъ меньше, слѣдовательно, затрачиваемый на устройство ихъ капиталъ, тѣмъ болѣе должны быть, — при данномъ допустимомъ паденіи напряженія въ проводахъ, обуславливаемомъ правильностью функціонированія пріемниковъ тока (моторовъ или источниковъ освѣщенія), — сѣченія проводовъ сѣти, тѣмъ болѣе, слѣдовательно, и стоимость ея. Чѣмъ меньше участки рабочихъ проводовъ, чѣмъ меньше, слѣдовательно, можетъ быть сѣченіе проводовъ и стоимость распределительной сѣти, тѣмъ болѣе должно быть число этихъ участковъ и число питающихъ ихъ проводовъ или вторичныхъ станцій, тѣмъ болѣе должно быть затрачено на мѣдъ питающихъ проводовъ или на устройство станцій. Равнымъ образомъ для возможнаго уменьшенія потери энергіи въ проводахъ сѣти (слѣдовательно, для уменьшенія капитала, затрачиваемаго ежегодно на производство теряемой въ проводахъ энергіи) приходится увеличивать сѣченіе проводовъ; по этимъ самымъ чрезвычайно удорожается стоимость первоначальной

чальнаго оборудованія установки, (а, слѣдовательно, и расходы по уплатѣ  $\frac{0}{0}\frac{0}{0}$  и погашенію). Съ другой стороны, уменьшеніе этой стоимости (путемъ уменьшенія сѣченія проводовъ), при прочихъ равныхъ условіяхъ, неизбѣжно влечетъ за собою увеличеніе потери въ проводахъ, и вмѣстѣ съ тѣмъ удорожаетъ потребляемую энергію. Поэтому въ каждомъ изъ намѣченныхъ случаевъ должно существовать по крайней мѣрѣ одно сѣченіе проводовъ, при которомъ сумма расходовъ на устройство станціи и сѣти проводовъ или сумма  $\frac{0}{0}\frac{0}{0}$  стоимости первоначальнаго оборудованія и годовыхъ расходовъ по производству энергіи—наименьшая.

На указанное выше соотношеніе между стоимостью первоначальнаго оборудованія и стоимостью теряемой въ проводахъ энергіи впервые, для случая простой передачи энергіи, и когда стоимость установки можетъ быть принята пропорціально вѣсу проводовъ, обратилъ вниманіе В. Томсонъ (лордъ Кельвинъ)<sup>1)</sup>, давшій для опредѣленія наивыгоднѣйшаго въ данномъ случаѣ сѣченія проводовъ извѣстное правило, носящее его имя.

Вопросомъ этимъ занимались также проф. Форбсъ<sup>2)</sup>, проф. Айртонъ и Перри<sup>3)</sup>, Кильгуръ<sup>4)</sup>, проф. Антони<sup>5)</sup>, Абботъ<sup>6)</sup> и др., которые внесли нѣкоторыя поправки въ законъ Томсона и указали границы его примѣненія.

Методъ, подобный данному Томсономъ, можетъ быть примѣненъ и для опредѣленія мѣста расположенія центральной силовой станціи, числа питающихъ проводовъ или вторичныхъ

---

<sup>1)</sup> „*The Economy of Metal Conductors of Electricity*“—сообщеніе, сдѣланное въ 1881 г. В. Томсономъ въ British Association. (Это сообщеніе подъ заглавіемъ: „*Ueber die Oekonomie von Metall in elektrischen Leitungen*“ помѣщено также въ Zeitschrift für angewandte Elektrizitätslehre. 1882. S. 88).

<sup>2)</sup> „*Cantor Lectures*“. Electrician (London). 1885, vols XV and XVI.

<sup>3)</sup> Сообщеніе, сдѣланное въ 1886 г. въ Society of Telegraph Engineers and Electricians.

<sup>4)</sup> Electrical Distribution. London. 1893, p. 115.

<sup>5)</sup> „*Economy in Conductors and the Limitations in the Applicability of Kelvin's Law*“. Electrical Engineer (New-York), oct. 31, 1894.

<sup>6)</sup> Electrical Transmission of Energy. New-York, 1895, p. 457.



станцій (если для данной установки достаточно одной станціи), или числа и распределенія генераторныхъ станцій (при большихъ установкахъ), при которомъ установка представляется наиболее экономичною.

Выясненіе намѣченныхъ вопросовъ для наиболее встречающихся на практикѣ случаевъ и представляетъ предметъ настоящей работы.

Сначала мы рассмотримъ случай непосредственного распределенія электрической энергіи, а затѣмъ случай распределенія непрямого, посредствомъ вторичныхъ (трансформаторныхъ) станцій. Для случая непосредственного распределенія постараемся указать, какимъ условіямъ подчиняется выборъ мѣста расположенія генераторной станціи (когда данная установка можетъ быть обслуживаема одною станціею), далѣе постараемся дать возможно простыя, удобопримѣнимыя на практикѣ формулы для опредѣленія числа и распределенія питающихъ проводовъ; наконецъ, рассмотримъ случай устройства нѣсколькихъ генераторныхъ станцій.—Для случая непрямого распределенія рассмотримъ, подобно предыдущему, прежде всего вопросъ относительно числа и распределенія вторичныхъ станцій при устройствѣ одной лишь генераторной станціи и постараемся дать для этого случая возможно простыя формулы, затѣмъ постараемся дать также возможно простыя формулы для опредѣленія необходимаго числа генераторныхъ станцій.

Разсматриваемый здѣсь вопросъ относительно наиболее экономичнаго распределенія генераторныхъ станцій, питающихъ проводовъ (или, что то же, центровъ распределенія) и вторичныхъ станцій, представляющій значительный практический интересъ, неоднократно затрагивался въ технической литературѣ. Ниже приведенъ перечень трудовъ, въ которыхъ затронуты намѣченные выше вопросы и которые авторъ имѣлъ подъ руками при составленіи настоящей работы.

**Abbot.** Electrical Transmission of Energy. N. Y. 1895.

**Baumgardt.** «Ueber die günstigste Anordnung des Kabelnetzes in Centralanlagen». Elektrotechnische Zeitschrift. 1891. S. 485.

**Bell-Rasch.** Stromvertheilung für elektrische Bahnen. 1898.

- Бълой.** «Расчетъ наивыгоднѣйшаго разстоянія между трансформаторными подстанціями». Электричество. 1900. Стр. 320.
- Bull.** «Eine einfache Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Querschnittes und Arbeitsverlustes für elektr. Leitungen». Elektrot. Zeitschrift. 1898. S. 361.
- Föppl.** «Ueber die günstigste Lage einer elektr. Centralstation für ein vorgeschriebenes Verbrauchsgebiet». Elektrot. Zeitschrift. 1890. S. 387.
- Gérard.** Cours d'électricité.
- Haas.** «Der günstigste Abstand von Transformatoren». Elektr. Zeitschrift. 1896. S. 130.
- Hochenegg.** Anordnung und Bemessung elektr. Leitungen 1897.
- Kapp.** Elektrische Kraftübertragung 1899.
- Kilgour.** Electrical Distribution. London. 1893.
- Kilgour.** «Oekonomie der Leitungen in verschiedenen Systemen elektrischer Energievertheilung». (nach einem Vortrage von K.). Elektrot. Zeitschrift. 1891. S. 124.
- Picou.** La distribution d'électricité.
- Pojatzi.** «Ein Beitrag zur Frage nach dem günstigsten Abstand von Transformatoren». Elektrot. Zeitschrift. 1896. S. 329.
- Rasch.** «Ueber Stromversorgung längerer Bahnen». Elektrot. Zeitschrift. 1900. S. 1063 & 1080.
- Sengel.** «Bestimmung der günstigsten Zahl von Speisepunkten eines Vertheilungsnetzes». Elektrot. Zeitschrift. 1899. S. 807 & 826.
- Teichmüller.** Die Elektrischen Leitungen. 1899.
- Waltenhofen.** «Ueber die Dimensionirung und Kostenberechnung elektrischer Leitungen». Centralblatt für Elektrot. 1884. S. 223.
- Wordingham.** Central Electrical Stations. 1901.

Въ соотвѣтствующихъ мѣстахъ текста имѣются ссылки на сочиненія, которыми авторъ пользовался при составленіи настоящаго труда.

---

## **I. Наивыгоднѣйшее распредѣленіе станцій и питающихъ проводовъ при системѣ непосредственнаго распредѣленія.**

1. Подъ непосредственнымъ (прямымъ) распредѣленіемъ электрической энергіи подразумѣвается, какъ пзвѣстно, доставленіе электрической энергіи распредѣлительной сѣти (рабочимъ проводамъ электрической дороги, сѣти освѣтительной и проч.) или прямо отъ генераторной станціи, или, что чаще, помощью особыхъ питающихъ проводовъ (фидеровъ), безъ примѣненія промежуточныхъ приборовъ (трансформаторовъ). Система непосредственнаго распредѣленія, какъ наиболѣе простая, получила примѣненіе для всѣхъ почти существующихъ сѣтей городскихъ желѣзныхъ дорогъ, за исключеніемъ весьма немногихъ наиболѣе обширныхъ, и даже для междугородныхъ линій небольшой сравнительно длины, до послѣдняго времени оборудовавшихся исключительно постояннымъ токомъ, — и для большинства сѣтей освѣщенія, не отличающихся своими размѣрами. Всеобщему ея примѣненію препятствуетъ то обстоятельство, что при значительной длинѣ линіи или обширности желѣзнодорожной или освѣтительной сѣти, — при допускаемыхъ на практикѣ напряженіяхъ, — она становится неэкономичною, требуя слишкомъ большого количества мѣди для проводовъ сѣти и питающихъ проводовъ или устройства большого числа генераторныхъ станцій небольшой сравнительно мощности.

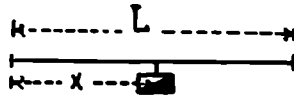
---

## ГЛАВА I.

### Расположеніе генераторной станціи <sup>1)</sup>.

2. На первой очереди стоит вопросъ относительно мѣста расположенія, по отношенію къ данной сѣти, генераторной станціи для случая обслуживанія сѣти одною лишь станціею.

Наиболѣе простымъ случаемъ представляется слѣдующій. Пусть имѣется линія  $AB$  (черт. 1), длиною  $L$ , съ нагрузкою которую можно считать равномерно распределенною по ней; гдѣ должна быть расположена обслуживающая ее генераторная станція, чтобы установка была наиболѣе экономичною?



Черт. 1.

Такими линіями представляются обыкновенно (обслуживаемыя преимущественно постояннымъ токомъ) линіи электрическихъ дорогъ, соединяющихъ городъ съ пригородомъ, или линіи освѣщенія желѣзнодорожнаго пути, канала и т. п.

Въ данномъ случаѣ,—при равномерно распределенной нагрузкѣ,—нагрузку линіи можно представить себѣ, какъ извѣстно, сосредоточенною въ срединѣ линіи. Весьма нетрудно усмотрѣть, что въ этой же точкѣ должна быть расположена и генераторная станція. Въ самомъ дѣлѣ, обозначая разстояніе отъ начала линіи до мѣста расположенія генераторной станціи черезъ  $x$ , принятое напряженіе тока черезъ  $E$ , допускаемый  $\rho\%$  потери напряженія черезъ  $p$  (такъ что паденіе напряженія  $e = \frac{p}{100} E$ ), обозначая далѣе сѣченія проводовъ на участкахъ  $AO$  и  $OB$  черезъ  $s_1$  и  $s_2$ , удѣльное сопротивленіе мѣди проводовъ черезъ  $\rho$ , силу тока въ тѣхъ участкахъ соотвѣтственно черезъ  $i_1$  и  $i_2$  и нагрузку на единицу длины линіи черезъ  $m$ , имѣемъ:

$$s_1 = \frac{\rho \cdot i_1}{e} x; \quad s_2 = \frac{\rho \cdot i_2}{e} (L - x); \quad i_1 = \frac{mx}{E}; \quad i_2 = \frac{m}{E} (L - x).$$

<sup>1)</sup> При составленіи настоящей главы авторъ руководствовался главнымъ образомъ указанными трудами Bell-Rasch, Föppl, Hoest (по Gérard), Teichmüller и Wordingham.

Если  $g$  вѣсь единицы объема мѣди, то вѣсь всего объема мѣди проводовъ

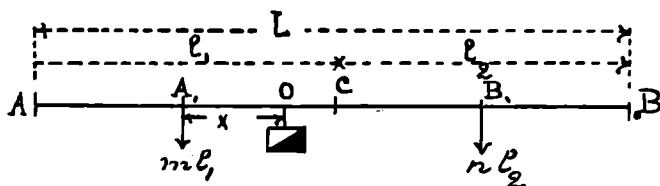
$$G = 100 g \frac{\rho \cdot m}{p \cdot E^2} [x^3 + (L-x)^3];$$

слѣдовательно, минимум  $G$ , а значить, и наименьшая стоимость проводовъ, при

$$x = \frac{L}{2},$$

т. е. при расположеніи генераторной станціи по срединѣ линіи,—въ центрѣ нагрузки линіи.

3. Въ случаѣ, если нагрузка на единицу длины линіи не одинакова, если, напр., нагрузка на участкѣ  $AC$  (черт. 2), длиною  $l_1$ , составляет  $m$  уаттъ на единицу длины, а на участкѣ  $CB$ , длиною  $l_2 = L - l_1$ ,  $n$  уаттъ, то мѣсто наиболее



Черт. 2.

выгоднаго расположенія генераторной станціи не будетъ уже по срединѣ линіи, но перемѣстится въ сторону наиболее нагруженной части и опять-таки будетъ въ центрѣ нагрузки линіи. Въ самомъ дѣлѣ, нагрузку на участкѣ  $AC$  можно считать сосредоточенною въ срединѣ его  $A_1$ , нагрузку участка  $CB$ — въ  $B_1$ . Тогда, обозначая черезъ  $L_1$  разстояніе  $A_1B_1$ , черезъ  $x$  разстояніе  $A_1O$ , черезъ  $E$  принятое напряженіе тока и черезъ  $p$  допускаемый  $\%$  потери напряженія, получаемъ слѣдующія соотношенія:

$$s_1 = \frac{\rho \cdot i_1}{e} x; \quad s_2 = \frac{\rho \cdot i_2}{e} (L_1 - x); \quad e = \frac{p}{100} E; \quad i_1 = \frac{m l_1}{E};$$

$$i_2 = \frac{n l_2}{E},$$

слѣдовательно,

$$G_1 = g \cdot s_1 \cdot x = \frac{100 \rho \cdot g \cdot m l_1}{p \cdot E^2} x^2;$$

$$G_2 = g \cdot s_2 \cdot (L_1 - x) = \frac{100 \cdot \rho \cdot g \cdot nl_2}{p \cdot E^2} (L_1 - x)^2$$

и

$$G = G_1 + G_2 = \frac{100 \rho \cdot g}{p \cdot E^2} [(ml_1 + nl_2)x^2 - 2nl_2 L_1 x + nl_2 L_1^2];$$

мінімум  $G$  получается при  $x$ , удовлетворяющемъ уравненію:

$$(ml_1 + nl_2)x - nl_2 L_1 = 0,$$

т. е. при

$$x = \frac{nl_2}{ml_1 + nl_2} L_1.$$

Далѣ имѣемъ:

$$L_1 - x = L_1 \left[ 1 - \frac{nl_2}{ml_1 + nl_2} \right] = \frac{ml_1}{ml_1 + nl_2} L_1,$$

и

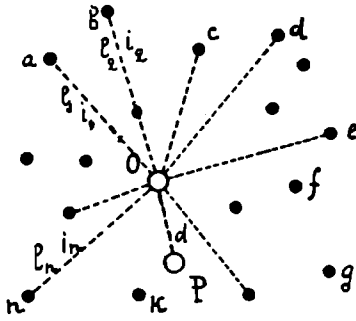
$$\frac{x}{L_1 - x} = \frac{nl_2}{ml_1};$$

т. е. и въ этомъ случаѣ наивыгоднѣйшее положеніе генераторной станціи въ центрѣ нагрузки линіи.

4. Не трудно доказать положеніе, что вообще наиболѣе выгоднымъ представляется расположеніе генераторной станціи въ центрѣ нагрузки сѣти, какова бы ни была ея конфигурація.

При этомъ надо имѣть въ виду слѣдующее. Въ разсматриваемомъ случаѣ потеря напряженія какъ въ распредѣлительныхъ, такъ и въ питающихъ проводахъ обыкновенно дана. Она обусловливается требованіями, предъявляемыми пріемниками тока (моторами вагоновъ или источниками освѣщенія): какъ тѣ, такъ и другіе работаютъ удовлетворительно лишь до тѣхъ поръ, пока потеря напряженія не превышаетъ извѣстнаго процента принятаго въ сѣти напряженія питающаго ихъ тока. Поэтому при опредѣленіи наиболѣе выгоднаго мѣста расположенія генераторной станціи потеря энергіи и связанный съ нею расходъ не могутъ быть принимаемы во вниманіе (ибо остаются неизмѣнными, независима отъ мѣста расположенія станціи),—остается лишь стоимость первоначальнаго оборудованія установки. Но изъ этой послѣдней приходится исключить стои-

мость распределительной сѣти, опредѣляемую данной конфигураціей послѣдней и требованіемъ, чтобы паденіе напряженія не превышало извѣстнаго предѣла. Такимъ образомъ мѣсто расположенія генераторной станціи опредѣляется, въ данномъ случаѣ, лишь условіемъ **наименьшей** стоимости питающихъ проводовъ.



Черт. 3.

Пусть  $a, b, c, d, \dots$  (черт. 3) центры распределенія разсма- триваемой сѣти, къ которымъ проведены идущіе отъ генера- торной станціи питающіе про- вода, и  $O$  — мѣсто распо- ложенія генераторной станціи. Обозначая черезъ  $l_1, l_2, l_3, l_4, \dots$  соответствующія длины  $Oa, Ob, Oc, \dots$  питающихъ проводовъ, черезъ  $i_1, i_2, i_3, \dots$

силу проходящихъ по этимъ проводамъ токовъ, черезъ  $s_1, s_2, s_3, \dots$  соотв. площади сѣченія питающихъ проводовъ и черезъ  $e$  до- пускаемую въ нихъ потерю напряженія, получаемъ рядъ ра- венствъ:

$$s_1 = \rho \frac{l_1 i_1}{e}; \quad s_2 = \rho \frac{l_2 i_2}{e}; \quad \dots \quad s_n = \rho \frac{l_n i_n}{e};$$

соответствующіе вѣса мѣди питающихъ проводовъ:

$$g_1 = g \cdot s_1 \cdot l_1 = \frac{g \cdot \rho}{e} \cdot l_1^2 \cdot i_1;$$

$$g_2 = g \cdot s_2 \cdot l_2 = \frac{g \cdot \rho}{e} \cdot l_2^2 \cdot i_2;$$

.....

$$g_n = g \cdot s_n \cdot l_n = \frac{g \cdot \rho}{e} \cdot l_n^2 \cdot i_n.$$

Слѣдовательно, вѣсъ всей мѣди питающихъ проводовъ:

$$G = \sum_{k=1}^{k=n} g_k = \frac{g \cdot \rho}{e} \sum_{k=1}^{k=n} l_k^2 \cdot i_k.$$

Выраженіе подъ знакомъ суммы имѣетъ видъ момента инерціи системы массъ, равныхъ  $i_1, i_2, i_3, \dots i_n$ , относительно центра, въ которомъ помѣщена генераторная станція. Изъ механики извѣстно, что моментъ инерціи данной системы минимумъ, когда точка, относительно которой онъ взятъ, совпадаетъ съ центромъ тяжести системы. Слѣдовательно, стоимость питающихъ проводовъ наименьшая, а, значить, установка наиболѣе экономична,—при расположеніи генераторной станціи въ центрѣ нагрузки сѣти.

5. Моментъ инерціи системы массъ  $i_1, i_2, \dots i_n$  относительно точки, находящейся въ разстояніи  $d$  отъ центра тяжести системы, равенъ, какъ извѣстно, моменту инерціи относительно этого центра, сложенному съ выраженіемъ  $d^2 \Sigma i$ . Поэтому, если обозначить черезъ  $T$  моментъ инерціи относительно центра нагрузки и черезъ  $I$  силу тока, доставляемаго генераторной станціей сѣти ( $\Sigma i$ ), то, при расположеніи генераторной станціи въ точкѣ  $P$ , въ разстояніи  $d$  отъ центра нагрузки, для вѣса мѣди питающихъ проводовъ получится выраженіе:

$$G = \frac{g \cdot \rho}{e} (T + I \cdot d^2).$$

Выраженіе это показываетъ, что вѣсъ мѣди  $G$  одинаково великъ для вѣсхъ мѣсть расположенія генераторной станціи, находящихся на окружности круга, описаннаго радіусомъ, равнымъ  $d$ , изъ центра нагрузки системы.

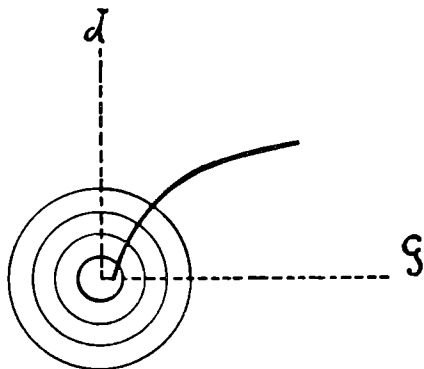
Принимая  $G$  и  $d$  за переменныя и откладывая  $G$  по оси абсциссъ и  $d$  по оси ординатъ, найдемъ, что послѣднее уравненіе представляетъ параболу вида, изображеннаго на черт. 4. Такимъ образомъ видимъ, что вѣсъ мѣди питающихъ проводовъ возрастаетъ пропорціонально абсциссамъ параболы, ординаты которой выражаютъ разстоянія мѣста расположенія генераторной станціи отъ центра нагрузки системы.

6. Слѣдующій простой примѣръ <sup>1)</sup> можетъ дать понятіе объ увеличеніи количества мѣди при удаленіи генераторной станціи отъ центра нагрузки.

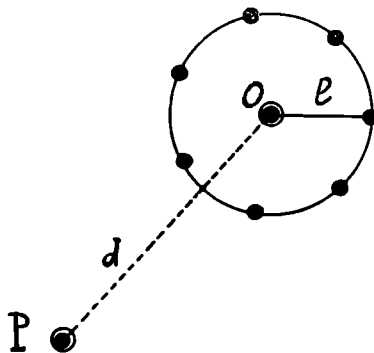
<sup>1)</sup> Заимствованъ изъ упомянутой книги Bell-Rasch., стр. 15.



Пусть требуется доставлять данной сѣти токъ помощью центровъ распредѣленія, расположенныхъ, въ равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга, по окружности круга радіуса  $l$  съ центромъ въ точкѣ  $O$  (черт. 5), и пусть каждымъ питающимъ проводомъ доставляется **одинаковое** количество энергіи, такъ что точка  $O$  представляется центромъ нагрузки системы. При расположеніи генераторной станціи въ точкѣ  $O$  вѣсь мѣди питающихъ проводовъ пропорціоналенъ  $l^2$ . Если же генераторная станція расположена въ точкѣ  $P$ , въ разстояніи  $d$  отъ



Черт. 4.



Черт. 5.

точки  $O$ , то, при прочихъ равныхъ условіяхъ, вѣсь мѣди питающихъ проводовъ пропорціоналенъ  $l^2 + d^2$ . Отношеніе вѣса мѣди при расположеніи генераторной станціи въ точкѣ  $P$  къ вѣсу мѣди при расположеніи ея въ точкѣ  $O$  составляетъ

$$n = \frac{l^2 + d^2}{l^2} = 1 + \left(\frac{d}{l}\right)^2;$$

такимъ образомъ получается для

|         |     |      |      |      |      |      |            |
|---------|-----|------|------|------|------|------|------------|
| $d = 0$ | $l$ | $2l$ | $3l$ | $4l$ | $5l$ | $6l$ | $7l$       |
| $n = 1$ | 2   | 5    | 10   | 17   | 26   | 37   | 50 и т. д. |

Отсюда видно, какъ быстро увеличивается вѣсь мѣди питающихъ проводовъ, а съ нимъ и стоимость установки, по мѣрѣ удаленія генераторной станціи отъ центра нагрузки сѣти и какіе подчасъ значительные расходы оправдываются приближеніемъ силовой станціи къ центру нагрузки.

7. Однако располагать генераторную станцію въ центрѣ нагрузки на самомъ дѣлѣ удается далеко не всегда. Главнымъ препятствіемъ такому наиболѣе выгодному съ точки зрѣнія экономіи мѣди проводовъ расположенію генераторной станціи является высокая стоимость земли. Расходы по приобрѣтенію необходимаго для генераторной станціи участка земли близъ центра нагрузки, нерѣдко совпадающаго съ центральною частью города, гдѣ цѣна земли весьма высока, часто такъ велики, что представляется болѣе выгоднымъ расположить силовую станцію въ болѣе удаленномъ отъ центра нагрузки мѣстѣ, примираясь съ большей затратой мѣди на провода.

Кромѣ приведенной выше причины, требующей зачастую располагать генераторную станцію не близъ центра нагрузки сѣти, могутъ быть еще другія причины, заставляющія удалять мѣсто расположенія силовой станціи отъ центра нагрузки. Такъ, мѣсто наиболѣе выгоднаго, съ точки зрѣнія экономіи проводовъ, расположенія генераторной станціи можетъ оказаться неблагоприятнымъ по отношенію къ снабженію станціи углемъ и водою. Стоимость подвозки угля и расходы по водоснабженію станціи для питанія котловъ и для конденсаціи очень легко могутъ поглотить сбереженія, достигнутыя на мѣди проводовъ расположеніемъ генераторной станціи въ центрѣ нагрузки сѣти <sup>1)</sup>.

Давать общее рѣшеніе вопроса относительно наиболѣе выгоднаго мѣста расположенія генераторной станціи въ зависимости отъ всѣхъ приведенныхъ выше факторовъ представляется слишкомъ затруднительнымъ, да и не можетъ имѣть практическаго значенія. Въ каждомъ частномъ случаѣ вопросъ этотъ рѣшается весьма несложнымъ подсчетомъ, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій. Найдя центръ нагрузки сѣти и опредѣливъ количество мѣди, необходимое для питающихъ проводовъ въ случаѣ расположенія въ этомъ центрѣ генераторной станціи, можно изъ уравненія § 5 найти такія величины  $d_1, d_2, \dots$

---

<sup>1)</sup> Относительно условій, которымъ долженъ удовлетворять выборъ мѣста для генераторной станціи, см. упомянутую книгу Wordingham, стр. 33.

для которыхъ соотвѣтственно  $G_1 = 1.2 T$ ,  $G_2 = 1.4 T$  и т. д. По проведеніи затѣмъ на планѣ предполагаемой къ снабженію электрической энергіей мѣстности круговъ изъ центра нагрузки радіусами, равными  $d_1, d_2, \dots$ , получается весьма наглядная картина, показывающая **прямо**, на сколько процентовъ отличаются другъ отъ друга **вѣса мѣди** питающихъ проводовъ при выборѣ различныхъ **мѣстъ** расположенія генераторной станціи <sup>1)</sup>.

Краткаго изслѣдованія **затѣмъ** имѣющихся для расположенія силовой станціи **мѣстъ вообще** достаточно для опредѣленія тѣхъ изъ нихъ, которыя **расположены** болѣе благоприятно по отношенію къ доставкѣ **угля и водоснабженію**. Несложный подсчетъ расходовъ, **связанныхъ со стоимостью** земли для генераторной станціи, со **стоимостью** увеличеннаго вслѣдствіе расположенія станціи **болѣе или менѣе** далеко отъ центра нагрузки количества **мѣди питающихъ проводовъ** и съ доставкой **угля и водоснабженіемъ**, **укажетъ**, которое изъ намѣченныхъ мѣстъ **наиболѣе** пригодно для расположенія на немъ генераторной станціи.

---

## ГЛАВА II.

### Распределеніе питающихъ проводовъ.

8. Когда положеніе генераторной станціи такъ или иначе, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, опредѣлено, — возникаетъ вопросъ относительно числа и распределенія питающихъ проводовъ.

Сѣченія проводовъ распределительной сѣти находятся въ существенной зависимости отъ числа питающихъ проводовъ: они увеличиваются съ уменьшеніемъ этого числа и уменьшаются съ его увеличеніемъ. Одинъ предѣльный случай насту-

---

<sup>1)</sup> Едвали нужно указывать на то, что такимъ путемъ получаются лишь приближенные результаты, такъ какъ питающіе провода въ дѣйствительности не могутъ быть проведены по прямымъ направленіямъ отъ генераторной станціи къ центрамъ распределенія, какъ это было предположено выше при выводѣ общей формулы.

пиль бы при примѣненіи одного лишь питающаго провода: тогда сѣченіе проводовъ распредѣлительной сѣти было бы весьма велико. Другой предѣльный случай получился бы при проведеніи къ каждому приемнику энергіи (въ случаѣ сѣти освѣщенія или постоянныхъ моторовъ) отдѣльнаго питающаго провода; тогда распредѣлительные провода,—по скольку дѣло не касается ихъ задачи выравниванія напряженія въ сѣти,—оказались бы излишними. На первый взглядъ можетъ показаться, что число питающихъ проводовъ должно быть возможно велико для достиженія экономіи въ стоимости проводовъ. Однако такое заключеніе было бы неправильно, ибо стоимость одного провода извѣстнаго сѣченія и стоимость многихъ проводовъ, сумма сѣченій которыхъ равняется той же величинѣ, не одинаковы. При одинаковой суммѣ сѣченій расходы на провода возрастаютъ съ числомъ послѣднихъ, какъ потому, что расходы по прокладкѣ, изолировкѣ и охранѣ многихъ проводовъ больше тѣхъ же расходовъ для одного провода, такъ и потому, что расходы по присоединенію питающихъ проводовъ къ генераторной станціи и къ центрамъ распредѣленія возрастаютъ, очевидно, съ числомъ проводовъ. И это обстоятельство, въ связи съ установленнымъ выше относительно распредѣлительной сѣти фактомъ, приводитъ къ убѣжденію, что для извѣстнаго числа питающихъ проводовъ долженъ получиться минимумъ расходовъ.

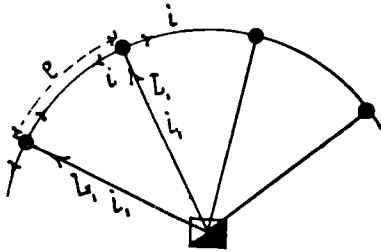
### 1. Сѣть, имѣющая видъ одной линіи, съ равной длины питающими проводами.

9. Начнемъ разсмотрѣніе интересующаго насъ вопроса съ случая сѣти, представляемой одною линіею, каковы, напр., линія междугородной электрической дороги, или линія освѣщенія пути, канала и т. п. Предположимъ далѣе, что сѣть *эластичная*, съ равномерной нагрузкой по длинѣ и съ питающими проводами одинаковой длины.

Въ этомъ случаѣ сумма сѣченій всѣхъ питающихъ проводовъ остается неизмѣнною независимо отъ числа ихъ, такъ

как она опредѣляется суммою доставляемыхъ сѣти токовъ и назначаемою по другимъ соображеніямъ допускаемой потерей напряженія питающихъ проводовъ.

Пусть длина линіи  $L$ . Условіе, что всѣ питающіе провода имѣютъ одинаковую длину  $L_1$ , практически достигается въ



Черт. 6.

томъ случаѣ, когда генераторная станція расположена въ центрѣ окружности, образованной распределительной линіей (черт. 6). Обозначая через  $n$  искомое число питающихъ проводовъ и через  $x$ —расстояніе между центрами распределенія, получаемъ соотношеніе:  $nx = L$ .

Вводимъ далѣе слѣдующія обозначенія:

$W$  — вся доставляемая сѣти энергія (нагрузка сѣти) въ уаттахъ,

$w = \frac{W}{n}$  — нагрузка, приходящаяся на одинъ центр распределенія,

$q = \frac{W}{L} = \frac{w}{x}$  — нагрузка на единицу длины сѣти,

$E$  — напряженіе, въ вольтахъ, питающаго сѣть тока,

$p$  — процентъ потери энергіи въ распределительныхъ проводахъ,

$p_1$  — тоже въ питающихъ проводахъ,

$\mu$  — число фазъ питающаго сѣть тока <sup>1)</sup>,

$\varphi$  — уголъ сдвига фазъ,

$\rho$  — удѣльное сопротивленіе мѣди проводовъ,

$s$  — сѣченіе одного провода распределительной сѣти,

$s_1$  — тоже питающихъ проводовъ,

$\alpha + \beta s$  — стоимость единицы длины провода сѣченія  $s$ ,

<sup>1)</sup> Хотя система непосредственнаго распределенія примѣняется почти исключительно для постояннаго тока, расчетъ ведется въ общемъ видѣ, для случая  $\mu$ -фазнаго тока, въ виду того, что полученные результаты примѣняются далѣе къ системѣ непрямого распределенія.

- $\nu$  — число проводовъ линіи (для постояннаго тока 2, для трехфазнаго 3 и т. д.),  
 $\gamma$  — расходъ по присоединенію питающаго провода къ центру распределенія и къ генераторной станціи,  
 $k$  — стоимость распределительной сѣти,  
 $k_1$  — стоимость питающихъ проводовъ,  
 $K = k + k_1$  — стоимость всей сѣти.

Находимъ сначала выраженіе для сѣченія проводовъ распределительной сѣти.

При расчетѣ провода съ равномерно-распределенной нагрузкой послѣдняя обыкновенно замѣняется эквивалентной сосредоточенной нагрузкой, половинной на концѣ или полной по срединѣ провода. Для выраженія потери энергіи на участкѣ длиною  $\frac{x}{4}$  имѣемъ:

$$\frac{\nu \cdot \rho \cdot \frac{x}{4} \cdot i^2}{s};$$

съ другой стороны та же потеря выражается такъ:  $\frac{p}{100} \cdot \frac{w}{2}$ . Такимъ образомъ получается равенство:

$$\frac{\nu \cdot \rho \cdot x \cdot i^2}{4s} = \frac{p}{100} \cdot \frac{w}{2}.$$

Далѣе имѣемъ:

$$\sqrt{\mu} \cdot E \cdot i \cdot \cos \varphi = \frac{w}{2},$$

откуда

$$i = \frac{w}{2 \sqrt{\mu} \cdot E \cdot \cos \varphi}.$$

Подставляя это выраженіе для  $i$  въ предыдущее равенство,— по надлежащемъ сокращеніи,—получаемъ для  $s$  выраженіе:

$$s = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot w \cdot x}{8 \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cdot \cos^2 \varphi};$$

но  $x = \frac{L}{n}$  и  $w = \frac{W}{n} = \frac{Lq}{n}$ ; такъ что окончательно

$$s = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot q \cdot L^2}{8 \cdot n^2 \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}.$$

Подобнымъ же образомъ для опредѣленія сѣченія питающихъ проводовъ имѣются соотношенія:

$$\frac{\nu \cdot \rho \cdot L_1 \cdot i_1^2}{s_1} = \frac{p_1}{100} \cdot w \quad \text{и} \quad \sqrt{\mu} \cdot E \cdot i_1 \cdot \cos \varphi = w,$$

откуда

$$s_1 = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot q \cdot L \cdot L_1}{n \cdot p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} \quad 1).$$

Далѣе имѣемъ:

Стоимость проводовъ **распределительной сѣти**:

$$k = \nu (\alpha + \beta \cdot s) L = Lx\nu + \frac{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q \cdot L^3}{8 \cdot n^2 \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi};$$

Стоимость питающихъ **проводовъ**:

$$k_1 = \nu (\alpha + \beta s_1) L_1 \cdot n + \gamma n = (L_1 \alpha \nu + \gamma) n + \frac{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q \cdot L \cdot L_1^2}{p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}.$$

Слѣдовательно, стоимость **всей сѣти** проводовъ:

$$K = k + k_1 = Lx\nu + \frac{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q \cdot L \cdot L_1^2}{p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} + (L_1 \alpha \nu + \gamma) n + \frac{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q \cdot L^3}{8 \cdot n^2 \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}.$$

Минимум  $K$  получается при  $n$ , удовлетворяющемъ уравненію:

$$\frac{dK}{dn} = L_1 \alpha \nu + \gamma - \frac{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q \cdot L^3}{4 \cdot n^3 \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} = 0.$$

Отсюда

$$n = L \sqrt[3]{\frac{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q}{(L_1 \alpha \nu + \gamma) 4 \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}$$

и

$$x = \frac{L}{n} = \sqrt[3]{\frac{(L_1 \alpha \nu + \gamma) \cdot 4 \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q}}.$$

<sup>1)</sup> Здѣсь пренебрегаемъ множителемъ  $(1 + \frac{p}{100})$ , что нисколько не вліяетъ, впрочемъ, на результатъ.

Для [постояннаго тока  $\nu = 2$ ,  $\mu = 1$  и  $\cos \varphi = 1$ ; слѣдовательно:

$$n' = L \sqrt[3]{\frac{100 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q}{(2L_1 \alpha + \gamma) \cdot p \cdot E^2}} \text{ и } x' = \sqrt[3]{\frac{(2L_1 \alpha + \gamma) \cdot p \cdot E^2}{100 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q}} \text{ } ^1).$$

Подставляя найденное значеніе  $n$  въ выраженія для  $s$ ,  $s_1$  и  $K$ —получаемъ:

$$S = \sqrt[3]{\frac{100 (L_1 \alpha \nu + \gamma)^2 \cdot \rho \cdot q}{32 \cdot \nu \cdot \beta^2 \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}};$$

$$S_1 = \frac{10 L_1}{p_1 E \cos \varphi} \sqrt[3]{\frac{40 \cdot \nu \cdot \rho^2 \cdot p \cdot q^2 (L_1 \alpha \nu + \gamma)}{\beta \cdot \mu^2 \cdot E \cdot \cos \varphi}};$$

$$K_{min} = L \alpha \nu + \frac{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q \cdot L \cdot L_1^2}{p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} +$$

$$+ \frac{3}{2} L \sqrt[3]{\frac{(L_1 \alpha \nu + \gamma)^2 \cdot 25 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q}{p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}.$$

**10. Примѣръ.** Пусть данная сѣтъ имѣетъ видъ окружности круга радіуса 1000 метровъ, въ центрѣ котораго расположена генераторная станція; слѣдовательно, длина ея составляетъ 6·28 километра. Напряженіе питающаго сѣтъ постояннаго тока пусть будетъ 220 вольтъ и допускаемая въ распредѣлительныхъ проводахъ потеря энергіи 2<sup>0</sup>/<sub>0</sub>; нагрузка сѣти равномерная, составляющая 40 ваттъ на погонный метръ. Пусть, далѣе, проводка подземная, кабелемъ; тогда для коэффициентовъ  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  могутъ быть приняты слѣдующія значенія:  $\alpha = 1\cdot5$ ,  $\beta = 0\cdot02$  и  $\gamma = 200$ ; принимая, далѣе,  $\rho = 0\cdot018$ , по подставленіи этихъ величинъ въ выраженіе для  $n$ , получаемъ:

$$n = 6280 \sqrt[3]{\frac{100 \cdot 0\cdot02 \cdot 0\cdot018 \cdot 40}{(2 \cdot 1000 \cdot 1\cdot5 + 200) \cdot 2 \cdot 48400}} = \approx 10.$$

Такимъ образомъ наивыгоднѣйшее число питающихъ про-

<sup>1)</sup> Выводъ послѣдняго выраженія, въ нѣсколько иной формѣ, имѣется въ упомянутомъ соч. Teichmüller, стр. 182 и слѣд.



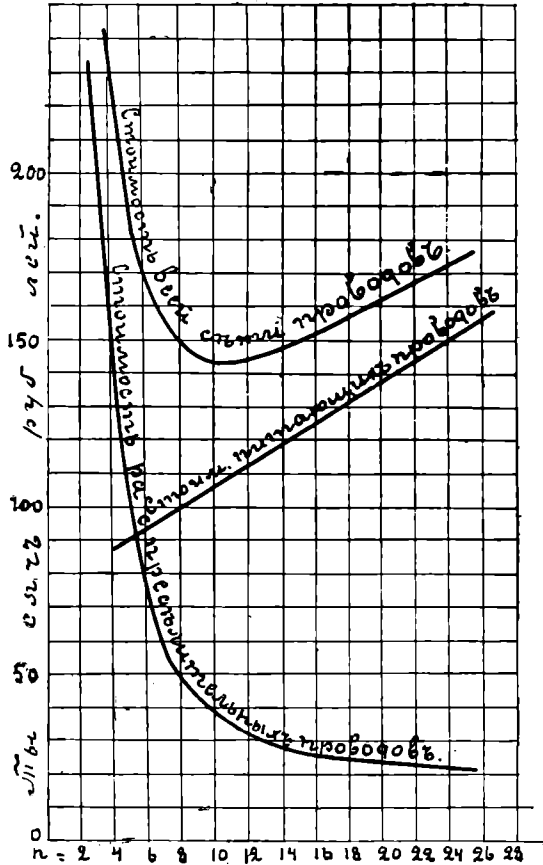
водовъ 10 и разстояніе между центрами распредѣленія составляетъ 628 метровъ.

Подставляя найденное значеніе  $n$  въ выраженіе для  $s$ , получаемъ:

$$S = 74.4 \text{ кв. мм. (и, слѣд., } d = \infty 9\frac{3}{4} \text{ мм.);}$$

для сѣченія питающихъ проводовъ имѣемъ:

$$S_1 = 187 \text{ кв. мм. (} d_1 = \infty 15\frac{1}{2} \text{ мм.).}$$



Черт. 7.

вліянія на стоимость установки (чего и слѣдовало ожидать, такъ какъ, по извѣстной теоремѣ Кеплера, измѣненія функціи

На чертежѣ 7 представлены графически результаты расчета стоимости рассматриваемой сѣти при разномъ числѣ центровъ распредѣленія, причемъ потеря напряженія въ питающихъ проводахъ принята равною 10%. Приведенныя кривыя показываютъ, какъ съ уменьшеніемъ стоимости распределительныхъ проводовъ и съ увеличеніемъ стоимости питающихъ проводовъ получается минимумъ стоимости всей сѣти при  $n = 10$ . Кривая стоимости всей сѣти показываетъ также, что ошибка въ нѣсколько % въ числѣ центровъ распредѣленія не оказываетъ большого

вблизи ся минимума незначительны). Заслуживаетъ вниманія обстоятельство, что кривая стоимости питающихъ проводовъ расположена значительно выше кривой стоимости распредѣлительныхъ проводовъ.

11. Разсмотримъ теперь случай такой же сѣти, но съ нагрузкой неравномерно распределенной по ней; такой случай имѣетъ мѣсто, напр., для электрической дороги съ сравнительно рѣдкими поѣздами. При этомъ примемъ, что всѣ сосредоточенные грузы (поѣзда) равны между собою.

