

75<sub>21</sub> 909

4094

**ЗАПИСКИ**  
**РУССКАГО**  
**НАУЧНАГО ИНСТИТУТА**  
**ВЪ БЪЛГРАДѢ.**

---

**ВЫПУСКЪ 4.**

---

**Бѣлградъ.**  
**1931**







10-105925036

ЗАПИСКИ  
РУССКАГО  
НАУЧНАГО ИНСТИТУТА  
ВЪ БЪЛГРАДЪ.

---

ВЫПУСКЪ 4.

---

Бѣлградъ  
1931.



ИЗДАВАЧ  
ОТДЕЛЕНИЕ  
АДМИНИСТРАТИВНО-ОТБОРНО-  
СЛАВЯНСКО-СЛАВЯНСКО



Исп. М. Г. Ковалевъ, Бѣлградъ, Поенкарева ул. 42.

За Штампарију „Слово“ И. Попов и А. Бољшаков,  
Београд, Престолонаследников Трг, 28.



## СО Д Е Р Ж А Н І Е.

1. Г. Г. ЗЛОКОВИЧЪ. Н. И. Васильевъ (некрологъ) . . . . .	I
2. В. В. ФАРМАКОВСКІЙ. К. Д. Серебряковъ (некрологъ) . . . . .	V
3. В. Х. ДАВАТЦЪ. Къ вопросу объ огибающихъ семейства плоскихъ кривыхъ, зависящаго отъ одного параметра . . . . .	1
4. Н. Н. САЛТЫКОВЪ. Интегрированіе уравненій съ частными производными по способу измѣненія произвольныхъ постоянныхъ.	33
5. В. ЖАРДЕЦКІЙ. О перманентномъ вращеніи изолированной жидкой массы . . . . .	45
6. Д. П. РУЗСКІЙ. Работа центробѣжнаго насоса при переменныхъ условіяхъ . . . . .	75
7. Г. Н. ПЮ-УЛЬСКІЙ. О рациональномъ опредѣленіи коэффициента полезнаго дѣйствія паровыхъ турбинъ . . . . .	91
8. ФАНЪ-ДЕРЪ-ФЛИТЪ. Статически неопредѣлимый стержневой четырехугольникъ съ двумя произвольными діагоналями и съ шарнирами въ узлахъ II. О сопротивленіи при движеніи судна противъ теченія въ ограниченномъ рѣчномъ корытѣ . . . . .	105
9. В. В. ФАРМАКОВСКІЙ. О выборѣ наивыгоднѣйшаго подъема при проектированіи желѣзнодорожныхъ линій . . . . .	127
10. Н. П. АБАКУМОВЪ. Относительная поправка за деформацию цѣпной линіи при измѣреніи базиса инварными проволоками . . . . .	153
11. А. А. НИЛУСЪ. Наука и ея примѣненіе въ военномъ дѣлѣ . . . . .	163
12. Л. В. ЧЕРНОСВИТОВЪ. Резорбція мужскихъ половыхъ продуктовъ и ея значеніе для организма . . . . .	197
13. В. МАРТИНО. Объ измѣненіи окраски мѣха у млекопитающихъ Югославіи . . . . .	219
14. Н. В. КРАИНСКІЙ. Электростатическія изслѣдованія и ихъ примѣненіе къ биологіи . . . . .	233
15. М. Н. ЛАПИНСКІЙ. Активаторы психическихъ функций . . . . .	283
16. Г. Г. ЗЛОКОВИЧЪ. Нѣкоторыя данныя по морфологіи почвъ Ананьевскаго уѣзда Херсонской губерніи . . . . .	313
17. Я. ХЛЫТЧЕВЪ. О гипотезѣ Журавскаго . . . . .	333
18. И. С. СВИЩЕВЪ. Контроли правильности составленія условныхъ и нормальныхъ уравненій при уравниваніи нивеллирныхъ сѣтей способомъ наименьшихъ квадратовъ . . . . .	345
19. А. А. БРАНДТЪ. Очеркъ исторіи примѣненія паровыхъ двигателей со времени ихъ появленія до 1875 года . . . . .	357









† Н. И. Васильевъ.

(Некрологъ)

Семью русскихъ ученыхъ за рубежомъ постигла еще одна тяжелая утрата.

4-го сентября 1930 года, въ возрастѣ 57 лѣтъ, послѣ продолжительной и мучительной болѣзни скончался б. профессоръ Донского Политехническаго Института, а нынѣ профессоръ Бѣлградскаго Университета Николай Иларіоновичъ Васильевъ.

Н. И. Васильевъ родился 23 октября 1875 г. въ Полтавѣ, и по окончаніи Полтавской гимназіи поступилъ въ Ново-Александрійскій Институтъ Сельскаго хозяйства и Лѣсоводства. По окончаніи въ 1897 году Института былъ командированъ за границу для усовершенствованія въ наукахъ и подготовкѣ къ профессорской дѣятельности. Въ 1898 году



поступилъ въ Цюрихскій Университетъ, гдѣ въ теченіе четырехъ семестровъ слушалъ лекціи и спеціально работавъ въ лабораторіи агрикультурной химіи у профессора Ernst'a Schulze. Въ періодъ 1899—1900 г.г. Н. И. изучавъ постановку сельско-хозяйственного опытнаго дѣла въ Зап. Европѣ, объѣздивъ съ этой цѣлью главнѣйшія сельско-хозяйственныя опытныя станціи Франціи, Германіи, Італіи и Австро-Венгріи, и по возвращеніи изъ командировки былъ назначенъ ассистентомъ Кіевскаго Политехническаго Института по кафедрѣ общаго земледѣлія. Въ 1909 году Н. И. выдержалъ магистерскій экзаменъ по агрономіи въ Новороссійскомъ Университетѣ и былъ приглашенъ въ качествѣ приватъ-доцента въ Университетъ св. Владиміра, гдѣ читалъ курсъ агрономіи, не оставляя въ то же время занимаемой должности въ Кіевскомъ Политехникумѣ. Въ 1911 году Н. И. защитилъ въ Новороссійскомъ Университетѣ магистерскую диссертацию на тему: „Образованіе бѣлковыхъ веществъ въ созрѣвающихъ сѣменахъ“, а въ 1913 году мы его снова видимъ за границей, гдѣ, находясь въ научной командировкѣ, онъ работаетъ въ Парижскомъ Университетѣ въ лабораторіи проф. G. Vonnier.