Наиболѣе неблагоприятный для распредѣлительныхъ проводовъ случай будетъ при нахожденіи нагрузки по срединѣ между двумя центрами распределенія. Обозначая эту сосредоточенную нагрузку черезъ  $Q$ , получаемъ для сѣченія распредѣлительныхъ проводовъ выраженіе:

$$s = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot Q \cdot x}{2 \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot Q \cdot L}{2 \cdot n \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi};$$

а для сѣченія питающихъ проводовъ выраженіе:

$$s_1 = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot Q \cdot L_1}{p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}.$$

Обозначая, далѣе, черезъ  $M$  выраженіе:

$$M = \frac{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho}{\mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi},$$

находимъ, подобно предыдущему:

Стоимость распредѣлительныхъ проводовъ:

$$k = Lx\nu + \frac{M \cdot Q \cdot L^2}{2 \cdot n \cdot p};$$

Стоимость питающихъ проводовъ:

$$k_1 = (L_1x\nu + \gamma) n + \frac{M \cdot Q \cdot L_1^2}{p_1} n.$$

Слѣдовательно, стоимость всей сѣти:

$$K = Lx\nu + (L_1x\nu + \gamma) n + \frac{M \cdot Q \cdot L_1^2}{p_1} n + \frac{M \cdot Q \cdot L^2}{2 \cdot n \cdot p}.$$

Минимум  $K$  получается при  $n$ , удовлетворяющем уравнению:

$$\frac{dK}{dn} = L_1 \alpha \nu + \gamma + \frac{M \cdot Q \cdot L_1^2}{p_1} - \frac{M \cdot Q \cdot L^2}{2 \cdot n^2 \cdot p} = 0.$$

Отсюда

$$n = L \sqrt{\frac{M \cdot Q \cdot p_1}{2 \cdot [(L_1 \alpha \nu + \gamma) p \cdot p_1 + M \cdot Q \cdot L_1^2 p]}}$$

и следовательно,

$$x = \frac{L}{n} = \sqrt{\frac{(L_1 \alpha \nu + \gamma)^2 \cdot p}{M \cdot Q} + 2 \cdot L_1^2 \frac{p}{p_1}}$$

или, по подстановкѣ **вмѣсто**  $M$  его значенія

$$x = \sqrt{\frac{(L_1 \alpha \nu + \gamma)^2 \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}{100 \cdot \nu^3 \cdot \beta \cdot p \cdot Q} + 2 \cdot L_1^2 \frac{p}{p_1}}.$$

**12.** *Случай неэластичной сѣти.* Къ сѣтямъ неэластичнымъ принадлежать всѣ сѣти, въ которыя включены одни только моторы, ибо на послѣдніе не оказываютъ вліянія такіа измѣненія нагрузки, которыя нарушили бы правильное функционированіе источниковъ освѣщенія (лампъ накаливанія). Болѣе того, въ данномъ случаѣ *измѣненной* нагрузки вообще не приходится принимать во вниманіе, если только размѣры проводовъ такъ подобраны, что не можетъ произойти *перегрузки*, т. е. надо ставить лишь условіемъ, чтобы максимальная возможная потеря не была такъ велика, чтобы нормальное функционированіе моторовъ стало невозможнымъ <sup>1)</sup>.

Сѣченіе проводовъ неэластичныхъ сѣтей обуславливается больше ужъ не пазначаемой напередъ величиной потери напряженія, и преобладающее вліяніе приобрѣтають уже другія соображенія. Здѣсь экономичность установки, которая для сѣтей эластичныхъ вліяетъ въ незначительной сравнительно степени на опредѣленіе сѣченія проводовъ, выдвигается на первый планъ и требованія ея становятся основой вообще расчета неэластичныхъ сѣтей.

<sup>1)</sup> Здѣсь, конечно, не говорится о перегрузкѣ относительно нагружанія, которое, само собою разумѣется, никогда не должно имѣть мѣста.

Разсмотримъ сначала случай равномерно-распределенной нагрузки.

Вводя слѣдующія обозначенія:

$y$  — процентная потеря энергии въ распределительныхъ проводахъ,

$z$  — процентная потеря энергии въ питающихъ проводахъ, и оставляя прежнія обозначенія, находимъ, подобно предыдущему, для сѣченія проводовъ выраженія:

$$s = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot q \cdot L^2}{8 \cdot n^2 \cdot y \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} \text{ и } s_1 = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot L \cdot L_1}{n \cdot z \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} q \left( 1 + \frac{y}{100} \right).$$

Для стоимости всѣхъ проводовъ получаемъ:

$$K = L\alpha\nu + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{8 \cdot n^2 \cdot y} + (L_1\alpha\nu + \gamma) n + \frac{M \cdot L \cdot L_1^2}{z} q \left( 1 + \frac{y}{100} \right).$$

При этомъ, дабы не усложнять слишкомъ расчета, пренебрегаемъ величиною паденія напряженія въ питающихъ проводахъ.

Далѣе вводимъ еще слѣдующія обозначенія:

$r$  — годовой расходъ по уплатѣ  $\frac{0}{100}\%$ , по амортизаціи затраченнаго на провода капитала и по содержанію проводовъ, выраженный въ  $\frac{0}{100}\%$  стоимости проводовъ,

$z$  — стоимость производства 1 уатта въ годъ.

Тогда годовой расходъ на сѣть выразится слѣдующимъ образомъ:

$$R = L\alpha\nu \frac{r}{100} + \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r}{800 \cdot n^2 \cdot y} + (L_1\alpha\nu + \gamma) \frac{n \cdot r}{100} + \frac{M \cdot L \cdot L_1^2 \cdot q \cdot r}{100 z} \left( 1 + \frac{y}{100} \right) + L \cdot q \cdot z \left( 1 + \frac{y}{100} \right) \cdot \left( 1 + \frac{z}{100} \right).$$

$R$  достигаетъ минимума при  $n$ ,  $y$  и  $z$ , удовлетворяющихъ уравненіямъ:

$$\frac{\partial R}{\partial n} = (L_1\alpha\nu + \gamma) \frac{r}{100} - \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r}{400 \cdot n^3 \cdot y} = 0,$$

$$\frac{\partial R}{\partial y} = \frac{M \cdot L \cdot L_1^2 \cdot q \cdot r}{100 \cdot 100 \cdot z} - \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r}{800 \cdot n^2 \cdot y^2} + \frac{L \cdot q \cdot z}{100} \left( 1 + \frac{z}{100} \right) = 0,$$

$$\frac{\partial R}{\partial z} = - \frac{M \cdot L \cdot L_1^2 \cdot q \cdot r}{100 z^2} \left(1 + \frac{y}{100}\right) + \frac{L \cdot q \cdot z}{100} \left(1 + \frac{y}{100}\right) = 0.$$

Последнее уравнение дает нам прямо выражение для  $z$ :

$$z = L_1 \sqrt{\frac{M}{E} \frac{r}{\cos \varphi}} = \frac{10 L_1}{E \cos \varphi} \sqrt{\frac{\nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot r}{\mu \cdot x}}.$$

Второе уравнение, по некоторомъ сокращеніи и принимая во вниманіе полученное выше выраженіе для  $z$ , можетъ быть написано въ слѣдующемъ видѣ:

$$x \left(1 + \frac{2z}{100}\right) - \frac{M \cdot L^2 \cdot r}{8 \cdot n^2 \cdot y^2} = 0,$$

откуда

$$y^2 = \frac{M \cdot L^2 \cdot r}{8 \cdot n^2 \cdot x \left(1 + \frac{2z}{100}\right)}.$$

Изъ перваго уравненія находимъ

$$n^3 = \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{4 (L_1 \alpha \nu + \gamma) \cdot y}.$$

Подставляя сюда выраженіе для  $y$ , получаемъ:

$$n^2 = \frac{M \cdot L^2 \cdot q \cdot \sqrt{2x}}{2 (L_1 \alpha \nu + \gamma) \cdot \sqrt{M \cdot r}} \sqrt{1 + \frac{2z}{100}}.$$

Такъ какъ  $z$  обыкновенно колеблется въ предѣлахъ 10—20, то, принимая  $z = 15$ , дѣлаемъ ошибку, не превосходящую 2—3%. Такимъ образомъ получаемъ:

$$n^2 = L^2 \frac{q}{(L_1 \alpha \nu + \gamma)} \sqrt{\frac{0.65 M \cdot x}{r}},$$

и окончательно, по подстановкѣ вмѣсто  $M$  его значенія:

$$n = L \sqrt[4]{\frac{65 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot x \cdot q^2}{(L_1 \alpha \nu + \gamma)^2 \cdot r \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}$$

и

$$x = \sqrt[4]{\frac{(L_1 \alpha \nu + \gamma)^2 \cdot r \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}{65 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot x \cdot q^2}},$$

а для постоянного тока:

$$n' = L \sqrt[4]{\frac{260 \cdot \beta \cdot \rho \cdot x \cdot q^2}{(2L_1\alpha + \gamma)^2 \cdot r \cdot E^2}} \quad \text{и} \quad x' = \sqrt[4]{\frac{(2L_1\alpha + \gamma)^2 \cdot r \cdot E^2}{260 \cdot \beta \cdot \rho \cdot x \cdot q^2}}.$$

Для  $y$  получается приближенно:

$$y = \frac{x \cdot z}{\sqrt{10} \cdot L_1} \quad \text{или} \quad y = \sqrt[4]{\frac{1 \cdot 43 (L_1\alpha\gamma + \gamma)^2 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot r^3}{q^2 \cdot x^3 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}.$$

Подставляя найденные значения  $n$ ,  $y$  и  $z$  въ выражения для  $s$ ,  $s_1$  и  $K$ , получаемъ:

$$S = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 05 (L_1\alpha\gamma + \gamma)^2 \cdot \rho \cdot x \cdot q^2}{\nu^2 \cdot \beta^3 \cdot r \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}};$$

$$S_1 = \sqrt[4]{\frac{154 (L_1\alpha\gamma + \gamma)^2 \cdot \rho \cdot x \cdot q^2}{\nu^2 \cdot \beta^3 \cdot r \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}};$$

$$K_{min} = L\alpha\gamma + \frac{3}{2} L \sqrt[4]{\frac{65 (L_1\alpha\gamma + \gamma)^2 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot x \cdot q^2}{r \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}} +$$

$$+ \frac{10L \cdot L_1 \cdot q}{E \cos \varphi} \sqrt[4]{\frac{\nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot z}{r \cdot \mu}}.$$

**13. Примѣръ.** Для рассмотрѣннаго въ § 9 примѣра, принимая  $r = 10$  и  $x = 0 \cdot 2$ , находимъ:

$$n = 6280 \sqrt[4]{\frac{260 \cdot 0 \cdot 02 \cdot 0 \cdot 018 \cdot 0 \cdot 2 \cdot 40^2}{3200^2 \cdot 10 \cdot 48400}} = \infty 10,$$

$$y = \sqrt[4]{\frac{100 \cdot 3200^2 \cdot 4 \cdot 0 \cdot 02 \cdot 0 \cdot 018 \cdot 10^3}{32 \cdot 40^2 \cdot 0 \cdot 2^3 \cdot 48400}} = \infty 3 \cdot 4,$$

$$z = \frac{10 \cdot 1000}{220} \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 0 \cdot 02 \cdot 0 \cdot 018 \cdot 10}{0 \cdot 2}} = 12 \cdot 2.$$

Подставляя найденные значения  $n$ ,  $y$  и  $z$  въ выражения для  $K$ ,  $s$  и  $s_1$ , получаемъ:

$$K = \infty 132 \cdot 000; \quad S = 58 \cdot 7 \quad (\text{слѣд. } d = \infty 8^3/4 \text{ мм.)}$$

$$\text{и } S_1 = 152 \quad (d_1 = \infty 14 \text{ мм.).}$$

14. Разсмотримъ еще случай, когда потеря энергии въ распределительныхъ проводахъ задана и равна  $p$ , когда, следовательно, можно располагать лишь величиною потери въ питающихъ проводахъ. Въ этомъ случаѣ, подобно предыдущему, имѣемъ:

$$R = L\alpha\nu \frac{r}{100} + \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r}{800 \cdot p \cdot n^3} + (L_1\alpha\nu + \gamma) \frac{nr}{100} + \\ + \frac{M \cdot L \cdot L_1^2 \cdot q \cdot r}{100 z} \left(1 + \frac{p}{100}\right) + Lqz \left(1 + \frac{p}{100}\right) \left(1 + \frac{z}{100}\right).$$

Минимум  $R$  получается при  $n$  и  $z$ , удовлетворяющихъ уравненіямъ:

$$\frac{\partial R}{\partial n} = (L_1\alpha\nu + \gamma) \frac{r}{100} - \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r}{400 \cdot p \cdot n^3} = 0,$$

$$\frac{\partial R}{\partial z} = \frac{Lqz}{100} \left(1 + \frac{p}{100}\right) - \frac{M \cdot L \cdot L_1^2 \cdot q \cdot r}{100 \cdot z^2} \left(1 + \frac{p}{100}\right) = 0.$$

Изъ этихъ уравненій находимъ, по подстановкѣ вмѣсто  $M$  его значенія:

$$n = L \sqrt[3]{\frac{25 \cdot \nu^2 \cdot \rho \cdot \beta \cdot q}{(L_1\alpha\nu + \gamma) \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}$$

и

$$n' = L \sqrt[3]{\frac{100 \cdot \rho \cdot \beta \cdot q}{(2L_1\alpha + \gamma) \cdot p \cdot E^2}};$$

$$z = \frac{L_1}{E \cos \varphi} \sqrt{\frac{100 \cdot \nu^2 \cdot \rho \cdot \beta \cdot r}{\mu \cdot z}} \quad \text{и} \quad z' = \frac{20 L_1}{E} \sqrt{\frac{\rho \cdot \beta \cdot r}{z}}.$$

15. Для случая *сосредоточенной нагрузки* имѣемъ:

$$s = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot Q \cdot L}{2 \cdot n \cdot y \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} \quad \text{и} \quad s_1 = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot L_1 \cdot Q}{z \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} \left(1 + \frac{y}{100}\right).$$

Обозначая черезъ  $W$ —полную мощность, поглощаемую моторами, получаемъ для стоимости всей сѣти выраженіе:

$$K = L\alpha\nu + \frac{M \cdot Q \cdot L^2}{2 \cdot n \cdot y} + (L_1\alpha\nu + \gamma) n + \frac{M \cdot L_1^2 \cdot W}{z} \left(1 + \frac{y}{100}\right).$$

Годовой расходъ

$$R = L\alpha\gamma \frac{r}{100} + \frac{M \cdot Q \cdot L^2 \cdot r}{200 \cdot n \cdot y} + (L_1\alpha\gamma + \gamma) \frac{nr}{100} + \\ + \frac{M \cdot L_1^2 \cdot W \cdot r}{100 z} \left(1 + \frac{y}{100}\right) + Wz \left(1 + \frac{y}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{z}{100}\right).$$

Минимум  $R$  получается при  $n$ ,  $y$  и  $z$ , удовлетворяющихъ уравнениямъ:

$$\frac{\partial R}{\partial n} = - \frac{M \cdot Q \cdot L^2 \cdot r}{200 \cdot y \cdot n^2} + (L_1\alpha\gamma + \gamma) \frac{r}{100} = 0,$$

$$\frac{\partial R}{\partial y} = - \frac{M \cdot Q \cdot L^2 \cdot r}{200 \cdot n \cdot y^2} + \frac{M \cdot L_1^2 \cdot W \cdot r}{100 \cdot 100 \cdot z} + \frac{Wz}{100} \left(1 + \frac{z}{100}\right) = 0,$$

$$\frac{\partial R}{\partial z} = - \frac{M \cdot L_1^2 \cdot W \cdot r}{100 z^2} \left(1 + \frac{y}{100}\right) + \frac{Wz}{100} \left(1 + \frac{y}{100}\right) = 0.$$

Отсюда, подобно предыдущему, находимъ:

$$z = L_1 \sqrt{M \frac{r}{z}}, \\ y^2 = \frac{M \cdot Q \cdot L^2 \cdot r}{2n \cdot W \cdot z \left(1 + \frac{2z}{100}\right)} \\ n^2 = \frac{M \cdot Q \cdot L^2}{2 (L_1\alpha\gamma + \gamma) \cdot y}.$$

Принимая во второмъ изъ этихъ уравненій  $Q = \frac{W}{n}$  и  $z = 15$ , получаемъ:

$$y = \frac{L}{n} \sqrt{M \frac{r}{2 \cdot 6 \cdot z}}.$$

Подставляя это значеніе  $y$  въ выраженіе для  $n$ , находимъ:

$$n = \frac{5 \cdot L \cdot Q}{(L_1\alpha\gamma + \gamma) E \cos \varphi} \sqrt{\frac{2 \cdot 6 \cdot \nu^2 \cdot \rho \cdot \beta \cdot z}{r \cdot \mu}}$$

и для постояннаго тока

$$n' = \frac{10 \cdot L \cdot Q}{(2L_1\alpha + \gamma) \cdot E} \sqrt{\frac{2 \cdot 6 \cdot \rho \cdot \beta \cdot z}{r}}.$$



16. Для того же случая сосредоточенной нагрузки, но при  $y$  постоянномъ и равномъ  $p$ , получаются слѣдующія уравненія:

$$-\frac{M \cdot Q \cdot L^2 \cdot r}{400 p \cdot n^2} + (L_1 \alpha \nu + \gamma) \frac{r}{100} = 0,$$

$$-\frac{M \cdot L_1^2 \cdot W \cdot r}{100 z^2} \left(1 + \frac{p}{100}\right) + \frac{Wk}{100} \left(1 + \frac{p}{100}\right) = 0,$$

откуда

$$n = \frac{5 \cdot L}{E \cos \varphi} \sqrt{\frac{\nu^2 \cdot \rho \cdot \beta \cdot Q}{(L_1 \alpha \nu + \gamma) \cdot p \cdot \mu}} \quad \text{и} \quad z = \frac{10 L_1}{E \cos \varphi} \sqrt{\frac{\nu^2 \cdot \rho \cdot \beta \cdot r}{k \cdot \mu}}$$

и для постоянного тока

$$n' = \frac{10 \cdot L}{E} \sqrt{\frac{\rho \cdot \beta \cdot Q}{(2L_1 \alpha + \gamma) \cdot p}} \quad \text{и} \quad z' = \frac{20 L_1}{E} \sqrt{\frac{\rho \cdot \beta \cdot r}{k}}$$

## 2. Сѣть, имѣющая видъ одной линіи, съ питающими проводами неравной длины.

17. Случай сѣти съ одинаковой длины питающими проводами сравнительно рѣдки. Чаще встрѣчаются случаи, подобные представленному на черт. 8, когда генераторная станція расположена у распредѣлительной линіи, близъ ея середины, и длины питающихъ проводовъ увеличиваются по мѣрѣ удаленія центровъ распредѣленія отъ генераторной станціи. Разсмотримъ сначала случай сѣти (въ данномъ случаѣ линіи) эластичной и съ равномѣрно-распредѣленной нагрузкой.

При длинѣ всей линіи, равной  $L$ , длина каждой секціи (принимаемая постоянною)  $x = \frac{L}{n}$ , гдѣ  $n$  — число секцій.

Для сѣченія распредѣлительныхъ проводовъ имѣемъ, подобно предыдущему, выраженіе:

$$s = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot L^2 \cdot q}{8 \cdot n^2 \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}.$$

Стоимость ихъ:

$$k = L \alpha \nu + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{8 \cdot p \cdot n^2}.$$

При выводѣ выражений для сѣченій и стоимости питающих проводовъ надо имѣть въ виду два случая: 1) число секцій четное, 2) число это нечетное.



Черт. 8.

При четномъ числѣ секцій (черт. 8) для сѣченій питающих проводовъ получаются выражения:

$$s_1 = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot q \cdot x}{p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} \cdot \frac{x}{2} = \frac{M \cdot L^2 \cdot q}{n^2 \cdot p_1 \cdot \beta \cdot \nu} \cdot \frac{1}{2};$$

$$s_2 = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot q \cdot x}{p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} \cdot \frac{3}{2} x = \frac{M \cdot L^2 \cdot q}{n^2 \cdot p_1 \cdot \beta \cdot \nu} \cdot \frac{3}{2};$$

.....

$$s_m = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot q \cdot x}{p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} \cdot \frac{2m-1}{2} x = \frac{M \cdot L^2 \cdot q}{n^2 \cdot p_1 \cdot \beta \cdot \nu} \cdot \frac{2m-1}{2}$$

и соответственно стоимость ихъ:

$$k_1 = \frac{L \alpha \nu}{n} \cdot \frac{1}{2} + \gamma + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{n^3 \cdot p_1} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2;$$

$$k_2 = \frac{L \alpha \nu}{n} \cdot \frac{3}{2} + \gamma + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{n^3 \cdot p_1} \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^2;$$

.....

$$k_m = \frac{L \alpha \nu}{n} \cdot \frac{2m-1}{2} + \gamma + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{n^3 \cdot p_1} \left(\frac{2m-1}{2}\right)^2.$$

Слѣдовательно, стоимость всѣхъ питающих проводовъ:

$$\begin{aligned} k' &= 2 \sum_{m=1}^{m=\frac{n}{2}} k_m = 2 \frac{L \alpha \nu}{n} \sum_{m=1}^{m=\frac{n}{2}} \frac{2m-1}{2} + n \gamma + 2 \frac{M L^3 q}{n^3 \cdot p_1} \sum_{m=1}^{m=\frac{n}{2}} \left(\frac{2m-1}{2}\right)^2 = \\ &= 2 \frac{L \alpha \nu}{2n} \left(1 + 3 + 5 + \dots + (n-1)\right) + n \gamma + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ 2 \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{4 \cdot n^3 \cdot p_1} \{1^2 + 3^2 + 5^2 + \dots + (n-1)^2\} = \\
 &= \left( \frac{Lx\gamma}{4} + \gamma \right) n + \frac{ML^3q}{12 p_1} - \frac{ML^3q}{12 p_1 n^2}.
 \end{aligned}$$

Такимъ образомъ стоимость **всей сѣти** проводовъ:

$$\begin{aligned}
 K = k + k' = Lx\gamma + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{8 \cdot p \cdot n^2} + \left( \frac{Lx\gamma}{4} + \gamma \right) n + \\
 + \frac{ML^3q}{12 p_1} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right).
 \end{aligned}$$

При нечетномъ числѣ **секцій** (черт. 9) получаются для



Черт. 9.

сѣченій питающихъ проводовъ выражения:

$$\begin{aligned}
 s_1 &= \frac{100 \nu \cdot \rho \cdot q \cdot x}{\rho_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} \cdot x = \frac{M \cdot L^2 \cdot q}{n^2 \cdot p_1 \cdot \beta \cdot \nu}; \\
 s_2 &= \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot q \cdot x}{p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} \cdot 2x = 2 \cdot \frac{M \cdot L^2 \cdot q}{n^2 \cdot p_1 \cdot \beta \cdot \nu}; \\
 &\dots \dots \dots \\
 s_m &= \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot q \cdot x}{p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} \cdot m \cdot x = m \cdot \frac{M \cdot L^2 \cdot q}{n^2 \cdot p_1 \cdot \beta \cdot \nu}.
 \end{aligned}$$

Соотвѣтственно стоимость ихъ:

$$\begin{aligned}
 k_1 &= \frac{Lx\gamma}{n} + \gamma + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{n^3 \cdot p_1}; \\
 k_2 &= 2 \cdot \frac{Lx\gamma}{n} + \gamma + 2^2 \cdot \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{n^3 \cdot p_1}; \\
 &\dots \dots \dots \\
 k_m &= m \cdot \frac{Lx\gamma}{n} + \gamma + m^2 \cdot \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{n^3 \cdot p_1}.
 \end{aligned}$$

Слѣдовательно, стоимость всѣхъ питающихъ проводовъ:

$$\begin{aligned}
 k' &= 2 \sum_{m=1}^{n=\frac{n-1}{2}} k_m = 2 \frac{L\alpha\gamma}{n} \sum_{m=1}^{n=\frac{n-1}{2}} m + (n-1)\gamma + 2 \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{n^3 \cdot p_1} \sum_{m=1}^{n=\frac{n-1}{2}} m^2 = \\
 &= 2 \frac{L\alpha\gamma}{n} \cdot \frac{n^2-1}{8} + (n-1)\gamma + 2 \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{n^3 \cdot p_1} \cdot \frac{n(n^2-1)}{4 \cdot 6}.
 \end{aligned}$$

Принимая во вниманіе, что генераторная станція соединяется со средней секціей также проводомъ (хотя и весьма короткимъ), можемъ выраженіе для стоимости питающихъ проводовъ, по нѣкоторомъ сокращеніи, написать въ слѣдующемъ видѣ

$$k' = \left( \frac{L\alpha\gamma}{4} + \gamma \right) n + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{12p_1} - \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{12 \cdot p_1 \cdot n^2}.$$

Такимъ образомъ для стоимости всей сѣти проводовъ получается то же самое выраженіе, что и прежде, для случая четнаго числа секцій.

Минимум  $K$  получается при  $n$ , удовлетворяющемъ уравненію:

$$\frac{dK}{dn} = \frac{L\alpha\gamma}{4} + \gamma - \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{n^3} \left( \frac{1}{4p} - \frac{1}{6p_1} \right) = 0$$

или

$$L\alpha\gamma + 4\gamma - \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{n^3} \cdot \frac{3p_1 - 2p}{3pp_1} = 0.$$

Отсюда, по постановкѣ вмѣсто  $M$  его значенія:

$$n = L \sqrt[3]{\frac{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q (3p_1 - 2p)}{(L\alpha\gamma + 4\gamma) \cdot 3 \cdot p \cdot p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}$$

и для постоянного тока

$$n' = L \sqrt[3]{\frac{200 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q (3p_1 - 2p)}{(L\alpha + 2\gamma) 3p \cdot p_1 \cdot E^2}}.$$

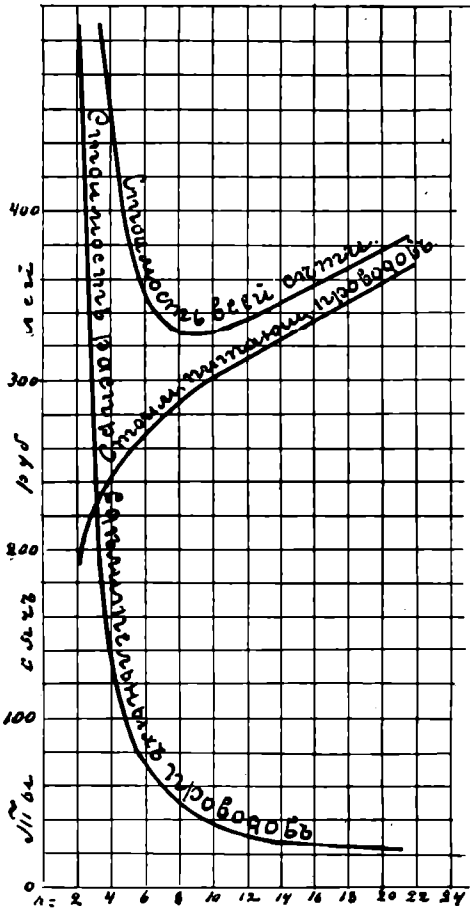
Подставляя найденное значеніе  $n$  въ выраженія для  $s$  и  $K$ , получаемъ:

$$S = \sqrt[3]{\frac{100 \left( \frac{L}{4} \alpha\gamma + \gamma \right)^2 \cdot \rho \cdot q \cdot (3p_1)^2}{32 \cdot \nu \cdot \beta^2 \cdot p (3p_1 - 2p)^2 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}};$$

$$K_{min} = Lx\gamma + \frac{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q \cdot L^3}{12 p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} +$$

$$+ L \sqrt[3]{\frac{100 \left(\frac{L}{4} x\gamma + \gamma\right)^2 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q \cdot (3p_1 - 2p)}{4 \cdot p \cdot 3p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}} +$$

$$+ \frac{L}{2} \sqrt[3]{\frac{100 \left(\frac{L}{4} x\gamma + \gamma\right)^2 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q \cdot (3p_1)^2}{4 \cdot p \cdot (3p_1 - 2p)^2 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}.$$



Черт. 10.

**18. Примѣръ.** Принимая данные примѣра § 9 (кромѣ, конечно, длины питающихъ проводовъ), найдемъ, при  $p_1 = 10$ , число  $n$  центровъ распредѣленія.

Подставляя въ формулу для  $n'$  предыдущаго § приведенныя въ § 9 значенія, находимъ:

$$n = \infty 9.$$

На черт. 10 представленъ графически результатъ подсчета стоимости распредѣлительныхъ и питающихъ проводовъ, а также всей сѣти для разныхъ  $n$ .

Отсюда видимъ, что при неравной длинѣ питающихъ проводовъ расходъ на сѣтъ питающихъ проводовъ играетъ еще болѣе видную роль, чѣмъ при одинаковой ихъ длинѣ.

19. Въ случаѣ *сосредоточенной нагрузки*, подобно предыдущему, имѣемъ:

$$s = \frac{100 \cdot \rho \cdot \nu \cdot L \cdot Q}{2 \cdot n \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}; \quad s_m = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot Q \cdot L}{n \cdot p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} \cdot m;$$

$$k = L\alpha\nu + \frac{M \cdot L^2 \cdot Q}{2 \cdot n \cdot p}; \quad k_m = m \cdot \frac{L\alpha\nu}{n} + \gamma + m^2 \frac{M \cdot L^2 \cdot Q}{n^2 \cdot p_1};$$

$$k' = 2 \sum_{m=1}^{\frac{n-1}{2}} k_m = 2 \frac{L\alpha\nu}{n} \sum_{m=1}^{\frac{n-1}{2}} m + (n-1)\gamma + 2 \frac{M \cdot L^2 \cdot Q}{n^2 \cdot p_1} \sum_{m=1}^{\frac{n-1}{2}} m^2.$$

Слѣдовательно, стоимость всей сѣти проводовъ:

$$K = L\alpha\nu + \frac{L\alpha\nu + 4\gamma}{4} \cdot n + \frac{M \cdot L^2 \cdot Q}{2 \cdot n \cdot p} + \frac{M \cdot L^2 \cdot Q}{n^2 \cdot p_1} \cdot \frac{n(n^2 - 1)}{12}.$$

Minimum  $K$  получается при  $n$ , удовлетворяющемъ уравненію:

$$\frac{L}{4} \alpha\nu + \gamma - \frac{M \cdot L^2 \cdot Q}{2 n^2 \cdot p} + \frac{M \cdot L^2 \cdot Q}{12 p_1} \left(1 + \frac{1}{n^2}\right) = 0.$$

Замѣняя  $\frac{L}{n}$  черезъ  $x$ , получаемъ:

$$\frac{L}{4} \alpha\nu + \gamma + \frac{M \cdot L^2 \cdot Q}{12 p_1} = \frac{6 p_1 - p}{12 p p_1} M \cdot Q \cdot x^2.$$

Отсюда, по подстановкѣ вмѣсто  $M$  его значенія:

$$x = \sqrt{\left(\frac{L}{4} \alpha\nu + \gamma\right) \cdot \frac{12 \cdot p \cdot p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot Q (6 p_1 - p)} + \frac{L^2 \cdot p}{6 p_1 - p} *).$$

\*) Нѣсколько болѣе простое выраженіе получается, если, при достаточно большомъ  $L$ , а слѣдовательно и  $n$ , пренебречь членомъ  $\frac{1}{n^2}$  въ вышеприведенномъ уравненіи. Тогда оно принимаетъ видъ:

$$\frac{M \cdot L^2 \cdot Q}{2 \cdot n^2 \cdot p} = \frac{L}{4} \alpha\nu + \gamma + \frac{M L^2 Q}{12 \cdot p_1}.$$

Слѣдовательно, для  $x$  получается выраженіе:

$$x = \sqrt{\left(\frac{L}{4} \alpha\nu + \gamma\right) \cdot \frac{2 \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot Q} + L^2 \frac{p}{6 p_1}}.$$

20. Для случая установки *неэластичной* имѣемъ, при равномерно-распределенной нагрузкѣ, слѣдующія выражения:

$$s = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot L^2 \cdot q}{8 \cdot n^2 \cdot y \cdot \mu \cdot E^2 \cos \varphi}$$

и

$$s_m = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot L^2 \cdot q}{n^2 \cdot z \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} \cdot m \left( 1 + \frac{y}{100} \right);$$

такъ что

$$k' = \left( \frac{L\alpha\nu}{4} + \gamma \right) n + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{12 \cdot z} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right) \cdot \left( 1 + \frac{y}{100} \right)$$

и

$$K = k + k' = L\alpha\nu + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{8 \cdot y \cdot n^2} + \left( \frac{L}{4} \alpha\nu + \gamma \right) n + \\ + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{12 \cdot z} \left( 1 + \frac{y}{100} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right).$$

Слѣдовательно, годовой расходъ:

$$R = L\alpha\nu \frac{r}{100} + \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r}{800 \cdot n^2 \cdot y} + \frac{L\alpha\nu + 4\gamma}{400} \cdot n \cdot r + \\ + \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r}{1200 \cdot z} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right) \cdot \left( 1 + \frac{y}{100} \right) + \\ + Lqz \left( 1 + \frac{y}{100} \right) \cdot \left( 1 + \frac{z}{100} \right).$$

Minimum  $R$  получается при  $n$ ,  $y$  и  $z$ , удовлетворяющихъ уравненіямъ:

$$-\frac{M \cdot L^3 \cdot q}{n^3 \cdot y} + L\alpha\nu + 4\gamma + \frac{2 \cdot M \cdot L^3 \cdot q}{3 \cdot n^3 \cdot z} \left( 1 + \frac{y}{100} \right) = 0;$$

$$-\frac{M \cdot L^2 \cdot r}{8 \cdot n^2 \cdot y^2} + \frac{M \cdot L^2 \cdot r}{1200 \cdot z} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right) + z \left( 1 + \frac{z}{100} \right) = 0;$$

$$-\frac{M \cdot L^2 \cdot r}{12 \cdot z^2} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right) + z = 0.$$

Изъ этихъ уравненій находимъ:

$$n^3 = \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{Lx + 4\gamma} \left[ \frac{1}{y} - \frac{2}{3z} \left( 1 + \frac{y}{100} \right) \right] . \quad (1)$$

$$y^2 = \frac{M \cdot L^2 \cdot r}{8n^2 \left\{ \frac{M \cdot L^2 \cdot r}{1200z} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right) + z \left( 1 + \frac{z}{100} \right) \right\}} . \quad (2)$$

$$z^3 = \frac{M \cdot L^2 \cdot r}{12 \cdot z} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right) . \quad (3)$$

Принимая во вниманіе равенство (3), можемъ (2) написать въ такомъ видѣ:

$$y^2 = \frac{M \cdot L^2 \cdot r}{8n^2 z \left( 1 + \frac{2z}{100} \right)} = \frac{300 z^2}{2(n^2 - 1)(100 + 2z)} . \quad (2')$$

Вычисленныя изъ равенствъ (3) и (2') и подставленныя въ (1) выраженія для  $y$  и  $z$  въ зависимости отъ  $n$  — даютъ уравненіе, изъ котораго можетъ быть найдено  $n$ .

Для приближеннаго вычисленія  $n$  дѣлаемъ нѣкоторыя допущенія. Именпо, при достаточно большомъ  $L$ , а слѣдовательно и  $n$ , можемъ въ равенствѣ (3) пренебречь членомъ  $\frac{1}{n^2}$  и тогда получаемъ:

$$z = L \sqrt{\frac{M \cdot r}{12 \cdot z}} . \quad (3')$$

Равнымъ образомъ можемъ равенство (2') переписать въ такомъ видѣ:

$$y^2 = \frac{300 z^2}{2n^2 (100 + 2z)} .$$

Далѣе, принимая во вниманіе, что  $z$  обыкновенно около 15—20, видимъ, что  $y$  можетъ быть, съ достаточнымъ приближеніемъ, выражено слѣдующимъ образомъ:

$$y = \frac{z}{n} . \quad (2'')$$

Наконецъ, пренебрегая въ равенствѣ (1) членомъ  $\frac{2}{3z} \left( 1 + \frac{y}{100} \right)$ ,



получаемъ для  $n$  приближенное выражение:

$$n = L \sqrt[4]{\frac{1200 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot \lambda \cdot q^2}{(L\alpha\nu + 4\gamma)^2 \cdot r \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}$$

и для постоянного тока:

$$n' = L \sqrt[4]{\frac{1200 \cdot \beta \cdot \rho \cdot \lambda \cdot q^2}{(L\alpha + 2\gamma)^2 \cdot r \cdot E^2}}$$

Подставляя найденныя значенія  $n$ ,  $y$  и  $z$  въ выраженія для  $n$  и  $K$ , получаемъ:

$$S = \sqrt[4]{\frac{300 \cdot \left(\frac{L}{4} \alpha\nu + \gamma\right)^2 \cdot \rho \cdot \lambda \cdot q^2}{64 \cdot \nu^2 \cdot \beta^3 \cdot r \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}};$$

$$K_{min} = L\alpha\nu + \frac{3L}{2} \sqrt[4]{\frac{300 \left(\frac{L}{4} \alpha\nu + \gamma\right)^2 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot \lambda \cdot q^2}{4 \cdot r \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}} +$$

$$+ \frac{5 \cdot L^2 \cdot q}{E \cos \varphi} \sqrt[4]{\frac{\nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot \lambda}{3 \cdot r \cdot \mu}}.$$

**21. Примѣръ.** Принимая данныя примѣра § 18 и полагая  $r = 10$  и  $\lambda = 0.2$ , найдемъ число  $n$  центровъ распредѣленія для рассмотрѣннаго въ предыдущемъ § случая.

Подставляя въ формулу для  $n$  приведенныя значенія, находимъ:

$$n = \infty 8,$$

Вычисляя, далѣе, величины наиболѣе выгодныхъ потерь въ питающихъ и распредѣлительныхъ проводахъ, получаемъ:

$$z = \infty 22 \quad \text{и} \quad y = 2.7.$$

**22.** Для случая *сосредоточенной* нагрузки имѣемъ, подобно предыдущему:

$$R = \frac{L\alpha\nu \cdot r}{100} + \frac{L\alpha\nu + 4\gamma}{400} n \cdot r + \frac{M \cdot L^2 \cdot Q \cdot r}{200 n \cdot y} +$$

$$+ \frac{M \cdot L^2 \cdot Q \cdot r}{1200 z} n \cdot \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \cdot \left(1 + \frac{y}{100}\right) +$$

$$+ Wz \left(1 + \frac{y}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{z}{100}\right);$$

Минимум  $K$  получается при  $n$ ,  $y$  и  $z$ , удовлетворяющих уравнениямъ:

$$Lx + 4\gamma - \frac{2 M \cdot L^2 \cdot Q}{n^2 \cdot y} +$$

$$+ \frac{M \cdot L^2 \cdot Q}{3 \cdot z} \left(1 + \frac{1}{n^2}\right) \left(1 + \frac{y}{100}\right) = 0;$$

$$- \frac{M \cdot L^2 \cdot Q \cdot r}{n \cdot y^2} + \frac{M \cdot L^2 \cdot Q \cdot r \cdot n}{600 \cdot z} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) +$$

$$+ 2W \cdot z \cdot \left(1 + \frac{z}{100}\right) = 0;$$

$$- \frac{M \cdot L^2 \cdot Q \cdot r \cdot n}{12 z^2} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) + Wz = 0.$$

Изъ этихъ трехъ уравненій могутъ быть опредѣлены  $n$ ,  $y$  и  $z$ .

Для полученія простой формулы, съ достаточной для практики степенью точности, допускаемъ слѣдующія упрощенія:

пренебрегаемъ, подобно предыдущему, въ выраженіи  $1 - \frac{1}{n^2}$  членомъ  $\frac{1}{n^2}$ ; изъ третьяго уравненія находимъ:

$$z^2 = \frac{M \cdot L^2 \cdot Q \cdot r \cdot n}{12 \cdot W \cdot z};$$

принимая еще  $W = Qn$ , имѣемъ:

$$z = L \sqrt{\frac{M \cdot r}{12 z}}.$$

Далѣе, изъ втораго уравненія, подобно предыдущему, получаемъ:

$$y^2 = \frac{6z^2}{n^2 \left(1 + \frac{2z}{100}\right)};$$

принимая въ выраженіи въ скобкахъ, для перваго приближенія,  $z = 15$ , находимъ, что

$$y = \infty 2 \cdot 4 \frac{z}{n}.$$

Для  $n$  получаемъ приближенное выраженіе:

$$n = \frac{10 \cdot L \cdot Q}{\left(\frac{L}{4} \alpha \nu + \gamma\right) E \cos \varphi} \sqrt{\frac{\nu^2 \cdot \rho \cdot \beta \cdot z}{2 \cdot r \cdot \mu}}.$$

**23.** Сравнивая полученныя въ §§ 17, 19, 20 и 22 выраженія для  $n$ ,  $s$  и  $K$  въ случаѣ сѣти съ неравной длины питающими проводами съ такими же выраженіями §§ 9, 11, 12 и 15 для случая сѣти съ питающими проводами одинаковой длины, замѣчаемъ, что, если въ первыхъ въ двучленахъ  $3\rho_1 - 2\rho$  и  $6\rho_1 - \rho$  пренебrecь вторыми членами, малыми по сравненію съ первыми, то выраженія эти при  $L_1 = \frac{L}{4}$  мало отличаются отъ выраженной §§ 9, 11, 12 и 15, такъ что, для перваго приближенія, наивыгоднѣйшее число питающихъ проводовъ (или разстояніе между центрами распределенія) для сѣти съ неравной длины питающими проводами можетъ быть рассчитываемо какъ для сѣти съ одинаковой длины питающими проводами длиною  $\frac{L}{4}$ .

### 3. Сложная сѣть.

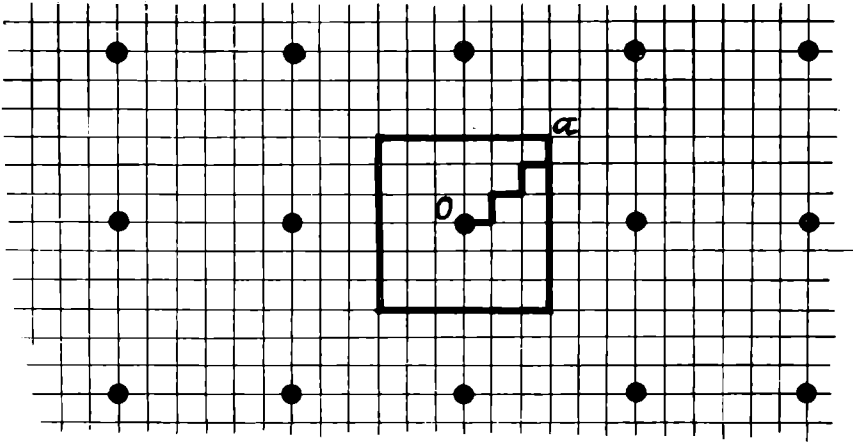
**24.** Не останавливаясь на другихъ возможныхъ частныхъ случаяхъ, перейдемъ къ рассмотренію случая сложной сѣти.

Разсматриваемъ сѣть, состоящую изъ петель квадратнаго вида (черт. 11).

Вводимъ слѣдующія обозначенія:

- $l$  — длина одного элемента сѣти (стороны квадрата, образующаго петлю),
- $N$  — число всѣхъ элементовъ сѣти,
- $n$  — число центровъ распределенія,
- $m$  — число элементовъ между двумя центрами распределенія,

- $x = m \cdot l$  — расстояние (кратчайшее) между смежными центрами распределения,  
 $W$  — потребляемая всею сѣтью энергія,  
 $\Omega$  — площадь, занимаемая распределительною сѣтью,  
 $\sigma = \frac{W}{\Omega}$  — количество энергіи, приходящееся на единицу поверхности,  
 $i$  — токъ, приходящійся на одинъ элементъ сѣти (потребляемый на протяженіи одного элемента),  
 $s$  — сѣченіе элемента сѣти (принимаемое постояннымъ),



Черт. 11.