1-го января 1914 года Н. И. назначается экстраординарнымъ профессоромъ агрономіи Донского Политехническаго Института, а въ сентябрѣ того же года ординарнымъ профессоромъ того же института. Въ 1916 году Совѣтъ Донского Сельско-хозяйственного Института выбираетъ Н. И. ординарнымъ профессоромъ и помощникомъ директора Института и поручаетъ ему чтеніе курсовъ агрономической химіи и общаго земледѣлія. Въ качествѣ ординарнаго профессора Донского Политехникума и Донского сельско-хозяйственного Института и преподавателя Донского Ветеринарнаго Института Н. И. остается въ Новочеркасскѣ до эвакуаціи города передъ занятіемъ его совѣтскими войсками и въ 1920 году эмигрируетъ за границу, въ Югославію. Въ іюнѣ того же года онъ назначается гонорарнымъ профессоромъ сельско-хозяйственного факультета Бѣлградскаго Университета по кафедрѣ агрономической химіи, а въ 1924 году контрактальнымъ экстра-ординарнымъ профессоромъ того же факультета, въ каковой должности его и застаеъ смерть.

Въ 1924 году Н. И. снова отправляется въ научную командировку во Францію, уввы, уже въ послѣдній разъ, гдѣ около полугода работаетъ въ Пастеровскомъ Институтѣ въ лабораторіи проф. С. Н. Виноградскаго, изучая вопросы фиксаціи атмосфернаго азота почвами.

Химія растений, общее земледѣліе, ученіе объ удобреніи, общая агрономія, агрономическая химія, обработка почвы, сѣмяновѣдѣніе, ученіе о почвѣ, біологія сельско-хозяйственныхъ растений, аналитическая химія — вотъ курсы, читан-



ные Н. И. въ теченіе его педагогической дѣятельности въ высшихъ учебныхъ заведеніяхъ, вотъ научно-преподавательскій діапазонъ покойнаго проф. Васильева.

Не только ученый и педагогъ, Н. И. былъ хорошимъ организаторомъ и умѣлымъ руководителемъ учебно-вспомогательныхъ учрежденій.

Въ теченіе 1900—1913 г.г. онъ завѣдуетъ созданнымъ имъ опытнымъ сельско-хозяйственнымъ участкомъ Кіевскаго Политехническаго Института, выпуская въ этотъ періодъ рядъ работъ по регенараціи бѣлковыхъ веществъ въ растеніяхъ. Въ 1914—1915 г. организовываетъ опытную сельско-хозяйственную станцію при Донскомъ Политехническомъ Институтѣ, на которой подъ его руководствомъ ставится цѣлый рядъ изслѣдованій по изученію почвъ Донской Области, по изученію южно-русскихъ фосфоритовъ и ведутся опыты по изученію засухо-устойчивыхъ формъ южныхъ пшениць. Съ принятіемъ кафедры агрономической химіи въ Бѣлградскомъ Университетѣ Н. И. рьяно, со свойственной ему энергіей и знаніемъ дѣла беретъ за организацію лабораторіи и института порученной ему кафедры и сразу ставитъ дѣло преподаванія и занятій въ лабораторіи на должную высоту, въ предѣлахъ предоставленныхъ возможностей, конечно. Изъ этого института выходитъ рядъ работъ, посвященныхъ изученію химическихъ свойствъ почвъ Югославіи, работъ, выполненныхъ, какъ персоналомъ Института, такъ и студентами.

Н. И. принимаетъ дѣятельное участіе въ работахъ ряда русскихъ зарубежныхъ научныхъ и общественныхъ организацій, состоя членомъ русской академической группы въ Кор. Югославіи, Русскаго Научнаго Института въ Бѣлградѣ, Общества Русскихъ Агрономовъ въ Югославіи, Общества Русскихъ Литераторовъ и Журналистовъ и др.

Въ 1924 году на русскомъ агрономическомъ съѣздѣ въ Прагѣ Н. И. сдѣлалъ докладъ на тему: „Современныя проблемы удобренія въ хозяйствахъ Зап. Европы и Россіи“, а въ 1928 году на съѣздѣ Русскихъ Академическихъ организацій за границей доклады: „Фиксація атмосфернаго азота почвами Югославіи“ и „Почвы Попового Поля въ Херцеговинѣ, ихъ химическій составъ и плодородіе“.

Н. И. Васильевъ оставилъ послѣ себя немалое научно-литературное наслѣдство, частью еще неопубликованное. Его научныя работы касались вопросовъ химіи и физиологіи растеній, общаго и частнаго земледѣлія, ученія объ удобреніяхъ, фиксаціи атмосфернаго азота почвами и химіи и плодородія почвъ.

Смерть застала Н. И. наканунѣ открывающихся новыхъ возможностей проявить свою научную подготовку и органи-

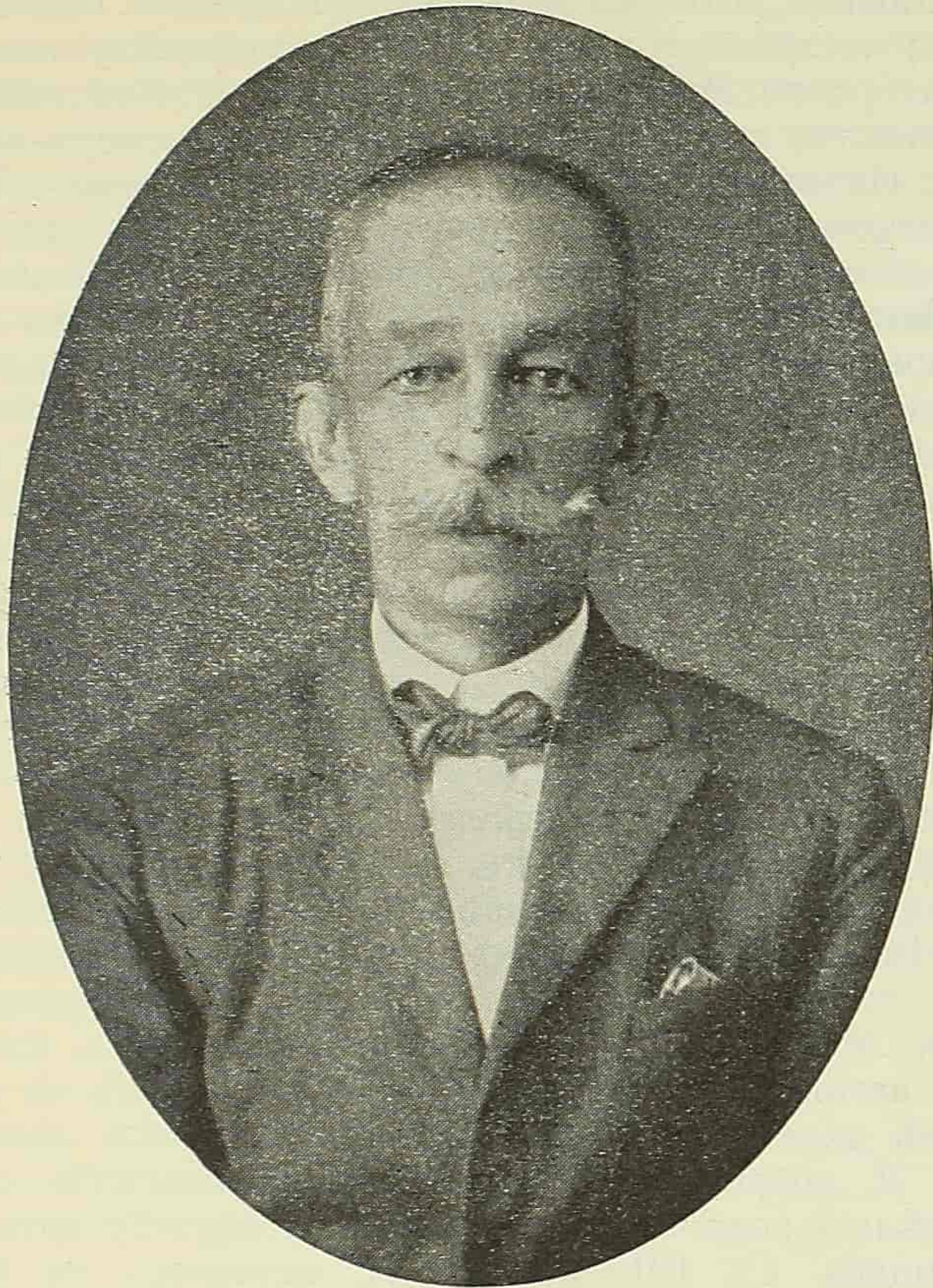


заторскій опытъ, когда, въ связи съ заканчивающейся постройкой новаго, специально воздвигаемаго для Агрономическаго Факультета зданія Бѣлградскаго Университета, предстоятъ большія работы по созданію институтовъ и учебно-вспомогательныхъ учрежденій. Отсутствіе Н. И. будетъ глубоко чувствоваться въ этихъ работахъ.

Г. Г. Злоковичъ.

Декабрь 1930 г.  
Бѣлградъ.





### † К. Д. Серебряковъ

(Некрологъ)

Неумолимая смерть похитила 16 сентября 1930 г. всѣми уважаемаго профессора Константина Дмитриевича Серебрякова, который скончался послѣ тяжелой болѣзни, продолжавшейся около двухъ мѣсяцевъ. Онъ до послѣднихъ дней своей жизни не терялъ надежды на возобновленіе любимой имъ учебной работы въ Университетѣ и поражалъ насъ крѣпостью своего духа, который не могла сломить даже безнадежная болѣзнь. Миръ праху твоему, дорогой collega!

К. Д. Серебряковъ родился 1 апрѣля 1871 г. въ Москвѣ. Сначала онъ окончилъ Физико-Математическій Факультетъ Московскаго Университета (1893) и уже въ Университетѣ обнаружилъ вкусъ къ изысканіямъ на чисто техническія темы, написалъ работу „О расчетѣ маховика“. Военскую повинность К. Д. отбылъ будучи юнкеромъ Алексѣевского военнаго учи-