- $L$  — длина питающаго провода,  
 $I$  — токъ, проходящій по питающему проводу,  
 $s_1$  — сѣченіе питающаго провода,  
 $m_1$  — число элементовъ, приходящееся на одинъ центръ распределенія,  
 $w = \sqrt{\mu} \cdot E \cdot i \cos \varphi$  — количество энергіи, приходящееся на одинъ элементъ.

Какъ не трудно усмотрѣть, число элементовъ, приходящихся на одинъ центръ распределенія

$$m_1 = 2m^2 = 2 \frac{x^2}{l^2}.$$

Далѣе, изъ черт. 12 (представляющаго схематическое изобра-

женіе одной петли сѣти съ приходящеюся на каждый элементъ нагрузки) видимъ, что количество приходящейся на одинъ элементъ сѣти энергій

$$w = \frac{\sigma}{2} l^2.$$

Количество энергій, приходящееся на всю сѣть

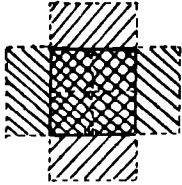
$$W = N \cdot w.$$

Изъ двухъ послѣднихъ равенствъ получаемъ

$$N = \frac{W}{w} = \frac{2W}{\sigma \cdot l^2}$$

и, слѣдовательно,

$$n = \frac{N}{m_1} = \frac{2 \cdot W \cdot l^2}{\sigma \cdot l^2 \cdot 2 \cdot x^2} = \frac{W}{\sigma \cdot x^2} = \frac{\Omega}{x^2}.$$



Черт. 12.

Наконецъ, изъ соотношенія

$$W = \sqrt{\mu} \cdot E \cdot J \cos \varphi \cdot \frac{\Omega}{x^2}$$

получаемъ

$$J = \frac{W}{n \cdot \sqrt{\mu} \cdot E \cos \varphi}.$$

Теперь можемъ перейти къ опредѣленію сѣченій проводовъ сѣти и питающихъ проводовъ. Сѣченіе послѣднихъ находимъ изъ соотношенія:

$$\frac{\nu \cdot \rho \cdot L \cdot J^2}{s_1} = \frac{p_1}{100} \cdot \frac{W}{n};$$

отсюда, по подстановкѣ выраженія для  $J$ :

$$s_1 = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot L \cdot W}{n \cdot p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}.$$

Принимая во вниманіе, что  $\rho$ —процентная потеря энергій въ наиболѣе удаленной отъ центра распредѣленія точкѣ, отстоящей отъ него на разстояніе  $x$  (такъ какъ разстояніе надо считать по сторонамъ петель, то, какъ въ этомъ убѣждаетъ взглядъ на черт. 11,  $Oa = Oo = x$ ), имѣемъ для опредѣленія

сѣтѣя проводовъ распредѣлительной сѣти равенство:

$$\frac{\nu \cdot \rho \cdot (mi)^2 \cdot x}{2 \cdot s} = \frac{p}{100} \cdot m \cdot w;$$

откуда, по подстановкѣ вмѣсто  $i$ ,  $w$  и  $m$  ихъ выраженій черезъ  $l$  и  $n$ , находимъ:

$$s = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot l \cdot W}{4 \cdot n \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}.$$

Стоймость проводовъ распредѣлительной сѣти:

$$k = \nu (\alpha + \beta \cdot s) N \cdot l = \nu (\alpha + \beta \cdot s) \frac{2W}{\sigma \cdot l} = \frac{2W\alpha\nu}{\sigma \cdot l} + \frac{M \cdot W^2}{2 \cdot n \cdot p \cdot \sigma}.$$

Стоймость всѣхъ питающихъ проводовъ:

$$k_1 = \nu (\alpha + \beta \cdot s_1) L \cdot n + n\gamma = (L\alpha\nu + \gamma) n + \frac{M \cdot L^2 \cdot W}{p_1}.$$

Слѣдовательно, стоймость всей сѣти:

$$K = k + k_1 = \frac{2W\alpha\nu}{\sigma \cdot l} + \frac{M \cdot L^2 \cdot W}{p_1} + (L\alpha\nu + \gamma) n + \frac{M \cdot W^2}{2 \cdot n \cdot p \cdot \sigma}.$$

Минимум  $K$  получается при  $n$ , удовлетворяющемъ уравненію:

$$\frac{dK}{dn} = L\alpha\nu + \gamma - \frac{MW^2}{2 \cdot n^2 \cdot p \cdot \sigma} = 0.$$

Отсюда, по подстановкѣ вмѣсто  $M$  его значенія:

$$n = \frac{W}{E \cos \varphi} \sqrt{\frac{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho}{2 (L\alpha\nu + \gamma) \cdot p \cdot \sigma \cdot \mu}}$$

и

$$x = \sqrt{\frac{Q}{n}} = \sqrt[4]{\frac{2 (L\alpha\nu + \gamma) \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot \sigma}}.$$

Для постояннаго тока:

$$n' = \frac{W}{E} \sqrt{\frac{200 \cdot \beta \cdot \rho}{(2L\alpha + \gamma) \cdot p \cdot \sigma}} \text{ и } x' = \sqrt[4]{\frac{(2L\alpha + \gamma) \cdot p \cdot E^2}{200 \cdot \beta \cdot \rho \cdot \sigma}}.$$

Подставляя найденныя значения  $n$  въ выраженія для  $s$ ,  $s_1$  и  $K$ , получаемъ:

$$S = \frac{5l}{E \cos \varphi} \sqrt{\frac{(L\alpha\gamma + \gamma) \cdot \rho \cdot \sigma}{2 \cdot \beta \cdot \mu \cdot p}};$$

$$S_1 = \frac{20L}{p_1 E \cos \varphi} \sqrt{\frac{(L\alpha\gamma + \gamma) \cdot p \cdot \rho \cdot \sigma}{2 \cdot \beta \cdot \mu}};$$

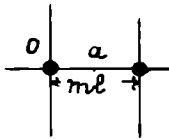
$$K_{min} = \frac{2W\alpha\gamma}{l \cdot \sigma} + \frac{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot L^2 \cdot W}{p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} +$$

$$+ \frac{W}{E \cos \varphi} \sqrt{\frac{200(L\alpha\gamma + \gamma) \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho}{\mu \cdot \sigma \cdot p}}.$$

25. Такія же выраженія для  $n$  и  $x$ , какія выведены въ предыдущемъ параграфѣ для случая сѣти съ квадратными петлями, получаютъ, какъ показали проф. Зенгель\*), и для сѣ-

\*) Prof. A. Sengel. „Bestimmung der günstigsten Zahl von Speisepunkten eines Vertheilungsnetzes“. ETZ. 1899. S. 807 u. 826. Приведенный здѣсь способъ вывода выражений для наиблагодѣйшаго числа центровъ распределенія сѣти отличается отъ способа, примененнаго проф. Зенгелемъ.

Въ упомянутой статьѣ проф. Зенгель даетъ еще для случая неразмѣренной сѣти (т. е. сѣти вида, представленнаго на черт. 13) выраженія для  $n$  и  $x$ , отличающіяся отъ вышеприведенныхъ коэффициентами соотв. 0.5 и 1.4. Не трудно усмотрѣть, что это для такого частнаго случая дѣйствительно такъ. Въ самомъ дѣлѣ, равенство, служащее для опредѣленія  $s$ , въ этомъ случаѣ (ср. черт. 13) имѣетъ видъ:



Черт. 13.

Слѣдовательно

$$\frac{\nu \cdot \rho \cdot (ml)^2 \cdot x}{4 \cdot 4 \cdot s} = \frac{p \cdot mw}{100 \cdot z};$$

$$s = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot l \cdot W}{16 \cdot n \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}.$$

Подставляя это значеніе  $s$  въ выраженіе для  $K$  и находя минимумъ  $K$ , получаемъ:

$$n' = \frac{W}{2E \cos \varphi} \sqrt{\frac{100 \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho}{2(L\alpha\gamma + \gamma) \cdot p \cdot \sigma \cdot \mu}}$$

и соответственно

$$x = \sqrt{\frac{Q}{n}} = 1.4 \sqrt{\frac{2(L\alpha\gamma + \gamma) \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}{100 \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot \sigma}}.$$

тей съ петлями въ видѣ правильныхъ треугольниковъ или шестиугольниковъ и для несимметричнаго расположенія центровъ питація, что позволяетъ заключить, что выведенныя формулы даютъ практически примѣнимыя значенія для сѣтей любой конфигураціи.

Въ случаѣ прокладки проводовъ по обѣимъ сторонамъ улицъ сумма сѣченій ихъ такова же, что и при прокладкѣ съ одной стороны. Переменные расходы остаются, слѣдовательно, тѣ же, и, значитъ, выраженія для  $n$  и  $x$  не измѣняются.

Эти же формулы могутъ быть, безъ всякаго измѣненія, примѣнены и въ случаѣ трехпроводной системы распределенія. Въ самомъ дѣлѣ, если, какъ это въ настоящее время почти исключительно, и совершенно правильно, дѣлается, средніе (нулевые) провода питающихъ и распределительныхъ проводовъ соединить въ особую сѣть среднихъ проводовъ, то сумма сѣченій проводовъ этой сѣти не зависитъ отъ числа центровъ распределенія и сѣченія распределительныхъ проводовъ. Даже въ томъ случаѣ, когда сѣченіе среднихъ проводовъ питающей и распределительной сѣти находится въ извѣстномъ отношеніи къ сѣченію крайнихъ проводовъ, отношеніе между переменными расходами остается неизмѣннымъ. Выведенныя для  $n$  и  $x$  выраженія и въ этомъ случаѣ сохраняютъ свое значеніе. Въ вышеприведенныхъ формулахъ за напряженіе  $E$ , при трехпроводной системѣ канализаціи, слѣдуетъ, конечно, принимать напряженіе между крайними проводами.

При примѣненіи выведенныхъ формулъ цѣлесообразнѣе, конечно, вычислять число  $n$  центровъ распределенія, ибо легче размѣстить въ данной сѣти извѣстное число такихъ центровъ, нежели опредѣлять ихъ положеніе разстояніемъ между ними.

Для данной сѣти всѣ входящія въ выраженіе для  $n$  величины, кромѣ  $L$  и  $\sigma$ , постоянныя, эти же двѣ величины измѣняются отъ одной точки сѣти до другой. Для достиженія возможно точныхъ результатовъ слѣдуетъ сѣть раздѣлить на участки такимъ образомъ, чтобы въ предѣлахъ каждаго такого участка величины  $L$  и  $\sigma$  отличались другъ отъ друга возможно мало. За  $L$  принимается тогда кратчайшее разстояніе отъ генера-

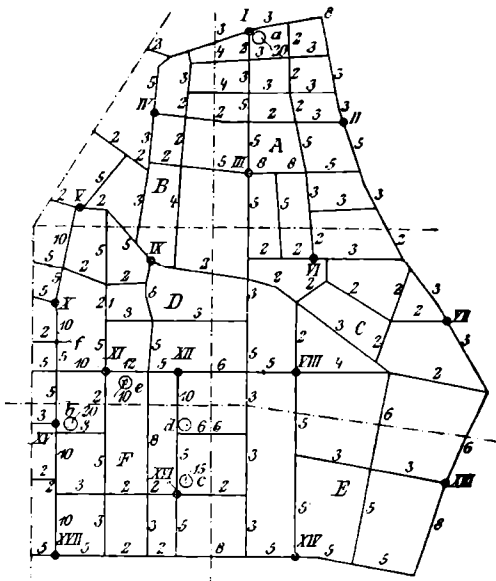


торной станціи до центра нагрузки участка (считая это расстояние вдоль сторонъ сѣти). При вычисленіи значенія  $\sigma$  надо имѣть въ виду, что мѣста потребленія энергии, непосредственно присоединенныя къ центрамъ распределенія, не даютъ нагрузки распределительныхъ проводовъ и, слѣдовательно, не вліяютъ на размѣры сѣченія послѣднихъ. Такимъ образомъ при опредѣленіи  $\sigma$  не слѣдуетъ принимать во вниманіе отдѣльныя мѣста болѣе значительнаго потребленія энергии (напр. театры, большія промышленныя или торговыя заведенія и т. п.); въ которыхъ, очевидно, должны быть, по возможности, помѣщаемы центры распределенія.

Въ общемъ случаѣ для различныхъ значеній  $n$  получаются въ отдѣльныхъ участкахъ дробныя числа, сумма коихъ даетъ число всѣхъ центровъ распределенія данной сѣти. Последнее

число слѣдуетъ такъ распределить по сѣти, чтобы число приходящихся на каждый участокъ центровъ распределенія возможно мало отличалось отъ вычисленнаго.

**26. Примѣръ.** Пусть требуется найти число центровъ распределенія для представленной на черт. 14, въ масштабѣ 1:16667, части сѣти. Поставленныя у распределительныхъ проводовъ цифры показываютъ потребление энергии (равномѣрное по длинѣ) въ килоуаттахъ. Кругами съ помѣщенными возлѣ



Черт. 14.

нихъ цифрами отмѣчены мѣста болѣе значительнаго потребленія энергии. Генераторная станція находится въ разстояніи

200 метровъ влѣво отъ точки  $f$  сѣти. Далѣе принимаемъ:  $\beta = 0.02$ ,  $\rho = 0.018$ ,  $\alpha = 1.00$  и  $\gamma = 130$ .

Положимъ, что распределение производится помощью постоянного тока, подземнымъ кабелемъ, по трехпроводной системѣ, съ напряженіемъ  $E = 2 \times 110$  вольтъ. Потерю въ распределительныхъ проводахъ принимаемъ  $= 1.5\%$ .

Для вычисления  $n$  и  $x$  раздѣляемъ сѣть на 6 участковъ, обозначенныхъ на чертежѣ буквами  $A, B, C, D, E$  и  $F$ . Получаемъ слѣдующія значенія:

| УЧАСТКИ:                             | A       | B       | C       | D       | E       | F       |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Количество потребляемой энергіи      |         |         |         |         |         |         |
| $W$ въ ваттахъ.                      | 113.000 | 52.000  | 70.000  | 131.000 | 61.000  | 103.000 |
| Поверхность $\Omega$ въ кв. метрахъ. | 150.000 | 120.000 | 240.000 | 165.000 | 180.000 | 145.000 |
| $\sigma = \frac{W}{\Omega}$          | 0.75    | 0.42    | 0.29    | 0.80    | 0.34    | 0.71    |
| Длина питающихъ проводовъ въ м.      | 1.150   | 750     | 1.050   | 400     | 1.300   | 750     |

Подставляя найденныя величины въ выраженія для  $n$  и  $x$ , находимъ соотвѣтственно:

$$\begin{aligned} n &= 2.65 & 1.97 & 2.76 & 4.78 & 2.00 & 2.99 \\ x &= 230 & 250 & 300 & 190 & 300 & 320 \end{aligned}$$

Сумма  $n$  составляетъ 17.15. Размѣщеніе центровъ распределения представлено на чертежѣ 14.

Въ число  $W$  не включены числа расхода энергіи въ мѣстахъ потребленія, обозначенныхъ на черт. буквами  $a, b, c$ , ибо въ нихъ а priori представляется цѣлесообразнымъ помѣщеніе центровъ распределения.

27. Для случая сѣти *неэластичной*, пользуясь выведеннымъ въ § 24 выраженіемъ стоимости сѣти, имѣемъ:

Годовой расходъ:

$$\begin{aligned} R &= \frac{2.W.\alpha.\nu.r}{100.l.\sigma} + \frac{M.W^2.r}{200.y.n.\sigma} + \frac{L\alpha\nu + \gamma}{100}.n.r + \\ &+ \frac{M.L^2.W.r}{100.z} \left(1 + \frac{y}{100}\right) + Wz \left(1 + \frac{y}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{z}{100}\right). \end{aligned}$$

Минимум  $R$  получается при  $n$ ,  $y$  и  $z$ , удовлетворяющих уравнениямъ:

$$\frac{\partial R}{\partial n} = -\frac{M \cdot W^2 \cdot r}{200 \cdot y \cdot n^2 \cdot \sigma} + \frac{L \alpha \nu + \gamma}{100} r = 0.$$

$$\frac{\partial R}{\partial y} = -\frac{M \cdot W^2 \cdot r}{200 \cdot n \cdot y^2 \cdot \sigma} + \frac{M \cdot L^2 \cdot W \cdot r}{10000z} + \frac{Wz}{100} \left(1 + \frac{z}{100}\right) = 0;$$

$$\frac{\partial R}{\partial z} = -\frac{M \cdot L^2 \cdot W \cdot r}{100 \cdot z^2} \left(1 + \frac{y}{100}\right) + \frac{Wz}{100} \left(1 + \frac{y}{100}\right) = 0.$$

Отсюда получаемъ

$$n^2 = \frac{M \cdot W^2}{2y \sigma (L \alpha \nu + \gamma)}; \quad y^2 = \frac{M \cdot W^2 \cdot r}{2n \sigma \left[ \frac{M L^2 r}{100z} + z \left(1 + \frac{z}{100}\right) \right]};$$

$$z = L \sqrt{M \frac{r}{z}}.$$

Принимая во вниманіе третье изъ этихъ равенствъ, можемъ второе переписатьъ въ такомъ видѣ:

$$y = \sqrt{\frac{M \cdot W^2 \cdot r}{2 \cdot n \cdot z \cdot \sigma \left(1 + \frac{2z}{100}\right)}}$$

По подстановкѣ этого значенія  $y$  въ выраженіе для  $n$ , принимая  $z = 10$ , находимъ:

$$n = W \sqrt[3]{\frac{60 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot z}{(L \alpha \nu + \gamma)^2 \cdot r \cdot \sigma \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}.$$

**28. Примѣръ.** Для рассмотрѣнной въ § 26 сѣти, принимая въ формулахъ предыдущаго §  $z = 0.2$  и  $r = 10$ , получаемъ:

|          |            |        |        |        |        |        |
|----------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| участки: | $A$        | $B$    | $C$    | $D$    | $E$    | $F$    |
|          | $n = 3.27$ | $1.65$ | $2.04$ | $4.88$ | $1.47$ | $2.74$ |

Округляя  $n$  до ближайшаго цѣлаго числа и вычисляя  $x$ ,  $y$  и  $z$ , находимъ:

|       |     |      |       |      |             |      |
|-------|-----|------|-------|------|-------------|------|
| $n =$ | 3   | 2    | 2     | 5    | 1 (2)       | 3    |
| $x =$ | 220 | 250  | 350   | 190  | 420 (300)   | 320  |
| $y =$ | 1.7 | 1.94 | 2.67  | 1.5  | 3.17 (2.24) | 1.74 |
| $z =$ | 14  | 9.15 | 12.90 | 4.88 | 15.80       | 9.15 |

### Г Л А В А Ш.

#### Распредѣленіе генераторныхъ станцій.

**29.** При устройствѣ длинной желѣзнодорожной линіи или значительныхъ размѣровъ сѣти городскихъ дорогъ или освѣщенія доставленіе сѣти энергіи отъ одной лишь генераторной станціи, при условіи непосредственнаго распредѣленія, представляется неэкономичнымъ вслѣдствіе значительнаго возрастанія длины и сѣченія питающихъ проводовъ, стоимость которыхъ, какъ мы видѣли выше на частныхъ примѣрахъ, играетъ весьма важную роль въ суммѣ расходовъ на устройство сѣти. Поэтому приходится или уменьшать длины послѣднихъ и ихъ сѣченіе путемъ увеличенія числа генераторныхъ станцій, или отказаться отъ системы непосредственнаго распредѣленія и прибѣгнуть къ другимъ, болѣе экономичнымъ въ данномъ случаѣ системамъ распредѣленія. Вопросъ, какой системѣ въ каждомъ данномъ случаѣ слѣдуетъ отдать предпочтеніе, въ значительной мѣрѣ зависитъ отъ мѣстныхъ условій и не поддается рѣшенію въ общемъ видѣ \*).

Въ настоящей главѣ постараемся вывести выраженія для наивыгоднѣйшаго числа генераторныхъ станцій для данной установки при примѣненіи системы непосредственнаго распредѣленія.

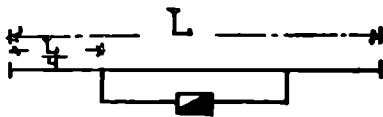
Здѣсь мы имѣемъ дѣло опять съ двумя противоположными

\*) Указанія относительно этого вопроса можно найти, между прочимъ, въ упомянутой статьѣ Rasch въ ETZ и въ докладѣ Ванъ-Флотена: „О выборѣ системы тяги для электр. жел. дорогъ“ (Электричество, 1901 г., стр. 54).

факторами, влияющими на стоимость данной установки: чѣмъ меньше, при данной конфигураціи распределительной сѣти, число генераторныхъ станцій, чѣмъ меньше, слѣдовательно, расходъ на оборудованіе станцій, тѣмъ длиннѣе должны быть питающіе провода и больше ихъ сѣченіе (или больше допускаемая въ нихъ потеря энергіи), т. е. тѣмъ больше расходъ на питающіе провода (или на производство энергіи, теряющейся въ нихъ); съ другой стороны уменьшеніе расходовъ, связанныхъ съ сѣтью питающихъ проводовъ, путемъ уменьшенія ихъ длины устройствомъ лишнихъ генераторныхъ станцій, неизбежно влечетъ за собою, при прочихъ равныхъ условіяхъ, увеличеніе расходовъ на устройство станцій. И въ этомъ случаѣ для каждой данной установки необходимо должно существовать такое число генераторныхъ станцій, при которыхъ сумма единовременныхъ расходовъ на устройство станцій и сѣти проводовъ, или сумма годовыхъ расходовъ по содержанию установки, уплатѣ  $\frac{0}{100}$  и погашенію затраченнаго на устройство ея капитала и по производству необходимой энергіи—наименьшая.

Разсмотримъ случай, когда данная сѣть представляетъ длинную линію съ генераторными станціями, расположенными вдоль ея.

30. Для упрощенія выкладокъ, — чтобы не пользоваться сложными формулами случая переменнѣй длины питающихъ проводовъ, — примемъ, что токъ отъ генераторной станціи, расположенной близъ середины даннаго участка, доставляется рас-



Черт. 15.

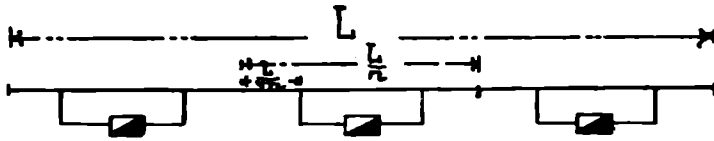
предѣлительнымъ проводамъ помощью двухъ лишь питающихъ проводовъ, проведенныхъ отъ станціи къ серединѣ каждой изъ половинокъ даннаго участка, расположенныхъ по обѣ стороны станціи.

Въ случаѣ одной лишь генераторной станціи, представленномъ на черт. 15, при равномерной нагрузкѣ линіи  $q$  килоуаттъ на километръ, имѣемъ, что по каждому питающему проводу передается  $\frac{Lq}{2}$  килоуаттъ на разстояніе  $\frac{L}{2}$  килом., рабочіе

же провода, длиною  $\frac{L}{4}$  каждый, нагружены равномерно нагрузкою  $\frac{Lq}{4}$  килоуаттъ. Для сѣченій  $s$ —проводовъ рабочей линіи и  $s_1$ —питающихъ проводовъ получаются, слѣдовательно, выраженія:

$$s = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot q \cdot L^2}{32 \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} \text{ и } s_1 = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot q \cdot L^2}{8 \cdot p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}.$$

Для случая же длинной линіи, обслуживаемой  $n$  генераторными станціями (черт. 16) имѣемъ (нагрузка питающихъ



Черт. 16.

проводовъ длиною  $\frac{L}{4n}$  составляетъ  $\frac{Lq}{2n}$  килоуаттъ на каждый, рабочіе же провода нагружены равномерно нагрузкою  $\frac{Lq}{4n}$  килоуаттъ на длинѣ  $\frac{L}{4n}$  километровъ):

$$s_n = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot q \cdot L^2}{32 \cdot n^2 \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} \text{ и } s'_n = \frac{10 \cdot \nu \cdot \rho \cdot q \cdot L^2}{8 \cdot n^2 \cdot p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}.$$

Стоимость одной изъ  $n$  генераторныхъ станцій можетъ быть, какъ извѣстно, выражена двучленомъ вида:

$$A + B \frac{W}{n},$$

гдѣ  $W = Lq$  — нагрузка всей линіи. Такимъ образомъ для стоимости всей установки получаемъ выраженіе:

$$\begin{aligned} K &= n \left( A + B \frac{Lq}{n} \right) + \nu (\alpha + \beta \cdot s_n) L + \nu (\alpha + \beta \cdot s'_n) \frac{L}{2} = \\ &= n \cdot A + B \cdot L \cdot q + \frac{3}{2} L \alpha \nu + \nu \beta L \left( s_n + \frac{s'_n}{2} \right) = \\ &= nA + B \cdot L \cdot q + \frac{3}{2} L \alpha \nu + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{32 n^2} \cdot \frac{p_1 + 2p}{p \cdot p_1}. \end{aligned}$$

Минимум  $K$  получается при  $n$ , удовлетворяющем уравнению:

$$\frac{dK}{dn} = A - \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{16n^3} \cdot \frac{p_1 + 2p}{pp_1} = 0.$$

Отсюда, по подстановкѣ вмѣсто  $M$  его значенія:

$$n = L \sqrt[3]{\frac{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q (2p + p_1)}{16 \cdot A \cdot p \cdot p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}$$

и для постоянного тока

$$n' = L \sqrt[3]{\frac{25 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q \cdot (2p + p_1)}{A \cdot p \cdot p_1 \cdot E^2}}.$$

Подставляя найденное значеніе  $n$  въ выраженіе для  $K$ , получаемъ:

$$K_{min} = \frac{3}{2} L \alpha \nu + BLq + \frac{3}{2} L \sqrt[3]{\frac{100(2p + p_1) \cdot A^2 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q}{16 \cdot p \cdot p_1 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}$$

Слѣдуетъ имѣть въ виду, что при выводѣ формулы для  $n$  не принято во вниманіе то обстоятельство, что одна большая генераторная станція производитъ данное количество энергіи экономичнѣе, чѣмъ нѣсколько станцій. Поэтому при пользованіи этою формулою, въ сомнительныхъ случаяхъ (т. е. когда можетъ явиться сомнѣніе, какую цифру изъ двухъ смежныхъ слѣдуетъ принять), слѣдуетъ скорѣе уменьшать количество генераторныхъ станцій, нежели увеличивать.

**31. Примѣръ.** Положимъ, имѣется линія длиною 60 километровъ, которую требуется снабжать электрической энергіей по способу непосредственнаго распредѣленія. Пусть нагрузка на километръ линіи составляетъ 10 килоуаттъ; напряженіе питающаго тока (постояннаго) пусть  $E = 600$  вольтъ; допускаемая потеря въ питающихъ проводахъ  $p_1 = 20\%$ , въ рабочихъ —  $p = 5\%$ . Принимая прежнія значенія для  $\beta$  и  $\rho$  и полагая  $A = 100.000$ , получаемъ для необходимаго числа генераторныхъ станцій, при условіи наибольшей экономич-

ности установки, выражение:

$$n = 60000 \sqrt[3]{\frac{25 \cdot 0 \cdot 01 \cdot 0 \cdot 018 \cdot 10 \cdot 30}{10^5 \cdot 100 \cdot 36 \cdot 10^4}},$$

откуда

$$n = 4 \cdot 32.$$

Такимъ образомъ для даннаго случая представляется наиболѣе экономичнымъ устройство четырехъ генераторныхъ станцій, въ разстояніи приблизительно 15 километровъ одна отъ другой.

**32.** Для случая *неэластичной* сѣти, пользуясь выведеннымъ выше выраженіемъ для стоимости установки и обозначая черезъ  $r_1$  годовой расходъ, связанный съ генераторными станціями, а черезъ  $r_2$  годовой расходъ, связанный съ сѣтью проводовъ, въ ‰‰ стоимости установки, находимъ:

Сумма годовыхъ расходовъ:

$$\begin{aligned} R = & \frac{Anr_1}{100} + \frac{B \cdot L \cdot q \cdot r_1}{100} \left(1 + \frac{y}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{z}{100}\right) + \\ & + \frac{3}{200} L \alpha y r_2 + \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{3200 \cdot n^2 \cdot y} + \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{1600 \cdot n^2 \cdot z} \left(1 + \frac{y}{100}\right) + \\ & + L q z \left(1 + \frac{y}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{z}{100}\right). \end{aligned}$$

Минимум  $R$  получается при  $n$ ,  $y$  и  $z$ , удовлетворяющихъ уравненіямъ:

$$\frac{\partial R}{\partial n} = \frac{Ar_1}{100} - \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{1600 \cdot n^3 \cdot y} - \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{800 \cdot n^3 \cdot z} \left(1 + \frac{y}{100}\right) = 0;$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial R}{\partial y} = & \frac{B \cdot L \cdot q \cdot r_1}{10000} \left(1 + \frac{z}{100}\right) - \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{3200 \cdot n^2 \cdot y^2} + \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{160000 \cdot n^2 \cdot z} + \\ & + \frac{L q z}{100} \left(1 + \frac{z}{100}\right) = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial R}{\partial z} = & \frac{B \cdot L \cdot q \cdot r_1}{10000} \left(1 + \frac{y}{100}\right) - \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{1600 \cdot n^2 \cdot z^2} \left(1 + \frac{y}{100}\right) + \\ & + \frac{L q z}{100} \left(1 + \frac{y}{100}\right) = 0. \end{aligned}$$



Эти уравненія даютъ:

$$n^3 = \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{A \cdot r_1} \left[ \frac{1}{16y} + \frac{1}{8z} \left( 1 + \frac{y}{100} \right) \right]; \quad (1)$$

$$y^2 = \frac{M \cdot L^2 \cdot r_2}{32n^2 \left[ \frac{M \cdot L^2 \cdot r_2}{1600 \cdot n^2 \cdot z} + \left( \frac{B \cdot r_1}{100} + z \right) \cdot \left( 1 + \frac{z}{100} \right) \right]}; \quad (2)$$

$$z^2 = \frac{100 \cdot M \cdot L^2 \cdot r_2}{16n^2 (Br_1 + 100z)}. \quad (3)$$

Принимая во вниманіе уравненіе (3), можемъ (2) написать въ такомъ видѣ:

$$y^2 = \frac{z^2}{2 \left( 1 + \frac{2z}{100} \right)}. \quad (2')$$

Изъ трехъ уравненій (1), (2') и (3) можно найти искомыя значенія  $n$ ,  $y$  и  $z$ . Для полученія возможно простаго выраженія для  $n$ , съ достаточной для практики степенью точности, поступаемъ слѣдующимъ образомъ: уравненіе (2') можемъ приближенно написать такъ:

$$y = \frac{2}{3} z;$$

пренебрегая, наконецъ, въ (1) членомъ  $\frac{y}{100}$  и подставляя значенія  $y$  и  $z$ , находимъ

$$n^2 = \frac{L^2 \cdot q}{10 \cdot A \cdot r_1} \sqrt{M \cdot r_2 (Br_1 + 100z)};$$

подставляя вмѣсто  $M$  его значеніе, получаемъ окончательно:

$$n = L \sqrt[4]{\frac{\gamma^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot r_2 \cdot q^2 \cdot (Br_1 + 100z)}{A^2 \cdot r_1^2 \cdot \mu \cdot F^2 \cos^2 \varphi}}$$

и для постояннаго тока:

$$n' = L \sqrt[4]{\frac{4 \cdot \beta \cdot \rho \cdot r_2 \cdot q^2 (Br_1 + 100z)}{A^2 \cdot r_1^2 \cdot E^2}}$$

Для  $z$  получается соответственно:

$$z = 25 \sqrt[4]{\frac{A^2 \cdot r_1^2 \cdot r_2 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho}{(Br_1 + 100z)^3 \cdot q^2 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}$$

и

$$z' = 25 \sqrt[4]{\frac{4 \cdot A^2 \cdot r_1^2 \cdot r_2 \cdot \beta \cdot \rho}{(Br_1 + 100z)^3 \cdot q^2 \cdot E^2}}$$

Подставляя найденныя значения  $n$ ,  $y$  и  $z$  въ выраженіе для  $K$ , получаемъ:

$$K_{min} = \frac{3}{2} L \alpha \nu + BLq + \\ + \frac{7r_1 + 16r_2}{16r_2} L \sqrt[4]{\frac{A^2 \cdot q^2 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot r_2 \cdot (Br_1 + 100z)}{r_1^2 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}$$

**33.** Постараемся теперь вывести выраженіе для наиболѣе выгоднаго числа генераторныхъ станцій, не дѣлая допущенія, что отъ каждой станціи идутъ только 2 питающихъ провода.

Обозначая черезъ  $L$  полную длину данной линіи, черезъ  $N$  искомое число генераторныхъ станцій и черезъ  $n$  (также искомое) число участковъ, приходящихся на одну станцію, и пользуясь выраженіемъ для стоимости питающихъ и распределительныхъ проводовъ § 17-го (замѣняя въ немъ лишь  $L$  черезъ  $\frac{L}{N}$  и умножая его на  $N$  — число генераторныхъ станцій), находимъ, что расходъ по оборудованію всей установки составляетъ:

$$K = A \cdot N + B \cdot Lq + L\alpha\nu + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{8 \cdot N^2 \cdot n^2 \cdot p} + \\ + \frac{L\alpha\nu}{4} n + N \cdot n \cdot \gamma + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{12 \cdot N^2 \cdot p_1} \cdot \frac{n^2 - 1}{n^2}$$

Минимумъ  $K$  получается при  $N$  и  $n$ , удовлетворяющихъ уравненіямъ:

$$\frac{\partial K}{\partial N} = A - \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{4 \cdot p \cdot N^3 \cdot n^2} + n \cdot \gamma - \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{6 \cdot p_1 \cdot N^3} \cdot \frac{n^2 - 1}{n^2} = 0,$$

$$\frac{\partial K}{\partial n} = \frac{L\alpha\nu + 4.N.\gamma}{4} - \frac{M.L^3.q}{4.p.N^2.n^3} + \frac{M.L^3.q}{6.p_1.N^2.n^3} = 0.$$

Рѣшеніе этихъ уравненій возможно лишь путемъ постепеннаго приближенія. Переписываемъ ихъ въ слѣдующемъ видѣ:

$$N^3 = \frac{M.L^3.q}{(A+n.\gamma)n^2} \cdot \frac{3p_1 + 2p.n^2 - 2p}{12.p.p_1}$$

и

$$n^3 = \frac{M.L^3.q}{N^2(L\alpha\nu + 4.N.\gamma)} \cdot \frac{3p_1 - 2p}{3p.p_1}.$$

Въ первомъ изъ нихъ можемъ пренебречь членомъ  $n\gamma$ , малымъ по сравненію съ  $A$ , и  $3p_1 - 2p$ , по сравненію съ  $2pn^2$ . Такимъ образомъ получаемъ приближенно:

$$N^3 = \frac{M.L^3.q}{6.A.p_1},$$

или, по подстановкѣ вмѣсто  $M$  его значенія:

$$N = L \sqrt[3]{\frac{100.\nu^2.\beta.p.q}{6.A.p_1.\mu.E^2 \cos^2 \varphi}}.$$

Подставивъ найденное значеніе  $N$  во второе уравненіе, опредѣливъ изъ него  $n$  и подставивъ въ первое, находимъ  $N$  съ достаточной для практики степенью точности. Изъ второго уравненія получается затѣмъ значеніе  $n$ .

**34.** Рассмотримъ случай неэластичной сѣти и постараемся найти, кромѣ  $N$  и  $n$  еще  $y$  и  $z$ , наивыгоднѣйшія потери въ распредѣлительныхъ и въ питающихъ проводахъ.

Для годового расхода на установку имѣемъ выраженіе:

$$\begin{aligned} R = & \frac{A.N.r_1}{100} + \frac{B.L.q.r_1}{100} \left(1 + \frac{y}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{z}{100}\right) + \\ & + \frac{L.\alpha.\nu.r_2}{100} + \frac{M.L^3.q.r_2}{800.N^2.n^2.y} + \frac{L.\alpha.\nu.r_2.n}{400} + \frac{N.n.r_2.\gamma}{100} + \\ & + \frac{M.L^3.q.r_2}{1200.N^2.z} \left(1 + \frac{y}{100}\right) \frac{n^2 - 1}{n^2} + L.q.x \left(1 + \frac{y}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{z}{100}\right). \end{aligned}$$

Минимумъ  $R$  получается при  $N$ ,  $n$ ,  $y$  и  $z$ , удовлетворяющихъ уравненіямъ:

$$\frac{\partial R}{\partial N} = \frac{Ar_1}{100} - \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{400 \cdot N^3 \cdot n^2 \cdot y} - \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{600 \cdot N^3 \cdot z} \left(1 + \frac{y}{100}\right) \frac{n^2 - 1}{n^2} = 0,$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial R}{\partial n} = & - \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{400 \cdot y \cdot N^2 \cdot n^3} + \frac{L \cdot \alpha \cdot \nu \cdot r_2}{400} + \frac{N \cdot r_2 \cdot \gamma}{100} + \\ & + \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{600 \cdot N^2 \cdot z \cdot n^3} \left(1 + \frac{y}{100}\right) = 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial R}{\partial y} = & \frac{B \cdot L \cdot q \cdot r_1}{100 \cdot 100} \left(1 + \frac{z}{100}\right) - \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{800 \cdot N^2 \cdot n^2 \cdot y^2} + \\ & + \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{100 \cdot 1200 \cdot N^2 \cdot z} \cdot \frac{n^2 - 1}{n^2} + \frac{Lqz}{100} \left(1 + \frac{z}{100}\right) = 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial R}{\partial z} = & \frac{B \cdot L \cdot q \cdot r_1}{100 \cdot 100} \left(1 + \frac{y}{100}\right) - \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r^2}{1200 \cdot N^2 \cdot z^2} \left(1 + \frac{y}{100}\right) \frac{n^2 - 1}{n^2} + \\ & + \frac{Lqz}{100} \left(1 + \frac{y}{100}\right) = 0. \end{aligned}$$

Для получения приближеннаго рѣшенія принимаемъ слѣд. упрощенія. Переписавъ эти уравненія въ такомъ видѣ:

$$A \cdot r_1 + n \cdot r_2 \cdot \gamma - \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{N^3} \left[ \frac{1}{4 \cdot y \cdot n^2} + \frac{n^2 - 1}{6 \cdot z \cdot n^2} \left(1 + \frac{y}{100}\right) \right] = 0,$$

$$L \cdot \alpha \cdot \nu + 4 \cdot N \cdot \gamma - \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{N^2 \cdot n^2} \left[ \frac{1}{y} - \frac{2}{3 \cdot z} \left(1 + \frac{y}{100}\right) \right] = 0,$$

$$\frac{M \cdot L^2 \cdot r_2}{12 \cdot N^2 \cdot z} \cdot \frac{n^2 - 1}{n^2} + (B \cdot r_1 + 100z) \left(1 + \frac{z}{100}\right) - \frac{100 \cdot M \cdot L^2 \cdot r_2}{8 \cdot N^2 \cdot n^2 \cdot y^2} = 0,$$

$$B \cdot r_1 + 100z - \frac{100 \cdot M \cdot L^2 \cdot r_2}{12 \cdot N^2 \cdot z^2} \cdot \frac{n^2 - 1}{n^2} = 0,$$

принимаемъ  $\frac{n^2 - 1}{n^2} = 1$  и пренебрегаемъ членомъ  $\frac{y}{100}$ . Получаемъ слѣдующія выраженія:

$$N^3 = \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{A \cdot r_1 + n \cdot r_2 \cdot \gamma} \left( \frac{1}{4y \cdot n^2} + \frac{1}{6z} \right), \quad (1)$$

$$n^3 = \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{N^2 (L\alpha\gamma + 4N\gamma)} \cdot \frac{3z - 2y}{3yz} \dots \quad (2)$$

$$y^2 = \frac{100 \cdot M \cdot L^2 \cdot r_2}{\left[ (Br_1 + 100z) \left( 1 + \frac{z}{100} \right) + \frac{M \cdot L^2 \cdot r_2}{12 \cdot N^2 \cdot z} \right] 8 \cdot N^2 \cdot n^2}, \dots \quad (3)$$

$$z^2 = \frac{100 \cdot M \cdot L^2 \cdot r_2}{12 \cdot N^2 (Br_1 + 100z)}. \quad (4)$$

Изъ перваго, пренебрегая въ немъ членами  $n \cdot r_2 \cdot \gamma$  и  $\frac{1}{4} \frac{1}{n^2}$ , имѣемъ, по подстановкѣ выраженія для  $z$ :

$$N = L \sqrt[4]{\frac{M \cdot q^2 \cdot r_2 (Br_1 + 100z)}{300 \cdot A^2 \cdot r_1^2}},$$

или по подстановкѣ вмѣсто  $M$  его значенія

$$N = L \sqrt[4]{\frac{\nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot r_2 \cdot q^2 (Br_1 + 100z)}{3 \cdot A^2 \cdot r_1^2 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}.$$

Уравненіе (3), принимая во вниманіе (4), можемъ переписать въ такомъ видѣ:

$$y^2 = \frac{100 M \cdot L^2 \cdot r_2}{8 \cdot N^2 \cdot n^2 (Br_1 + 100z) \left( 1 + \frac{2z}{100} \right)} = \frac{3z^2}{2n^2 \left( 1 + \frac{2z}{100} \right)}.$$

откуда приближенно

$$y = \frac{z}{n}.$$

Подставивъ полученныя для  $N$ ,  $y$  и  $z$  значенія въ выраженіе для  $n$ , находимъ, пренебрегая членомъ  $2y$ , малымъ по сравненію съ  $3z$ , приближенное значеніе  $n$ . По подстановкѣ найденныхъ значеній  $n$ ,  $y$  и  $z$  въ выраженіе для  $N$ , получаемъ второе приближеніе, съ достаточной для практики степенью точности.

**35. Примѣръ.** Для случая § 31, принимая  $r_2 = 10$ ,  $B = 0 \cdot 1$ ,  $r_1 = 10$  и  $z = 0 \cdot 2$ , находимъ:

$$N = 4; \quad z = 13 \cdot 7; \quad y = 1 \cdot 5; \quad n = 9.$$

**36.** Разобраннымъ въ предыдущихъ §§ случаемъ сѣти, имѣющей видъ длинной линіи, питаемой расположенными вдоль ея генераторными станціями, мы и ограничимъ разсмотрѣніе вопроса относительно наиболѣе выгоднаго числа генераторныхъ станцій при системѣ непосредственнаго распредѣленія электрической энергіи. Разборъ болѣе сложныхъ случаевъ (напр. подобныхъ разсмотрѣнному въ §§ 24—28) можетъ имѣть лишь теоретическое значеніе: здѣсь играютъ важную роль многіе факторы чисто мѣстнаго характера, изъ которыхъ только весьма не многіе могутъ быть предусмотрѣны формулой, почему формулы, которыя могли бы быть выведены для такихъ случаевъ, не могутъ имѣть большого практическаго значенія. Въ каждомъ подобномъ.—сравнительно весьма рѣдкомъ,—случаѣ слѣдуетъ, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, произвести подсчетъ сравнительной экономичности устройства одной или нѣсколькихъ генераторныхъ станцій. Для очень большихъ установокъ въ настоящее время почти исключительно примѣняется другая система распредѣленія,—система распредѣленія не прямого,—посредствомъ вторичныхъ (трансформаторныхъ) станцій,—представляющаяся, въ теоріи и на практикѣ, болѣе экономичною въ данномъ случаѣ, нежели система непосредственнаго распредѣленія.