лица въ Москвѣ, которое окончилъ съ чиномъ подпоручика въ 1894 г.; послѣ чего, выйдя въ запасъ арміи, поступилъ въ Императорское Московское Техническое Училище, которое и окончилъ въ 1899 г. съ званіемъ инженеръ-механика I разряда. Инженерную свою службу К. Д. началъ въ Екатеринославскомъ Земствѣ, но уже въ 1900 г. началъ и свою учебную дѣятельность какъ ассистентъ Екатеринославскаго Горнаго Института. Въ 1903 г. К. Д. былъ выбранъ профессоромъ Харьковскаго Технологическаго Института Императора Александра III, гдѣ несъ весьма разнообразныя учебныя порученія, занимаясь однако больше всего прикладной механикой и деталями машинъ. За время 1904—1910 г. К. Д. неоднократно былъ командированъ за границу для участія въ конгрессахъ по прикладной техникѣ, изученію постановокъ преподаванія этого предмета въ иностранныхъ школахъ и т. д. За этотъ же періодъ К. Д. напечаталъ въ „Извѣстіяхъ Южно-русскаго О-ва Technologовъ“ работы: „Изохронный маховикъ“ и „Расчетъ группы болтовъ“. Въ 1910 г. К. Д. оставилъ службу въ Харьковскомъ Технологическомъ Институтѣ, но очень скоро, въ томъ же году, по конкурсу былъ избранъ на кафедру прикладной механики въ своей alma mater — Императорскомъ Московскомъ Техническомъ Училищѣ, гдѣ пробылъ до 1912 года, работая одновременно въ Управленіи Московскихъ Городскихъ Трамваевъ, какъ конструкторъ вагоновъ. 1912—1914 г. К. Д. провелъ на службѣ въ качествѣ директора одного мѣдно-прокатнаго завода. Въ 1914 г. К. Д. добровольно вступаетъ на военную службу, причемъ цѣлый годъ несетъ фронтную службу артиллерійскаго офицера. Съ 1915 до 1917 г., оставаясь на военной службѣ, К. Д. работаетъ въ тыловыхъ учрежденіяхъ по своей спеціальности инженера — въ военно-техническомъ заводѣ въ Петроградѣ, а затѣмъ въ учрежденіяхъ по снабженію металлами. Послѣ революціи, въ 1918 г., К. Д. вновь возвращается къ своему призванію профессора — въ Харьковскомъ Технологическомъ Институтѣ, но опять не надолго. Чаша еще не испита до конца, еще предстоитъ эвакуація и жизнь вдали отъ родины и близкихъ!

Въ 1920 г. К. Д. назначенъ профессоромъ Бѣлградскаго Университета на Техническомъ Факультетѣ по кафедрѣ деталей машинъ и технического черченія — сначала гонорарнымъ, затѣмъ вскорѣ контрактальнымъ. Надрываясь отъ почти непосильной работы, часто даже безъ ассистента, К. Д. въ короткое время организуетъ преподаваніе и ставитъ его на должную высоту. Мнѣ, принявшему послѣ смерти К. Д. его кафедру, эта огромная и полезная организаціонная и учебная работа К. Д. видна болѣе, чѣмъ другимъ, далѣе стоящимъ.



Помимо Университетской работы К. Д. былъ все время дѣятельнымъ членомъ русскихъ эмигрантскихъ организацій. Въ Союзѣ инженеровъ онъ продолжительное время несъ обязанности товарища предсѣдателя и сотрудничалъ въ журналѣ „Инженеръ“; кромѣ того онъ былъ дѣятельнымъ членомъ Общества русскихъ ученыхъ въ Югославіи и Русскаго Научнаго Института въ Бѣлградѣ. Наконецъ онъ не терялъ связей съ нашей родной Арміей и былъ избираемъ предсѣдателемъ объединенія бывшихъ воспитанниковъ Алексѣевского Военнаго Училища въ Бѣлградѣ.

Съ воинскими почестями, на лафетѣ, пошелъ К. Д. въ свой послѣдній земной путь; этими почестями и прощальнымъ залпомъ почтила его, какъ активнаго участника великой войны, братская Югославія, давшая ему и пріютъ и послѣднее мѣсто упокоенія.

*Sit tibi terra levis!*

Проф. В. В. Фармаковскій.







В. Х. Даватцъ.

## КЪ ВОПРОСУ ОБЪ ОГИБАЮЩИХЪ СЕМЕЙСТВА ПЛОСКИХЪ КРИВЫХЪ, ЗАВИСЯЩАГО ОТЪ ОДНОГО ПАРАМЕТРА.

I.

### Нѣсколько замѣчаній о теоріи огибающихъ.

1. Классическая теорія огибающихъ семейства плоскихъ кривыхъ, зависящаго отъ одного параметра, принадлежитъ Монгеу \*). Согласно этой теоріи, подъ огибающей подразумѣвается геометрическое мѣсто точекъ, являющихся предѣльнымъ положеніемъ точки встрѣчи двухъ кривыхъ семейства

$$F(x, y, a) = 0 \quad F(x, y, a + da) = 0$$

при безграничномъ уменьшеніи  $da$ . Уравненіе этого геометрическаго мѣста получится въ результатѣ исключенія параметра  $a$  изъ уравненій:

$$F = 0; \quad F_a = 0.$$

Однако въ результатѣ этого исключенія могутъ получиться:

1. *Огибающія въ полномъ смыслѣ этого слова*, т. е. кривыя, имѣющія въ каждой своей точкѣ касательную, общую съ отдѣльной кривой семейства, проходящей черезъ эту точку.

2. *Отдѣльныя точки*. Точки эти соотвѣтствуютъ тѣмъ значеніямъ  $x, y$ , при которыхъ уравненіе  $F = 0$  удовлетворяется при всякомъ значеніи параметра  $a$ , непрерывно измѣняющагося въ опредѣленныхъ предѣлахъ. Въ этомъ случаѣ семейство  $F = 0$  представляетъ изъ себя пучекъ кривыхъ.

3. *Геометрическія мѣста особенныхъ точекъ* кривыхъ  $F = 0$ .

\*) Encyclopädie der Mathem. Wissenschaften, T. III—3. S. 48. Статья Mangoldt'a.





4. *Постороннія рѣшенія*, не имѣющія какъ-бы никакой связи съ опредѣляемыми въ данной проблемѣ кривыми.