Разсмотрѣнію вопроса относительно наиболѣе выгоднаго числа и распредѣленія вторичныхъ и генераторныхъ станцій при системѣ непрямого распредѣленія и посвящена слѣдующая часть настоящаго труда.

## II. Наивыгоднѣйшее распредѣленіе вторичныхъ и генераторныхъ станцій при системѣ непрямого распредѣленія.

37. Съ развитіемъ сѣти или съ удлинніемъ линіи наступаетъ пора, когда система непосредственнаго распредѣленія оказывается уже невыгодною. Увеличившіяся разстоянія требуютъ,—при допускаемыхъ на практикѣ напряженияхъ въ рабочихъ проводахъ и при вообще допустимомъ процентѣ потери энергіи въ питающихъ проводахъ,—слишкомъ большихъ сѣченій или устройства большого числа генераторныхъ станцій сравнительно небольшой мощности (не производящихъ слѣдовательно энергіи возможно экономично), что чрезвычайно, какъ мы видѣли, удорожаетъ установку.

Приходится уже отказаться отъ этой простой системы распредѣленія и перейти къ болѣе сложной, къ распредѣленію помощью вторичныхъ (трансформаторныхъ) станцій съ двумя системами сѣтей,—первичной высокаго напряжения и вторичной—обычно принятыхъ на практикѣ напряженій,—и промежуточными приборами—трансформаторами—понижающими напряжение тока \*).

38. Въ рассматриваемомъ случаѣ—непрямого распредѣленія электрической энергіи—вопросъ относительно наивыгоднѣйшаго расположенія генераторной станціи по отношенію къ обслуживаемой ею сѣти не имѣетъ уже такого важнаго значенія, какъ въ случаѣ примѣненія системы непосредственнаго распредѣленія. Въ данномъ случаѣ генераторная станція можетъ быть расположена въ значительномъ разстояніи отъ центра нагрузки,

---

\*) Въ общемъ случаѣ сюда присоединяются еще трансформаторы, дающіе для повышенія даваемого генераторами тока.

въ мѣстности, которал, при сравнительно невысокой стоимости земли, представляет наибольшія удобства относительно водоснабженія станціи, доставки угля и т. п. Въ центрѣ же нагрузки располагается лишь вторичная станція, назначеніе которой—понижать напряженіе доставляемаго ей отъ генераторной станціи тока. Въ этомъ случаѣ стоимость земли не имѣетъ такого рѣшающаго значенія, такъ какъ подобная станція не занимаетъ много мѣста. Такъ, станція съ неподвижными трансформаторами полезной мощностью въ 1.000 килоуаттъ,—если дѣло касается сбереженія мѣста,—можетъ быть расположена на площади, не превышающей 10 кв. метровъ; кромѣ того такая станція не требуетъ особенно солиднаго основанія, такъ какъ, кромѣ нѣсколькихъ небольшихъ вентиляторовъ, не заключаетъ въ себѣ никакихъ движущихся машинъ.

Во многихъ случаяхъ не требуется даже установки болѣе или менѣе значительной вторичной станціи въ центрѣ нагрузки: отъ генераторной станціи, расположенной даже довольно далеко отъ этого центра, могутъ быть проведены питающіе провода непосредственно къ соответствующимъ точкамъ распределительной сѣти, въ которыхъ и располагаются трансформаторы небольшой сравнительно мощности.

При непрямомъ распределеніи первичные провода (провода высокаго напряженія) образуютъ особую, состоящую изъ немногихъ большихъ петель сѣть, къ которой присоединяются трансформаторы или непосредственно или помощью короткихъ соединительныхъ проводовъ. Стоимость проводовъ первичной сѣти почти не зависитъ поэтому отъ числа вторичныхъ станцій и можетъ быть принимаема постоянною.

## ГЛАВА IV.

### Распределеніе вторичныхъ станцій.

#### 1. Сѣть, имѣющая видъ одной линіи.

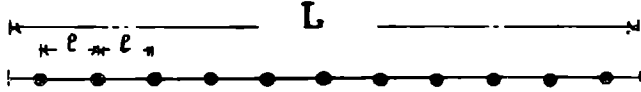
39. Подобно тому, какъ мы это дѣлали въ первой части, начнемъ разсмотрѣніе вопроса относительно наиболѣе выгод-



наго числа вторичныхъ станцій съ случая сѣти, имѣющей видъ одной, болѣе или менѣе длинной, линіи (черт. 17).

Приведенныя въ § 8 разсужденія сохраняютъ свою силу и въ настоящемъ случаѣ, только мѣсто питающихъ проводовъ и центровъ распредѣленія здѣсь занимаютъ вторичныя станціи.

Стоимость вторичной станціи слагается изъ стоимости трансформатора и стоимости зданія для его помѣщенія. Стоимость



Черт. 17.

трансформатора можетъ быть выражена, какъ извѣстно, достаточно точно двучленомъ

$$a' + bw,$$

гдѣ  $w$  мощность трансформатора; стоимость же трансформаторной будки съ принадлежностями представляется для каждой установки постоянною  $= a''$ . Въ дальнѣйшемъ положено

$$a' + a'' = a.$$

40. Для случая эластичной сѣти съ равномерно-распределенной нагрузкой, пользуясь выведеннымъ въ § 9 выраженіемъ для стоимости распредѣлительныхъ проводовъ и принимая во вниманіе, что стоимость вторичныхъ станцій

$$h' = n \left( a + b \frac{Lq}{n} \right) n = an + L \cdot q \cdot b,$$

имѣемъ:

$$K = Lx^2 + Lbq + an + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{8 \cdot n^2 \cdot p}$$

и, слѣдовательно

$$n = L \sqrt[3]{\frac{100 \cdot v^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q}{4 \cdot a \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}} \quad \text{и} \quad x = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot a \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}{100 \cdot v^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q}}.$$

41. Для случая сосредоточенной нагрузки, пользуясь вы-

раженіемъ для  $k$  параграфа 11 и принимая во вниманіе, что

$$K = n (a + bQ),$$

получаемъ:

$$K = Lx + (a + bQ) n + \frac{M \cdot L^2 \cdot Q}{2 \cdot n \cdot p}$$

и слѣдовательно

$$n = \frac{L}{E \cos \varphi} \sqrt{\frac{100 \cdot v^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot Q}{2 (a + bQ) \cdot p \cdot \mu}}$$

и

$$x = E \cos \varphi \sqrt{\frac{2 (a + bQ) \cdot p \cdot \mu}{100 \cdot v^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot Q}}$$

**42. Примѣръ** \*) . — Положимъ, что сосредоточенная нагрузка = 446200 уаттъ; принимая далѣе:

$$E = 1500; \cos \varphi = 0.8; a + bQ = 7100; p = 13.8; \mu = 3 \\ \beta = 0.01113; \rho = 0.0167,$$

находимъ, что наивыгоднѣйшее разстояніе между трансформаторами въ данномъ случаѣ составляетъ:

$$x = 0.8 \cdot 1500 \sqrt{\frac{2 \cdot 7100 \cdot 13.8 \cdot 3}{100 \cdot 9 \cdot 0.01113 \cdot 0.0167 \cdot 446200}} = 3.4 \text{ килом.}$$

**43.** Въ случаѣ сѣти *неэластичной*, пользуясь выраженіемъ  $K$  параграфа 40, получаемъ для годового расхода выраженіе;

$$R = n \left[ a + b \frac{Lq}{n} \left( 1 + \frac{y}{100} \right) \right] \frac{r_1}{100} + L \alpha v \frac{r_2}{100} + \\ + \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{800 \cdot y \cdot n^2} + L \cdot q \cdot z \left( 1 + \frac{y}{100} \right),$$

гдѣ  $r_1$  относится къ вторичнымъ стаціямъ, а  $r_2$  — къ проводамъ;

---

\*) Примѣръ заимствованъ изъ пояснительной записки къ проекту оборудованія Варшаво-Калишской ж. д. инж. Г. О. Графтіо и гр. С. И. Шуленбурга.

Минимумъ  $R$  получается при  $n$  и  $y$ , удовлетворяющихъ уравненіямъ:

$$\frac{\partial R}{\partial n} = \frac{ar_1}{100} - \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{400 \cdot y \cdot n^3} = 0,$$

$$\frac{\partial R}{\partial y} = \frac{bLqr_1}{100 \cdot 100} - \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{800 \cdot y^2 \cdot n^2} + \frac{Lqz}{100} = 0$$

или

$$n^3 = \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{4 \cdot a \cdot r_1 \cdot y}; \quad y^2 = \frac{100M \cdot L^2 \cdot r_2}{8n^2 (br_1 + 100z)};$$

отсюда

$$n = L \sqrt[4]{\frac{y^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot r_2 \cdot q^3 (br_1 + 100z)}{2 \cdot a^2 \cdot r_1^2 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}.$$

**44. Примѣръ.**—Положимъ, имѣется линия длиною 30 километровъ съ равномерно распределенной нагрузкой 10 килоуаттъ на километръ, причемъ распределение энергии производится трехфазнымъ токомъ съ напряженіемъ  $E = 1000$  и  $\cos \varphi = 0.85$ . Стоимость вторичной станціи можетъ быть выражена двучленомъ:

$$1500 - 0.027 W.$$

Такимъ образомъ получаемъ:

$$n = 30000 \sqrt[4]{\frac{9 \cdot 0.01 \cdot 0.018 \cdot 10 \cdot 100 \cdot 20 \cdot 27}{2.1500^2 \cdot 100 \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot 0.85^2}} = \infty 12.$$

Подставляя найденное значеніе  $n$  въ выраженіе для  $y$ , находимъ:

$$y = \frac{30000}{12} \sqrt{\frac{100 \cdot 100 \cdot 9 \cdot 0.01 \cdot 0.018 \cdot 10}{20 \cdot 27 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot 0.85^2}} = 1.7.$$

Такимъ образомъ для разсматриваемой линии наивыгоднѣйшимъ представляется устройство 12 вторичныхъ станцій въ разстояніи 2.5 километровъ одна отъ другой. При этомъ діаметръ рабочихъ проводовъ составляетъ приблизительно 8 мм.

45. Для случая сосредоточенной нагрузки имѣемъ:

$$R = na \frac{r_1}{100} + bW \left( 1 + \frac{y}{100} \right) \frac{r_1}{100} + \frac{M \cdot Q \cdot L^2 \cdot r_2}{200 \cdot n \cdot y} + \\ + L\alpha \nu \frac{r_2}{100} + Wz \left( 1 + \frac{y}{100} \right).$$

Минимумъ  $R$  получается при  $n$  и  $y$ , удовлетворяющихъ уравненіямъ:

$$\frac{\partial R}{\partial n} = \frac{ar_1}{100} - \frac{M \cdot Q \cdot L^2 \cdot r_2}{200 \cdot n^2 \cdot y} = 0,$$

$$\frac{\partial R}{\partial y} = \frac{bWr_1}{100 \cdot 100} - \frac{M \cdot Q \cdot L^2 \cdot r_2}{200 \cdot n \cdot y^2} + \frac{Wz}{100} = 0,$$

откуда, полагая въ послѣднемъ уравненіи  $Q = \frac{W}{n}$ , находимъ:

$$n = \frac{L \cdot Q}{a \cdot r_1 \cdot E \cos \varphi} \sqrt{\frac{2\nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot r_2 (br_1 + 100z)}{\mu}}.$$

46. При расчетѣ наивыгоднѣйшаго разстоянія между вторичными станціями, въ особенности для линій съ сравнительно слабой нагрузкой, возможны случаи, что по подстановкѣ вычисленнаго по приведеннымъ формуламъ значенія  $x$  (которое получается нерѣдко слишкомъ малымъ) въ выраженіе для сѣченія рабочихъ проводовъ послѣднее получается не удовлетворяющимъ условію допустимой плотности тока или условію необходимой механической прочности. Въ этомъ случаѣ слѣдуетъ отказаться отъ достиженія наибольшей экономичности и, принявъ для сѣченія рабочихъ проводовъ значеніе, удовлетворяющее указаннымъ условіямъ плотности тока и прочности, вычислить разстояніе между вторичными станціями изъ выраженія для сѣченія этихъ проводовъ.

## 2. Сложная сѣть.

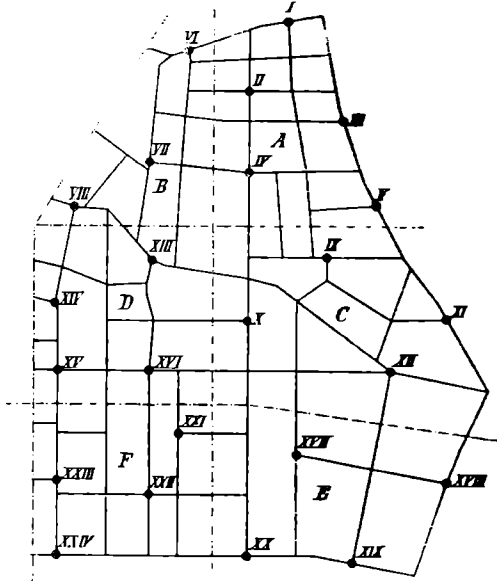
47. Для случая сложной сѣти имѣютъ мѣсто выведенныя въ § 24 выраженія, съ замѣной лишь въ нихъ  $L\alpha\nu + \gamma$  че-

резь  $a$  \*). Такимъ образомъ для наивыгоднѣйшаго распределе-  
 ления вторичныхъ станцій въ разсматриваемомъ случаѣ имѣемъ:

$$n = \frac{W}{E \cos \varphi} \sqrt{\frac{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho}{2 \cdot a \cdot p \cdot \mu \cdot \sigma}}$$

и

$$x = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot a \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}{100 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot \sigma}}$$



Черт. 18.

**48. Примѣръ.** —

Положимъ, что раз-  
 сматривавшаяся въ §  
 26 сѣть должна об-  
 служиваться перемеж-  
 нымъ токомъ съ на-  
 пряженіемъ также  
 равнымъ  $2 \times 110$   
 вольтъ. Процентную  
 потерю принимаемъ  
 также равную  $1 \cdot 5\%$   
 и положимъ, что  
 $\cos \varphi = 0 \cdot 9$ . Дал-  
 ѣе, принимаемъ  $a =$   
 $= 2000$  и  $\beta = 0 \cdot 044$ .  
 Подставляя приведен-  
 ныя въ § 26 зна-

ченія  $W$ ,  $\Omega$  и  $\sigma$  въ выраженія для  $n$  и  $x$  получаемъ:

|       | A    | B    | C    | D    | E    | F    |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| $n =$ | 4·76 | 2·90 | 4·28 | 5·33 | 3·80 | 4·47 |
| $x =$ | 180  | 200  | 225  | 175  | 220  | 180  |

Число вторичныхъ станцій составляетъ такимъ образомъ для  
 всей сѣти 26. Но, какъ показываетъ черт. 18, принято всего

\*) Образованное для всей сѣти выраженіе  $\sum b \cdot w = b \cdot W$ , слѣдова-  
 тельно, не зависитъ отъ числа вторичныхъ станцій, и потому не вхо-  
 дитъ въ выраженіе для наивыгоднѣйшаго числа ихъ.

24 станціи, такъ какъ при расположеніи въ сѣти всѣхъ 26 станцій мѣстами получились бы неразвѣтвленныя части сѣти, а въ такомъ случаѣ, согласно изложенному въ примѣчаніи стр. 42, въ выраженіе для  $n$  входитъ коэффициентъ 0.5.

49. Для случая неэластичной сѣти имѣемъ слѣдующее выраженіе для годовыхъ расходовъ:

$$R = \frac{a \cdot n \cdot r_1}{100} + \frac{b W r_1}{100} \left( 1 + \frac{y}{100} \right) + \frac{2 \cdot W \cdot a \cdot r_2}{100 \cdot l \cdot \sigma} + \frac{M \cdot W^2 \cdot r_2}{200 \cdot \sigma \cdot y \cdot n} + Wx \left( 1 + \frac{y}{100} \right).$$

Минимумъ  $R$  получается при  $n$  и  $y$ , удовлетворяющихъ уравненіямъ:

$$\frac{\partial R}{\partial n} = \frac{a \cdot r_1}{100} - \frac{M \cdot W^2 \cdot r_2}{200 \cdot \sigma \cdot y \cdot n^2} = 0;$$

$$\frac{\partial R}{\partial y} = \frac{b \cdot W \cdot r_1}{100 \cdot 100} + \frac{Wx}{100} - \frac{M \cdot W^2 \cdot r_2}{200 \cdot \sigma \cdot y^2 \cdot n} = 0.$$

Отсюда находимъ:

$$n = W \sqrt[3]{\frac{(br_1 + 100x) \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot r_2}{2 \cdot a^2 \cdot r_1^2 \cdot \sigma \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}$$

и

$$y = \sqrt[3]{\frac{50 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot a \cdot r_1 \cdot r_2}{\left( \frac{br_1}{100} + x \right)^2 \cdot \sigma \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}.$$

50. **Примѣръ.** Для данныхъ примѣра § 48, принимая  $r_1 = 10$ ,  $r_2 = 10$  и  $x = 0.2$ , находимъ:

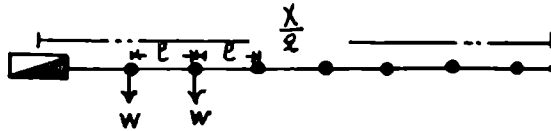
|       | <i>A</i> | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>D</i> | <i>E</i> | <i>F</i> |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $n =$ | 3.38     | 1.87     | 2.87     | 3.83     | 2.37     | 3.13     |
| $x =$ | 210      | 255      | 290      | 210      | 280      | 215      |
| $y =$ | 3.00     | 3.61     | 4.12     | 2.93     | 3.90     | 3.05     |

ГЛАВА V.

Распределение генераторныхъ станцій.

51. Система непрямого распределения электрической энергии, дающая возможность использовать экономичность токовъ высокаго напряженія для передачи энергии на значительныя разстоянія \*), позволяет тѣмъ самымъ въ высокой степени расширять сферу дѣйствія генераторныхъ станцій. Однако, увеличивать напряжение даваемого станцією тока (а равно и мощность самой станціи) можно только до извѣстныхъ предѣловъ. Поэтому и здѣсь, при достаточно большихъ сѣтяхъ или длинныхъ линіяхъ невозможно ограничиться одною только генераторною станцією, но приходится устраивать ихъ нѣсколько.

Не касаясь вопроса относительно наивыгоднѣйшаго числа генераторныхъ станцій для случая сложной сѣти,—по причи-



Черт. 19.

намъ, изложеннымъ выше, — рассмотримъ, лишь случай сѣти, имѣющей видъ длинной линіи со вторичными и генераторными станціями, расположенными вдоль нея (черт. 19).

Обозначая черезъ:

- $L$  — длину всей линіи,
- $x$  — разстояніе между генераторными станціями,
- $n$  — число генераторныхъ станцій,
- $l$  — разстояніе между вторичными станціями (опредѣляемое по формуламъ предыдущей главы),

\*) Относительно наиболѣе экономичнаго выбора напряженія для данной установки см. *Breisig*: „Ueber die Anwendung des Vektordiagramms auf den Verlauf von Wechselströmen in langen Leitungen und über die wirtschaftliche Grenze hoher Spannungen“. *Elektrot. Zeitschr.* 1899, №№ 22, 23 & 24.

- $w$  — мощность вторичной станции, въ ваттахъ,  
 $W$  — потребляемую линіей энергію, въ ваттахъ,  
 $q = \frac{W}{L} = \frac{w}{l}$  — количество энергіи, приходящееся на единицу длины линіи,  
 $y$  — процентную потерю энергіи въ линіи высокаго напряжения,  
 $A + BW_1$  — стоимость одной генераторной станціи

$$\left[ W_1 = q \frac{L}{n} \left( 1 + \frac{y}{100} \right) \right],$$

и оставляя остальные обозначенія прежнія, находим выраженіе для сѣченія линіи высокаго напряжения.

Потеря энергіи въ линіи выразится слѣдующимъ образомъ:

$$\begin{aligned} \frac{\nu \cdot \rho \cdot l}{s} i^2 \left[ 1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots \left( \frac{x}{2l} \right)^2 \right] = \\ = \frac{\nu \cdot \rho \cdot l}{s} \cdot \frac{i^2}{24 l^3} (x^3 + 3lx^2 + 2l^2x); \end{aligned}$$

съ другой стороны таже потеря составляетъ:

$$\frac{w}{l} \cdot \frac{x}{2} \cdot \frac{y}{100}.$$

Приравнивая одно выраженіе другому и подставивъ значеніе  $i$  изъ равенства:

$$\sqrt{\mu} \cdot E \cdot i \cdot \cos \varphi = w,$$

получаемъ для сѣченія выраженіе:

$$s = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot q}{12 \cdot y \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} (x^2 + 3lx + 2l^2).$$

Полученное для  $s$  довольно сложное выраженіе приводитъ къ недостаточно нагляднымъ результатамъ (получается уравненіе третьей степени); поэтому постараемся получить болѣе простое выраженіе, съ достаточною для цѣлей практики степенью точности.

Для случая, когда распределенную по длинѣ  $\frac{x}{2}$  нагрузку, равную  $\frac{qx}{2}$ , можно считать сосредоточенною по срединѣ этого



участка,

$$s_0 = \frac{100 \cdot \nu \cdot \rho \cdot q}{8 \cdot y \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} x^2.$$

Такимъ образомъ

$$\frac{s}{s_0} = \frac{x^2 + 3lx + 2l}{\frac{3}{2} x^2} = \frac{2}{3} + 2 \frac{l}{x} + \frac{4}{3} \left( \frac{l}{x} \right)^2.$$

Съ достаточнымъ для нашей цели приближеніемъ можно принять:

$$\frac{l}{x} = \frac{1}{15};$$

такимъ образомъ

$$\frac{s}{s_0} = 0.8$$

и, слѣдовательно:

$$s = \frac{10 \cdot \nu \cdot \rho \cdot q}{y \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi} x^2.$$

Для стоимости всей установки (кромѣ вторичной сѣти) получаемъ выраженіе:

$$K = A \cdot n + B \cdot L \cdot q \left( 1 + \frac{p}{100} \right) + Lx + \frac{M \cdot L^3 \cdot q}{10 \cdot p \cdot n^2}$$

и, слѣдовательно, для случая *эластичной* установки имѣемъ:

$$n = L \sqrt[3]{\frac{20 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot q}{A \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}.$$

Для случая же установки *неэластичной* получаемъ для годовыхъ расходовъ на установку (не считая расходовъ на вторичную сѣть) выраженіе:

$$R = A \frac{n \cdot r_1}{100} + B \cdot L \cdot q \left( 1 + \frac{y}{100} \right) \frac{r_1}{100} + \frac{L \cdot \alpha \cdot \nu \cdot r_2}{100} + \\ + \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r_2}{1000 \cdot y \cdot n^2} + L \cdot q \cdot z \left( 1 + \frac{y}{100} \right).$$

Минимумъ  $R$  получается при

$$n = L \sqrt[4]{\frac{(Br_1 + 100z) \cdot 0.4 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot r_2 \cdot q^2}{A^2 \cdot r_1^2 \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}}$$

и

$$y = \frac{10 \cdot L}{n \cdot E \cos \varphi} \sqrt{\frac{10 \cdot \nu^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot r_2}{(Br_1 + 100z) \cdot \mu}}$$

**52. Примѣръ.** Положимъ, требуется найти наивыгоднѣйшее число паро-электрическихъ стаций, которыя слѣдуетъ расположить вдоль Приладожскихъ каналовъ въ случаѣ устройства на нихъ электрической тяги судовъ и плотовъ.

Длина каналовъ составляетъ приблизительно 170 километровъ. Согласно вырабатываемому въ настоящее время въ Правленіи С.-Петербургскаго Округа путей сообщенія проекту, въ случаѣ примѣненія въ качествѣ судовыхъ двигателей электрическихъ турбовъ для означенной тяги потребуется приблизительно 2100 килоуаттъ, при электрическихъ буксирахъ или береговыхъ электровозахъ (chevaux électriques) — около 3000 килоуаттъ. Такимъ образомъ нагрузка на километръ линіи составляетъ, въ среднемъ, 15 килоуаттъ. Далѣе приняты слѣдующія значенія:  $A = 60.000$ ;  $B = 0.35$ ;  $E = 20.000$ ;  $r_1 = 10$ ;  $r_2 = 12$ ;  $\cos \varphi = 0.80$ ;  $\beta = 0.01$ ;  $\rho = 0.018$ ;  $z = 0.2$ .

Подставляя эти величины въ вышеприведенныя выраженія для  $n$  и  $y$ , получаемъ:

$$n = 170000 \sqrt[4]{\frac{23.5 \cdot 0.4 \cdot 9 \cdot 0.01 \cdot 0.018 \cdot 12 \cdot 225}{36 \cdot 10^8 \cdot 100 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 10^8 \cdot 0.64}} = 3.32$$

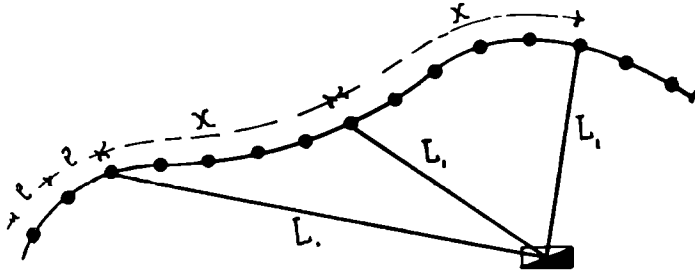
и

$$y = \frac{1700000}{3 \cdot 16000} \sqrt{\frac{10 \cdot 9 \cdot 0.01 \cdot 0.018 \cdot 12}{3 \cdot 23.5}} = 1.9.$$

Такимъ образомъ для обслуживанія каналовъ при устройствѣ на нихъ электрической тяги наиболѣе выгоднымъ представляется устройство трехъ генераторныхъ станцій, въ разстояніи приблизительно 57 километровъ одна отъ другой. Подстановка найденныхъ значеній  $n$  и  $y$  въ выраженіе для сѣченія проводовъ даетъ:  $s = \infty 19 \text{ мм.}^2$  ( $d = 5 \text{ мм.}$ ).

**53.** Здѣсь же разсмотримъ слѣдующій вопросъ, хотя и не относящійся непосредственно къ настоящей главѣ, именно вопросъ о **наивыгоднѣйшемъ числѣ магистральныхъ (питающихъ) проводовъ** для длинной линіи, обслуживаемой генераторной станціей, **мѣстоположеніе которой не можетъ быть измѣняемо, какъ то имѣетъ, напр., мѣсто при устройствѣ гидроэлектрической станціи.**

Положимъ, что **данной генераторной станціей** должна обслуживаться длинная **линія  $AB$**  (черт. 20). Каково должно



Черт. 20.

быть число питающихъ проводовъ, проведенныхъ отъ генераторной станціи къ распределительной сѣти?

Обозначая черезъ  $L_1$  среднее разстояніе отъ генераторной станціи до обслуживаемой линіи, сводимъ задачу къ разсмотрѣннымъ въ §§ 12 и 14 случаямъ. Такимъ образомъ, принимая во вниманіе выведенное въ § 51 выраженіе для сѣченія проводовъ первичной сѣти, получаемъ:

1) для случая, когда потеря въ первичной сѣти, кромѣ питающихъ магистралей, задана:

$$R = L \cdot \alpha \cdot \gamma \frac{r}{100} + \frac{M \cdot L^3 \cdot q \cdot r}{1000 \cdot n^2 \cdot p} + L_1 \cdot \frac{\alpha \cdot \gamma \cdot n \cdot r}{100} +$$

$$+ \frac{M \cdot L \cdot L_1^2 \cdot q \cdot r}{100 z} \left(1 + \frac{p}{100}\right) + Lqz \left(1 + \frac{p}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{z'}{100}\right)$$

и, слѣдовательно, minimum  $R$  при

$$n = L \sqrt[3]{\frac{20 \cdot \gamma \cdot \beta \cdot \rho \cdot q}{L_1 \cdot \alpha \cdot p \cdot \mu \cdot E^2 \cos^2 \varphi}} \quad \text{и} \quad z = \frac{10 L_1}{E \cos \varphi} \sqrt{\frac{\gamma^2 \cdot \beta \cdot \rho \cdot r}{z \cdot \mu}}$$



Въ данномъ случаѣ за среднее разстояніе принимаемъ:  $L_1 = 80$  кил.; далѣе,  $\alpha = 0.04$ ,  $\alpha = 0.18$ . Подставляя въ выраженія для  $n$ ,  $y$  и  $z$  предыдущаго § соответствующія значенія  $\beta$ ,  $\rho$ ,  $q$ ,  $r$ ,  $\mu$ ,  $E$  и  $\cos \varphi$  (примѣръ § 52), получаемъ:

$$n = 170000 \sqrt[4]{\frac{48 \cdot 0.01 \cdot 0.018 \cdot 0.04 \cdot 225}{64 \cdot 10^8 \cdot 0.18^2 \cdot 12 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 10^8 \cdot 0.64}} = 2.41,$$

$$z = \frac{800000}{16000} \sqrt{\frac{9 \cdot 0.01 \cdot 0.018 \cdot 12}{3 \cdot 0.04}} = \approx 20,$$

$$y = \frac{170000 \cdot 20}{\sqrt{12 \cdot 2 \cdot 80000}} = 6.13.$$

Такимъ образомъ въ данномъ случаѣ представляется наиболѣе выгоднымъ проведеніе отъ генераторной станціи къ распределительной линіи двухъ питающихъ проводовъ.



Изданіе Института Инженерствъ Путей Сообщенія Императора Александра I.

---

Н. Фроловскій.

# МЕХАНИЧЕСКІЯ ЛАБОРАТОРІИ

ВЪ

Германіи, Швейцаріи, Франціи и Англіи.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая, № 9.

1902.

~~~~~  
Печатано по распоряженію Института Инженеровъ Путей Сообщенія
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I
~~~~~

## О Г Л А В Л Е Н І Е.

---

|                                                                                                                      | СТР. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <i>Введеніе</i> . . . . .                                                                                            | 1    |
| <b>I.</b> Краткій очеркъ преподаванія прикладной механики въ Германіи . . . . .                                      | 1    |
| <b>II.</b> Берлинъ . . . . .                                                                                         | 14   |
| <b>III.</b> Дрезденъ . . . . .                                                                                       | 22   |
| <b>IV.</b> Мюнхенъ . . . . .                                                                                         | 25   |
| <b>V.</b> Штутгартъ . . . . .                                                                                        | 28   |
| <b>VI.</b> Карлсруэ . . . . .                                                                                        | 33   |
| <b>VII.</b> Дармштадтъ . . . . .                                                                                     | 35   |
| <b>VIII.</b> Ганноверъ . . . . .                                                                                     | 42   |
| <b>IX.</b> Цюрихъ . . . . .                                                                                          | 49   |
| <b>X.</b> Лабораторія Техническаго артиллерійскаго Отдѣла въ Парижѣ<br>(Section technique de l'artillerie) . . . . . | 60   |
| <b>XI.</b> Механическая лабораторія Yorkshire College въ Leeds . . . . .                                             | 64   |





# МЕХАНИЧЕСКІЯ ЛАБОРАТОРИИ

## Германіи, Швейцаріи, Франціи и Англіи.

Въ 1901 году по порученію конференцію Михайловской артиллерійской академіи я осмотрѣлъ механическія лабораторіи въ Берлинѣ, Дрезденѣ, Мюнхенѣ, Штутгартѣ, Карлсруэ, Цюрихѣ и Дармштадтѣ. Къ замѣткамъ, сдѣланнымъ «сѣ натуре» я прибавилъ, для полноты очерка, описаніе лабораторій Ганновера, Парижа и нѣсколькихъ англійскихъ учрежденій того же характера, составленное по источникамъ найденнымъ въ различныхъ періодическихъ изданіяхъ.

### ГЛАВА I.

#### Краткій очеркъ преподаванія прикладной механики въ Германіи.

§ 1. Во всѣхъ отрасляхъ общественной жизни современной Германіи замѣтна живая, обновляющая дѣятельность. Механическіе (машиностроительные) факультеты высшихъ техническихъ школъ, несмотря на свой спеціальнѣйшій характеръ, ярко отражаютъ на себѣ общее настроеніе государства, для промышленности котораго они сдѣлали такъ много.

Методы преподаванія прикладной механики почти одинаковы во всѣхъ германскихъ политехникумахъ; союзный швейцарскій политехникумъ стоитъ къ нимъ очень близко въ этомъ отношеніи. Вездѣ замѣтны слѣды недавняго торжества новаго, практическаго направленія надъ прежнимъ, посившимъ схоластическій оттѣпокъ. Всякое торжество побѣдителей влечетъ за собой неизбѣжно нѣкоторое одностороннее увлеченіе новизной и это приходилось принимать во вниманіе при оцѣнкѣ всего видѣннаго.

§ 2. Курсъ машиностроенія вездѣ начинается особымъ родомъ техническаго рисованія, называемымъ Skizzieren (составленіе набросковъ). Въ германскихъ политехникумахъ этому предмету придаютъ большое значеніе. На него отводится въ теченіи каждаго изъ первыхъ двухъ семестровъ

около четырех часовъ. Сущность занятій заключается въ слѣдующемъ: студентъ при помощи карандаша и циркуля, но обязательно безъ линейки, дѣлаетъ отъ руки чертежъ **какой-нибудь** простой машинной части: подшипника, муфты, шатуна, золотника, **крейцкопфа** и т. д., съ натуры. Чертежъ долженъ изображать предметъ въ прямоугольной проэкции съ двухъ или трехъ сторонъ, съ необходимыми для выясненія конструкціи разрѣзами и съ обозначеніемъ цифрами всѣхъ **размѣровъ**, знаніе которыхъ необходимо для изготовленія предмета въ **мастерской**.

Главное вниманіе обращается на то, чтобы **каждая** линия чертежа имѣла вполне опредѣленный геометрической смыслъ **какъ**, пересѣченіе поверхностей предмета и чтобы размѣры были **написаны** правильно, т. е. чтобы они отсчитывались отъ нѣсколькихъ **главныхъ** конструктивныхъ точекъ, напр. отъ центровъ.

По черновымъ наброскамъ студенты дѣлаютъ, уже не имѣя предмета передъ глазами, чертежъ тушью, съ **иллюминированными** разрѣзами и опять-таки съ написанными размѣрами. Этотъ **окончательный** чертежъ долженъ быть сдѣланъ такъ, чтобы съ него можно было опять свѣтовую копию для передачи въ мастерскую. Надо замѣтить, что теперь — всѣ ученическіе чертежи по машиностроенію германскихъ политехникумовъ имѣютъ строго технической характеръ. Черченія для черченія, какъ это было во время господства стараго метода преподаванія, не допускается вовсе. Въ результатѣ всѣхъ практическихъ работъ по проектированію паровыхъ, подъемныхъ и др. машинъ или приводовъ всегда долженъ получиться такой чертежъ, по которому можно было бы исполнить проектируемое издѣліе. Никакихъ излишествъ въ раскраскѣ или оттѣненіи чертежа не допускается.

Въ Дрезденскомъ политехникумѣ рисованіе машинъ пачиается снятіемъ на прозрачную бумагу точной копии съ какого-нибудь заводскаго чертежа и полученіемъ съ него фотографическаго отпечатка на синей бумагѣ.

Затѣмъ дѣлаются съ натуры двѣнадцать набросковъ, и одинъ чертежъ тушью. Въ концѣ второго семестра, по окончаніи занятій рисованіемъ машинъ, учащимся производится испытаніе: каждый долженъ сдѣлать на доскѣ мѣломъ, въ присутствіи экзаменаторовъ, технической эскизъ съ натуры.

Объектами для рисованія машинъ вездѣ стараются имѣть дѣйствительныя небольшія части машинъ, а не модели. Въ Шарлоттенбургской (берлинской) высшей технической школѣ съ этою цѣлью устроенъ особый залъ, гдѣ амфитеатромъ расположены прочные столы для частей машинъ; здѣсь разложены въ большомъ количествѣ подшипники, муфты, шатуны, разрѣзанные паровые цилиндры, поршни, клапаны, небольшіе насосы и

пр. Эти богатые коллекції деталей машинъ во всѣхъ политехникумахъ Германіи были подарены различными машиностроительными заводами.

Швейцарскій политехникумъ въ Цюрихѣ приобрѣлъ коллекцію за 6.000 франковъ. Деревянные модели избѣгаются: только въ Штутгартѣ мнѣ пришлось видѣть ихъ въ небольшомъ количествѣ. Большая модельная мастерская I. Schroeder въ Дармштадтѣ специально занимается выдѣлкой моделей для рисованія машинъ. Ихъ массивныя части дѣлаются изъ дерева, а болѣе тонкія, какъ напр. болты, клинья, клапаны и пр. изъ металла. Большая часть этихъ моделей представляетъ изъ себя воспроизведеніе рисунковъ изъ книгъ: Der Konstrukteur проф. Рело и Die Maschinenelemente проф. Баха.

Рисованію машинъ въ Германіи придается большое значеніе по нѣсколькимъ причинамъ. Составленіе технического чертежа издѣлія есть первая отвѣтственная работа молодого инженера на заводѣ, гдѣ ему вскорѣ послѣ поступленія на службу могутъ поручить разработку деталей какой-нибудь машины, придется выказать тѣ конструктивныя способности, которыя развиваются рисованіемъ съ хорошихъ образцовъ. Нерѣдко въ мастерской инженеру приходится брать мѣлъ и тутъ же, на какой-нибудь доскѣ пояснять рабочимъ устройство издѣлія яснымъ и нагляднымъ наброскомъ. Профессоръ машиностроенія въ цюрихскомъ политехникумѣ, г. Stodola говорилъ мнѣ, что, по его мнѣнію, занятія рисованіемъ машинъ должны приводить къ тому, чтобы студенты могли дѣлать технические эскизы предметовъ на память. Большую отсталость французовъ въ машиностроеніи обнаруженную на послѣдней всемірной выставкѣ, многіе объясняютъ именно пренебреженіемъ и неудовлетворительной постановкой во французскихъ техническихъ училищахъ рисованія машинъ, которое развивается въ человѣкѣ инстинктивное чутье тѣхъ формъ, въ которыя должна облечься идея механизма.

Профессоръ Riedler (Берлинъ) написалъ о рисованіи машинъ большое сочиненіе «Das Maschinenzeichnen», гдѣ разсматриваются всѣ роды чертежей, возможные ошибки и увлеченія при конструированіи, воспроизведеніе чертежей фотографіей, литографіей и т. д. Между прочимъ, въ главѣ седьмой этой книги говорится:

«Дѣлать набросокъ не значить рисовать небрежно или поспѣшно, а значить передавать существенное наиболѣе простымъ способомъ. Наброску предъявляются тѣ же требованія, какъ и чертежу машины. По наброску, начинающій дѣло человѣкъ долженъ составить себѣ ясное представленіе о предметѣ; иногда по наброску приходится даже выполнять предметъ.

Только тотъ можетъ дѣлать хорошіе наброски, кто основательно знаетъ свою специальность и обладаетъ развитою способностью представленія и выраженія. Конечно и здѣсь пріятно имѣть нѣкоторый та-

лантъ къ рисованію, но онъ вліяетъ только на внѣшность наброска, а не на его содержаніе. Главное, чтобы картина ясно представлялась воображенію еще до начала перенесенія ея на бумагу.

Хорошихъ набросковъ мало и является все меньше и меньше, потому что теперь недостаточно заботятся о развитіи способности ясно представлять себѣ техническія формы. Механически исполненные изящные и эффектные школьные чертежи попадаютъ на каждомъ шагу; для ихъ изготовленія нужна усидчивость, кое-какой навыкъ и очень много свободного времени, которое могло бы найти болѣе полезное примѣненіе. Для набросковъ же, хотя бы это были разрѣзы самыхъ несложныхъ предметовъ, нужно воображеніе и знаніе дѣла. Даже при набрасываніи заранѣе данной формы, напримѣръ при срисовываніи какой-нибудь готовой машинной части воображеніе рисующаго не остается празднымъ; онъ долженъ ясно отдавать себѣ отчетъ въ той цѣли, для которой дѣлается набросокъ и входить въ положеніе того лица, которое будетъ этимъ наброскомъ пользоваться».

§ 3. Практическія работы по машиностроенію во всѣхъ политехникумахъ начинаются съ проектовъ деталей. Методъ веденія этихъ занятій остается однимъ и тѣмъ же на всемъ протяженіи курса, вплоть до расчета паровыхъ машинъ, крановъ, мастерскихъ и т. д. Профессоръ читаетъ сначала подробно о расчетѣ и конструкціи того или другого механизма, на основаніи теоріи сопротивленія матеріаловъ, а также особыхъ условій его изготовленія и работы. Затѣмъ учащимся выдаются заданія, въ которыхъ указаны основныя численныя данныя и типъ механизма. Въ Шарлоттенбургѣ, при проектированіи деталей машинъ, схемы деталей съ основными числовыми данными отпечатываются свѣтлымъ способомъ на небольшихъ листкахъ синей бумаги; этимъ облегчается раздача заданій большому числу студентовъ.

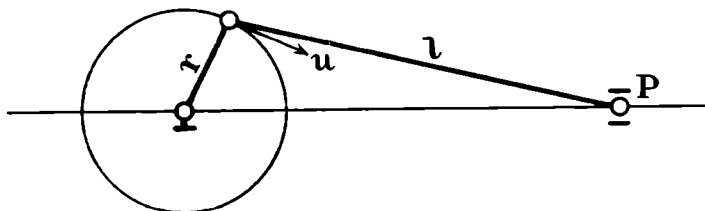
Профессора не издають своихъ лекцій и тѣ кто желаетъ сознательно приступить къ проекту, волей неволей должны слушать и записывать все что говорится съ кафедръ. Никакихъ образцовыхъ конструктивныхъ чертежей студентамъ не выдается и они въ своихъ работахъ должны руководиться слышаннымъ на лекціи, совѣтами руководителя, присутствующаго въ чертежномъ залѣ и своею опытностью. Чтобы такой методъ преподаванія былъ возможенъ—студентамъ рекомендуется до поступленія въ политехникумъ прослужить около полугода на какомъ-нибудь машиностроительномъ заводѣ въ качествѣ простого рабочаго, чтобы присмотрѣться къ дѣйствительному конструированію машинныхъ частей и осязательно ознакомиться съ разнообразными обстоятельствами, вліяющими на форму издѣлія кромѣ условій прочности.

Въ качествѣ учебныхъ пособій иногда рекомендуются книги Баха,

Эрнста и другихъ классиковъ машиностроенія. Изданія технической школы въ Mittweida, какъ напр. всѣ книги Pohlhausen'a по пользуются популярностью: «das sind keine Universitäts-Bücher» — вотъ характеристика подобныхъ трудовъ, слышанная мною почти вездѣ.

§ 4. Изъ числа предметовъ вспомогательныхъ при изученіи машиностроительнаго дѣла меня особенно заинтересовали два, составляющіе особенность германскаго преподаванія: прикладная кинематика и такъ называемая техническая механика.

Прикладная кинематика въ настоящее время какъ предметъ преподаванія переживаетъ въ Германіи кризисъ. Она была въ своемъ апогеѣ лѣтъ двадцать тому назадъ, когда Reuleaux издалъ первый томъ сочиненія «Lehrbuch der Kinematik» и воплотилъ свои идеи въ богатѣйшей коллекціи кинематическихъ моделей, изготовленной для шарлоттенбург-



Черт. 1.

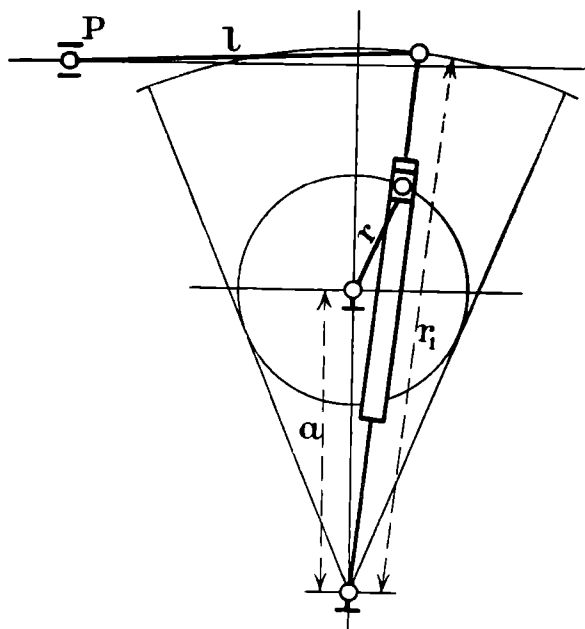
скаго политехникума берлинскою мастерскою Voigt. Прикладная кинематика представляетъ изъ себя совершенно особое, специальное и грандіозное проявленіе аналитической способности человѣческаго разума. Она имѣетъ мало общаго съ одноименнымъ отдѣломъ теоретической механики. Въ прикладной кинематикѣ весь сложный міръ существующихъ механизмовъ разложенъ на свои простѣйшіе элементы—кинематическія пары и затѣмъ классифицированъ по свойствамъ паръ входящихъ въ составъ машины и по ихъ сочетаніямъ. Эта колоссальная работа есть необходимый логическій шагъ въ развитіи механики, увѣковѣченный въ капитальныхъ трудахъ проф. Рело, проф. Burmester'a и проф. Mannheim'a \*); потребовать отъ студентовъ, чтобы они знакомились съ прикладной кинематикой во всемъ ея объемѣ конечно и невозможно и излишне. Рело, въ бытность ректоромъ Шарлоттенбургской технической школы погрѣшилъ немного въ этомъ направленіи и теперь происходитъ сильная реакція. На кинематику смотрятъ теперь какъ на самое типичное проявленіе старой

\*) Reuleaux. Lehrbuch der Kinematik. 2 Bände. 1875 und 1900.

Burmester. Lehrbuch der Kinematik. Leipzig 1888.

Mannheim. Prinsipes et developpements de geometrie cinématique. Paris. 1899.

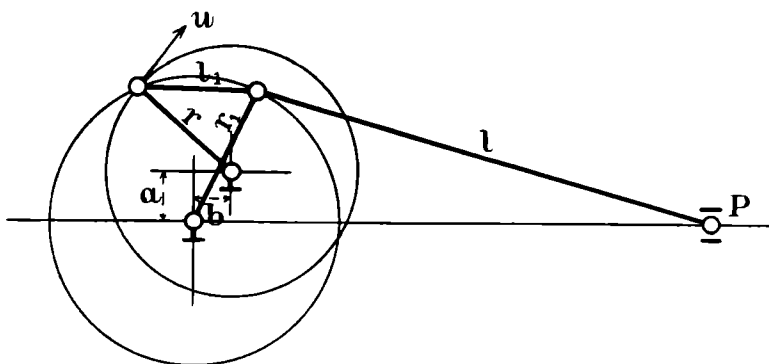
технической схоластики и обвиняют ее въ отвлеченіи многихъ молодыхъ головъ отъ практическаго взгляда на машиностроеніе. Эти рѣзкіе отзывы



Черт. 2.

справедливы только отчасти. Изученіе кинематики облегчаетъ созданіе новыхъ формъ движенія и критику уже существующихъ. Американцы

придаютъ знакомству съ кинематикой большую важность и ихъ высшія учебныя заведенія спѣшатъ обзавестись полными коллекціями моделей Рело несмотря на ихъ высокую цѣну. Недавно въ университетѣ Lehigh, въ Пенсильваніи, профессоръ прикладной механики подробно изслѣдовалъ съ кинематической точки зрѣнія двѣнадцать различныхъ системъ плоскихъ регуляторовъ паровыхъ машинъ, опредѣливъ всѣ полюсныя кривыя къ нимъ относящіяся; на основаніи этой работы явилась возможность предлагать ученикамъ разнообразныя задачи по кинематикѣ,

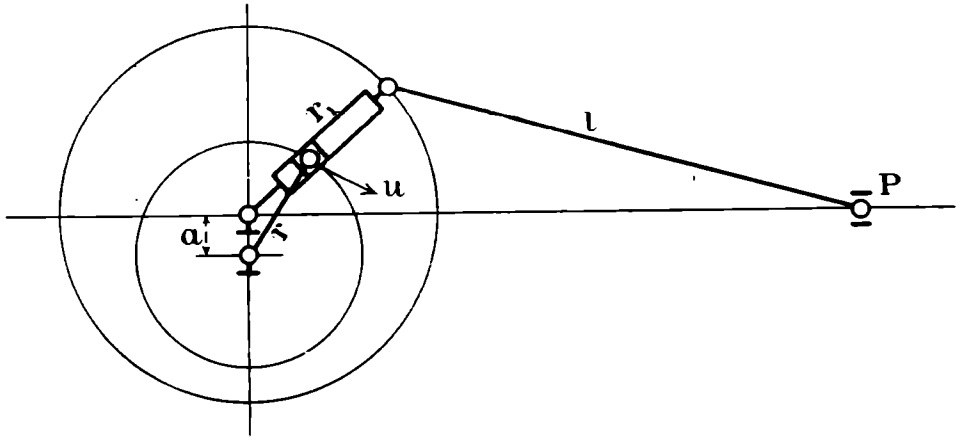


Черт. 3.

такъ какъ полное рѣшеніе вопроса потребовало множество побочныхъ, вспомогательныхъ изысканій.

Можно сказать съ увѣренностью, что американцы начинаютъ уже пожинать плоды своего внимательнаго отношенія къ вопросамъ кинематики;

ихъ машины отличаются именно богатствомъ и остроуміемъ кинематическихъ сочетаній. Въ Берлинѣ мнѣ пришлось осмотрѣть машинностроительный за-



Черт. 4.

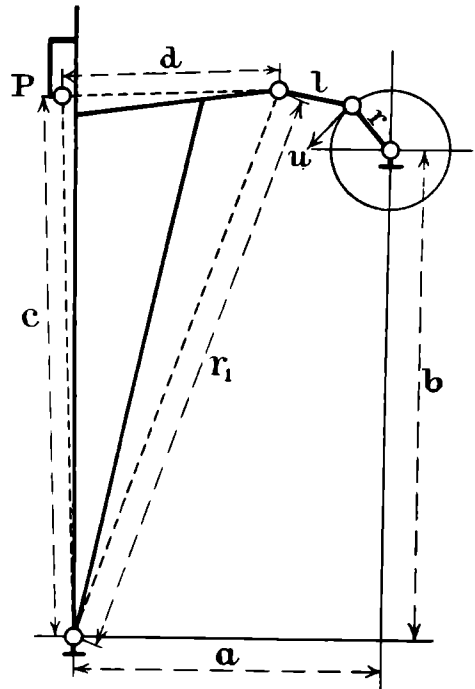
водъ Loewe und k. оборудованный американскими станками, и меня поразила автоматичность и разнообразіе работъ, выполняемыхъ этими станками.

Въ Шарлоттенбургѣ прикладная кинематика читается профессоромъ Hartmann'омъ; по его словамъ дальнейшее развитіе этой науки будетъ заключаться главнымъ образомъ въ указаніи способовъ осуществить на самомъ дѣлѣ тѣ роды движеній, которые до сихъ поръ изслѣдовались только теоретически.

Занятія по кинематикѣ, въ небольшомъ размѣрѣ, ведутся во всѣхъ политехникумахъ. Приводимъ здѣсь образцы кинематическихъ задачъ, полученные мною изъ дрезденской высшей технической школы.

**Задачи №№ 1—6.** Для точки  $P$ , въ механизмахъ изображенныхъ на черт. 1—6, требуется построить диаграммы  $s/t$ ,  $v/s$  и  $v/t$ ; кривошипъ вращается равномерно.

Найти отношенія скорости поршня къ линейной скорости цапфы кривошипа для черт. 1. Для черт. 3, 4 и 5 найти отношенія прямой и обратной скорости точки  $P$ .



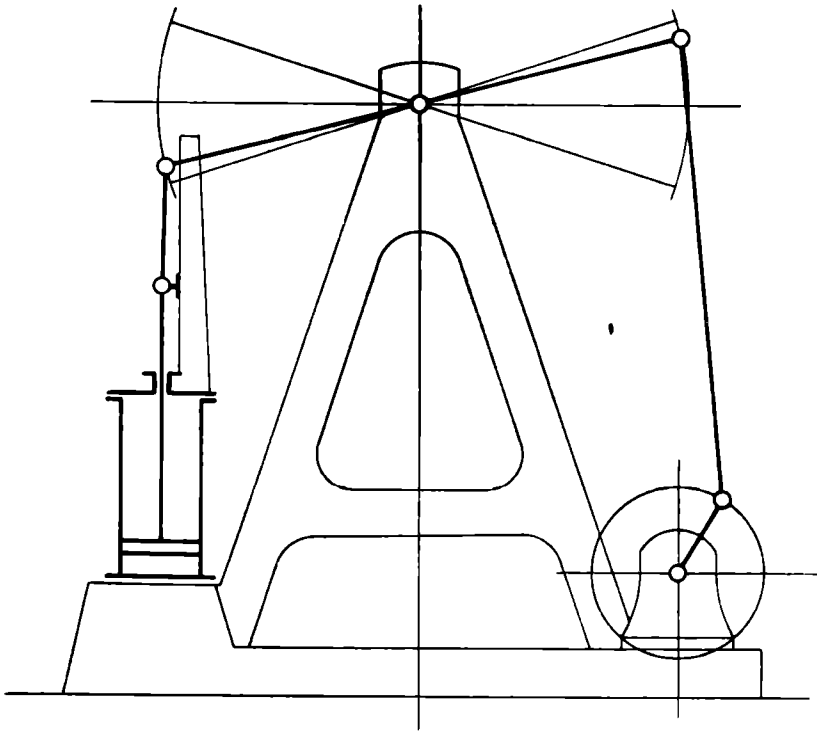
Черт. 5.

**Задача 7.** Для черт. 1 представить графически скорость, съ которою шатунъ колеблется, цапфы около ползуна.

**Задача 8.** Определить скорость поршня и угловую скорость цилиндра водяного двигателя системы Шмидта (черт. 7).

**Задача 9.** Построить диаграмму объемовъ для газовой машины системы Аткинсона (черт. 8) (предварительно строится диаграмма скоростей поршня)

Коллекціи кинематическихъ моделей имѣются вездѣ, но конечно ни



Черт. 6.

одна изъ нихъ не можетъ сравняться съ коллекціей Рело, въ берлинскомъ политехникумѣ, занимающей огромную залу.

На собраніи германскихъ математиковъ во Франкфуртѣ было выражено желаніе имѣть болѣе дешевую кинематическую коллекцію, чѣмъ тѣ, которыя изготовлялись до сихъ поръ. (Модели работы Voigt стоятъ отъ 75 до 300 марокъ штука).

Это желаніе осуществлено фирмою Schilling in Halle a. S., выпустившею въ 1898 году коллекцію моделей состоящую изъ двѣнадцати номеровъ, и стоящую около 250-ти рублей. Модели разбиты на четыре группы.

Четыре модели первой группы изображаютъ получение обыкновен-



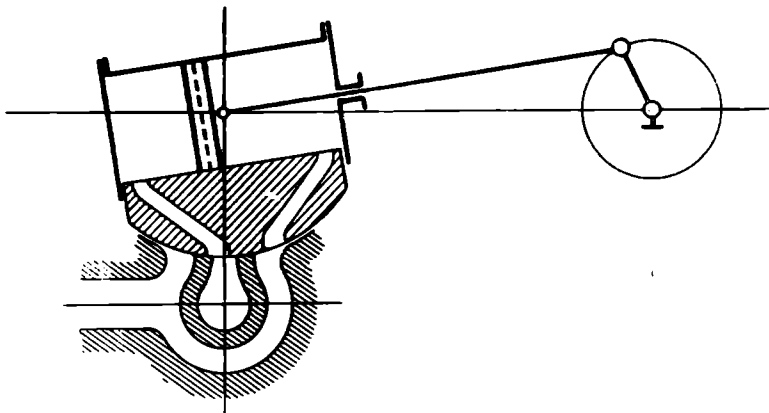
ныхъ циклическихъ кривыхъ перекатываніемъ подвижнаго круга по неподвижному.

Три модели второй группы поясняютъ особые виды циклическихъ кривыхъ, какъ напр. полученіе эллипсовъ и прямыхъ перекатываніемъ круга, въ кругѣ удвоеннаго радіуса, полученіе развертокъ и циклоидъ перекатываніемъ прямой по кругу и круга по прямой.

Третья группа заключаетъ въ себѣ двѣ модели кривошиповъ и шатуновъ съ ихъ полюсными кривыми: эллипсами и гиперболами.

Наконецъ четвертая группа воспроизводитъ въ трехъ моделяхъ инверсоры Peaucellier, Hart и Sylvester-Kempe.

Всѣ эти модели плоскія, составлены изъ желѣзныхъ пластинокъ, соединенныхъ шарнирами и расположенныхъ на деревянной доскѣ, подѣ



Черт. 7.

которой помѣщены другія части, движущіяся въ плоскости параллельной плоскости первыхъ. Сверху модель покрыта толстымъ зеркальнымъ стекломъ, на которомъ различными красками начерчены траекторіи движущихся частей. Подобныя модели уже введены въ политехникумѣ въ Карлсруэ.

§ 5. Подъ именемъ технической механики (Technische Mechanik) въ германскихъ политехникумахъ подразумѣвается особый курсъ, составленный изъ тѣхъ отдѣловъ теоретической механики, которыя особенно часто встрѣчаются въ практикѣ, статей о вредныхъ сопротивленіяхъ, о графической статикѣ, а также о сопротивленіи матеріаловъ. Послѣдній отдѣлъ разсматривается только съ математической стороны — безъ численныхъ характеристикъ отдѣльныхъ матеріаловъ.

Въ настоящее время, нѣмецкая научная литература, кромѣ извѣстной книги Ritter'a, имѣетъ нѣсколько капитальныхъ сочиненій по технической механикѣ, какъ напримѣръ:

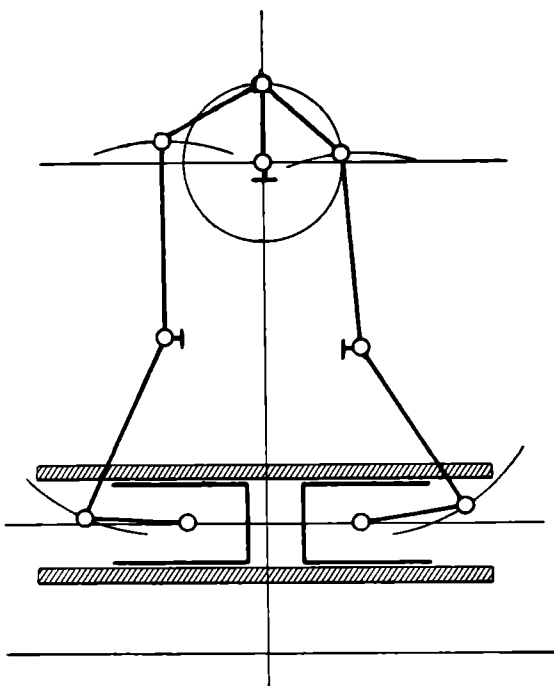
1) *Ed. Autenrieth*.—«Technische Mechanik». Berlin. 1900.

2) *A. Föppl*. «Vorlesungen über technische Mechanik»: I-es Band.—«Allgemeine Mechanik»; II-es B.—«Festigkeitslehre»; IV-es Band.—«Dynamik».

3) *Hecht*. «Lehrbuch der reinen und angewandten Mechanik. für Maschinen-und-Bautechniker». 2 Bände.

4) *Keck*. «Vorträge über Mechanik». 3 Theile. 1896.

Курсъ этотъ имѣетъ большое педагогическое значеніе. Чистая теоретическая механика, въ томъ видѣ какъ она читается въ университетѣхъ,



Черт. 8.

превратилась въ отдѣлъ математики; она заботится главнымъ образомъ объ общности доказательствъ, и поэтому при рѣшеніи задачъ на частные случаи, аналитическая механика стоитъ слишкомъ далеко отъ дѣйствительности и переходъ отъ нея непосредственно къ технике, которая вся состоитъ изъ частныхъ, былъ бы крайне затруднителенъ. Многие вопросы механики рѣшаются гораздо проще, если ихъ разсматривать не какъ частные случаи какой-нибудь чрезвычайно общей теоремы, а какъ отдѣльные случаи, требующіе специальной постановки вопросовъ. Техническая механика приучаетъ выбирать

для каждого практическаго вопроса наиболѣе подходящую теоретическую формулу.

Обширное поле дѣятельности прикладной механики породило много формулъ имѣющихъ эмпирическій характеръ при математической внѣшности; нужно умѣть ввести ихъ въ постановку и рѣшеніе математическихъ и механическихъ вопросовъ—все это составляетъ задачу технической механики.

Ученикъ технической школы, безъ сомнѣнія, оказался бы вполне безпомощнымъ въ строительномъ искусствѣ, если бы преподаваніе сопротивленія матеріаловъ велось исключительно на основаніи самыхъ общихъ уравненій теории упругости и ихъ интегрированія. Поэтому вездѣ

на земномъ шарѣ сопротивленіе матеріаловъ преподается сначала въ простой и удобопримѣнимой формѣ, а математическая теорія упругости является заключительной и часто необязательной главой. Въ области механики системъ и точекъ можно сказать почти тоже самое о самыхъ общихъ уравненіяхъ движенія.

§ 6. Приводимъ въ заключеніе этого бѣлаго очерка росписаніе лекцій механическаго факультета Дрезденской высшей технической школы:

**А. Машиностроительное отдѣленіе.**

|                                                                | Лекціи.       | Практическія занятія. |
|----------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------|
|                                                                | Число часовъ. |                       |
| <i>1-й Семестръ (лѣто).</i>                                    |               |                       |
| Примѣненіе элементарной математики . . . . .                   | 2             | —                     |
| Аналитическая геометрія . . . . .                              | 3             | 1                     |
| Начертательная геометрія . . . . .                             | 4             | 6                     |
| Опытная химія . . . . .                                        | 6             | —                     |
| Общая механическая технологія . . . . .                        | 3             | —                     |
| Рисованіе машинъ . . . . .                                     | —             | 4                     |
| Техническое рисованіе . . . . .                                | —             | 4                     |
| Рисованіе орнаментовъ . . . . .                                | —             | 4                     |
| <i>2-й Семестръ (зима).</i>                                    |               |                       |
| Аналитическая геометрія . . . . .                              | 3             | 1                     |
| Начертательная геометрія . . . . .                             | 4             | 6                     |
| Дифференціальное исчисленіе . . . . .                          | 4             | 1                     |
| Опытная физика . . . . .                                       | 5             | —                     |
| Техническая механика . . . . .                                 | 2             | —                     |
| Общая механическая технологія . . . . .                        | 3             | —                     |
| Рисованіе машинъ . . . . .                                     | —             | 4                     |
| <i>3-й Семестръ (лѣто).</i>                                    |               |                       |
| Интегральное исчисленіе и дифференціальныя уравненія . . . . . | 6             | 1                     |
| Опытная физика . . . . .                                       | 5             | —                     |
| Техническая механика (статика) . . . . .                       | 6             | 2                     |
| Графическая статика . . . . .                                  | —             | 2                     |
| Сопротивленія матеріаловъ . . . . .                            | 3             | 1                     |
| Детали машинъ . . . . .                                        | 5             | 10                    |
| Общая теорія машинъ . . . . .                                  | 4             | —                     |

|                                                | Лекціи.       | Практическія занятія. |
|------------------------------------------------|---------------|-----------------------|
|                                                | Число часовъ. |                       |
| <i>4-й Семестръ (зима).</i>                    |               |                       |
| Техническая механика (Динамика) . . . . .      | 4             | 1                     |
| Кинематика . . . . .                           | 2             | 3                     |
| Техническая гидравлика . . . . .               | 3             | —                     |
| Водяные двигатели . . . . .                    | 3             | —                     |
| Исполнительные механизмы . . . . .             | 3             | —                     |
| Общая электротехника . . . . .                 | 2             | —                     |
| Практическая электротехника . . . . .          | —             | 4                     |
| Строительные матеріалы . . . . .               | —             | 3                     |
| <i>6-й Семестръ (зима).</i>                    |               |                       |
| Техническая термодинамика . . . . .            | 4             | 1                     |
| Паровыя машины . . . . .                       | 4             | —                     |
| Паровые котлы . . . . .                        | 3             | —                     |
| Построеніе машинъ . . . . .                    | —             | 10                    |
| Строительные матеріалы . . . . .               | —             | 3                     |
| Статика сооруженийъ . . . . .                  | 4             | —                     |
| Аналитическая механика . . . . .               | 2             | 1                     |
| <i>7-й Семестръ (лѣто).</i>                    |               |                       |
| Техническая термодинамика . . . . .            | 4             | 2                     |
| Паровыя машины . . . . .                       | 3             | —                     |
| Насосы . . . . .                               | 2             | —                     |
| Построеніе машинъ . . . . .                    | —             | 10                    |
| Исполнительные механизмы . . . . .             | 3             | —                     |
| Механическая лабораторія (механизмы) . . . . . | —             | 3                     |
| Статика сооруженийъ . . . . .                  | —             | 3                     |
| Желѣзные мосты . . . . .                       | 2             | —                     |
| Желѣзнодорожная сигнализациа . . . . .         | 3             | —                     |
| Веденіе промышленныхъ предпріятій . . . . .    | 1             | —                     |
| Политическая экономія . . . . .                | 2             | —                     |
| Право . . . . .                                | 2             | —                     |
| Гигіена на фабрикахъ . . . . .                 | 2             | —                     |
| <i>8-й Семестръ (зима).</i>                    |               |                       |
| Избранныя статьи изъ машиностроенія . . . . .  | 2             | —                     |
| Построеніе машинъ . . . . .                    | —             | 10                    |
| Желѣзные мосты . . . . .                       | 4             | 3                     |
| Исполнительные механизмы . . . . .             | 3             | —                     |
| Паровозы . . . . .                             | 3             | —                     |
| Механическая лабораторія (механизмы) . . . . . | —             | 3                     |
| Аналитическая механика . . . . .               | 2             | 1                     |

**В. Электротехническое отдѣленіе.**

Первые четыре семестра общіе съ машиностроительнымъ отдѣленіемъ.

|                                                                  | Лекціи. | Практическія занятія. |
|------------------------------------------------------------------|---------|-----------------------|
| <i>5-й Семестръ (лѣто).</i>                                      |         |                       |
| Подъемныя машины . . . . .                                       | 2       | —                     |
| Кинематика . . . . .                                             | 2       | —                     |
| Техническая гидравлика . . . . .                                 | 3       | —                     |
| Водяные двигатели . . . . .                                      | 3       | —                     |
| Исполнительные механизмы . . . . .                               | 3       | —                     |
| Общая электротехника . . . . .                                   | 2       | —                     |
| Теорія переменнаго тока . . . . .                                | 3       | —                     |
| Практическія занятія по электротехникѣ для начинающихъ . . . . . | —       | 4                     |
| Строительные матеріалы . . . . .                                 | —       | 3                     |
| <i>6-й Семестръ (зима).</i>                                      |         |                       |
| Техническая термодинамика . . . . .                              | 4       | 1                     |
| Паровыя машины . . . . .                                         | 4       | —                     |
| Паровые котлы . . . . .                                          | 3       | —                     |
| Электрическія измѣренія . . . . .                                | 3       | —                     |
| Построеніе динамо-машинъ . . . . .                               | 2       | —                     |
| Практическія занятія по электротехникѣ . . . . .                 | —       | 12                    |
| <i>7-й Семестръ (лѣто).</i>                                      |         |                       |
| Паровыя машины . . . . .                                         | 3       | —                     |
| Построеніе машинъ . . . . .                                      | —       | 10                    |
| Техническая термодинамика . . . . .                              | 4       | 2                     |
| Исполнительные механизмы . . . . .                               | 3       | —                     |
| Электрическая передача работы . . . . .                          | 3       | —                     |
| Построеніе динамомашинъ . . . . .                                | 2       | —                     |
| Составленіе чертежей динамомашинъ . . . . .                      | —       | 2                     |
| Электротехническій семинарій . . . . .                           | —       | 1                     |
| Механическая лабораторія (механизмы) . . . . .                   | —       | 3                     |
| Гигіена въ промышленности . . . . .                              | 2       | —                     |
| <i>8-й Семестръ (зима).</i>                                      |         |                       |
| Избранныя главы изъ машиностроенія . . . . .                     | 2       | —                     |
| Построеніе машинъ . . . . .                                      | —       | 5                     |
| Составленіе чертежей динамомашинъ . . . . .                      | —       | 4                     |
| Электрическія центральныя станціи . . . . .                      | 2       | —                     |
| Телеграфы и телефоны . . . . .                                   | 2       | —                     |
| Электрическія повозки . . . . .                                  | 2       | —                     |
| Электрохимія . . . . .                                           | 2       | —                     |
| Практическія занятія по электротехникѣ . . . . .                 | —       | 16                    |

## ГЛАВА II.

### Берлинъ.

Вышая техническая школа въ Шарлоттенбургѣ.

§ 1. Берлинскій политехникумъ, помѣщающійся въ западномъ предмѣстѣи Берлина—Шарлоттенбургѣ, обладаетъ двумя огромными механическими лабораторіями: для испытанія матеріаловъ (проф. Rudeloff) и для изученія различныхъ двигателей, паровыхъ, водяныхъ, газовыхъ, электрическихъ и пр. (проф. Josse). Лабораторія для испытанія матеріаловъ только отчасти преслѣдуетъ педагогическія цѣли; она завалена заказами со всѣхъ концовъ Европы, не исключая даже такихъ отдаленныхъ странъ, какъ Испанія.

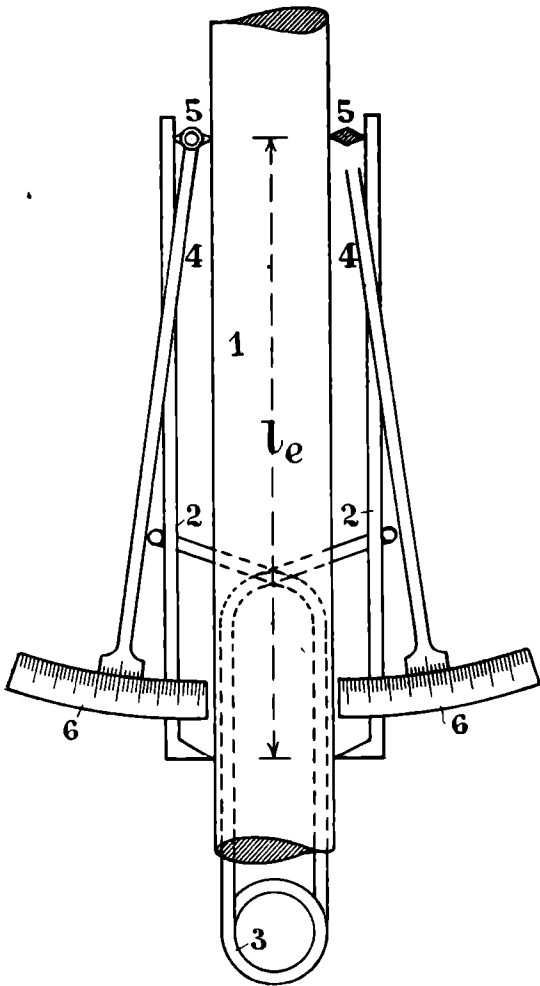
Лабораторія раздѣляется на отдѣлы по работѣ испытываемыхъ матеріаловъ: металловъ, цементовъ, смазочныхъ матеріаловъ и бумаги.

Лабораторія раздѣляется на отдѣлы по работѣ испытываемыхъ матеріаловъ: металловъ, цементовъ, смазочныхъ матеріаловъ и бумаги.

§ 2. Въ длинной и узкой залѣ, отведенной для испытанія металловъ, установлены машины: Вердера, силою въ 100 тоннъ, Pohlmeier'a силою въ 50 и въ 100 тоннъ и Martens'a силою въ 150 тоннъ съ очень плавною нагрузкой дисками; всѣ эти машины получаютъ работу отъ двухъ помпъ съ аккумуляторомъ.

Въ отдѣльномъ, специальномъ зданіи находится машина Норре

силою въ 500 тоннъ и контрольный приборъ силою въ 150 тоннъ для повѣрки машинъ испытывающихъ матеріалы; онъ представляетъ изъ себя прессъ сдѣланный изъ очень массивныхъ частей простого очертанія. Ла-



Черт. 9.

бораторія имѣть, для измѣренія деформаций, приборы очень разнообразныхъ степеней точности.

Самыя грубыя измѣренія производятся просто прикладываніемъ къ испытываемому бруску деревянной линейки. Затѣмъ, по точности, слѣдуютъ такъ пазываемые Prozentmaasgeber'ы; это небольшія металлическія линейки, одинъ конецъ которыхъ прижимается пружиннымъ зажимомъ къ испытываемому на растяженіе или сжатіе бруску такъ, что линейка во время опыта прилегаетъ къ бруску по его длинѣ; на ея свободномъ концѣ нанесены дѣленія. Передъ началомъ опыта на брускѣ проводится черта противъ нуля дѣленій линейки; перемѣщеніе этой черты указываетъ относительное удлиненіе прямо въ процентахъ опредѣленной длины, соотвѣтствующей данной линейкѣ.

Аппаратъ системы Martens—Kennedy (фиг. 9) съ дугами (6), прикрѣпленными къ полосамъ (2) и съ длинными указателями (4) вращающимися около точекъ (5) при растягиваніи бруска, часто примѣняется въ лабораторіи; онъ показываетъ абсолютныя удлиненія съ точностью до 0,001 мм., при усиліяхъ непревышающихъ предѣла упругости. За предѣломъ упругости—длина дугъ оказывается не достаточною. Какъ видно изъ чертежа, приборъ прикрѣпляется къ испытываемому бруску пружиннымъ зажимомъ.

Для еще болѣе точныхъ наблюденій служитъ зеркальный приборъ Martens—Bauschinger, отсчитывающій измѣненія длины съ точностью до 0,0001 мм.

Стрѣлы прогиба указываются приборами Баушпингера и тарельчатымъ аппаратомъ сист. Martens'a (Tellerapparat).

Толщина брусковъ и вообще размѣры величиною около 1-го сантим. опредѣляется съ точностью до 0,001 мм. приборомъ Zeiss'a, извѣстнымъ подъ именемъ Dickenmesser'a.

Твердость металловъ измѣряется приборомъ Martens—Heiser'a; главная часть прибора—алмазъ, у котораго рѣжущій уголь равняется 60-ти градусамъ. О твердости металла судятъ по тому усилію, которымъ долженъ быть нажатъ алмазъ на хорошо отполированную поверхность металла, чтобы получилась черточка, толщиной въ 0,01 миллиметра.

Всѣ небольшіе приборы лабораторіи изготовляются состоящимъ при ней опытнымъ механикомъ Richard Heiser'омъ по слѣдующимъ цѣнамъ:

|                                                  |            |
|--------------------------------------------------|------------|
| Зеркальный приборъ Martens—Bauschinger . . . . . | 600 марокъ |
| Приборъ Martens—Kennedy . . . . .                | 350 »      |
| Dickenmesser Цейсса . . . . .                    | 5.000 »    |
| Приборъ для измѣренія твердости . . . . .        | 4.000 »    |

Сравнительно недавно въ лабораторіи введено испытаніе брусковъ растяженіямъ въ нагрѣтомъ состояніи.

Брусокъ вставленный въ одну изъ *вертикальныхъ* испытательныхъ машинъ окружается особой переносной печкой, имѣющей видъ желѣзнаго цилиндра съ двойными стѣнками. Кольцевое пространство между ними наполняется тѣмъ или другимъ веществомъ, смотря по тому, какую температуру хотятъ придать бруску, а именно:

|                                                  |           |         |
|--------------------------------------------------|-----------|---------|
| Водою для . . . . .                              | . . . . . | 100° С. |
| Масломъ для . . . . .                            | . . . . . | 250° »  |
| Парафиномъ для . . . . .                         | . . . . . | 350° »  |
| Смѣсью калиевой и натровой селитры для . . . . . | . . . . . | 600° »  |

Печка нагрѣвается газовыми горѣлками.

§ 3. Мастерская для изготовленія металлическихъ образцовъ приводится въ движеніе газовымъ двигателемъ. Кромѣ токарныхъ, строгательныхъ и др. станковъ, въ ней помѣщаются двѣ машины Wöhler'a для продолжительнаго испытанія горизонтальныхъ, равномерно вращающихся цилиндрическихъ брусковъ на изгибъ, а также двѣ машины для продолжительнаго испытанія крученіемъ, одна съ постояннымъ, а другая съ переменнымъ направленіемъ крутящаго момента. Здѣсь же помѣщается очень интересный приборъ для измѣренія силы тренія въ ползунахъ при различныхъ смазочныхъ матеріалахъ.

§ 4. Цементное отдѣленіе обставлено тоже очень богато. Для сжатія — два прессы Амслера на 60 и на 30 тоннъ; для растяженія обыкновенный небольшой приборчикъ, нагружаемый дробью. Проницаемость цементовъ водою измѣряется на приборѣ имѣющемъ видъ круглаго стола, по окружности котораго разставлены чугунные небольшіе цилиндры съ прочными привинчивающимися крышками. Въ серединѣ стола находится нагнетательный гидравлическій насосъ, отъ котораго вода, по трубкамъ приводится къ цилиндрамъ подъ давленіемъ, величина котораго можетъ измѣняться въ довольно широкихъ предѣлахъ. Изъ цемента приготовляются цилиндрическіе образцы, помѣщаемые въ цилиндрѣ прибора, и по количеству просочившейся воды судятъ о проницаемости.

Для испытанія каменныхъ плитъ на изнашивание, устроенъ приборъ съ массивнымъ горизонтальнымъ дискомъ значительнаго діаметра; дискъ, посыпанный наждакомъ, приводится въ равномерное вращеніе и на него нажимается съ опредѣленной силой кубикъ испытываемаго матеріала, укрѣпленный неподвижно въ желѣзной оправѣ. Черезъ опредѣленные, равные промежутки времени взвѣшивается количество мелочи отдѣлившейся отъ кубика.

Присланные въ лабораторію для испытанія камни разрѣзаются круглыми стальными пилами; для особенно твердыхъ породъ имѣется пила со вставленными по окружности алмазами.

Процессъ отвердѣванія цементовъ изслѣдуется при помощи самони-



пущаго аппарата. Цементъ помѣщается въ небольшой, длинный, горизонтальный, открытый сверху ящичекъ, который медленно передвигается въ направленіи своей длины особымъ часовымъ механизмомъ. Вертикальная толстая игла съ грузикомъ на верхнемъ концѣ и съ горизонтальнымъ карандашемъ періодически опускается въ цементъ, проводя при этомъ вертикальную черточку на доскѣ, покрытой бумагой и двигающейся вмѣстѣ съ ящичкомъ. Чѣмъ больше отвердѣваетъ цементъ, тѣмъ менѣе погружается игла и тѣмъ короче выходятъ черточки на бумагѣ.

Имѣется особый приборъ для испытанія камней и цементовъ холодомъ.

§ 5. На дворѣ лабораторіи установлено много громоздкихъ приспособленій для грубыхъ пробъ. Между прочимъ:

1) Приборъ для испытанія шахтныхъ проволочныхъ канатовъ. Канать прикрѣпляется однимъ концомъ къ потолку высокой деревянной башни; къ другому концу прикрѣпляется опредѣленный грузъ, который затѣмъ бросается внизъ съ измѣренной предварительно высоты.

2) Щебень для насыпей желѣзныхъ дорогъ испытывается ударами большого, тяжелаго, желѣзнаго долота; взвѣшенная предварительно кучка щебня насыпается на землю между вертикальными желѣзными направляющими, по которымъ двигается баба съ долотомъ, обращеннымъ лезвеемъ внизъ. Послѣ опредѣленнаго числа ударовъ щебень просѣивается и мелочь взвѣшивается.

3) Для испытанія шинъ желѣзнодорожныхъ вагонныхъ колесъ поставленъ коперъ вѣсомъ въ 600 клг., падающій съ высоты 10-ти метр.

4) Бетонные своды и каменные лѣстницы испытываются нагрузкой рельсами.

5) На томъ же дворѣ производятся испытанія вертикальныхъ опорныхъ стѣнъ нагрузкой рельсами сверху и пескомъ сбоку.

§ 6. Лабораторія для изслѣдованія различныхъ двигателей была основана при Шарлоттенбургскомъ политехникумѣ въ 1895 году благодаря хлопотамъ и заботамъ профессора Ридлера. Устройство лабораторіи и завѣдываніе ею было поручено профессору Josse, который составилъ прекрасное описаніе ея зданій и механизмовъ, помѣщенное въ 1-мъ выпускѣ «Mittheilungen aus dem Maschinen-Laboratorium der kgl. technischen Hochschule zu Berlin».

На постройку и первоначальное обзаведеніе было отпущено прусскимъ правительствомъ 203.000 марокъ (около 100.000 р.). Лабораторія не имѣла себѣ предшественниковъ ни въ Германіи, ни въ другихъ странахъ и потому почти всѣ вопросы при ея устройствѣ выяснялись самостоятельно. Основная мысль руководившая проф. Josse была слѣдующая: изслѣдованія должны производиться не только надъ механизмами составляющими постоянное имущество лабораторіи, но и надъ машинами

присылаемыми въ лабораторію на время, для научнаго опредѣленія ихъ свойствъ и условій ихъ работы. Это имѣетъ слѣдующія хорошія стороны:

Лабораторія слѣдитъ за совершенствованіемъ техники на заводахъ.

Профессора политехникума имѣютъ возможность поддерживать тѣсную связь съ практической дѣятельностью и отвѣчать на возникающіе въ ней спорные вопросы.

Учащіеся знакомятся со сборкой (монтажной) самыхъ различныхъ машинъ.

Вслѣдствіе такого взгляда на дѣло, лабораторія, кромѣ собственныхъ машинъ, специально приспособленныхъ для научныхъ работъ, имѣетъ мѣсто и всестороннія приспособленія для установки присылаемыхъ въ нее на испытаніе механизмовъ. Цѣлая сеть, водяныхъ, газовыхъ и паровыхъ трубъ расположена подъ ея поломъ, въ которомъ проложены рельсы, сдѣланы каналы и пр.

§ 7. Зданіе лабораторіи состоитъ изъ длиннаго, узкаго и высокаго машиннаго зала съ площадью пола въ 550 кв. метровъ. Залу обслуживается мостовымъ краномъ. Къ сѣверной длинной стѣнѣ сдѣлана двухэтажная каменная пристройка для точныхъ измѣрительныхъ приборовъ аккумуляторовъ, комнатъ профессора, ассистентовъ и машинистовъ, складовъ смазочныхъ матеріаловъ и проч.

Котлы лабораторіи помѣщаются въ отдѣльномъ зданіи вмѣстѣ съ небольшою слесарной мастерской. Отъ котловъ въ лабораторію проложена паропроводная труба въ 10 сант. діаметромъ, рассчитанная на 20 атмосферъ давленія въ котлѣ. Длина трубы—80 метровъ; она направлена съ большимъ паденіемъ въ сторону главнаго водоотдѣлителя, расположеннаго внутри лабораторіи, въ углу у ея восточной короткой стѣны. Отъ водоотдѣлителя отходитъ вдоль сѣверной стѣны главный паропроводъ, лежащій частью въ открытомъ желобѣ, частью подъ поломъ лабораторіи, въ ея подвалѣ. Отъ того же водоотдѣлителя въ другую сторону направляется вторая паропроводная труба, идущая сначала вдоль короткой стѣны, затѣмъ дѣлающая поворотъ на 90° и тянущаяся вдоль южной длинной стѣны. Впослѣдствіи предполагается соединить концы обѣихъ трубъ въ одинъ кольцевой паропроводъ, обходящій всю лабораторію.

Вдоль южной стѣны сдѣлано нѣсколько желобовъ, заключающихъ въ себя водопроводныя трубы, трубы для сжатого воздуха и электрическіе кабели. Отъ продольныхъ желобовъ отходятъ многочисленные поперечные; всѣ трубы и кабели снабжены отрезками, такъ что во всякомъ мѣстѣ лабораторіи, главнымъ же образомъ вблизи фундаментовъ предназначенныхъ для установки присылаемыхъ на испытаніе машинъ, можно легко и удобно получать паръ, воду, энергію сжатого воздуха и воды, и электричества, а также можно отводить мятый паръ и грязную воду.

Снимаемая железные листы, закрывающие желоба, легко осматривать все трубы и кабели и наблюдать за стыками, сальниками, прокладками, и проч.

Вся вода конденсирующаяся из пара на пути от котлов до лаборатории собирается в главном водоотделителе, снабженном водомѣрными стеклянными трубками, откуда она выпускается в охладитель снабженный змѣевикомъ, а потомъ уже в измерительные приборы. Такое устройство очень удобно для определения расхода пара по количеству воды, питающей котель.

У машинъ стоящихъ в концѣ зала, удаленномъ отъ котельнаго помещенія, расходъ пара определяется по измереніемъ количества питающей воды, а взвѣшиваніемъ конденсированнаго, отработавшаго пара. Этотъ способъ даетъ точныя показанія в короткое время; послѣднее обстоятельство приобретаетъ большую важность при учебныхъ занятіяхъ со студентами.

Вода необходимая для лаборатории только отчасти берется изъ городского водопровода посредствомъ двухдюймовой трубы, проложенной вдоль всего зданія и снабженной многочисленными кранами для прикрепленія резиновыхъ рукавовъ. Вода для насосовъ и конденсаторовъ берется изъ артезианскихъ колодцевъ просверленныхъ в паркѣ Политехникума и доставляющихъ 1,5 куб. метра воды в минуту. Эта вода собирается в большой цилиндрической водоемъ глубиною в 8 метровъ, а діаметромъ в 2 метра, гдѣ уровень указывается пневматическимъ указателемъ.