Геометрической смыслъ задачи состоитъ, конечно, въ полученіи кривой, касающейся всѣхъ кривыхъ даннаго семейства. Отдѣльныя точки, опредѣляющія пучекъ кривыхъ семейства, должны быть, конечно, отнесены къ числу рѣшеній, ибо точку, согласно взгляду *Lie*, можно всегда считать многообразіемъ  $\infty^1$  элементовъ, которое будетъ состоять изъ элементовъ, принадлежащихъ къ каждой изъ кривыхъ семейства. Что-же касается геометрическихъ мѣстъ особенныхъ точекъ, то таковыя, обычно, отбрасываются, какъ рѣшенія постороннія, а рѣшенія послѣдней категоріи вообще не разсматриваются.

Въ такомъ видѣ теорія *Mongre*'а вошла въ цѣлый рядъ курсовъ, ставшихъ классическими<sup>1)</sup>. Но кромѣ этихъ недостатковъ, слѣдуетъ отмѣтить еще слѣдующій. Теорія эта исходитъ изъ пересѣченія двухъ сосѣднихъ кривыхъ семейства. Такъ какъ предѣльнымъ положеніемъ такой точки пересѣченія должна явиться дѣйствительная точка (ибо мы разсматриваемъ дѣйствительныя огибающія), то естественно предположить, что теорія требуетъ дѣйствительнаго пересѣченія двухъ сосѣднихъ кривыхъ. Однако это несправедливо.

Возьмемъ, напр., кривую семейства

$$y - a = \sin(x - a)$$

и другую кривую, соответствующую параметру  $a_1$ :

$$y - a_1 = \sin(x - a_1).$$

Абсцисса точки пересѣченія опредѣлится изъ уравненія

$$\begin{aligned} a_1 - a &= \sin(x - a) - \sin(x - a_1) = \\ &= 2 \sin \frac{a_1 - a}{2} \cos \left( x - \frac{a + a_1}{2} \right) \end{aligned}$$

откуда

$$\cos \left( x - \frac{a + a_1}{2} \right) = \frac{a_1 - a}{2 \sin \frac{a_1 - a}{2}} = \frac{\frac{a_1 - a}{2}}{\sin \frac{a_1 - a}{2}}.$$

При достаточно маломъ  $|a_1 - a|$ ,

$$\left| \frac{a_1 - a}{2} \right| > \left| \sin \frac{a_1 - a}{2} \right|,$$

<sup>1)</sup> *Jordan*. „Cours d'analyse“, Vol. 1. 1893, p. 426. *G. Salmon*. *Traité de Géométrie analytique*. 1884. p. 96. и др.



а потому

$$\left| \cos \left( x - \frac{a + a_1}{2} \right) \right| > 1$$

т. е. абсцисса  $x$  не можетъ быть действительной. То-же самое мы имѣемъ въслучаѣ семейства соприкасающихся окружностей къ данной кривой. Огибающей является сама данная кривая; между тѣмъ, бесконечно близкія другъ къ другу соприкасающіяся окружности не имѣютъ действительныхъ точекъ пересѣченія<sup>1)</sup>.

Подъ „пересѣченіемъ“ очевидно слѣдуетъ понимать существованіе корней (действительныхъ или мнимыхъ) системы уравненій

$$F(x, y, a) = 0; \quad F(x, y, a + da) = 0,$$

другими словами совмѣстимость этихъ уравненій. Вотъ почему, вся теорія оказывается непримѣнимой, когда уравненіе  $F$  дается въ разрѣшенномъ относительно параметра видѣ, ибо уравненія

$$F(x, y) = a; \quad F(x, y) = a + da,$$

при условіи однозначности функціи  $F$  несовмѣстимы, т. е. не имѣютъ ни действительныхъ, ни мнимыхъ рѣшеній<sup>2)</sup>.

Это требованіе пересѣченія, являющееся основнымъ, непримѣнимо въ случаѣ семейства кривыхъ въ пространствѣ, ибо кривыя въ пространствѣ вообще не имѣютъ ни действительныхъ, ни мнимыхъ точекъ пересѣченія. Такимъ образомъ, утрачивается аналогія для расширенія этой теоріи на случай семейства кривыхъ въ пространствѣ.

2. Современная теорія огибающихъ<sup>3)</sup> построена на опредѣленіи характеристической точки. Всѣ обыкновенныя точки кривой

$$F(x, y, a) = 0$$

отстоятъ отъ бесконечно близкихъ къ нимъ точекъ кривой

$$F(x, y, a + da) = 0$$

на разстояніе  $\varrho$ , порядокъ которой есть  $da$ . При соблюденіи условія

$$F_a(x, y, a) = 0,$$

порядокъ  $\varrho$  повышается и становится большимъ или равнымъ

1) G. Julia. Elements du Géométrie infinitésimale, p. 34.

2) На эту причину указываетъ между прочимъ В. Niewenglowski (Cours de Géométrie Analytique, T. I. 1925. p. 361).

3) Ch. J. de la Vallée Poussin. Cours d'Analyse Infinitésimale, 1928, T. II.



$da^2$ . На каждой кривой  $F = 0$  существует или конечное число таких „характеристических“ точек, или кривая  $F = 0$  целиком состоит из характеристических точек.

Въ первомъ случаѣ, исключеніе параметра  $a$  изъ уравненій  $F = 0, F_a = 0$  даетъ намъ геометрическое мѣсто изолированныхъ характеристическихъ точекъ; это геометрическое мѣсто называется огибающей, и относительно него доказываются тѣ свойства, которыя отличаютъ эту кривую съ геометрической точки зрѣнія; кривая, состоящая сплошь изъ характеристическихъ точекъ, хотя, вообще, не обладаетъ свойствомъ огибающей, не является при этой постановкѣ вопроса постороннимъ рѣшеніемъ, ибо соотвѣтствуетъ болѣе широко поставленной задачѣ — нахожденію характеристическихъ точекъ.