§ 8. Лаборатории принадлежатъ три паровыхъ котла:

- 1) котель съ дымогарными трубами сист. Паукшъ. Нагрѣвательная поверхность 80 кв. метр., давленіе — 12 клгр. на квадрат. сант.;
- 2) водотрубный котель системы Heine съ нагрѣвательной поверхностью в 150 квадрат. метровъ; давленіе — 18 клгр. на квадрат. сант.;
- 3) котель той же системы съ нагрѣвательной поверхностью в 50 кв. метровъ и давленіемъ в 10 клгр. на квадрат. сант.

Для питанія водотрубныхъ котловъ служатъ два инжектора и двойной дифференціальный насосъ съ 20 атм. давленія. Вода берется изъ двухъ прямоугольныхъ вымѣренныхъ базовъ, которые могутъ быть по желанію сообщены или съ инжекторами или съ насосомъ.

У каждаго котла свой инжекторъ, дѣйствующій паромъ своего же котла.

Температура топокъ определяется пирометрами Лешателье и графитовыми. Анализъ топочныхъ газовъ производится бюреткой Bunte, а теплотворная способность угля определяется при помощи бомбы Mahler'a. Кроме того имѣются газовые вѣсы Custodis'a.

Одинъ изъ водотрубныхъ котловъ имѣетъ газовую топку.

§ 9. Всѣ паровыя машины лабораторіи производятъ полезную работу, т. е. мощность ихъ измѣряется не динамометромъ трепія, а соединенными съ ними динамомашинами и насосами. Самая большая машина — вертикальная, морского типа, четверного расширенія, силою въ 220 HP. Ось машины имѣетъ два колѣна, такъ что цилиндры соединены попарно-тандэмъ: высокаго давленія со вторымъ цилиндромъ средняго давленія, а первый цилиндръ средняго давленія съ цилиндромъ низкаго давленія. Машина имѣетъ **поверхностный** холодильникъ. На ея оси посажены: маховикъ и динамо **постояннаго** тока (Allgemeine Electricitäts Gesellschaft), дѣлающіе вмѣстѣ съ **машиной** 150 оборотовъ въ минуту. Машина имѣетъ парораспределеніе **системы** Klug; золотники верхнихъ цилиндровъ поршневые, а нижнихъ **плоскіе съ каналомъ** Трика. Для того, чтобы доставлять машинѣ по возможности сухой паръ, она снабжена водоотдѣлителемъ Holden и Brooks, въ **которомъ** паръ движется по винтовой линіи.

Съ этой машиной производятся слѣдующіе опыты:

1) расходъ пара опредѣляется по количеству воды въ конденсаторѣ, такъ какъ это самый **быстрый** способъ при вполнѣ достаточной степени точности. Студенты выполняютъ эту работу въ теченіе одного часа. Вода конденсирующаяся въ оболочкахъ **цилиндровъ** и въ золотниковыхъ коробкахъ можетъ быть взвѣшена для каждаго цилиндра отдѣльно. Она отводится въ четыре чугунныхъ сосуда, охлаждается и взвѣшивается въ особыхъ ведрахъ или впускается въ конденсаторъ. Чтобы во время хода опытовъ имѣющихъ цѣлью опредѣлить расходъ пара нагрузка машины оставалась вполнѣ **равномѣрною**, токъ динамомашинны пропускается черезъ батарею лампъ съ **постояннымъ сопротивленіемъ**. Эта батарея можетъ быть соединена съ **любой динамомашинной лабораторіи**; ея нагрузка измѣняется при помощи коммутатора **скачками на 5 HP**.

2) Для вычисленія **индикаторной работы** примѣняются индикаторы Dreuer, Rosenkranz, Schäffe и Crosby. Для повѣрки ихъ пружинъ имѣется ртутный манометръ.

3) Машина можетъ быть легко превращена изъ четырехъ цилиндровой, въ трехъ и даже въ двухъ цилиндровую; на эту работу уходитъ не болѣе получаса времени. При трехъ цилиндрахъ начальное давленіе пара берется въ 10—12 атмосферъ, а при двухъ — въ 6 атмосферъ.

4) При помощи термометровъ, вставленныхъ въ особые отростки, опредѣляется температура входящаго и выходящаго пара, конденсирующейся воды и воды охлаждающей конденсаторъ.

5) Изъ прочихъ опытовъ слѣдуетъ упомянуть — опредѣленіе работы третій золотниковъ и чувствительности регулятора. Последняя записывается тахометромъ Horn'a.

Такъ какъ эта машина работаетъ всегда **насыщеннымъ** паромъ, хотя

и очень высокаго давления, то для специальныхъ опытовъ надъ *перегрѣвнiемъ* установлена особая машина тройнаго расширенiя, въ 150 HP мощностью, съ перегрѣвателемъ Schwöger'a. Парораспредѣленiе клапанное, новой системы Collmann'a, цилиндры средняго и высокаго давления горизонтальные-гантэмъ, а цилиндръ низкаго давления поставленъ вертикально и дѣйствуетъ на тоже самое колѣно оси какъ и первые два цилиндра. Машина работаетъ при 12 атмосферахъ начальнаго давления и 150 оборотахъ въ минуту. Перегрѣватель имѣетъ свою собственную, отдѣльную топку и помѣщенъ недалеко отъ машины; изъ него паръ впускается въ цилиндръ высокаго давления, но кромѣ того перегрѣтый паръ можетъ, по желанiю, впускаться и въ главный паропроводъ лабораторiи, чтобы изслѣдовать работу присылаемыхъ двигателей, при различныхъ степеняхъ перегрѣванiя. Кромѣ колѣна, на которое дѣйствуютъ шатуны машины, ея ось имѣетъ еще второе колѣно для присоединенiя къ машинѣ насоса, воздуходувки, компрессора, пароваго цилиндра и пр. Для установки этихъ механизмовъ, на полу, передъ вторымъ колѣномъ уложена особая чугунная рама. Съ машиной соединена непосредственно динамо. Кромѣ опытовъ надъ перегрѣтымъ паромъ, въ этой машинѣ производятся измѣренiя вредныхъ сопротивленiй различныхъ частей; для этого паровая машина оставляется холодною, а соединенная съ нею динамо пускается въ качествѣ *двигателя* и изслѣдуемая часть машины то включается въ движущуюся систему, то выводится изъ нея.

Кромѣ описанныхъ двухъ машинъ въ лабораторiи имѣются еще:

1) 60-сильная, горизонтальная, компаундъ завода Vulcan, приводящая въ движенiе прямолинейный насосъ, соединенный непосредственно со штокомъ цилиндра высокаго давления. Трубы соединяющiя цилиндры машины устроены такъ, что оба цилиндра могутъ работать независимо одинъ отъ другого, съ конденсаторомъ или безъ него. Иногда одинъ цилиндръ работаетъ, а на другомъ изучается движенiе золотника. Въ цилиндрѣ высокаго давления устроенъ приборъ, позволяющiй сообщать между собой пространство передъ поршнемъ и пространство за нимъ т. е. какъ бы дѣлать искусственно плохую пригонку поршня къ стѣнкамъ цилиндра. Точно также, соединяя золотниковую коробку съ другими частями цилиндра, можно искусственно воспроизводить плохое прилеганiе золотника къ зеркалу.

2) Локомобиль двойнаго расширенiя съ конденсаторомъ.

3) Быстроходная вертикальная паровая машина компаундъ, на которой изучается главнымъ образомъ влiянiе массъ съ быстрымъ, попеременно-возвратнымъ движенiемъ.

§ 10. Гидро-пневматическiй отдѣлъ лабораторiи, значительно бѣднѣе пароваго.

Большой насос, построенный по чертежамъ профессора Юссе можетъ работать, то для водоснабженія, то для передачи работы гидравлическимъ давленіемъ. Для наблюденія за клапанами, насосъ имѣетъ нѣсколько отверстій, закрытыхъ стеклами и освѣщается изнутри электрическими лампами накаливанія. Всѣ клапаны имѣютъ приспособленія для снятія діаграммъ ихъ работы. Какъ уже было сказано, насосъ соединенъ непосредственно съ горизонтальной паровой машиной и достаточно силенъ, чтобы пользоваться **полною** ея мощностью.

Центробѣжный насосъ **подымающій** въ минуту 800 л. воды на 6 метровъ, при 1350 оборотахъ **приводится** въ движеніе электродвигателемъ, соединеннымъ съ нимъ **ремнемъ**.

Изъ водяныхъ двигателей лабораторія имѣетъ пока только водостолпную машину сист. Riedler и колесо Пельтона.

---

### ГЛАВА III.

#### Д р е з д е н ь .

§ 1. Дрезденская высшая техническая школа въ настоящее время производитъ работы по устройству грандіозныхъ механическихъ лабораторій, значительно превосходящихъ по размѣрамъ берлинскія. Лабораторія для изслѣдованія всевозможныхъ двигателей и для работъ по термодинамикѣ обойдется въ 300.000 марокъ; она будетъ помѣщаться въ двухъэтажномъ зданіи съ аудиторіей, особой комнатою для подготовки демонстраціонныхъ опытовъ и пр. Существующія въ настоящее время лабораторіи помѣщаются въ **нижнемъ этажѣ** и подвалѣ главнаго зданія политехникума; несмотря на свой чисто временный характеръ онѣ были щедро снабжены машинами и приборами такъ, что новыя лабораторіи сооружаются и снабжаются на основаніи уже прибрѣтеннаго школой широкаго опыта въ этомъ направленіи. Всѣ помѣщенія дрезденскаго политехникума значительно тѣснѣе, бѣднѣе и грязнѣе берлинскихъ. Средній дворъ, покрытый на высотѣ второго этажа стеклянной крышей, превращенъ въ залъ съ механическими коллекціями. Здѣсь мнѣ пришлось видѣть порядочное собраніе кинематическихъ моделей, модель турбинной лопасти, съ очень остроумнымъ и нагляднымъ приспособленіемъ изъ выдвигающихся желѣзныхъ стержней для полученія абсолютной траекторіи частицъ воды въ рабочемъ колесѣ, модель локомотива подвѣшенную на цѣпяхъ для изученія колебаній локомотива во время хода, модели деталей машинъ, гребныхъ винтовъ, геометрическихъ поверхностей и пр. Большинство моделей изготовлено въ мастерской Leiper'a, помѣщающейся въ зданіи школы.

§ 2. Лабораторія для испытанія матеріаловъ (проф. Scheit) занимаетъ большую длинную залу и двѣ прилегающія къ ней комнаты съ физическими и точными инструментами. Въ одной изъ комнатъ находятся:

- 1) Физическія вѣсы.
- 2) Гигрометръ.
- 3) Компараторъ Цейсса т. е. приборъ для измѣренія длинъ съ точностью до  $\frac{1}{10.000}$  мм.

4) Dickentmesser Цейсса—приборъ для измѣренія толщины испытуемыхъ брусковъ. Этимъ приборомъ здѣсь производится, между прочимъ, обмѣрка металлическихъ шариковъ до и послѣ испытанія на раздавливаніе.

- 5) Приборъ для измѣренія объемовъ (Volumometer).
- 6) Tastenapparat Баушингера.

Въ сосѣдней комнатѣ установлены:

- 1) Молотовой приборъ для изготовленія цементныхъ образцовъ.
- 2) Газовая печь для закалки и отжига.
- 3) Приборъ для полученія плотно утрясеннаго литра цемента.

Въ главномъ залѣ находятся:

1) Станки всѣхъ видовъ и значительной силы для изготовленія металлическихъ образцовъ.

2) Машина сист. Мора и Федергаффа.

3) Приборъ Амслера для сжатія силою въ 5 тоннъ.

4) Машина Вердера силою въ 100 тоннъ.

5) Приборъ Амслера, силою въ 5 тоннъ, для растяженія, съ двигателемъ постоянного тока.

6) Тоже—для растяженія силою въ 25 тоннъ и для крученія моментомъ въ 150 клгр. метровъ. Эти двѣ деформаціи можно производить и порознь и одновременно.

7) Тоже—для сжатія и прогиба силою въ 150 тоннъ. Стрѣла прогиба, измѣряется приборомъ системы Leupner'a, на циферблатѣ котораго дѣленіе величиною въ 1 мм. соотвѣтствуетъ  $\frac{1}{400}$  мм. стрѣлы прогиба.

8) Машина Амслера для пробы желѣза складываніемъ (Falteversuch).

Приборы (6), (7) и (8) получаютъ работу отъ одного общаго насоса, приводимаго въ движеніе динамомашинной постоянного тока въ 2 лощ. силы мощностью.

Каждому студенту выдается литографированное описаніе приборовъ лабораторіи и бланкъ для занесенія результатовъ испытанія матеріаловъ.

Кромѣ перечисленныхъ приборовъ въ залѣ находится; приборъ на которомъ проф. Striebeck изслѣдовалъ червячную передачу относительно поверхностей подвергающихся изнашиванію и распределенія между ними смазки. Приборъ состоитъ изъ червяка и соединеннаго съ нимъ винто-

вого колеса, окруженных кожухом со стеклами, для наблюдения за движением смазочного материала. Червяк наполовину погруженъ въ смазку и приводится въ движение электромоторомъ.

§ 3. Лабораторія для изученія паровыхъ, газовыхъ, нефтяныхъ и др. двигателей, а также для опытовъ по гидравликѣ находится въ распоряженіи проф. Левицкаго. Она расположена частью во дворѣ политехникума, частью въ нижнемъ этажѣ зданія химической лабораторіи.

Въ котельномъ отдѣленіи **два котла** ланкаширской системы. Топки могутъ быть легко вынуты и **вмѣсто** нихъ по рельсамъ, изъ особаго деревяннаго сарайчика **подкатываются** топки какого-нибудь другого типа, напр. съ наклонной рѣшеткой. **Надъ** котлами перегрѣватель системы Schröter'a. Здѣсь же находится **особый** вертикальный котель системы Шмидта для полученія сильно **перегрѣтаго** пара. При первыхъ двухъ котлахъ имѣются приспособленія **для** анализа газовъ, для опредѣленія температуры въ топкѣ и для **снятія** дымовыхъ диаграммъ.

Въ сосѣдней залѣ установлены **двѣ** паровыя машины сист. Шмидта, могуція работать при большой степени перегрѣва. Одна изъ нихъ двойного расширенія—тандемъ, другая **простого** дѣйствія. Эти машины дали возможность произвести цѣлый рядъ **сравненій** работы перегрѣтаго и насыщеннаго пара. Для измѣренія **работы** паровыхъ машинъ примѣняются динамомашинны и динамометры тренія.

Въ томъ же помѣщеніи производятся **опыты** надъ паровой турбиной де-Лавала. Къ ней былъ примѣненъ **сильно** перегрѣтый паръ (500° С.) и результаты опытовъ опубликованы въ «Dresdener Bezirksverein deutscher Ingenieure 11 april 1901». Кромѣ **главной** машинной залы, въ нижнемъ этажѣ зданія химической лабораторіи **есть** большое, но довольно темное помѣщеніе для газовыхъ, бензиновыхъ и водостолбныхъ двигателей. Здѣсь же стоятъ: горизонтальная паровая **машина** стараго типа, приспособленная исключительно для изученія **регуляторовъ** и приборъ для изученія вытеканія газовъ изъ отверстій, состоящій изъ двухъ высокихъ, клапаннхъ изъ желѣза цилиндровъ.

Небольшая гидравлическая лабораторія **помѣщается** въ нижнемъ этажѣ главнаго корпуса школы. Это компата, съ **асфальтовымъ** поломъ, въ котормъ, параллельно одной изъ стѣнъ, проложенъ **бетонный** каналъ прямоугольнаго сѣченія. По краямъ канала рельсы для **передвиганія** вдоль него различныхъ приборовъ. Вода изъ городской трубы поступаетъ въ желѣзный бакъ, укрѣпленный подъ потолкомъ къ стѣнѣ, какъ разъ надъ оконечностью канала. Изъ бака вода, по трубѣ вводится снизу въ высокій желѣзный цилиндръ, поставленный надъ каналомъ. Уровень въ этомъ цилиндрѣ поддерживается строго на одной и той же высотѣ автоматически, посредствомъ поплавка, открывающаго или закрывающаго



трубу, соединяющую бакъ съ цилиндромъ. Въ цилиндрѣ на производящей, обращенной къ продолженію канала помѣщено нѣсколько крановъ на различныхъ высотахъ. Этотъ приборъ служитъ для изученія законовъ движенія водяныхъ струй при различныхъ условіяхъ и представляетъ изъ себя ничто иное какъ приборъ Вейсбаха въ сильно увеличенномъ видѣ. При мнѣ струя воды посредствомъ резинового рукава, надѣтаго на одинъ изъ крановъ была направлена на модель канала рабочаго колеса турбины Жирара. Въ другомъ мѣстѣ капала на деревянныхъ козлахъ установленъ второй желѣзный бакъ. Въ него вода подымается изъ канала центробѣжнымъ насосомъ, соединеннымъ непосредственно съ электродвигателемъ и, вытекая изъ бака на послѣдуемый объектъ, возвращается обратно въ каналъ. Этотъ круговоротъ устроенъ, чтобы не отнимать слишкомъ много воды изъ городского водопровода. При мнѣ передъ вторымъ бакомъ былъ установленъ приборъ для вычисленія вредныхъ сопротивленій въ направляющихъ каналахъ турбины.

#### ГЛАВА IV.

#### М ю н х е н ь .

§ 1. Мюнхенскій политехникумъ обладаетъ двумя механическими лабораторіями: для испытанія матеріаловъ и для изслѣдованія разнаго рода механизмовъ. Первая находится въ вѣдѣніи проф. Förpl, вторая — въ вѣдѣніи проф. Schroeter'a.

Въ противоположность Шарлоттенбургской лабораторіи здѣсь большое мѣсто отведено упражненіямъ учащихся.

§ 2. Лабораторія для *испытанія матеріаловъ* была устроена проф. Баушингеромъ. Наибольше сильная машина—системы Вердера, мощностью въ 100 тоннъ. При мнѣ на ней производились учебные опыты надъ скручиваніемъ большой деревянной призмы разграфленной на квадраты; относительное перемѣщеніе сѣченій опредѣлялось при помощи двухъ катетометровъ.

Эта машина и стоящій около нея вертикальный гидравлическій прессъ для сжатія приводятся въ дѣйствіе водой изъ городского водопровода, посредствомъ мультипликатора Польмейера. Проф. Förpl задался, между прочимъ цѣлью, изучить каждый родъ деформаций по возможности устраняя всѣ побочныя явленія, какъ напр. боковое выпучиваніе при сжатіи и т. п.

Въ настоящее время имъ произведены многочисленныя опыты надъ сжатіемъ короткихъ брусковъ при помощи вышеупомянутаго вертикальнаго гидравлическаго пресса.

Металлическіе кубы сжимались при обильной смазкѣ частей соприкасающихся съ прессомъ.

Кубическіе образцы цемента сжимались по двумъ взаимно перпендикулярнымъ направлѣніямъ одновременно при помощи особаго, крестообразнаго прибора. Образецъ при этомъ распадался не на двѣ пирамиды, какъ при обыкновенномъ сжатіи, а на слои, параллельные свободной грани.

Наконецъ, для полученія **равномѣрнаго** давленія со всѣхъ сторонъ, деревянные кубики и кристаллы **погружались** въ масло, которое затѣмъ сжималось подъ поршнемъ **въ прочномъ** металлическомъ цилиндрѣ.

На машинѣ Вердера, въ **последнее** время были сдѣланы первыя попытки опредѣлить **распредѣленіе деформаций** въ растягиваемомъ кускѣ цемента. Для этого изготовлялся **пробный** кусокъ, около метра длиной и 40 сант. толщиной, съ залитыми **въ немъ** около середины металлическими шпильками.

Изъ опытовъ выяснилось, что **наружныя** части растягиваются скорѣе.

На дворѣ установленъ приборъ для **опытовъ** надъ осѣданіемъ почвы подъ грузами: двѣ низенькія стойки, **поставленныя** по возможности дальше одна отъ другой соединены сверху **рельсовой поперечной**, на серединѣ которой устанавливается извѣстный приборъ Баушингера со стрѣлкой и дугой съ дѣленіями. Тяжесть кладется на землю **по серединѣ** между стойками, какъ разъ подъ приборомъ, съ которымъ **соединяется** желѣзнымъ тонкимъ стержнемъ. Стрѣлка показываетъ осѣданіе почвы **въ мѣстѣ** нахождения груза или **вѣрнѣе** разность между этимъ **осѣданіемъ** и осѣданіемъ стоекъ.

Работы студентовъ въ лабораторіи происходятъ преимущественно лѣтомъ. Зимой студенты рѣшаютъ задачи по теоріи сопротивленія матеріаловъ и графической статики, руководствуясь при этомъ 2-мъ и 3-мъ томами превосходной книги профессора Förppl «Technische Mechanik». Задачи раздаются въ видѣ литографированныхъ листовъ.

§ 3. Лабораторія для изслѣдованія двигателей находится въ зданіи Политехникума рядомъ съ предыдущей, и служитъ главнымъ образомъ *педагогическимъ* цѣлямъ. Ея оборудованіе состоитъ изъ слѣдующихъ предметовъ:

1) Паровой котель ланкаширской системы съ наклонной рѣшеткой. Топливо засыпается на лотки, сдѣланныя спаружи и затѣмъ подвигается внизъ по рѣшѣткѣ постепенно собственнымъ вѣсомъ. Очень полное сжиганіе достигается дополнительнымъ подводомъ воздуха съ боковъ. Въ кирпичной кладкѣ сдѣланы многочисленныя отверстія, закрытыя стеклами, для наблюденія за горѣніемъ. При котлѣ имѣется перегрѣватель сист. Schwöger'a, который по желанію можетъ быть введенъ въ работу, и выве-

день изъ нея. Питаніе котла совершается паровымъ насосомъ, а во время опытовъ инжекторомъ. Этотъ паровой котель снабжаетъ паромъ вертикальную машину, работающую на освѣщеніе политехникума.

2) Въ сосѣдномъ отдѣленіи лабораторіи помѣщается водотрубный котель системы Babcock'a и Wilcox'a, служащій уже исключительно только для учебныхъ цѣлей. При немъ поперечный перегрѣватель системы Dügg'a. Вода для питанія котла изъ городского водопровода поступаетъ въ прикрѣпленный у потолка водоочиститель, гдѣ химически осаждается котельный камень. Прямо подъ водоочистителемъ два водомѣрныхъ желѣзныхъ сосуда, для измѣренія количества воды, поступающей въ котель.

Изъ котла паръ можетъ быть отведенъ въ такъ называемый «парораспредѣлитель» (Dampfvertheiler) — кубическую чугунную коробку — поставленную на чугунную же колонку въ 1 метръ вышиной. На парораспредѣлителѣ четыре крана для привинчиванія различныхъ приборовъ: манометровъ, индикаторовъ и проч. Здѣсь производится первое ознакомленіе учащихся съ индикаторомъ. На стѣнѣ — нормальный ртутный манометръ, съ длинной шкалой, идущей до самаго потолка. Съ нимъ сообщается воздушный колоколь, въ которомъ воздухъ сжимается посредствомъ накачиванія воды ручнымъ насосомъ. Опыты съ ртутнымъ манометромъ производятся, какъ независимо отъ котла, такъ и соединяя манометръ съ парораспредѣлителемъ. Между прочимъ, здѣсь же производится и повѣрка индикаторовъ.

Затѣмъ слѣдуетъ большое помѣщеніе исключительно для паровыхъ машинъ, въ которомъ установлены:

3) Вертикальная паровая машина компаундъ въ 60 HP мощностью непосредственно соединенная съ динамо. Машина дѣлаетъ 160 оборотовъ въ минуту и работаетъ днемъ, заряжая аккумуляторы для освѣщенія политехникума. Съ нею производятся опыты для опредѣленія расхода пара и тогда вводится водяное сопротивление т. е. токъ пропускается черезъ сосудъ съ водой. Прибавкой разбавленной сѣрной кислоты это сопротивление можетъ быть уменьшено.

4) Горизонтальная машина компаундъ въ 40 HP, служащая исключительно для опытовъ и упражненій. Цилиндры помѣщены по обѣ стороны маховика; у одного парораспредѣленіе кранами, у другого — клапанами. Оба цилиндра и ресиверъ имѣютъ паровыя рубашки. Въ каждомъ цилиндрѣ свой регуляторъ; у одного системы Уатта, у другого Портера. Это сдѣлано для того, чтобы машина могла работать обоими цилиндрами сразу и каждымъ въ отдѣльности. Оба регулятора дѣйствуютъ на парораспредѣлительный механизмъ. На маховикъ надѣтъ динамометръ тренія, охлаждаемый водою; сила тренія на динамометрѣ измѣряется десятичными вѣсами.

Расходъ пара можетъ быть опредѣляемъ при весьма разнообразныхъ условіяхъ работы: какъ уже было сказано, машина можетъ работать обѣими цилиндрами сразу и каждымъ въ отдѣльности. Паровыя рубашки всѣхъ частей могутъ быть выводимы изъ работы. При опредѣленіи вліянія парораспределенія на расходъ пара регуляторъ отцѣпляется, та или другая величина расширенія устанавливается отъ руки, а равномерность хода поддерживается, увеличивая или уменьшая (поворотомъ вѣнта) нажатіе динамометра на окружность **маховика**. Вода конденсирующаяся въ цилиндрахъ, ресиверѣ и оболочкахъ, **отводится** въ чугунные закрытые горшки, прикрѣпленные къ стѣнѣ, гдѣ **количество ея** можетъ быть легко опредѣлено.

Конденсаторъ струйчатый. **Вода** для него, послѣ опредѣленія ея температуры посредствомъ **термометра**, вставленнаго въ стѣнку водопроводной трубы, поступаетъ въ **бакъ**, приспособленный для опредѣленія ея объема. Бакъ раздѣленъ **пополамъ** желѣзной перегородкой и вода наполняется по очереди то одну, то **другую** половину его, объемъ которыхъ извѣстенъ въ точности.

У вертикальной машины очень **компактный**, универсальный, струйчатый конденсаторъ Кертинга.

5) Въ слѣдующей комнатѣ помѣщаются:

а) Газовый двигатель. Его работа **измѣряется** динамомашинной и релостатомъ прикрѣпленнымъ на стѣнѣ. **Кромѣ** того **опредѣляется**: объемъ газа идущаго въ двигатель, его теплородная способность, количество охлаждающей воды и ея температура до и послѣ сопряженія съ двигателями и т. д.

б) Предполагается поставить вскорѣ нефтяной двигатель. Тамъ же находится весьма оригинальный магнитный **динамометръ** работы Rieter'a въ Копстанцѣ. Онъ удобенъ тѣмъ что его легко **переносить** съ мѣста на мѣсто и онъ не требуетъ охлаждения водой благодаря нѣсколькимъ выступающимъ ребрамъ на его паружной поверхности.

---

## Г Л А В А V.

### Ш т у т г а р т ъ.

§ 1. Механическія лабораторіи высшей технической школы въ *Штутгартѣ*, задуманы и устроены знаменитымъ профессоромъ Бахомъ, авторомъ книги «Maschinenelemente» и «Elasticität und Festigkeit», «Wassergäder» и множества отдѣльных изслѣдованій, легшихъ въ основаніе современнаго машиностроенія. Бахъ началъ свою преподавательскую дѣятельность въ 1878 году, когда въ политехникумѣ не было никакихъ признаковъ лабораторныхъ занятій по механикѣ.

Въ 1884 г. была открыта лабораторія для испытанія матеріаловъ; ея устройство въ томъ видѣ, въ какомъ она существуетъ теперь обошлось 50.000 марокъ. Она занимаетъ два помѣщенія—одно въ первомъ этажѣ, а другое въ подвальномъ, вмѣстѣ образующія площадь около 254 квадр. метровъ. Подвальное помѣщеніе, устроенное на прочномъ фундаментѣ, заключаетъ въ себѣ наиболѣе тяжелые и сильные механизмы. Здѣсь находятся:

1) Машина Вердера силою въ 60 тоннъ съ механическимъ и ручнымъ приводомъ.

2) Станки для изготовленія металлическихъ и цементныхъ образцовъ, приводимые въ движеніе газовымъ и электрическимъ двигателемъ.

3) Машина для испытанія каменныхъ плитъ на изнашивание.

4) Бетонные бассейны для вымачиванія цементныхъ образцовъ (въ теченіе 27-ми дней) передъ пробой.

5) Небольшой приборъ для испытанія цементныхъ образцовъ на разрывъ.

6) Приборъ для испытанія металлическихъ пластинокъ давленіемъ силою въ 5 тоннъ. Эта сила, получаемая гидравлически, можетъ быть приложена въ центрѣ пластинки или распределена равномерно по всей ея поверхности.

7) Приборъ для испытанія водянымъ давленіемъ котельныхъ днищъ. Деформація днища опредѣляется при помощи желѣзныхъ стерженьковъ, упирающихся острыми концами въ различныя точки ея поверхности. Каждый стержень можетъ свободно перемѣщаться по направленію своей оси. Наружные концы стерженьковъ выравниваются передъ началомъ опыта по извѣстному лекалу; при выпучиваніи поверхности сдвигъ ихъ отъ первоначальнаго положенія будетъ обнаруженъ при помощи того же лекала. Этотъ приборъ вмѣстѣ съ предыдущимъ, послужили Баху для производства цѣлаго ряда плодотворныхъ опытовъ, результаты которыхъ были опубликованы въ его «Abhandlungen und Berichte».

Верхнее помѣщеніе состоитъ изъ двухъ небольшихъ комнатъ и заключаетъ въ себѣ:

1) Прессъ Мора и Федергаффа силою въ 50 тоннъ.

2) Прессъ Амслера для сжатія—силою въ 30 тоннъ.

3) Приборъ Амслера, на которомъ можно одновременно растягивать образцы силою въ 27 тоннъ и скручивать моментомъ въ 165 клгр. метровъ. Онъ былъ построенъ Амслеромъ по особому заказу лабораторіи.

4) Прессъ Амслера—силою въ 180 тоннъ для испытанія сжатіемъ и растяженіемъ большихъ цементныхъ и металлическихъ образцовъ (колоннъ и проч.).

Опыты—произведенныя на такой машинѣ и употреблявшіеся при этомъ

спеціальные измѣрительные приборы описаны въ Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure за 1898 годъ, въ статьѣ, подъ заглавіемъ Ermittlung der Zug- und Druckelastizität an dem gleichen Versuchs-Körper (опредѣленія упругости растяженія и сжатія на одномъ и томъ же образцѣ).

5) Машина для испытанія проволоки на разрывъ — силою въ 1.200 килограммъ.

Для учебныхъ занятій въ лабораторіи студенты раздѣляются на группы, по три человѣка въ каждой, чтобы всякій могъ принимать дѣйствительное участіе въ опытахъ, а не оставаться простымъ зрителемъ. Каждую группую руководить ассистентъ, причемъ особенное вниманіе обращается на то, чтобы каждый учащійся самъ продѣлалъ всѣ работы. До сихъ поръ число обучавшихся въ лабораторіи въ теченіе одного года не превосходило 99.

Въ настоящее время лабораторія, имѣетъ слѣдующій постоянный составъ служащихъ: главный руководитель (профессоръ Бахъ); инженеръ, 2 ассистента и два мастеровыхъ (слесаря).

§ 2. Лабораторія для изученія двигателей и механизмовъ, такъ называемая Ingenieur Laboratorium, Штутгартскаго политехникума, является однимъ изъ самыхъ замѣчательныхъ учреждений этого рода: она превосходитъ Шарлоттенбургскую лабораторію обширностью своего помѣщенія и богатствомъ механизмовъ, всесторонне приспособленныхъ для научныхъ изслѣдованій. Въ томъ видѣ, въ какомъ она существуетъ теперь, ея сооруженіе стоило 500.000 марокъ: пока установлены только термическія двигатели, а устройство отдѣленія гидравлики отложено на нѣкоторое время.

Лабораторія помѣщается въ отдѣльномъ зданіи, построенномъ въ 3,5 километрахъ отъ политехникума, въ предмѣстьи Штутгарта Berg, на берегу канала, отводящаго воду изъ Неккара. Это мѣсто, значительно удаленное отъ центра города было выбрано по слѣдующимъ соображеніямъ:

1) Въ самомъ политехникумѣ мѣста не было, а участки вблизи него очень дороги.

2) Лабораторія требуетъ большого количества воды для конденсаторовъ, для изслѣдованія дѣйствія насосовъ и для предполагаемыхъ турбинныхъ установокъ. Каналь Неккара доставляетъ воду въ изобиліи: она протекаетъ черезъ лабораторію и почти вся возвращается въ каналь. Доставка воды по водопроводнымъ трубамъ обошлась бы очень дорого, даже если бы былъ устроенъ постоянный круговоротъ воды въ лабораторіи.

3) Прекрасная электрическая желѣзная дорога дѣлаетъ сообщеніе между политехникумомъ и лабораторіей очень удобнымъ.

Главное зало лабораторіи занято большой лежащей паровой машиной тройного расширенія съ четырьмя цилиндрами; эта машина, сдѣ-

ланная по специальному проекту проф. Баха, по строгой обдуманности и поучительности всѣхъ ея деталей является замѣчательнымъ созданиемъ современной германской техники.

Четыре цилиндра машины расположены по два гуськомъ съ каждой стороны маховика. Диаметр цилиндра высокаго давления равенъ 250 мм., диаметр цилиндра средняго и двухъ цилиндровъ низкаго давления—400 миллиметрамъ; ходъ у всѣхъ цилиндровъ равенъ 710 миллиметр. Число оборотовъ можетъ измѣняться отъ 20 до 130 во время движенія машины. При 12 атмосферахъ начальнаго давления (котлы допускаютъ 15 атмосферъ), при 100 оборотахъ въ минуту и  $\frac{1}{4}$  наполненія цилиндра высокаго давления — машина даетъ 110 паровыхъ лошадей. Эта мощность можетъ быть увеличена вдвое. Цилиндры и паропроводы устроены такъ, что машина можетъ работать съ тройнымъ расширеніемъ, съ двойнымъ какъ тандемъ и при двухъ кривошипныхъ подѣлахъ въ  $90^\circ$  и, наконецъ, какъ одноцилиндровая машина. Паръ можетъ быть перегрѣтъ до  $270^\circ$ .

Цапфа кривошипа можетъ передвигаться по продольной прорѣзи и закрѣпляется въ любой ея точкѣ; это даетъ возможность измѣнять объемъ вреднаго пространства. Объемъ ресиверовъ тоже можетъ быть измѣняемъ.

Парораспределение совершается у трехъ цилиндровъ клапанами, а у четвертаго кранами Корлисса; впускъ можетъ измѣняться въ очень широкихъ предѣлахъ. У машины два конденсатора: струйчатый и поверхностный.

Впускъ пара въ паровыя оболочки цилиндровъ можетъ быть прекращаемъ по желанію.

На оси машины сидятъ рядомъ два широкихъ маховика различныхъ диаметровъ—въ 400 и 580 сантиметровъ; съ нихъ идетъ ременная передача работы въ нижній этажъ къ двумъ спареннымъ помпамъ двойнаго дѣйствія; одна помпа снабжена самодѣйствующими клапанами, а другая клапанами съ механическимъ распределеніемъ. Наибольшее гидравлическое давление: 100 метровъ; высота всасыванія—5 метровъ; при 70 оборотахъ въ минуту помпы берутъ изъ канала Неккара около 250 куб. метровъ въ часъ. Для опредѣленія коэффициента полезнаго дѣйствія насосовъ количество всасываемой воды измѣряется въ особыхъ резервуарахъ. Вода вводится въ резервуары снизу, чтобы поверхность ея была спокойнѣе.

Кромѣ главной паровой машины имѣется еще вертикальная, работающая паромъ перегрѣтымъ до  $360^\circ$  подѣломъ въ 12 атм.; у ней два горизонтальныхъ цилиндра высокаго давления и простаго дѣйствія и одинъ вертикальный цилиндръ низкаго давления, двухсторонняго дѣйствія. При 170 оборотахъ въ минуту машина развиваетъ мощность въ 50 лоп.

Кромѣ перечисленныхъ машинъ въ главномъ машинномъ залѣ имѣются: мостовой кранъ на 4.000 клгр., центробѣжный насосъ, приспособленія

для опытовъ съ клапанами, и для повѣрки индикаторныхъ пружинъ, ртутный манометръ показывающій давленіе до 23-хъ атмосферъ и т. д.

Въ помѣщеніи для котловъ находятся:

котель системы Prégardien съ нагрѣвательной поверхностью въ 100 кв. метр. (Maschinenfabrik Esslingen) и наклонной рѣшеткой;

локомобильный котель съ 15 кв. метр. нагрѣвательной поверхности (той же фабрики);

котель съ поперечными трубками и 8 кв. метр. нагрѣвательной поверхности, доставленный фабрикой W. C. F. Busch въ Бауценъ, дѣлающей вагоны для электрическихъ желѣзныхъ дорогъ;

котель безъ непосредственнаго нагрѣва, для полученія пара съ 12 атмосферами рабочаго давленія;

перегрѣватель фабрики A. Hering въ Шюрелбергѣ для нагрѣванія пара до 400°;

водоочиститель фабрики Hans Reiser в Кельнѣ;

одно приспособленіе для взвѣшиванія угля и три для взвѣшиванія питательной воды;

4 питающихъ насоса;

инжекторъ;

небольшой котель, генераторъ и подогреватель для отдѣленія газовъ двигателей.

Внутри котельнаго помѣщенія, у подошвы наружныхъ стѣнъ сдѣланъ каналъ для прокладки трубъ; отъ него сдѣлано отвѣтвленіе въ подвальный этажъ, чтобы туда можно было доставлять паръ и воду, необходимые для опытовъ. Дымовая труба имѣетъ 35 метр. высоты и 1 метръ наименьшаго діаметра.

Для измѣренія температуры газовъ и силы тяги на различныхъ высотахъ въ трубѣ сдѣланы слѣдующія приспособленія: снаружи идетъ желѣзная лѣстница съ предохранительными обручами, въ кирпичи въ нѣсколькихъ мѣстахъ вставлены металлическія трубки для вкладыванія термометровъ и измѣрителей тяги.

Къ котельному помѣщенію примыкаетъ газовый заводъ, содержащій промыватель, газометръ и газовые часы. Рядомъ въ комнатѣ помѣщаются: 8-ми и 25-ти сильный газовый двигатель.

Надъ газовыми двигателями расположена мастерская снабженная двумя токарными, сверлильными и шлифовальными станками; здѣсь имѣются приспособленія для опытовъ надъ передачами.

Тяжелые предметы подаются въ мастерскую наружнымъ поворотнымъ краномъ.

Изъ мастерской можно спуститься по винтовой лѣстницѣ въ кузницу.

Постоянный составъ служащихъ въ лабораторіи заключаетъ въ себѣ,



кромѣ профессора-руководителя, еще инженера, механика, кочегара, двухъ слесарей и рабочаго.

Помѣщенія расположены такъ, чтобы всюду былъ удобный доступъ и по возможности больше свѣта: послѣднее необходимо для поддержанія чистоты въ помѣщеніяхъ и механизмахъ. И дѣйствительно лабораторія поражаетъ посѣтителя своей щеголеватой наружностью. Проф. Бахъ говоритъ, что учащихся надо приучать къ этому для того, чтобы впоследствии они внесли свои привычки на заводы и фабрики, довольно часто грѣшачія противъ законовъ опрятности.

---

## ГЛАВА VI.

### Карлсруэ.

§ 1. Политехникумъ въ Карлсруэ, давшій Германіи такихъ ученыхъ какъ Редтенбахеръ и Грасгофъ, въ настоящее время дѣятельно расширяетъ свои и, безъ того, просторныя помѣщенія. Только что законченъ электротехнической институтъ, занимающій отдѣльное двухъэтажное зданіе; строится обширная химическая лабораторія, которая будетъ служить какъ для ученическихъ работъ, такъ и для изслѣдованій по технической химіи вообще.

Механическая лабораторія тоже была недавно расширена: къ ней былъ пристроенъ просторный машинный залъ. Всѣ отдѣлы механической лабораторіи находятся въ вѣдѣніи проф. Брауег'а. Можетъ быть это соединеніе различныхъ отраслей механическаго опыта въ однихъ рукахъ, было причиной того, что одна изъ нихъ, а именно сопротивленіе матеріаловъ находится въ нѣкоторомъ пренебреженіи. Изъ приспособленій для испытанія матеріаловъ, въ политехникумѣ, имѣется только прессъ Моора и Федергаффа и нѣсколько остроумныхъ моделей по теоріи изгиба.

Машинная лабораторія находится вся въ новой каменной пристройкѣ съ прекрасными большими окнами, за исключеніемъ угольной ямы, для которой сдѣланъ небольшой деревянный сарай. Привозимый уголь засыпается въ яму черезъ четыре качающіеся совка, укрѣпленные въ стѣнѣ сарая. Передъ выходомъ изъ угольнаго сарая въ котельное помѣщеніе находятся вѣсы для взвѣшиванія топлива. Котель одинъ, съ двумя пламенными трубами и поперечными трубами Галлова. Топка системы Каріо, облегчающая равномерное разбрасываніе топлива по рѣшеткѣ.

Для регулированія тяги при топкѣ устроенъ часовой механизмъ, который взводится, когда отворяются топочныя дверцы и поднимается, соединенная съ ними цѣпью чугунная заслонка, находящаяся въ концѣ дымохода. Когда топливо заброшено и топочныя дверцы закрыты механизмъ

постепенно начинает спускать заслонку, уменьшая таким образом тягу по мѣрѣ сгорания угля. Движеніе заслонки указывается стрѣлкой на деревянной линейкѣ съ дѣленіями, помѣщенной недалеко отъ отверстія топки. Все это приспособленіе позволяет принимать во вниманіе различіе условий горѣнія топлива въ разные моменты. Температура пара въ котлѣ, наблюдается посредствомъ термометра, вставленнаго въ крышку парового котла.

Изъ котельной дверь ведетъ непосредственно въ машинный залъ. Здѣсь помѣщены многіе приборы, относящіеся и къ котлу, какъ напр., водоочиститель системы **Düvaux**, приборъ **Arndt'a** для анализа горючихъ газовъ, приборъ для повѣрки **индикаторовъ** и пр. Очень удобно измѣряется количество питательной **воды**. Подъ поломъ залы устроенъ бакъ емкостью въ 10 куб. метровъ. **Этого** объема воды хватаетъ на время занятій студентовъ. Въ бакѣ — **клепаный** желѣзный поплавкомъ; на стѣпѣ надъ бакомъ, укрѣплена **вертикальная шкала** и рядомъ съ нею неподвижный блокъ. Черезъ болтъ перекинута **веревка**, одинъ конецъ которой соединенъ съ поплавкомъ, а другой **нагруженъ** **небольшой** гирькой. По мѣрѣ пониженія уровня воды въ бакѣ, **гирька поднимается** вдоль шкалы и указываетъ на ней количество **израсходованной воды**.

Паровая машина, горизонтальная, **компаундъ**, мощностью въ 60 лощ. силъ, соединена ремнемъ съ динамо **заряжающей** **аккумуляторы** электрическаго освѣщенія политехникума. **Счетчики оборотовъ** поставлены какъ у динамо, такъ и у паровой машины. **Это даетъ** возможность дѣлать наблюденія надъ скольженіемъ ремня по **шківу**.