Въ случаѣ пучка кривыхъ, точки пересѣченія пучка будутъ также характеристическими точками, но бесконечно высокаго порядка.

Замѣтимъ, что опредѣленіе de la Vallée Poussin'a не имѣетъ никакого отношенія къ вопросу о пересѣченіи двухъ сосѣднихъ кривыхъ и можетъ быть распространено на случай кривыхъ въ пространствѣ.

Однако, какъ и въ случаѣ классической теоріи, вопросъ о геометрическомъ мѣстѣ особенныхъ точекъ остается вполнѣ открытымъ, такъ какъ огибающая разсматривается, какъ геометрическое мѣсто характеристическихъ точекъ, а характеристическая точка, по опредѣленію, является точкой обыкновенной.

Между тѣмъ, въ нѣкоторыхъ случаяхъ, геометрическое мѣсто особенныхъ точекъ можетъ дать кривую, отвѣчающую геометрическому представленію обь огибающей, какъ кривой, имѣющей общія касательныя съ каждой изъ кривыхъ семейства  $F(x, y, a) = 0$ .

3. Если уравненіе семейства кривой  $F(x, y, a) = 0$  трактовать, какъ уравненіе между координатами  $x, y, z$  пространства, т. е.

$$F(x, y, z) = 0,$$

то каждая изъ кривыхъ семейства можетъ быть разсматриваема, какъ проекція горизонтальнаго сѣченія:

$$F(x, y, z) = 0$$

$$z = a.$$

Условіе  $F_z = 0$  опредѣлитъ всѣ точки поверхности, гдѣ касательная плоскость вертикальна. Точки эти расположатся по нѣкоторой кривой  $\Gamma$ , лежащей на поверхности; проекція пересѣченія кривой  $\Gamma$  съ горизонтальной плоскостью  $z = a$ ,



дасть характеристическую точку на кривой  $F(x, y, a) = 0$ , а проекція  $\Gamma$  на горизонтальную плоскость дасть огибающую въ собственномъ смыслѣ этого слова, если кривая  $\Gamma$  не расположена въ плоскости горизонтальнаго сѣченія. Въ частности, если кривая  $\Gamma$  сводится къ вертикальнымъ прямымъ, огибающая сведется къ нѣсколькимъ изолированнымъ точкамъ.

Если кривая  $\Gamma$  находится въ горизонтальной плоскости, то ея проекція дасть тѣ кривыя, сплошь составленныя изъ характеристическихъ точекъ, которыя являются посторонними рѣшеніями съ точки зрѣнія классической теоріи. Кривыя эти являются какъ-бы кривыми сгущенія среди совокупности кривыхъ даннаго семейства. Назовемъ ихъ стационарными. По самому опредѣленію видимъ, что стационарная кривая принадлежитъ къ совокупности кривыхъ семейства  $F(x, y, a) = 0$  и соотвѣтствуетъ опредѣленному значенію параметра  $a = a_0$ .

Совершенно ясно, что возможны случаи, когда проекція кривой  $\Gamma$ , не находящейся въ горизонтальной плоскости, можетъ совпадать съ проекціей какого либо горизонтальнаго сѣченія. Это значитъ, что огибающая будетъ совпадать съ одной изъ кривыхъ семейства  $F(x, y, a) = 0$ . Но можно представить себѣ, что горизонтальное сѣченіе, о которомъ шла рѣчь, въ свою очередь есть кривая  $\Gamma$ , расположенная въ горизонтальной плоскости; тогда огибающая совпадаетъ со стационарной кривой.

Такимъ образомъ а priori очевидно, что какъ отдѣльная кривая семейства  $F(x, y, a) = 0$ , такъ и стационарная кривая, могутъ совпадать съ огибающей.

Для иллюстраціи этихъ случаевъ дадимъ два слѣдующихъ примѣра.

4. Пусть окружности  $C$  (постояннаго радиуса, равнаго единицѣ) и  $c$  (переменнаго радиуса) имѣютъ внутреннее касаніе.

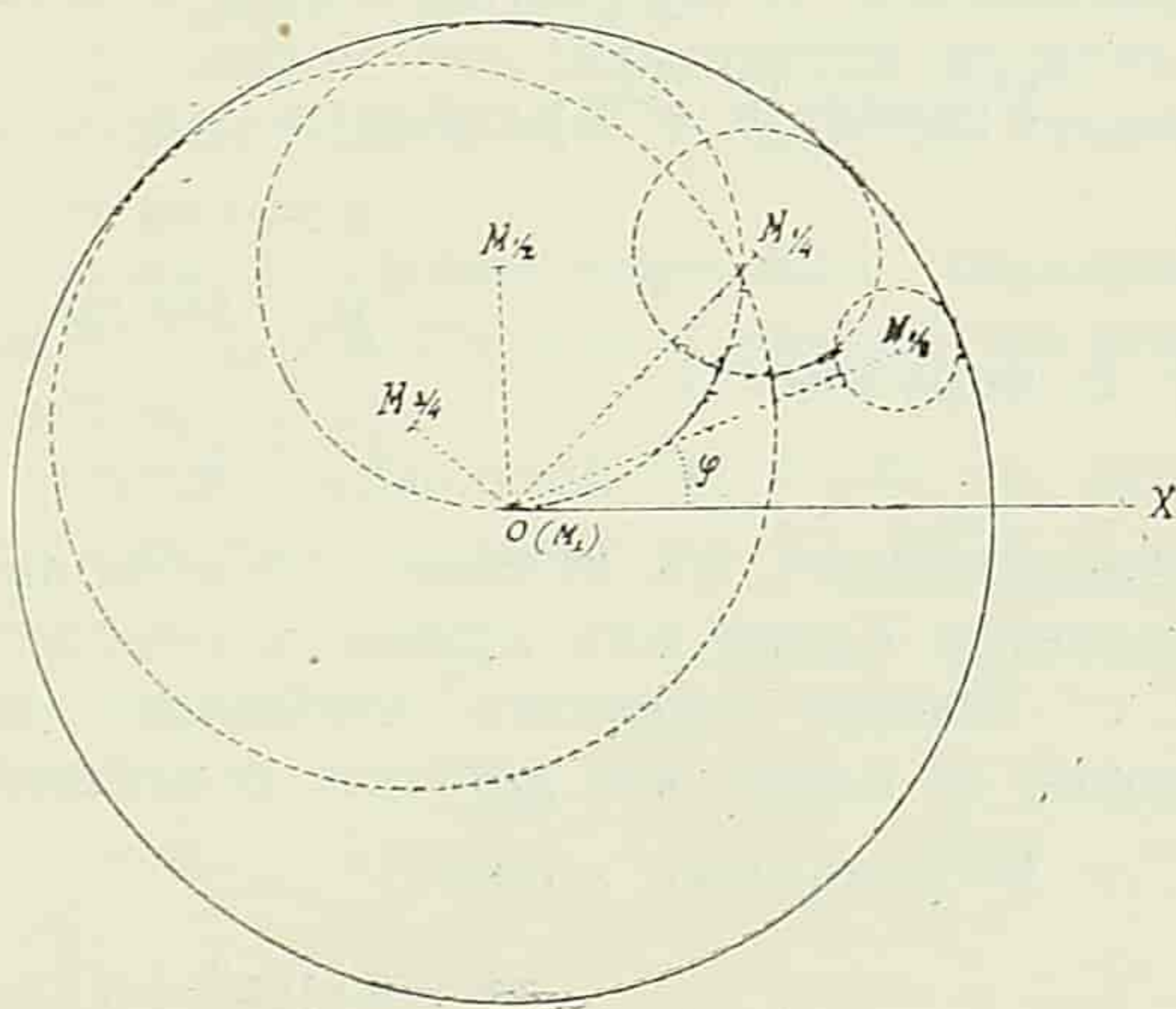
Уравненіе окружности  $C$  возьмемъ въ видѣ:

$$x^2 + y^2 = 1$$

Координаты центра  $M$

$$\xi = (1 - \varrho) \cos \varphi;$$

$$\eta = (1 - \varrho) \sin \varphi,$$



Черт. 1.



гдѣ  $\varrho$  — радиусъ окружности  $c$ . Тогда уравненіе окружности  $c$  будетъ:

$$[x - (1 - \varrho) \cos \varphi]^2 + [y - (1 - \varrho) \sin \varphi]^2 = \varrho^2$$

Пусть величина радиуса  $\varrho$  будетъ функціей угла  $\varphi$ , измѣняющейся такъ, что

$$\begin{aligned} \text{при } \varphi = 0 & \quad \varrho = 0 \\ \text{при } \varphi = \pi & \quad \varrho = 1. \end{aligned}$$

Для этого можемъ положить

$$\varrho = \frac{\varphi}{\pi}$$

Тогда уравненіе окружности будетъ:

$$\left[ x - \left( 1 - \frac{\varphi}{\pi} \right) \cos \varphi \right]^2 + \left[ y - \left( 1 - \frac{\varphi}{\pi} \right) \sin \varphi \right]^2 = \frac{\varphi^2}{\pi^2}.$$

При переменномъ  $\varphi$  — это будетъ семейство окружностей; если назовемъ  $\frac{\varphi}{\pi} = a$ , то семейство это представится въ видѣ:

$$[x - (1 - a) \cos \pi a]^2 + [y - (1 - a) \sin \pi a]^2 = a^2.$$

Для опредѣленія огибающей будемъ имѣть два уравненія:

$$F = x^2 + y^2 - 2x(1 - a) \cos \pi a - 2y(1 - a) \sin \pi a + (1 - 2a) = 0$$

$$F_a = x [\cos \pi a + (1 - a) \pi \sin \pi a] + \\ + y [\sin \pi a - (1 - a) \pi \cos \pi a] - 1 = 0.$$

Уравненія эти удовлетворяются для всѣхъ точекъ кривой

$$x = \cos \pi a$$

$$y = \sin \pi a;$$

т. е. окружность

$$x^2 + y^2 = 1$$

принадлежитъ къ вѣтвямъ огибающей. Эта же окружность является одной изъ кривыхъ семейства при параметрѣ  $a = 1$ .

Такимъ образомъ огибающая даннаго семейства совпадаетъ съ одной изъ кривыхъ семейства.

5. Возьмемъ кривую

$$x = \sin \left[ \mu z^2 + \left( 1 - \frac{\mu \pi}{2} \right) z \right]$$

гдѣ  $\mu$  — нѣкоторый параметръ.