Индикаторы приводятся въ движеніе **не прямо отъ** **шатуна** машины, а черезъ посредство **деревяннаго маятника**, позволяющаго **мѣнять** масштабъ **діаграммъ**. Деревянная штанга качается **около** **горизонтальной** оси. Вилка на нижнемъ концѣ штанги охватываетъ **палецъ**, прикрѣпленный къ ползуну (крейцкопфу) машины, а вилка, прикрѣпленная къ серединѣ штанги, двигаетъ въ горизонтальныхъ **направляющихъ** **желѣзную** линейку, соединенную нитью съ индикаторомъ. Благодаря **ряду** **отверстій**, сдѣланныхъ въ штангѣ, можно мѣнять положеніе оси **вращенія**, а слѣдовательно и величину размаха индикатора.

Труба, отводящая паръ изъ цилиндра, струйчатый конденсаторъ и бакъ для измѣренія воды, вводимой въ конденсаторъ, помѣщены подъ поломъ, который можно снять на довольно большомъ протяженіи, такъ что всѣ эти части видны сверху; къ нимъ ведетъ желѣзная **лѣстница**. Въ пароотводную трубку вставленъ **ртутный** термометръ для измѣренія температуры отработавшаго пара. Количество воды вводимой въ конденсаторъ измѣряется также, какъ количество питательной воды.

Въ этой же залѣ готовится установка другихъ разнообразныхъ механизмовъ, чтобы по возможности расширить кругъ опытовъ. Большин-

ство механизмовъ будетъ получать работу отъ вала укрѣпленнаго на стѣнныхъ консоляхъ и раздѣленнаго на двѣ части муфтой тренія. Во время моего посѣщенія лабораторіи, уже былъ установленъ и соединенъ съ валомъ ременной передачей приборъ для получения низкихъ температуръ при помощи амміака

Для изслѣдованій по гидравликѣ, въ полу залы сдѣланъ бетонный бассейнъ, въ которомъ будутъ устанавливаться двигатели. Вода изъ бассейна будетъ подниматься въ воздушный колоколъ центробѣжнымъ насосомъ, получающимъ работу отъ стѣнного привода, а изъ колокола, подъ опредѣленнымъ давленіемъ будетъ направлена въ изслѣдуемые двигатели. При мнѣ было установлено небольшое колесо Пельтона.

Залъ снабженъ мостовымъ краномъ, лебедка котораго приспособлена для опредѣленій коэффиціента полезнаго дѣйствія въ различныхъ обстоятельствахъ. Въ отдѣльной небольшой комнатѣ установленъ газовой двигатель, снабженный всѣмъ необходимымъ для всесторонняго изслѣдованія.

Работа на валу двигателя опредѣляется динамометромъ тренія, надѣтымъ на маховикъ. Калориметрическими изслѣдованіями опредѣляется теплотворная способность газа, измѣряется его объемъ, а также количество и температура воды, охлаждающей цилиндры. Для опредѣленія количества теплоты уносимой выходящими газами, ихъ смѣшиваютъ съ водой въ особомъ приборѣ.

---

## Г Л А В А VII.

### Д а р м ш т а д т ъ .

§ 1. Дарштадтская Высшая Техническая школа пять лѣтъ тому назадъ переселилась въ новыя роскошныя помѣщенія, состоящія изъ главнаго корпуса и двухъ отдѣльныхъ трехъ этажныхъ зданій, заключающихъ въ себѣ химическую и физическую лабораторіи. Предполагается выстроить еще большое зданіе для расширенія существующихъ двухъ механическихъ лабораторій, помѣщающихся теперь въ главномъ корпусѣ. Для этого герцогствомъ уже ассигнована сумма въ 3.000.000 марокъ.

§ 2. Лабораторія для испытанія матеріаловъ имѣетъ двѣ комнаты для машинъ и одну для письменныхъ работъ, библіотеки и проч. Крупныя машины подобраны и устроены такъ, чтобы на каждой изъ нихъ можно было получать всѣ виды деформаций. Это облегчаетъ веденіе студенческихъ занятій. Въ большомъ, длинномъ главномъ залѣ помѣщаются:

1) Прессъ Мора и Федергаффа, силою въ 50 тоннъ; получаетъ работу отъ двигателя постояннаго тока.

2) Вертикальная машина Амслера, силою въ 150 тоннъ.

3) Машина Польмейера съ мультипликаторомъ, позволяющимъ пользоваться для работы водой городского водопровода.

4) Небольшой прессъ Амслера, силою въ 5 тоннъ, для сжатія.

5) Приспособленія для изслѣдованія механическихъ качествъ велосипедовъ. Велосипедная рама прикрѣпляется къ потолку; вмѣсто оси педалей вставляется короткая ось, составляющая одно цѣлое съ тяжелымъ маятникомъ. По продолжительности его колебаній судятъ о величинѣ вредныхъ сопротивленій **встрѣчаемыхъ осью** педалей. Для опредѣленія величины всѣхъ вредныхъ сопротивленій **между** частями велосипеда, его ставятъ колесами на два шкива и **затѣмъ соединяютъ** ось педалей, съ осью небольшого электрическаго двигателя, **черезъ** посредство двухъ зубчатыхъ колесъ, уменьшающихъ скорость **вращенія**. Колеса велосипеда вращаясь, передаютъ вращеніе шкивамъ. **Сравнивая** работу двигателя съ работой, получаемой на осяхъ шкивовъ, **которая** опредѣляется динамометромъ, вычисляютъ величину вредныхъ **сопротивленій**. Въ современномъ велосипедѣ онѣ очень невелики и **небольшая** ошибка въ измѣреніяхъ составила бы замѣтный процентъ **искомой величины**, поэтому здѣсь приняты всѣ мѣры для исполнѣя **точного опредѣленія работы** доставляемой двигателемъ велосипеду.

6) Приборъ для испытанія каменныхъ плитъ на изнашивание.

7) Два газовыхъ двигателя на 2 лощ. силы мощностью и одинъ въ  $\frac{3}{4}$  лощ. силы. При двигателяхъ всѣ приспособленія для опытовъ надъ ними. Температура газовъ въ цилиндрѣ опредѣляется термоэлектрическимъ приборомъ Startmann und Braun во Франкфуртѣ.

8) Поперечно строгальный станокъ (шепингъ машина) служащій для опредѣленія величины вредныхъ сопротивленій въ исполнительныхъ механизмахъ.

Въ небольшой комнатѣ, рядомъ съ залой помѣщены приборы сист. Tarnogradski для испытанія проволоки.

§ 3. Специальной лабораторіи для изслѣдованія паровыхъ двигателей въ томъ видѣ какъ напр., она устроена въ Штутгартѣ, въ Дармштадтѣ пока не существуетъ. Опыты и студенческія занятія производятся въ центральной станціи электрическаго освѣщенія политехникума, построенной во дворѣ главнаго корпуса и съ теченіемъ времени нѣсколько приспособленной къ научнымъ занятіямъ; эти занятія тѣмъ не менѣе поставлены исполнѣя **раціонально** и ведутся въ широкихъ размѣрахъ подъ наблюденіемъ проф. Gutermuth'a. За двѣ съ половиною марки каждый студентъ получаетъ напку съ чертежами и описаніями всѣхъ механизмовъ станціи, бланками для группировки добытыхъ результатовъ, задачами и проч.

§ 4. Въ котельномъ помѣщеніи станціи находятся:

1) Водотрубный котель системы Göhring-Leuchs съ кипятыльникомъ.



|                                                                  | Опыт I.     | Опыт II. | Опыт III. |
|------------------------------------------------------------------|-------------|----------|-----------|
| Остатковъ въ топкѣ: всего . . . . .                              |             |          |           |
| въ часъ . . . . .                                                |             |          |           |
| въ % угля сожженного въ 1 часъ . . . . .                         |             |          |           |
| Анализъ { Углерода . . . . .                                     |             |          |           |
| { Золы . . . . .                                                 |             |          |           |
| <b>Паръ:</b>                                                     |             |          |           |
| Рабочее давленіе . . . . .                                       | <b>Атм.</b> |          |           |
| Темпер. насыщеннаго пара . . . . .                               | <b>°C</b>   |          |           |
| Темпер. перегрѣтаго пара . . . . .                               | <b>°C</b>   |          |           |
| Перегрѣвъ . . . . .                                              | <b>°C</b>   |          |           |
| Теплота парообразованія . . . . .                                | <b>WE</b>   |          |           |
| Теплота перегрѣванія . . . . .                                   | <b>WE</b>   |          |           |
| <b>Питательная вода:</b>                                         |             |          |           |
| Время измѣренія . . . . .                                        | <b>часы</b> |          |           |
| Всего . . . . .                                                  | <b>кг.</b>  |          |           |
| Въ часъ . . . . .                                                | <b>»</b>    |          |           |
| Въ часъ на 1 кв. м. нагрѣв. пов. . . . .                         | <b>»</b>    |          |           |
| Температура воды до подогрѣв. . . . .                            | <b>°C</b>   |          |           |
| »       » послѣ       » . . . . .                                | <b>°C</b>   |          |           |
| <b>Уголь:</b>                                                    |             |          |           |
| Продолж. взвѣш. . . . .                                          | <b>часы</b> |          |           |
| Расходъ всего . . . . .                                          | <b>кг.</b>  |          |           |
| » въ часъ . . . . .                                              | <b>»</b>    |          |           |
| »       »       » на 1 кв. м. рѣшетки . . . . .                  | <b>»</b>    |          |           |
| »       »       » на 1 кв. м. нагр. пов. . . . .                 | <b>»</b>    |          |           |
| <b>Испарительная способность:</b>                                |             |          |           |
| а) 1 кг. угля (Вода . . . . . °C въ парѣ . . . . . °C) . . . . . | <b>кг.</b>  |          |           |
| б) 1 кг. угля (Вода 0 °C въ парѣ 100 °C) . . . . .               | <b>кг.</b>  |          |           |
| <b>Горючіе газы:</b>                                             |             |          |           |
| Содерж. углекисл. { въ 1 пробѣ . . . . .                         | <b>%</b>    |          |           |
| { » 2 » . . . . .                                                | <b>%</b>    |          |           |
| { » 3 » . . . . .                                                | <b>%</b>    |          |           |
| Кислорода { въ 1 пробѣ . . . . .                                 | <b>%</b>    |          |           |
| { » 2 » . . . . .                                                | <b>%</b>    |          |           |
| { » 3 » . . . . .                                                | <b>%</b>    |          |           |
| Окисл. углер. { въ 1 пробѣ . . . . .                             | <b>%</b>    |          |           |
| { » 2 » . . . . .                                                | <b>%</b>    |          |           |
| { » 3 » . . . . .                                                | <b>%</b>    |          |           |
| Температуры { въ 1 пробѣ . . . . .                               | <b>°C</b>   |          |           |
| { » 2 » . . . . .                                                | <b>°C</b>   |          |           |
| { » 3 » . . . . .                                                | <b>°C</b>   |          |           |
| { передъ перегрѣват. . . . .                                     | <b>°C</b>   |          |           |
| { послѣ       »       » . . . . .                                | <b>°C</b>   |          |           |

|                                                                        |                              | Опытъ I. | Опытъ II. | Опытъ III. |   |      |   |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------|-----------|------------|---|------|---|
| Сила тяги                                                              | { 1 проба въ мм. вод. столба |          |           |            |   |      |   |
|                                                                        | { 2 » » » »                  |          |           |            |   |      |   |
|                                                                        | { 3 » » » »                  |          |           |            |   |      |   |
| <b>Воздухъ:</b>                                                        |                              |          |           |            |   |      |   |
| Темпер. въ котельномъ помѣщ. . . . . °С                                |                              |          |           |            |   |      |   |
| Количество: теоретич. . . . . кг.                                      |                              |          |           |            |   |      |   |
| дѣйстви. . . . . »                                                     |                              |          |           |            |   |      |   |
| Отношеніе теорет. кол. къ дѣйстви. . . . .                             |                              |          |           |            |   |      |   |
| <b>Распределение теплоты:</b>                                          |                              |          |           |            |   |      |   |
| Теплотворн. способн. топлива . . . . .                                 |                              | Кал.     | %         | Кал.       | % | Кал. | % |
| Полезный расходъ на парообразов. . . . .                               |                              |          |           |            |   |      |   |
| Потеря: въ зольникѣ . . . . .                                          |                              |          |           |            |   |      |   |
| въ горюч. газахъ . . . . .                                             |                              |          |           |            |   |      |   |
| Прочія потери (черезъ лучеиспусканіе,<br>въ проходахъ и пр.) . . . . . |                              |          |           |            |   |      |   |
| Итого . . . . .                                                        |                              |          |           |            |   |      |   |
| <b>Полезное дѣйствіе котловъ:</b>                                      |                              |          |           |            |   |      |   |
| <b>Стоимость топлива:</b>                                              |                              |          |           |            |   |      |   |
| 1000 кг. въ котельн. помѣщ. . . . . М.                                 |                              |          |           |            |   |      |   |
| <b>Стоимость пара:</b>                                                 |                              |          |           |            |   |      |   |
| 1000 кг. (безъ кочегара) . . . . . М.                                  |                              |          |           |            |   |      |   |

**§ 5.** Для питанія котловъ водою имѣются три насоса:

1) Стѣнной насосъ простого дѣйствія съ цилиндромъ двухсторонняго дѣйствія, 100 литровъ и 100 оборотовъ въ минуту.

2) Горизонтальный паровой насосъ двойного дѣйствія съ вырломъ и маховикомъ.

3) Спаренный горизонтальный паровой насосъ двойного дѣйствія.

Эти насосы даютъ возможность производить слѣдующія испытанія:

1) Снятіе индикаторныхъ діаграммъ при установившемся ходѣ и нормальной работѣ. Сравненіе парораспределеній насосовъ.

2) Наблюденія за измѣненіемъ паровыхъ и насосныхъ діаграммъ съ измѣненіемъ давленія и числа оборотовъ.

3) Снятіе діаграммъ при дѣйствіи большого воздушнаго колокола и безъ него.

4) Изслѣдованіе вліянія всасываемаго воздуха на діаграммы насосовъ, на ихъ работу и на полезное дѣйствіе выраженное въ объемѣ воды.

5) Опредѣленіе вредныхъ сопротивленій въ нагнетающихъ и всасывающихъ клапанахъ при различномъ числѣ оборотовъ. Зависимость этихъ сопротивленій отъ нагрузки клапановъ и скорости протекающаго воды.

б) Определенія наибольшаго числа оборотовъ, при которомъ еще возможна правильная работа насосовъ. Кромѣ насосовъ имѣются три инжектора. Каждый изъ нихъ имѣетъ свои отдѣльныя трубы: всасывающую, нагнетающую и паровую. Паровые насосы имѣютъ свои отдѣльные водопроводы, въ которые можетъ помѣщаться приборъ Schmidt'a для измѣренія количества протекающей воды.

**§ 6. Главный** паровой двигатель станціи представляетъ изъ себя лежащую паровую машину двойного расширенія съ клапаннымъ парораспределеніемъ Kuchenbecker'a на цилиндрѣ высокаго давленія и съ парораспределеніемъ Corliss'a на цилиндрѣ низкаго давленія. При 110 оборотахъ машина развиваетъ 110 *HP* съ холодильникомъ и 85 *HP* безъ него. Работа передается съ маховика ремнемъ на дидамо постоянного тока, дѣлающую 500 оборотовъ.

Оба цилиндра имѣютъ паровыя оболочки. При помощи придатковъ, винченнхъ въ крышки цилиндровъ, можно измѣнять объемъ вреднаго пространства.

Регуляторъ дѣйствуетъ на впускные клапаны цилиндра высокаго давленія. Стержни этихъ клапановъ выступаютъ вверхъ надъ пружинными оправами и приспособлены для снятія діаграммъ движенія клапановъ. Сжатіе пара можетъ измѣняться въ широкихъ предѣлахъ.

У цилиндра низкаго давленія имѣются два отдѣльныхъ эксцентрика: одинъ для впускныхъ, другой для выпускныхъ крановъ. Уголъ предваренія обоихъ эксцентриковъ можетъ быть измѣненъ. Кромѣ того точки прикрѣпленія стержней къ кранамъ, могутъ быть переставлены, иначе говоря, длина стержней измѣнена. Переставляя грузъ регулятора можно измѣнять число оборотовъ на 20—въ ту или другую сторону.

Машина снабжена двумя холодильниками: струйчатымъ и поверхностнымъ. Оба воздушныхъ насоса приводятся въ движеніе эксцентриками, посаженными на валу маховика. Вода, конденсирующаяся въ поверхностномъ холодильнике можетъ быть поднята наверхъ, въ машинный залъ для взвѣшиванія.

Съ главной машиной производятся слѣдующія упражненія:

1) Снятіе діаграммъ при различныхъ степеняхъ давленія пара, числахъ оборотовъ и при различномъ дѣйствіи дидомшины. Индикаторы системы Kranz'a и Crosby. Для измѣненія масштаба діаграммъ употребляется очень удобный и компактный приборъ, извѣстный подъ именемъ Reductionsrolle.

2) Определеніе коэффициента полезнаго дѣйствія машины при различныхъ нагрузкахъ.

3) Изслѣдованіе холодильниковъ и ихъ воздушныхъ насосовъ:

а) Въ струйчатомъ холодильнике: снятіе діаграммъ работы насоса



одновременно съ измѣреніемъ количества охлаждающей воды, ея температуры при входѣ и выходѣ, а также индикаторнаго и электрическаго дѣйствія машины. Вычисленіе работы воздушнаго насоса, объема воздуха въ конденсатѣ, количества теплоты уносимой водою, пагнетаемой въ конденсаторъ и одновременно съ этимъ—расхода пара въ машинѣ. Опредѣленіе копечныхъ давленій въ цилиндрѣ при холодильникѣ и безъ него.

в) Въ поверхностномъ холодильнике наблюдается тоже что и въ предыдущемъ съ добавленіемъ слѣдующихъ статей: повѣрка расхода пара въ машинѣ по количеству конденсирующейся воды и уносимой ею теплоты, потеря давленія въ отводной трубѣ.

4) Дѣйствіе регулятора при внезапныхъ нагрузкахъ и разгрузеніяхъ машины. Опредѣленіе степени неравномѣрности аппаратомъ Нортъа.

5) Степень неравномѣрности маховика при различныхъ нагрузкахъ и при различныхъ положеніяхъ груза регулятора.

6) Расходъ пара при различныхъ условіяхъ.

7) Вліяніе величины впуска пара въ цилиндръ низкаго давленія при различныхъ нагрузкахъ машины.

8) Потеря давленія въ парораспределительныхъ механизмахъ при различныхъ степеняхъ наполненія.

9) Всасывающее дѣйствіе пара при проходѣ черезъ впускные и выпускающіе клапаны цилиндра высокаго давленія.

§ 7. Кромѣ главной паровой машины станція имѣетъ еще небольшую быстроходную паровую машину и локомобиль. Быстроходная паровая машина, горизонтальнаго типа со скользящимъ коробчатымъ золотникомъ, соединена ремнемъ съ динамо постояннаго тока завода Шукерта и при 250 оборотахъ развиваетъ мощность въ 35 HP. Надъ ней производятся слѣдующіе опыты:

1) Опредѣленіе работы посредствомъ нажима Прони и по даннымъ индикаторныхъ діаграммъ.

2) Сравненіе гиперболы съ дѣйствительными линіями расширенія на діаграммахъ при различныхъ степеняхъ расширенія.

3) Опредѣленіе расхода пара при различныхъ начальныхъ давленіяхъ. Ущемленіе пара при впускѣ.

4) Опредѣленіе, посредствомъ индикаторныхъ діаграммъ и посредствомъ тахографа, степени неравномѣрности маховика при различныхъ нагрузкахъ.

5) Опредѣленіе степени неравномѣрности и чувствительности регулятора.

6) Опредѣленіе паденія давленія пара въ распределительныхъ механизмахъ посредствомъ индикаторныхъ наблюденій надъ цилиндромъ, золотниковой коробкой и паропроводной трубой. Одновременно съ этимъ вычисляется по золотниковымъ діаграммамъ быстрота протеканія пара.

§ 8. Въ отдѣльномъ помѣщеніи неподвижно установленъ локомотивъ имѣющій одноцилиндровую машину въ 30 *HP* мощностью, работающую безъ конденсатора. Неразгруженный золотникъ системы Rider'a управляется пружиннымъ регуляторомъ.

Цилиндръ и золотниковая коробка имѣютъ паровую оболочку.

У котла локомотива выдвигная система трубокъ и топочная камера изъ гофрированного желѣза. Питающій насосъ приводится въ движеніе эксцентрикомъ и прогоняетъ воду черезъ трубчатый подогреватель, въ которомъ циркулируетъ, отработавшій въ машинѣ паръ.

Надъ локомотивомъ производятся слѣдующіе опыты:

1) Опредѣленіе расхода пара и коэффициента полезнаго дѣйствія машины при постоянномъ давленіи въ котлѣ и мѣняющейся нагрузкѣ.

2) Опредѣленіе расхода пара и коэффициента полезнаго дѣйствія машины при 8 атм. давленія въ котлѣ и различныхъ степеняхъ ущемленія пара при входѣ въ цилиндръ.

3) Расходъ пара и коэффициентъ полезнаго дѣйствія при постоянной нагрузкѣ и при измѣненіи давленія въ котлѣ отъ 4-хъ до 8-ми атмосферъ.

4) Измѣненіе величины внутреннихъ вредныхъ сопротивленій машины съ измѣненіемъ числа оборотовъ.

5) Испарительная способность и расходъ топлива въ котлѣ при условіяхъ 3-й задачи.

6) Рѣшеніе 3-й и 5-й задачи при переменнѣйшей нагревательной поверхности и опредѣленіе нагревательной способности различныхъ частей трубъ по сравненію съ топочной камерой.

§ 9. Рядомъ съ помѣщеніемъ главной машины находится мастерская, снабженная строгательными, сверлильными и шлифовальными станками для различныхъ исправленій и мелкихъ слесарныхъ работъ. Станки приводятся въ движеніе электричествомъ. За другой стѣной машинной залы находится помѣщеніе аккумуляторовъ, соответствующихъ 930-ти амперо-часамъ при 140 вольтахъ.

## ГЛАВА VIII.

### Ганноверъ \*).

§ 1. Техническій опытъ всегда занималъ видное мѣсто въ Ганноверскомъ политехникумѣ. Въ прежніе годы, его высоко цѣнилъ извѣстный ученый Rühlmann, много писавшій на эту тему и часто, въ концѣ учебнаго года предпринимавшій со всѣми слушателями спеціальныя экскурсіи для изслѣдованія машинъ путемъ научнаго наблюденія. Многие при-

\*) Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure. 1900. Статя проф. Fresse.

гіе приборы и приспособленія, до сихъ поръ съ пользой служащіе въ лабораторіи заведены и устроены Ruhlmann'омъ; по его почину, съ 1880 года въ курсъ политехникума введенъ особый предметъ: «Опытныя изслѣдованія по машиностроенію и технической гидравликѣ» имѣвшею цѣлью знакомить учащихся съ устройствомъ и дѣйствіемъ различныхъ приборовъ служащихъ для технического опыта. Упражненія состояли въ динамометрическихъ изслѣдованіяхъ двигателей, работъ съ индикаторами, опредѣленія количества воздуха, протекающаго по трубамъ и воды протекающей въ рѣкѣ, калиброваніи мѣрительныхъ инструментовъ и пр.

По мѣрѣ того какъ значеніе технического опыта съ года на годъ все возрастало, рамки этого курса становились тѣсными: не хватало ни время, ни мѣста, ни денегъ для приобретенія необходимыхъ приборовъ. Послѣ долгихъ хлопотъ и ходатайствъ, наконецъ, въ 1896—98 году было отпущено правительствомъ 35.000 марокъ на строительныя работы и 52.000 на оборудованіе механической лабораторіи. Последняя сумма, съ теченіемъ времени была увеличена до 85.000 марокъ. Главною цѣлью новаго учрежденія являлось преподаваніе и въ виду незначительности средствъ, пришлось на первое время отбросить мысль объ изслѣдованіяхъ для промышленныхъ цѣлей. Устройство лабораторіи было поручено профессору Фрезе; она помѣщена въ четырехъ залахъ нижняго этажа политехникума и въ пристройкѣ сдѣланной на дворѣ; общая площадь равна 740 квадр. метрамъ.

§ 2. Курсъ запятій въ лабораторіи двухлѣтній. Онъ начинается съ испытанія матеріаловъ; затѣмъ слѣдуютъ различныя упражненія по измѣренію работы, а лѣтомъ производятся нѣкоторыя изслѣдованія по гидравликѣ. Въ теченіе второго года учащіеся занимаются главнымъ образомъ тѣми изысканіями, въ которыхъ примѣняется индикаторъ. Описаніе лабораторіи будемъ вести въ порядкѣ прохожденія въ ней курса.

§ 3. Лабораторія имѣетъ для испытанія матеріаловъ три машины: Шепка въ Дармштадтѣ, Тарпогородскаго въ Эссенѣ и Leupner'a въ Дрезденѣ. Онѣ помѣщены въ большомъ сводчатомъ залѣ, гдѣ кромѣ того устанавлены приборы для вычисленія полезнаго дѣйствія подъемныхъ машинъ, для опытовъ надъ вытеканіемъ воздуха, нѣсколько станковъ и водяной бассейнъ. Машина Шепка—силою въ 50 тоннъ есть незначительно видоизмѣненная машина Мора и Федергаффа съ самопишущимъ аппаратомъ; на ней можно производить растяженіе, сжатіе и изгибъ. Работа передается машинѣ ремнемъ съ главнаго вала лабораторіи. При точныхъ измѣреніяхъ употребляется зеркальный приборъ Martens'a.

Машина Тарпогородскаго приводится въ движеніе водою, поступающей изъ бака, съ 2,6 атмосферами давленія въ цилиндръ, имѣющій діаметръ въ 70 сант. Величина усилія показывается стрѣлкой на цифер-

блатъ. На этой машинѣ испытанія производятся только на растяженіе, главнымъ образомъ необработаннаго прокатнаго фасоннаго желѣза, ремней (до 15 сант. ширины), канатовъ и т. д.

Горизонтальная машина Leupner'a, силою въ 3 тонны приводится въ движеніе отъ руки. Величина усилія опредѣляется по удлиненію стального стержня въ 1 метръ длиною, измѣряемому при помощи зеркалъ и зрительныхъ трубъ. Деформация *испытываемаго* бруска указывается другимъ зеркальнымъ приборомъ, чрезвычайно остроумнаго устройства. Машина снабжена самопишущимъ аппаратомъ и даетъ возможность производить испытанія небольшихъ образцовъ на растяженіе, сжатіе, изгибъ и крученіе.

§ 4. Динамометрическія изслѣдованія пачинаются съ опредѣленія коэффиціента полезнаго дѣйствія подъемныхъ машинъ. Для этого устроены высокія и прочныя деревянныя козла, къ которымъ можно подвѣшивать блоки и полиспасты. Въ лебедкахъ сила измѣряется такъ называемой динамометрической рукояткой, въ блокахъ—динамометромъ прикрѣпленнымъ къ цѣпи и снабженнымъ пишущимъ аппаратомъ, барабанъ котораго, приводится въ движеніе часовымъ механизмомъ. Для испытанія винтовыхъ подъемовъ и непосредственно дѣйствующихъ лебедокъ ихъ нагружаютъ при помощи рычага второго рода, сдѣланнаго изъ желѣзной балки двухтавроваго сѣченія; къ рукояткѣ прикрѣпляется динамометръ.

Изслѣдованія подъемныхъ механизмовъ оказались чрезвычайно поучительными для пачинающихъ.

§ 5. Измѣреніе работы при помощи динамометровъ тренія и передачи производятся сначала на станкахъ, помѣщенныхъ въ этомъ же залѣ: токарномъ, строгальномъ и фрезерномъ, служащемъ кромѣ того и для изготовленія пробныхъ брусковъ. Для опытовъ употребляется старый динамометръ White-Batehelder'a измѣряющій давленіе на зубецъ.

Для дальнѣйшихъ упражненій по вычисленію работы въ теченіе перваго года служатъ: во первыхъ динамометръ Rieter'a въ совокупности съ 8-ми сильнымъ газовымъ двигателемъ и передаточнымъ валомъ, отъ котораго работа передается машинѣ Шенка и различнымъ насосамъ, во вторыхъ—водяные двигатели лабораторіи.

Динамометръ Rieter'a измѣряетъ давленіе на зубецъ посредствомъ растяженія пружины, передающагося пишущему аппарату. Для измѣренія потерь работы на передаточномъ валу, заказанъ переносный установъ съ осью на которой сидятъ два шкива: движущій и динамометрическій. Передвигая установъ вдоль передаточнаго вала можно опредѣлять работу въ различныхъ мѣстахъ послѣдняго и такимъ образомъ вычислить потерю энергіи въ подшипникахъ.

§ 6. Лабораторія имѣетъ водоемъ въ 30 куб. метровъ вмѣстимостью, занимающій часть площади главнаго зала и два желѣзныхъ бака одипъ

въ 10, другой въ 20 куб. метровъ вмѣстимостью; первый бакъ установленъ во дворѣ, второй — на особой башнѣ. Высота уровня воды въ нихъ отсчитывается отъ дна водоема; эта высота для перваго бака равна 26,57 метр. а для второго 7,76 метр. И бакъ и водоемъ наполняются изъ городского водопровода; вода изъ баковъ стекаетъ всегда въ водоемъ, проходя черезъ измѣритель системы Dreyer, Rosenkrantz и Dгоор.

Для установки надъ водоемомъ различныхъ гидравлическихъ машинъ черезъ него перекинута желѣзная балка двухтаврового сѣченія.

Уровень водоема указывается поплавкомъ; для указанія высоты воды въ бакахъ примѣняются ртутные манометры, соединяющіеся съ баками свинцовыми трубками. Бакъ, помѣщенный на башнѣ, имѣетъ кромѣ того электрическій поплавокъ дающій короткій звонокъ послѣ каждаго кубическаго метра воды, бакъ при наполненіи бака, такъ и при его опоражниваніи. Для подъема воды служатъ: центробѣжный насосъ, въ 17,6 сант. діаметромъ, гонящій воду въ бакъ на дворѣ, пульзометръ Кёртинга и дифференціальная поршневая помпа, получающая работу съ передаточнаго вала. Пульзометръ и помпа поднимаютъ воду на башню.

Центробѣжный насосъ служитъ учащимся въ теченіи перваго года для вычисленія затраченной и полезной работы при различныхъ числахъ оборотовъ и различныхъ высотахъ подъема. Помпа примѣняется въ теченіи перваго года только для опредѣленія объемнаго и механическаго коэффициента полезнаго дѣйствія. Остальныя, относящіяся къ ней изслѣдованія, а также всѣ работы съ пульзометромъ производятся въ теченіе втораго года.

Изъ водяныхъ двигателей пока установлены слѣдующіе:

1) Небольшое колесо Пельтона въ 0,1 *HP*; работа измѣряется динамометромъ Дегна, а для измѣренія количества воды, колесо устанавливается падъ водомѣрнымъ аппаратомъ газовыхъ двигателей (см. ниже).

2) Колесо Пельтона въ 1 *HP*; работа измѣряется веревочнымъ тормазомъ, а количество воды измѣряется въ водоемѣ.

3) Водостолбная машина сист. Шмидта. Работа измѣряется тормазомъ Брауера. Съ этой машины, въ теченіе втораго года снимаются индикаторныя діаграммы.

4) Радіальная турбина въ 1 *HP*, съ внутреннимъ парціальнымъ подводомъ воды, которая берется или изъ водопровода или съ башни. При опытахъ конечно всегда бываетъ послѣднее, причемъ водопроводъ служитъ для поддержанія уровня воды на постоянной высотѣ.

Для вычисленія высотъ напора служитъ особый ртутный манометръ, который можетъ быть вставленъ въ различныя точки трубъ подводящихъ воду къ двигателямъ.

Для изслѣдованія водяныхъ двигателей значительной силы политехникумъ получилъ разрѣшеніе пользоваться городской станціей, утилизи-

рующей энергію рѣки Лейны. Станція имѣетъ три турбины сист. Квеви съ двойными вѣнцами, приводящія въ движенія шесть двойныхъ помпъ съ пырялами. Работа турбинъ измѣряется нажимомъ Пропи. Капаль, подводящей воду къ турбинамъ, даетъ возможность съ большимъ удобствомъ вести вычисленія количествъ протекающей воды при помощи усовершенствованной Вольтмановой вертлшкп.

Для упражненій по вычисленію объема воздуха, протекающаго по трубамъ, пользуются вентиляціоннымъ приспособленіемъ политехникума. Труба, избранная для опытовъ, освѣщается внутри лампочками накаливанія и въ нее помѣщаются четыре анемометра, прикрѣпленные попарно къ рамкамъ изъ тонкаго полосового желѣза, которыя могутъ перемѣщаться вдоль трубы посредствомъ шнурковъ. Для калиброванія анемометровъ имѣется специальный, очень точный приборъ.

Приборъ системы Julius Pintsch въ Берлинѣ, служащій главнымъ образомъ для калиброванія газовыхъ часовъ, имѣетъ приспособленія для изученія законовъ вытеканія газовъ изъ отверстій различной формы.

На полу главной залы лабораторіи сдѣлана бетонная площадка съ закраинами; рукавъ, примкнутый къ водопроводу позволяетъ приводить воду къ любой точкѣ этой площадки. Здѣсь производятся различные мелкіе гидравлическіе опыты, здѣсь же установленъ и приборъ Вейсбаха для изученія вытеканія жидкостей.

§ 7. Запятія второго года, пачинаются съ упомянутыхъ уже выше водоподъемныхъ машинъ.

Пульзометръ получаетъ паръ изъ котла, находящагося по сосѣдству, по трубѣ снабженной водоотдѣлителемъ. Въ трубы, всасывающую и нагнетающую, непосредственно около пульзометра вставлены термометры. Имѣется особое приспособленіе для того, чтобы тщательно перемѣшивать воду, прошедшую черезъ пульзометръ и получать около верхняго термометра равномерную температуру всѣхъ ея слоевъ. При опытахъ наблюдаются количество теплоты, остающейся въ парѣ и колебаніе давленія въ камерѣ пульзометра. Для этого къ ней примкнутъ индикаторъ, барабанъ котораго приводится въ непрерывное движеніе сильнымъ часовымъ механизмомъ.

Помпа съ дифференціальными поршнями изготовлена зав. Kjøbenhavn-ge'я въ Гапшверѣ. Она снабжена ступенчатыми шкивами, позволяющими измѣнять число размаховъ отъ 30 до 180 въ минуту; переставляя цапфу кривошипа можно измѣнять величину хода отъ 15-ти до 30-ти сантиметровъ. Прикрывая клапанъ въ нагнетающей трубѣ, можно измѣнять давленіе отъ 2,5 до 10 атмосферъ. Клапаны устроены такъ, что легко мѣнять ихъ самихъ или только ихъ нагрузку; въ стѣнкахъ клапанныхъ камеръ вставлены стекла. Приливы для индикаторовъ сдѣланы

въ шести мѣстахъ; они направлены вертикально *внизъ*, чтобы обезпечить индикаторы отъ скопленія въ нихъ воздуха. Имѣются приспособленія для снятія діаграммъ подъема клапановъ.

§ 8. Лабораторія имѣетъ слѣдующіе термическіе двигатели:

1) Газовый двигатель зав. **Deutz** въ 8 *HP*, приводящій въ движеніе главный валъ лабораторіи.

2) Два атмосферныхъ газовыхъ двигателя той же фабрики по  $\frac{1}{3}$  *HP* каждый.

3) Керосиновый двигатель въ  $3\frac{1}{2}$  лощ. силы сист. **Hornsby**.

4) Машина **Rider'a** приводимая въ движеніе горячимъ воздухомъ, въ 1 *HP*.

5) Паровую машину въ 40 *HP*, тройного расширенія.

6) Турбину де-Лавала.

Изъ газовыхъ двигателей наиболѣе значительный—8-й сильный. Онъ расположенъ горизонтально, имѣетъ крейцкопфы, парораспредѣленіе клапанами и воспламененіе посредствомъ раскаленныхъ тѣлъ. Регулированіе хода производится или черезъ воспламенителя или измѣненіемъ состава взрывчатой смѣси. Прикрѣпляя въ дополненіе къ обѣимъ особый поршень съ соотвѣтственной штангой можно въ широкихъ размѣрахъ измѣнять объемъ пространства, въ которомъ происходитъ сжатіе газа. Для измѣренія расхода газа и воздуха служатъ тщательно вывѣренныя газовыя часы сист. **Elster'a** въ Берлинѣ. Чтобы уравнивать сопротивленіе, оказываемое газовыми часами воздуху, послѣдній приводится съ небольшимъ избыткомъ давленія, получаемымъ посредствомъ маленькаго рутовскаго вентилятора. Конечно имѣются приборы указывающіе давленіе и температуру газа, температуру воздуха и охлаждающей воды; средняя температура отработавшаго газа опредѣляется пирометромъ **Lechatelier**, вставленнымъ въ отводную трубу, въ которой кромѣ того имѣется кранъ для взятія газовыхъ пробъ. Количество охлаждающей воды измѣряется въ двухъ сосудахъ, поставленныхъ рядомъ, тщательно вывѣренныхъ и снабженныхъ водомѣрными трубками и шкалами. Когда количество воды въ одномъ сосудѣ превыситъ 200 метровъ, она автоматически выливается въ другой. Теплотворная способность газовъ измѣряется калориметромъ **Junker'a**, а работа на валу двигателя тормазомъ сист. **Deutz'a**.

При одномъ изъ атмосферныхъ газовыхъ двигателей устроено приспособленіе, пока еще довольно грубое для полученія діаграммы *скоростей* поршня въ различныхъ точкахъ хода.

§ 9. Паровая машина завода **Knoevenhagef'a** расположена по срединѣ комнаты и доступна со всѣхъ сторонъ. Для удобства опытовъ выбрано горизонтальное положеніе. Три цилиндра машины имѣютъ одинъ и тотъ же ходъ въ 40 сант. и диаметры въ 20,30 и 45 сант. Цилиндры высокаго

и среднего давленія расположены гуськомъ съ одной, а цилиндръ низкаго давленія съ другой стороны. Кривошипъ составляютъ другъ съ другомъ прямой уголь. Для учебныхъ цѣлей, парораспредѣленіе сдѣлано очень разнообразное: у первыхъ двухъ цилиндровъ золотники Ридера, а у третьяго для впуска клапаны, а для выпуска поворотные крапы.

Машина можетъ работать: 1) тройнымъ расширеніемъ, 2) двумя цилиндрами какъ компаундъ или 3) какъ машина Вульфа (тандемъ). Во второмъ случаѣ (компаундъ) штанга цилиндра высокаго давленія отцѣпляется и паръ впускается прямо въ цилиндръ средняго давленія; въ третьемъ случаѣ паръ, выпускается въ конденсаторъ изъ цилиндра средняго давленія, а поршни цилиндра низкаго давленія движутся въ холостую.

Всѣ цилиндры съ ихъ крышками и оба ресивера снабжены паровыми оболочками, но машина можетъ работать и безъ оболочекъ. Число оборотовъ—120 въ минуту.

Машина имѣетъ чрезвычайно остроумный и совершенный динамометръ системы Degn'a \*). Этотъ динамометръ вполне безопасенъ и надеженъ въ работѣ, не требуетъ постояннаго наблюденія, автоматически регулируетъ самъ себя и не производитъ загрязненій.

§ 10. Для того чтобы всѣ учащіеся были дѣйствительно заняты опытами ихъ раздѣляютъ на группы — отъ 4-хъ до 6-ти человекъ въ каждой. Кромѣ часовъ, указанныхъ въ программѣ, лабораторія, бываетъ открыта для студентовъ ежедневно въ теченіе восьми часовъ. Разбивка на группы производится въ началѣ года самими студентами и каждой группѣ затѣмъ отводятся опредѣленные часы для занятій причемъ одновременно работать въ лабораторіи не должно болѣе 3-хъ группъ.

За общее правило принято: не начинать новыхъ опытовъ, пока не обработаны предыдущіе. Полученные результаты, діаграммы и пр. хранятся въ лабораторіи разложенные по группамъ и не выносятся изъ нея пока не будетъ вполне закончена ихъ обработка. Въ помощь профессору, завѣдующему лабораторіей, при немъ состоятъ три ассистента. Для содержанія въ порядкѣ механизмовъ, починки ихъ, приготовленія небольшихъ приборовъ и проч.—имѣются два лаборанта.

Этотъ личный составъ однако весьма скоро по всей вѣроятности окажется недостаточнымъ, такъ какъ число желающихъ заниматься въ лабораторіи увеличивается съ каждымъ годомъ и уже теперь преподавательскій персоналъ принужденъ работать съ крайнимъ напряженіемъ своихъ силъ. Въ 1899 году лабораторію посѣщали 97 человекъ въ теченіе зимнихъ семестровъ и 80 въ теченіе лѣтнихъ.

---

\*) D. R. P. Nr. 94718.



## ГЛАВА IX.

### Ц ю р и х ъ .

§ 1. Союзная политехническая школа въ Цюрихѣ (Eidgenossische Polytechnische Schule) имѣетъ для каждой изъ двухъ своихъ механическихъ лабораторій отдѣльное просторное двухъэтажное зданіе.

§ 2. Лабораторія для испытанія матеріаловъ (Schweizerische Materialprufungsanstalt) создана и приобрѣла европейскую извѣстность главнымъ образомъ **благодаря** трудамъ проф. Tetmauer'a. Какъ по своему происхожденію, такъ и по характеру дѣятельности лабораторія есть главнымъ образомъ **учрежденіе** практическое, производящее испытанія матеріаловъ по **заказамъ** союзнаго правительства и частныхъ лицъ; хотя работы и **упражненія** студентовъ и производятся въ ней вполне согласно съ **требованіями** программы Политехникума, но онѣ не составляютъ главной цѣли лабораторіи.

§ 3. Зданіе лабораторіи имѣетъ два этажа и прекрасныя подвальные помѣщенія. Кромѣ собственно лабораторіи и мастерскихъ, въ немъ устроены залъ для лекцій, комната для теоретическихъ подготовительныхъ занятій студентовъ и квартира для служителей. Приспособленія для процессовъ требующихъ высокой температуры, притока воды и пр., а также дающихъ много пыли и сору помѣщены въ подвалахъ. Распредѣленіе и размѣры помѣщеній видны изъ слѣдующей таблицы:

#### *Подвальный этажъ.*

- Комната № 1) Горячіе процессы.  
» 2) Складъ матеріаловъ.  
» 3) Цементы.  
» 4) Бассейны для воды.  
» 5) Кузница.  
» 6) Угольные ямы.  
» 7) Лабораторія.  
» 8) Пыльные процессы.  
» 9) Пилы, шлифовка и проба низкими температурами.  
» 10) Темная комната для фотографіи.

#### *Первый этажъ.*

- » 11) Комната завѣдующаго лабораторіей.  
» 12) » ассистента.  
» 13) Физическая лабораторія.

- Комната № 14) Химическая лабораторія.  
» 15) Механическія мастерскія.  
» 16) Двигатели.  
» 17) Заль для испытанія матеріаловъ.

*Второй этажъ.*

- » 18) Аудиторія.  
» 19) Архивъ.  
» 20) Коллекціи.

Расходы по устройству лабораторіи выразились слѣдующими цифрами:

|                                     |               |
|-------------------------------------|---------------|
| 1) Мѣсто . . . . .                  | 42.175 франк. |
| 2) Земляныя работы и кладка стѣпъ . | 59.421 »      |
| 3) Каменотесныя работы . .          | 21.194 »      |
| 4) Желѣзныя балки .                 | 4.257 »       |
| 5) Плотникамъ . .                   | 14.537 »      |
| 6) Кровельщикамъ . .                | 5.004 »       |
| 7) Рамы, стекла, шкафы .            | 12.988 »      |
| 8) Штукатурка . . . . .             | 9.578 »       |
| 9) Слесарныя и кузнечныя работы.    | 4.235 »       |
| 10) Малярамъ . . . . .              | 3.105 »       |
| 11) Обойщикамъ . . . . .            | 343 »         |
| 12) Полы . . . . .                  | 703 »         |
| 13) Паркеты . . . . .               | 3.003 »       |
| 14) Скульптурныя работы . .         | 735 »         |
| 15) Газъ и вода . . . . .           | 2.573 »       |
| 16) Отопленіе . . . . .             | 8.922 »       |
| 17) Разныя расходы . . . . .        | 9.000 »       |

Всего около . . . 202.000 франк.

Внутреннее устройство:

|                                               |              |
|-----------------------------------------------|--------------|
| 1) Фундаменты подъ машины, резервуаръ и пр. . | 4.999 франк. |
| 2) Электрическое освѣщеніе. . . . .           | 3.945 »      |
| 3) Газъ и вода . . . . .                      | 2.259 »      |
| Всего . . . . .                               | 11.203 »     |

Всего на-всего, считая вмѣстѣ съ приборами, къ концу 1894 года было израсходовано около 330.000 франковъ.

§ 4. Оборудование лабораторіи распределѣно слѣдующимъ образомъ:

1) Горячіе процессы.

Приборы для химическихъ испытаній сжиганіемъ. Небольшой паровой котель. Печь для сушки песка. Шкафъ Дан'а для низкихъ температуръ.

Печь для обжиганія цемента. Муфельная печь для температуръ до 1000° С.

2) Складъ матеріаловъ.

Ящикъ для нормального песка, ящики для доставляемыхъ въ лабораторіи подводныхъ связующихъ матеріаловъ.

3) Комната для испытанія цементовъ.

4 мѣста для работы учениковъ и вольнослушателей; 2 формовочныя машины для изготовленія образцовъ подводныхъ цементовъ; 2 механическихъ сита; 2 прибора для опредѣленія объема измельченныхъ цементовъ; механическое сито для песка; 2 мѣста для работы штатныхъ служащихъ лабораторіи; водяной двигатель въ одну лош. силу; различные инструменты.

4) Комната для бассейновъ.

2 деревянныхъ и 2 кирпичныхъ водоема для помѣщенія подъ водой испытываемыхъ тѣлъ.

5) Кузница.

Кузнечный горнъ съ вентиляторомъ; кузнечные инструменты.

7) Лабораторія.

Три рабочихъ стола; четыре прибора системы Vicat для опредѣленія скорости отвердѣванія цементовъ; два прибора системы Amsler'a для той же цѣли; приборъ для опредѣленія повышенной температуры цементовъ.

8) Комната для пыльных процессовъ.

Двѣ мельницы съ шариками; сито; ящикъ для извести; шиферный станокъ.

9) Пила для камней, системы Heinrich'a; машина для мелкой обработки камней алмазами; приборъ Баушингера для испытанія на изнашивание; приборъ для полировки металловъ системы профессора Escher'a; охлаждающая машина системы Lind'a для испытанія низкими температурами.

10) Фотографическая комната.

Все необходимое для проявленія, промывки пластинокъ, фиксажа, печатанія и пр.

11) Кабинетъ завѣдующаго.

Письменный столъ и лабораторная библіотека.

12) Комната ассистента.

Письменный столъ; двое химическихъ вѣсовъ.

13) Физическая лабораторія.

Восемь мѣстъ для учениковъ; приборы для физическихъ работъ; приборы для текущихъ испытаній цементовъ на постоянство ихъ объема; горѣлка для гремучаго газа; газометръ; аппаратъ для испытанія водонепроницаемости; трое вѣсовъ; лифтъ въ цементную мастерскую.

14) Химическая лабораторія.

Три рабочихъ стола для штатныхъ лимбовъ.

15) Механическая мастерская.

Три фрезовыхъ станка; два сверлильныхъ; четыре токарныхъ и три строгальныхъ. Круглая и ленточная пилы; машина для нарезки винтовъ; полировальный камень; два строгальныхъ станка для дерева; шесть мѣсть для рабочихъ; турбина системы Rosshard-Ziegler въ 1 лошадиную силу;

16) Газовый двигатель сист. Martini въ двѣ силы; керосиновый двигатель сист. Lûde въ 7 лош. силъ; динамо-машина. Передаточный валъ мастерской проходитъ черезъ помещеніе двигателей; на валу сидятъ двѣ кулачныхъ и одна фрикціонная муфта.

17) Заль для испытанія матеріаловъ.

Машина системы Вердера, силою въ 100 тоннъ съ приспособленіями для растяженія, сжатія и изгиба.

Машина сист. Pohlmeyer'a силою въ 100 тоннъ для растяженія и изгиба, приводимая въ движеніе водой изъ водопровода, проходящей черезъ мультипликаторъ; эта машина служитъ главнымъ образомъ для текущихъ испытаній желѣза и стали на разрывъ.

Машина сист. Mohr и Federhaff силою въ 25 тоннъ; служитъ главнымъ образомъ для испытанія на растяженіе и на изгибъ чугуна, мѣди и ея сплавовъ.

Три гидравлическихъ машины Амслера въ 150, 20 и 2 тонны.

Машина для разрыва силою въ 2 тонны системы Rousch-Hartig.

Машина для разрыва проволоки системы Амслера. Наибольшее усиліе 4,5 тонны.

Пружинный динамометръ для разрыва проволоки; наибольшее усиліе до 2 тонны.

Приборъ Амслера для крученія проволоки.

Приборъ для наматыванія проволоки на цилиндры различныхъ радиусовъ.

Приборъ для разрыва цементовъ.

Приборъ для измѣренія вяжущей силы цементовъ.

Машина системы Mohr и Federhaff для пробы металловъ изгибомъ въ холодномъ состояніи.

Машина Амслера для техническихъ пробъ металловъ перегибомъ въ холодномъ состояніи на 180°.

Водяной двигатель системы Schmidt'a въ  $\frac{1}{8}$  лошадиной силы для приборовъ на которыхъ испытывается проволока.

Непрерывный насосъ системы Амслера, для машины въ 150 тоннъ, той же системы.

Мостовой кранъ силою въ три тонны.

Точные измѣрительные приборы проф. Баушингера.

У паружной стѣны зала сдѣланъ постоянный горнь съ вентиляторомъ Рута.

18) Аудиторія.

Она служить иногда для засѣданій различныхъ обществъ и потому снабжена передвижными стульями. На кафедре проведены вода, газъ и электричество; особая, плотная занавѣски на окнахъ доставляютъ темноту днемъ для демонстрированія при помощи волшебнаго фонаря.

§ 5. Приборы и методы лабораторныхъ работъ, химическихъ, физическихъ и механическихъ подробно описаны въ 5-й тетради «Mittheilungen der Material prüfungs-Anstalt am schweiz. Polytechnikum in Zurich». Приводимъ здѣсь краткій перечень физическихъ и механическихъ испытаній; для установленія методовъ этихъ испытаній всѣ материалы разбиты на нѣсколько группъ.

*Группа первая.* Естественные и искусственные строительные камни; кровельная черепица и шиферъ.

1) Геологическій возрастъ; размѣры и свойство поверхности; звукъ при ударѣ.

2) Опредѣленіе абсолютной и кажущейся плотности при помощи пиктометра.

3) Опредѣленіе вѣса въ кускахъ, а также удѣльнаго вѣса при помощи приборовъ Michaelis'a, Schumann'a и Erdmenger'a.

4) Степень пористости.

5) Твердость.

6) Впитываніе влаги (гигроскопичность).

7) Испытаніе низкими температурами.

8) Устойчивость относительно атмосферныхъ вліяній.

9) Растворимость въ водѣ.

10) Опредѣленіе прочности при растяженіи, сжатіи, срѣзаніи и изгибѣ.

*Группа вторая.* Связывающіе матеріалы.

1) Количество постороннихъ примѣсей.

2) Цвѣтъ и строеніе.

3) Удѣльные вѣса при различныхъ условіяхъ.

4) Опредѣленіе измѣненій длины образцовъ гидравлическихъ вяжущихъ веществъ въ различныхъ растворахъ, при помощи приборовъ Баушингера (Tastenapparat) и Debray.

5) Испытаніе постоянства объема вещества при различныхъ условіяхъ.

6) Скорость затвердванія.

7) Измѣненіе температуры цементовъ при отвердваніи.

8) Степень измельченія.

9) Степень пористости.

- 10) Проницаемость водою.
- 11) Испытаніе низкими температурами и устойчивость относительно атмосферических вліяній.
- 12) Быстрога изнашиванія.
- 13) Опредѣленіе вязущей силы.
- 14) Сопротивленіе раздавливанію.

*Группа третья.* Дерево, **примѣняющееся** въ постройкахъ.

- 1) Наружные признаки **согласно** постановленій интернаціональной конференціи 1884—1895 года.
- 2) Содержаніе влаги.
- 3) Кажущаяся плотность, **удѣльный** вѣсъ и пористость.
- 4) Прочное сопротивленіе:
  - а) разрыву; стержни—по **Баушингеру**;
  - б) сжатію; образцы имѣютъ **форму** кубовъ или призмъ съ основаніемъ въ  $10 \times 10$  сант. и высотой **около 25 сант.**
  - в) длинныхъ брусковъ—**продольному сжатію**;
  - г) срѣзанію;
  - е) изгибу.

*Четвертая группа.* Металлы. Главнымъ образомъ чугуны, ковкое желѣзо какъ матеріалъ для построекъ и для желѣзныхъ дорогъ, мѣдь, алюминій и различные сплавы.

- 1) Опредѣленіе качествъ и свойствъ самого матеріала.

**А. Чугуны:**

- а) химическій составъ;
- б) сопротивленіе растяженію и сжатію;
- в) работа при деформациі изгибомъ.

**В. Ковкое желѣзо.**

- а) Химическій составъ
- б) Микроструктура (шлифы и травленіе).

в) Гибкость въ холодномъ состояніи. Пластинка съ шириной въ четыре раза больше толщины (чаще всего 4 сант. шириной, 1 сант. толщиной и около 12 сант. длиной) сгибаются на машинѣ Амслера или на небольшой машинкѣ Мора и Федергаффа до излома или на  $180^\circ$ , если излома не послѣдуетъ. На машинѣ Амслера, толщина гнущаго (закругленнаго) ребра ( $d$ ) берется въ опредѣленномъ отношеніи къ толщинѣ листа ( $s$ ), по слѣдующей таблицѣ:

| Листы:             | Сварочное<br>желѣзо. | Литое<br>желѣзо. |
|--------------------|----------------------|------------------|
| вдоль . . . . .    | $d = 3 s$            | $d = 1,5 s$      |
| поперекъ . . . . . | $d = 5 s$            | $d = 1,5 s$      |
| Фасонное желѣзо    | $d = 3 s$            | $d = 1,5 s$      |

Широкое полосовое желѣзо:

|                         |             |             |
|-------------------------|-------------|-------------|
| вдоль, . . . . .        | $d = 3 s$   | $d = 1,5 s$ |
| поперекъ . . . . .      | $d = 8 s$   | $d = 2 s$   |
| Круглое желѣзо. . . . . | $d = 1,5 s$ | $d = 1 s$   |

d) Гибкость въ горячемъ состояніи.

Проба производится въ ручную—ударами молота, послѣ того какъ желѣзо въ древесномъ углѣ будетъ нагрѣто до вышневаго каленія.

e) Гибкость въ закаленномъ состояніи.

Желѣзо нагрѣвается до вышневаго цвѣта и закаливается въ водѣ при  $25^{\circ} C$ . Затѣмъ проба производится также какъ въ холодномъ состояніи.

f) Проба на ковкость.

g) Проба на свариваемость.

h) Опредѣленіе сопротивленія растяженію и работы упругихъ силъ.

C. Проволока, проволочные и пеньковые канаты, проволочные ремни, цѣпи и т. д.

Предметы этой категоріи обыкновенно испытываются только на растяженіе статическимъ усиленіемъ, причемъ опредѣляются удлиненія и работа силъ упругости. Проволока кромѣ того подвергается пробѣ на крученіе и на наматываніе.

2) Испытаніе прочности и опредѣленіе свойствъ матеріала въ видѣ готовыхъ издѣлій напр. шинъ, ободьевъ, осей, бандажей, колесъ, реекъ, крюковъ, сосудовъ, трубъ, балокъ и пр.

*Группа пятая.* Смазочныя вещества.

1) Цвѣтъ.

2) Химическій составъ.

3) Потери въ вѣсѣ при засыханіи.

4) Количество (вѣсовое) смазки для надлежащаго покрытія данной поверхности.

5) Время засыханія.

6) Вязкость.

7) Устойчивость противъ дѣйствія кислотъ.

*Группа шестая.* Бумага.

§ 6. Лабораторія для изученія двигателей и механизмовъ занимаетъ отдѣльное зданіе, заключающее въ себѣ просторный машинный залъ, котельное помѣщеніе, кабинеты профессоровъ и небольшую коллекцію механическихъ моделей. Лабораторія находится въ вѣдѣніи профессоровъ Stodola (термическія двигатели) и Prasil (гидравлика) и представляетъ изъ себя одно изъ самыхъ полныхъ и совершенныхъ учреждений этого рода на материкѣ Европы. Завѣдующіе постарались собрать въ пей всѣ

главнѣйшіе виды механизмовъ, примѣняемые на практикѣ и приспособить ихъ къ производству самыхъ разнообразныхъ изслѣдованій.

§ 7. Снаружи, недалеко отъ главнаго входа возвышается большая деревянная градирня (Gradirwerk) для охлажденія воды выходящей изъ конденсаторовъ паровыхъ машинъ; это приспособленіе, какъ извѣстно, употребляется въ мѣстностяхъ бѣдныхъ водою и позволяетъ одну и ту же воду примѣнять въ конденсаторѣ нѣсколько разъ.

Въ котельномъ помѣщеніи находятся два цилиндрическихъ котла системы завода Sulzer'a въ Winterthur'ѣ, съ пламенными трубами и подогрѣвателями, одинъ водотрубный котель системы Nicloss'a и небольшой вертикальный котель.

§ 8. На (фиг. 10) схематически изображено въ планѣ расположеніе главной паровой машины и связанныхъ съ нею механизмовъ.

Паровая машина *S*, въ 150 *HP* мощностью, имѣетъ три горизонтальныхъ цилиндра, высокаго (*с*), средняго (*с*) и низкаго (*н*) давленія расположенныхъ на одинаковомъ разстояніи отъ рабочаго вала. Паропроводы и штоки устроены такъ, что изъ трехъ цилиндровъ можно получать различныя сочетанія по одному, по два и, наконецъ, заставлятъ работать всѣ три цилиндра одновременно тройнымъ расширеніемъ.

Кривошипы представляютъ изъ себя диски съ нѣсколькими отверстиями, въ которыхъ можетъ быть вставлена цапфа для соединенія съ шатуномъ; разстоянія центровъ этихъ отверстій отъ математической оси вала машины немного различаются между собою, такъ что переставляя цапфу изъ одного отверстия въ другое можно измѣнять величину хода поршня, а слѣдовательно и объемъ вреднаго пространства въ цилиндрѣ.

Валь машины покоятся на четырехъ подшипникахъ; на него посажены:

1) маховикъ *K* приспособленный для передачи работы пеньковыми веревками;

2) непосредственно рядомъ съ маховикомъ динамо переменнаго тока;

3) между двумя другими подшипниками динамо постояннаго тока.

Около кривошипа *F* сдѣлано приспособленіе для того, чтобы раздѣлять ось на двѣ независимыя другъ отъ друга половины.

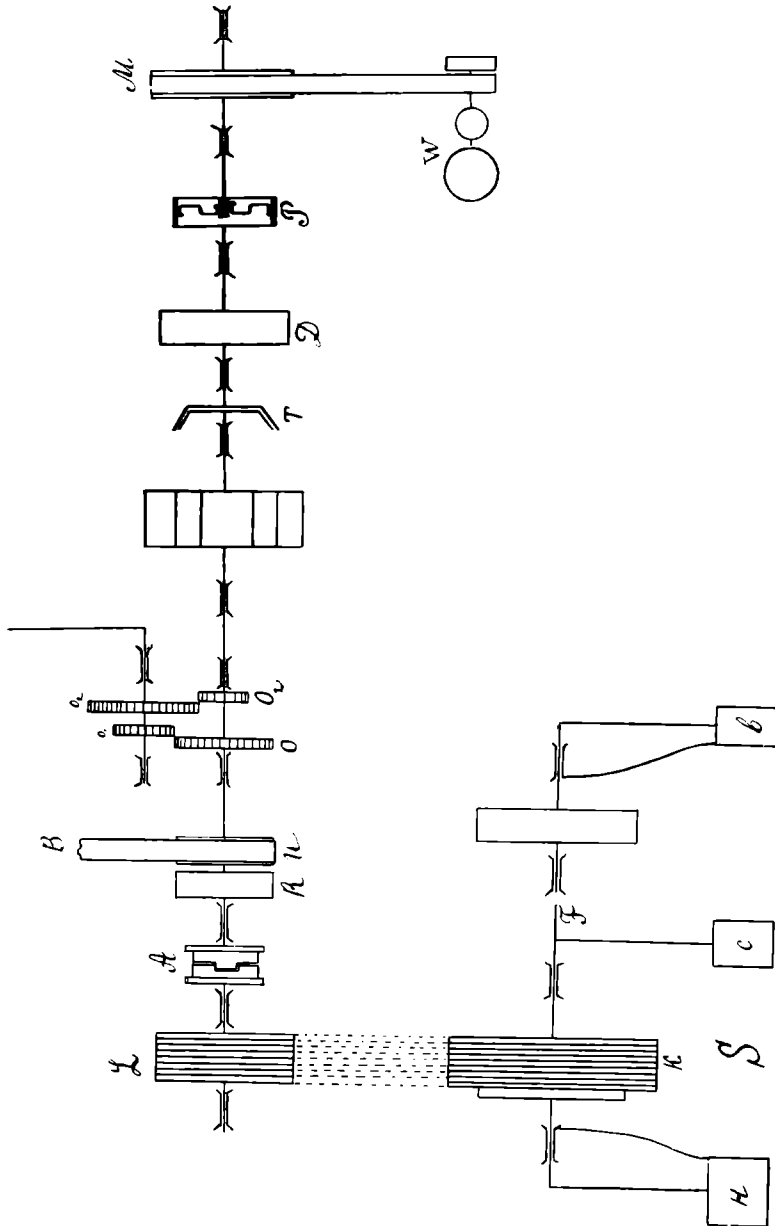
У всѣхъ цилиндровъ парораспределеніе различное: у цилиндра высокаго давленія системы Зульцера, у цилиндра средняго давленія системы Корлисса, у низкаго—Радовановича.

Цилиндры высокаго и средняго давленія имѣютъ регуляторы, измѣняющіе величину наполненія; регуляторы могутъ быть легко сняты и замѣнены другими. Степень неравномѣрности опредѣляется самоишущимъ приборомъ Horn'a.

Передъ машиной, въ пяти шагахъ отъ нея, установленъ на полу длинный передаточный валь, идущій вдоль всего зала и какъ разъ по



серединѣ его. Шкивь *L* принимаетъ работу передаваемую отъ машины веревками; *A* — гидравлическій динамометръ Амслера очень компактнаго и остроумнаго устройства; онъ соединенъ съ кулачной муфтой.



Фиг. 10.

*R* и *U*—два шкива, холостой и рабочей, съ которыхъ работа можетъ быть передана ремнемъ *B* къ центробѣжному насосу, наполняющему напорный бакъ турбины низкаго давленія.

Между слѣдующими двумя подшипниками посажены два цилиндриче-

скихъ зубчатыхъ колеса  $O_1$  и  $O_2$  которыя могутъ сцепляться съ колесами  $o_1$  и  $o_2$  сидящими на отдѣльной короткой оси съ кривошипомъ, передающимъ движеніе прямолинейному насосу, качающему воду въ башню турбины высокаго давленія.

$T$  — коническая муфта тренія.

$M$  — шкивъ, съ котораго работа можетъ быть передана на маховикъ другой паровой машины  $W$ . Эта вторая паровая машина — вертикальная, компаундъ и быстроходная (200 обор. въ минуту). На ея оси сидятъ непосредственно рядомъ другъ около друга, только что упомянутый маховикъ и динамо постояннаго тока. Динамо посажена на ось машины въ холостую и получаетъ работу отъ черезъ нея посредство маховика, съ которымъ она соединена эластичной муфтой. Маховикъ можетъ быть по желанію превращенъ изъ рабочаго (относительно вала машины  $W$ ) шкива въ холостой.

Въ послѣднемъ случаѣ динамо получаетъ работу отъ главной машины  $S$  черезъ посредство привода, совершенно независимо отъ машины  $W$ .

$P$  — фрикціонная муфта системы Dohmen-Leblanc.

$D$  — центробѣжный насосъ поднимающій воду тоже въ башню турбины высокаго давленія. Его можно приводить въ движеніе особымъ электродвигателемъ; въ этомъ случаѣ муфты  $P$  и  $T$  разцѣпляются.

Всѣ подшипники привода имѣютъ вращающіеся вкладыши и отличную автоматическую смазку, за которой очень легко слѣдить, благодаря тому, что валъ установленъ на полу.

Описанный только что, приводной валъ со всѣми его принадлежностями открываетъ огромное поле для изслѣдованій и даетъ возможность учащимся осязательно ознакомиться со всѣми условіями передачи работы. Здѣсь можно найти: зубчатые колеса, передвигаемые вдоль своей оси; перебрасываніе ремня съ холостого шкива на рабочій; муфты всѣхъ главнѣйшихъ системъ и т. д.

Главная паровая машина имѣетъ поверхностный конденсаторъ, установленный въ хорошо освѣщенномъ подвальномъ помѣщеніи. Вода конденсирующаяся въ немъ взвѣшивается на десятичныхъ вѣсахъ.

Вода, охлаждающая конденсаторъ, прогоняется сквозь него помпой Вортингтона. Объемъ ея отмѣчается автоматически особымъ приборомъ, состоящимъ изъ двухъ желѣзныхъ клепанныхъ сосудовъ извѣстной емкости подвѣшенныхъ къ концамъ желѣзнаго коромысла, колеблющагося около призматической опоры, какъ коромысло вѣсовъ; сосуды наполняются и опораживаются поочередно автоматически; коромысло при этомъ совершаетъ колебанія, число которыхъ отмѣчается стрѣлкой на циферблатѣ.

Особая маленькая горизонтальная паровая машина движетъ воздушный насосъ конденсатора и вращаетъ длинный передаточный валъ, лежа-

щій на стѣнныхъ консоляхъ; отъ этого вала получаетъ работу между прочимъ и вентиляторъ градирни. У машины кулисное парораспределение, устроенное для полноты коллекціи парораспределеній, дѣйствующихъ въ лабораторіи.

Кромѣ перечисленныхъ механизмовъ, въ лабораторіи имѣются еще:

- 1) одинъ нефтяной и два газовыхъ двигателя;
- 2) небольшая быстроходная паровая машина завода Oerlikon, дѣлающая до 400 оборотовъ въ минуту;
- 3) паровая турбина де-Лавалья;
- 4) мостовой электрической кранъ на 10 тоннъ;

Стоимость оборудования:

|                                             |        |                |
|---------------------------------------------|--------|----------------|
| Паровыя машины . . . . .                    | 78.300 | франк.         |
| Паровые котлы . . . . .                     | 40.900 | »              |
| Трубы . . . . .                             | 18.000 | »              |
| Гидравлическіе приборы и машины . . . . .   | 56.100 | »              |
| Трубы и провода . . . . .                   | 27.000 | »              |
| Электрическое освѣщеніе . . . . .           | 57.000 | »              |
| Проводы и краны . . . . .                   | 36.000 | »              |
| Измѣрительные приборы . . . . .             | 30.000 | »              |
| Отопленіе, вентиляція, мастерская . . . . . | 10.000 | »              |
| Перевозъ и сборка . . . . .                 | 35.000 | »              |
| Фундаменты и кладка котловъ . . . . .       | 18.000 | »              |
| Разные непредвидѣнные расходы . . . . .     | 18.700 | »              |
| Всего . . . . .                             |        | 425.000 франк. |

Ежегодная смѣта:

|                                               |       |               |
|-----------------------------------------------|-------|---------------|
| Сторожа, чистка и содержаніе машинъ . . . . . | 4.000 | франк.        |
| Ассистенты . . . . .                          | 3.200 | »             |
| Машинисты (два) . . . . .                     | 4.700 | »             |
| Кочегаръ . . . . .                            | 2.000 | »             |
| Помощникъ кочегара и чистильщикъ . . . . .    | 3.000 | »             |
| Всего . . . . .                               |       | 17.500 франк. |

Матеріалы:

|                                    |       |               |
|------------------------------------|-------|---------------|
| Уголь . . . . .                    | 9.900 | франк.        |
| Смазочные матеріалы . . . . .      | 900   | »             |
| Газъ и керосинъ . . . . .          | 1.500 | »             |
| Вода . . . . .                     | 1.200 | »             |
| Матеріалы для мастерской . . . . . | 1.200 | »             |
| Всего . . . . .                    |       | 14.700 франк. |

§ 9. Гидравлическое отдѣленіе лабораторіи, установленное въ томъ же самомъ залѣ не менѣе богато и разнообразно. Швейцарія — страна водяныхъ двигателей по преимуществу, благодаря своимъ многочисленнымъ горнымъ рѣчкамъ и рѣкамъ съ большимъ паденіемъ воды; высокое развитіе техническихъ познаній въ области гидравлики дало швейцарцамъ возможность въ послѣднее время повсемѣстно примѣнить водяную энергію къ цѣлямъ электрическаго освѣщенія и электрической тяги.

У задней, капитальной стѣны лабораторіи поставлена осевая турбина низкаго давленія, на высотѣ около двухъ метровъ надъ поломъ лабораторіи; верхній бассейнъ находится за стѣной, нижній—въ полу. Центробѣжный насосъ возвращаетъ отработавшую въ турбинѣ воду изъ нижняго бассейна въ верхній. Турбина окружена площадкой, на которой установленъ фрикціонный динамометръ съ десятичными вѣсами; пята—надводная. Вѣнецъ рабочаго колеса устроенъ такъ, что его легко снимать съ турбины; это даетъ возможность изслѣдовать работу турбины при различныхъ формахъ лопастей и дѣлать ее то акціонной, то реакціонной.

Для изученія работы водяныхъ двигателей при значительныхъ напорахъ устроена башня, высотой въ 43 метра съ бакомъ наверху. Вода поднимается насосомъ съ прямолинейнымъ движеніемъ поршня и центробѣжной помпой, получающими работу отъ главнаго приводнаго вала. Прямолинейный насосъ служитъ въ тоже время для изученія дѣйствія клапановъ. Вода, текущая съ башни, приводитъ въ движеніе колесо Пельтона и небольшую парціальную турбину съ горизонтальною осью.

Въ полу лабораторіи сдѣланы бетонные каналы для изученія движенія воды въ нихъ, паденія водяной струи черезъ водосливы различной формы и т. д.

## ГЛАВА X.

### Лабораторія Техническаго артиллерійскаго Отдѣла въ Парижѣ (Section technique de l'artillerie).

Механическая лабораторія технического артиллерійскаго отдѣла (Section technique de l'Artillerie) имѣютъ цѣлью производить всѣ тѣ испытанія, которыя приняты въ артиллерійскихъ инструкціяхъ.

Кромѣ того лабораторія должна доставлять военному министру данныя, необходимыя и достаточныя для разрѣшенія несогласій, возникающихъ между поставщиками и артиллерійскими заведеніями, а также вести научныя изслѣдованія вообще надъ всѣми матеріалами, примѣняющимися въ военномъ дѣлѣ.



5) Контрольный динамометръ системы Lebasteur.

6) Контрольный динамометръ, проектированный техническимъ артиллерійскимъ отдѣломъ.

§ 3. Машины Falcot, Trauvon и Cherefy принадлежать къ рычажному типу.

Въ первой изъ нихъ усилие прикладывается къ бруску посредствомъ длиннаго горизонтальнаго ходоваго винта, одинъ конецъ котораго проходитъ черезъ вращающуюся гайку, а другой имѣетъ захватъ для конца бруска. Гайкѣ вращеніе сообщается электродвигателемъ, черезъ посредство набора зубчатыхъ колесъ, позволяющаго производить вращеніе гайки съ тремя различными скоростями.

Часть машины, *измѣряющая* усилие состоитъ изъ захвата въ которомъ зажимается другой конецъ **образца** и трехъ рычаговъ, передающихъ усилие горизонтальному коромыслу съ дѣленіями, по которому, при помощи длиннаго винта отъ руки **перемѣщается** уравнивающий грузъ.

Машина имѣетъ самопишущій приборъ для діаграммъ и приспособленія для повѣрки измѣряющей части. Это приспособленіе состоитъ изъ колѣнчатаго рычага помѣщеннаго внизу, въ установкѣ машины; рычагъ на одномъ концѣ несетъ чашку для гирь, а другимъ — соединяется съ зажимомъ измѣряющей части. Наибольшій грузъ, который приходится класть въ чашку для полнаго тарированія машины равняется четыремъ тоннамъ.

Въ горизонтальной машинѣ системы полковника Maillard'a усилие прикладывается посредствомъ гидравлическаго пресси, а измѣряется посредствомъ прибора, въ которомъ поршень значительнаго діаметра сжимаетъ въ короткомъ чугунномъ цилиндрѣ воду, отдѣленную отъ поршня упругой перепонкой; величина давленія указывается металлическимъ манометромъ. У этой машины есть приспособленія для испытанія матеріаловъ сжатіемъ и продавливаніемъ **отверстій** (poissonnage).

Машина Trauvon есть вертикальная машина для растяженія, устройство которой вполне аналогично устройству машины Falcot. Усилие передается нижнему концу, вертикально расположеннаго бруска, винтомъ, входящимъ во вращающуюся гайку. Вращеніе получается отъ электродвигателя черезъ посредство шкива, зубчатыхъ колесъ и червяка.

Часть машины, измѣряющая усилие, состоитъ изъ рычага и коромысла съ передвижнымъ грузомъ.

Для повѣрки и тарированія машины къ верхнему захвату, соединенному съ измѣряющею частью прикрѣпляется коромысло—отъ концовъ котораго идутъ внизъ, въ яму сдѣланную подъ машиной, желѣзныя тяги, на которыя можно подвѣшивать ящики съ гирями.

Машина Thomasset есть нѣчто среднее между машиной Falcot и ма-

пиной Maillard'a. Усиліе передается горизонтальнымъ винтомъ входящимъ во вращающуюся на мѣстѣ гайку; вращеніе передается отъ электродвигателя ремнемъ и червячнымъ зацѣпленіемъ. На концѣ винта захватъ для зажиманія одного конца испытываемаго бруска. Приспособленіе, измѣряющее усиліе состоитъ изъ колѣнчатого рычага; одинъ конецъ его имѣетъ захватъ для бруска, а другой, посредствомъ желѣзной штанги давить на поршень манометрическаго прибора Amagat.

Машина для изгиба силою до 25 тоннъ состоитъ изъ двухъ массивныхъ горизонтальныхъ, параллельныхъ станинъ двухтаврового сѣченія между которыми расположенъ ходовой винтъ, служащій для передвиженія по верхнимъ ребрамъ станинъ двухъ салазокъ. Каждые салазки несутъ на себѣ двѣ прочныя стойки нарѣзанныя винтомъ, съ поперечиной, которую можно установить въ какой угодно точкѣ стоекъ. Поперечина имѣетъ стальную трехгранную призму обращенную лезвиемъ внизъ и служащую опорой для изгибаемаго бруска.

Усиліе прикладывается къ бруску снизу лезвиемъ призмы, укрѣпленной на верхнемъ концѣ массивнаго поршня, выдвигающагося изъ чугунаго цилиндра. Цилиндръ поставленъ между станинами и между салазками. Въ верхней части поршня, непосредственно подъ призмой сдѣлано манометрическое приспособленіе, по типу Amagat для измѣренія изгибающаго усилія.

Универсальный коперъ конструированъ по указаніямъ г. Clégault предъявившаго механизмъ этого рода слѣдующія требованія:

1) Направляющія должны быть совершенно вертикальны, и не подвержены дрожаніямъ; онѣ должны по возможности близко подходить къ идеальной плоскости и треніе объ нихъ должно быть совершенно ничтожно.

2) Баба должна имѣть массу и форму вполне симметричную относительно средней плоскости направляющихъ.

3) Центр тяжести бабы долженъ быть расположенъ возможно ниже; онъ долженъ находиться на прямой параллельной направляющимъ плоскостямъ, дѣлящей разстояніе между ними пополамъ и лежащей въ средней плоскости направляющихъ.

4) Высота направляемой части бабы должна быть значительно больше чѣмъ разстояніе между направляющими.

5) Спусковой механизмъ не долженъ производить боковыхъ колебаній бабы.

6) Наковальня, одна или взятая вмѣстѣ съ прочнымъ каменнымъ фундаментомъ должна имѣть массу разъ въ пятнадцать или въ двадцать большую чѣмъ масса бабы.

Кромѣ перечисленныхъ выше машинъ и приборовъ, лабораторія снабжена всѣми принадлежностями микрофотографіи, а также электрическою печью.

## ГЛАВА XI.

### Механическая лабораторія *Jorkshire College* въ *Leeds*.

§ 1. Въ Англіи и Америкѣ—лабораторіи для изслѣдованія паровыхъ и механическихъ двигателей явились раньше, чѣмъ на материкѣ Европы. Dr. Кеннеди еще въ 1875 году высказалъ необходимость такихъ лабораторій и три года спустя произошло открытіе первой изъ нихъ. Благодаря щедрости крупныхъ промышленниковъ и средствамъ богатыхъ обществъ, лабораторіи съ этого времени размножились чрезвычайно быстро при англійскихъ техническихъ школахъ. До 1887 года были устроены лабораторіи при слѣдующихъ заведеніяхъ:

University College, Лондонъ. Открыта въ 1878 г.

Mason Science College, Бирмингамъ. Открыта въ 1882 г.

Cooper's Hill. Открыта въ 1883 г.

University College, Bristol. Открыта въ 1884 г.

City and Guilds Central Institution, Лондонъ. Открыта въ 1884 г.

Firth College Scheffilld. Открыта въ 1885 г.

Jorkshire College, Leeds. Открыта въ 1886 г.

Послѣ 1881 года было основано еще нѣсколько лабораторій, изъ которыхъ главнѣйшія суть:

Owens College, Манчестеръ.

King's College, Лондонъ.

University College, Ливерпуль.

Durham College, Ньюкэстль.

Engineering Laboratory, Кэмбриджъ.

Nottingham College, Ноттингамъ.

Dulwich College.

Cardiff College.

Brandford technical College.

Очень интересная лабораторія строится при университетѣ въ Гласго.

Эти лабораторіи въ общемъ довольно однообразны; въ каждой почти имѣются: машина для испытанія матеріаловъ, силою до 100 тоннъ и нѣсколько специальныхъ машинъ меньшей силы, паровой котель и паровая машина силою отъ 50 до 150 *HP*.



Обыкновенно при английскихъ лабораторіяхъ имѣется обширная мастерская для изготовленія образцовъ и для практическихъ работъ студентовъ.

§ 2. Въ Iorkshire College, въ Leeds'ѣ курсъ состоитъ изъ лекцій, класныхъ упражненій, работъ въ инженерной (механической) и физической лабораторіяхъ, рисованія и лѣтнихъ практическихъ занятій въ окрестностяхъ.

Лекціи имѣютъ практическій характеръ; рядомъ съ исполнѣніемъ точными приемами математическихъ изслѣдованій обращается особенное вниманіе на простыя, практическія вычисленія, встрѣчающіяся въ дѣятельности инженера. Когда студентъ овладѣетъ обоими методами, — второй, т. е. простой и приблизительный будетъ ему служить отличной повѣркой разныхъ математическихъ выкладокъ, потому что если въ послѣднихъ окажется ошибка она обыкновенно бываетъ такъ значительна, что приблизительный, но простой подсчетъ сейчасъ же ее укажетъ.

Во время лекцій стараются приучить глазъ студента къ правильнымъ очертаніямъ машинъ и сооруженій. Для этого лекціи сопровождаются многочисленными демонстраціями при помощи фонаря съ вольтовой дугой, который всегда находится наготовѣ и можетъ примѣняться при дневномъ свѣтѣ. Кроме того съ наиболѣе важныхъ демонстрируемыхъ объектовъ, снимаются фотографическіе отпечатки и раздаются студентамъ, которые помѣщаютъ ихъ въ свои записныя книги и дѣлаютъ рядомъ наброски.

Экзаменныя испытанія производятся весьма оригинальнымъ и чисто-английскимъ способомъ. Въ концѣ перваго года каждому студенту задается отъ четырехъ до пяти задачъ требующихъ обстоятельнаго и продуманнаго рѣшенія. Время для исполненія — одна недѣля. При этомъ можно пользоваться своими записками и какими угодно книгами, можно работать въ школѣ или дома, по безо всякой посторонней помощи. Соблюденіе послѣдняго требованія предоставляется исполнѣнію и безконтрольно чести студентовъ.

Въ концѣ втораго года задается задача на три часа, причемъ можно пользоваться только своими записками и таблицами логарифмовъ. Это побуждаетъ студентовъ въ теченіе года внимательно и аккуратно вести замѣтки на лекціяхъ.

Въ концѣ третьяго года задача задается тоже на три часа, но уже безъ пользованія записками или книгами.

Рекомендуется во время экзаменныхъ испытаній пользоваться счетными линейками и различными счетчиками.

Упражненія въ лабораторіи ведутся по слѣдующей программѣ:

1-ый годъ. Полезное дѣйствіе блоковъ (простого, тройного полиспа-ста, блока Вестона, эпициклоидальнаго и т. д.).

Полезное дѣйствіе механизмовъ (винта, червячнаго зацѣпленія, зубчатыхъ колесъ, гидравлическаго прессы, машины Денисона).

Коэффициентъ упругости ( $E$ ) проволоки.

Испытаніе металловъ растяженіемъ.

Различныя индикаторныя діаграммы (паровой машины, газоваго двигателя, насосовъ).

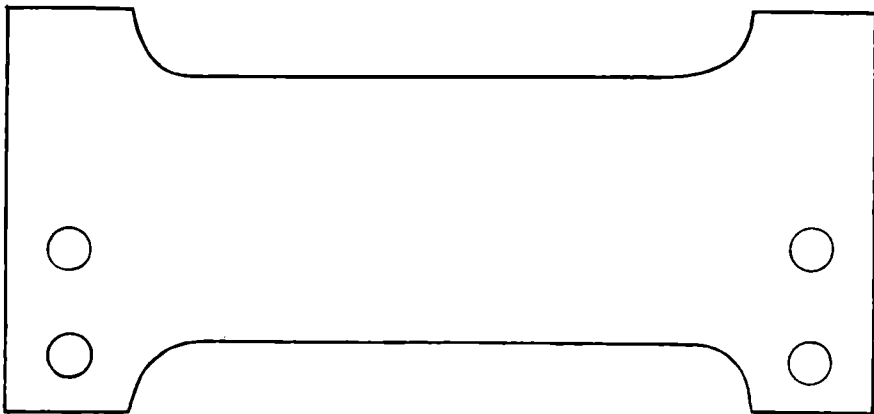
Полезное дѣйствіе паровой **машины** при различныхъ нагрузкахъ.

Ислѣдованіе пароваго котла и **машины** въ обыкновенныхъ условіяхъ.

Опыты съ пульсометромъ, **инжекторомъ** и форсунками.

Калориметрическія изслѣдованія топлива.

2-ой годъ. Испытанія **растяженіемъ**, сжатіемъ и срезаніемъ (жельзо,



Фиг. 11.

мѣдь, чугуны, твердая сталь, бронза, мятая сталь, алюминій, дерево, канаты, цѣпи, крюки и петли).

Испытанія на изгибъ (чугуны, жельзо, балки различныхъ сѣченія, дерево, сталь).

Проба крученіемъ (жельзо и мятая сталь, бронза, чугуны). Совокупность крученія и изгиба.

Растяженіе усилиемъ, не совпадающимъ съ осью образца (см. фиг. 11) крюки.

Продавливаніе отверстій.

Рессоры и пружины.

Анализъ горючихъ газовъ.

Проба пара.

Повѣрка индикаторовъ.

Діаграммы, паровой машины съ неправильнымъ парораспределеніемъ.

Исслѣдованіе корнваллійскаго котла.

Исслѣдованіе газоваго двигателя (Отто).

Взрывъ газовыхъ смѣсей.

3-ій годъ. Коэффициентъ сжатія водяной струи при тонкихъ стѣнкахъ и при различныхъ насадкахъ.

Повѣрка времени необходимаго для **опоражниванія** резервуара.

Скорость теченія воды (трубка Пито, **мельница**, свободная струя).

Давленіе струи на поверхность (плоскую, **вогнутую**, наклонную, коническую).

Колесо Пельтопа.

Центробѣжный насосъ, паровой насосъ, **вліяніе** загибовъ, и внезапныхъ расширеній въ трубахъ.

Динамометрическія исслѣдованія различныхъ **исполнительныхъ** механизмовъ (станковъ).

Трение въ регуляторахъ.

Маховикъ.

Коэффициентъ полезнаго дѣйствія вентиляторовъ (Blackman'a, Carpel'я и Schiele).

Опредѣленіе натяженіи въ стропилахъ Варрена.

Давленіе на опоры непрерывной балки.

Натяженія въ стѣнкахъ массивныхъ цилиндровъ.

Трение канатовъ и ремней.

Испытаніе камней, цементовъ и бетона.

Кирпичные столбы и своды.

Обязательное время для работъ въ лабораторіи—два дня въ недѣлю.



# СБОРНИКЪ

**Института Инженеровъ Путей Сообщенія Императора Александра I** выходитъ съ 1884 года въ числѣ нѣсколькихъ выпусковъ въ годъ и заключаетъ въ себѣ ученныя работы профессоровъ, адъюнктовъ и преподавателей Института, учебныя курсы по разнымъ предметамъ и матеріалы для этихъ курсовъ. Содержаніе вышедшихъ до сего времени выпусковъ Сборника см. въ особомъ приложеніи къ настоящему экземпляру.

Желающіе получить тѣ или другіе выпуски Сборника могутъ обращаться или непосредственно въ Институтъ Инженеровъ Путей Сообщенія Императора Александра I, адресуясь въ „Книжный складъ Института“, или къ книгопродавческимъ фирмамъ г. С.-Петербурга.

---