Кривая эта пересѣчется съ осью  $OZ$  въ безконечномъ количествѣ точекъ, соответствующихъ дѣйствительнымъ корнямъ уравненія

$$\mu z^2 + \left(1 - \frac{\mu\pi}{2}\right)z = k\pi.$$

Для опредѣленія абсциссъ  $z$ , при которыхъ ордината  $x$  имѣетъ экстремальное значеніе, составляемъ уравненіе:

$$x' = \cos \left[ \mu z^2 + \left(1 - \frac{\mu\pi}{2}\right)z \right] \cdot \left( 2\mu z + 1 - \frac{\mu\pi}{2} \right) = 0,$$

которое даетъ для  $z$  значенія, опредѣляемыя уравненіями:

$$\mu z^2 + \left(1 - \frac{\mu\pi}{2}\right)z = \frac{2k+1}{2}\pi \quad (1)$$

$$2\mu z + 1 - \frac{\mu\pi}{2} = 0 \quad (2)$$

Вторая производная опредѣлится равенствомъ:

$$x'' = -\sin \left[ \mu z^2 + \left(1 - \frac{\mu\pi}{2}\right)z \right] \cdot \left( 2\mu z + 1 - \frac{\mu\pi}{2} \right)^2 + \\ + \cos \left[ \mu z^2 + \left(1 - \frac{\mu\pi}{2}\right)z \right] \cdot 2\mu.$$

Для точекъ  $z$ , удовлетворяющихъ уравненію (1), но не удовлетворяющихъ уравненію (2), второй членъ обращается въ нуль, а первый — отличенъ отъ нуля, т. е.  $x'' \neq 0$ . Для точекъ  $z$ , удовлетворяющихъ уравненію (2), но не удовлетворяющихъ уравненію (1) — первый членъ обращается въ нуль, а второй отличенъ отъ нуля, если  $\mu \neq 0$ , т. е. и въ этомъ случаѣ  $x'' \neq 0$ .

Такимъ образомъ, точки  $z$ , удовлетворяющія порознь уравненію (1) или уравненію (2), даютъ для  $x$  максимумъ или минимумъ, при условіи, что  $\mu \neq 0$ .

Если  $z$  есть общій корень уравненій (1) и (2), то, при условіи  $\mu \neq 0$  результатъ системы обращается въ нуль, т. е.

$$\begin{vmatrix} \mu & 2\mu & 0 \\ 1 - \frac{\mu\pi}{2} & 1 - \frac{\mu\pi}{2} & 2\mu \\ -\frac{2k+1}{2}\pi & 0 & 1 - \frac{\mu\pi}{2} \end{vmatrix} = \mu \cdot \begin{vmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 1 - \frac{\mu\pi}{2} & 1 - \frac{\mu\pi}{2} & 2\mu \\ -\frac{2k+1}{2}\pi & 0 & 1 - \frac{\mu\pi}{2} \end{vmatrix} =$$





$$\begin{aligned}
&= \mu \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 - \frac{\mu\pi}{2} & -\left(1 - \frac{\mu\pi}{2}\right) & 2\pi \\ -\frac{2k+1}{2}\pi & (2k+1)\pi & 1 - \frac{\mu\pi}{2} \end{vmatrix} = \mu \begin{vmatrix} -\left(1 - \frac{\mu\pi}{2}\right) & 2\mu \\ (2k+1)\pi & 1 - \frac{\mu\pi}{2} \end{vmatrix} = \\
&= \mu \left[ \left(1 - \frac{\mu\pi}{2}\right)^2 + 2\pi\mu(2k+1) \right] = 0,
\end{aligned}$$

что соответствует двумъ значеніямъ параметра:

$$\mu_1; \mu_2$$

Въ этихъ точкахъ, при этихъ значеніяхъ параметровъ,  $x'' = 0$ , а потому можетъ получиться для  $x$  максимумъ, минимумъ, или точка перегиба. Но послѣдній случай исключается, такъ какъ для этихъ точекъ

$$x = \sin \left[ \mu z^2 + \left(1 - \frac{\mu\pi}{2}\right) z \right] = \pm 1$$

т. е. функція пріобрѣтаетъ свою наибольшую или наименьшую величину.

Отсюда заключаемъ, что въ случаѣ  $\mu \neq 0$ , для всѣхъ точекъ  $z$ , удовлетворяющихъ уравненіямъ (1) и (2) — функція переходитъ черезъ максимумъ или минимумъ.

Въ случаѣ, если точка удовлетворяетъ уравненію (1) — экстремальное значеніе функціи равно  $\pm 1$ ; въ случаѣ, если точка удовлетворяетъ только уравненію (2) — это экстремальное значеніе равно

$$\begin{aligned}
x &= \sin \left[ \mu \left( \frac{1 - \frac{\mu\pi}{2}}{2\mu} \right)^2 - \frac{\left(1 - \frac{\mu\pi}{2}\right)^2}{2\mu} \right] = \\
&= \sin \left[ \frac{-\left(1 - \frac{\mu\pi}{2}\right)^2}{4\mu} \right] = -\sin \left[ \frac{\left(1 - \frac{\mu\pi}{2}\right)^2}{4\mu} \right]
\end{aligned}$$

Значеніе это, по своей абсолютной величинѣ, вообще меньше единицы, ибо можетъ равняться единицѣ при отдѣльныхъ значеніяхъ параметра, удовлетворяющаго условію

$$\frac{\left(1 - \frac{\mu\pi}{2}\right)^2}{4\mu} = \frac{2k+1}{2} \pi$$



Остается изслѣдовать случай при  $\mu = 0$ . Но въ этомъ случаѣ кривая обращается въ обычную синусоиду, имѣющую періодически максимумъ и минимумъ въ опредѣленныхъ точкахъ  $z$ .

Замѣтимъ, что при всякомъ значеніи параметра кривая

$$x = \sin \left[ \mu z^2 + \left( 1 - \frac{\mu\pi}{2} \right) z \right]$$

проходитъ черезъ начало координатъ и въ точкѣ  $z = \frac{\pi}{2}$  удовлетворяетъ уравненію (1), а потому  $x$  имѣетъ экстремальное значеніе, равное  $\pm 1$ .

Такимъ образомъ, мы построили кривую

$$x = \Omega(z, \mu),$$

обладающую слѣдующими свойствами:

1. При  $\mu = 0$  кривая эта обращается въ синусоиду.
2. При всякомъ другомъ параметрѣ кривая имѣетъ безконечное количество максимумовъ и минимумовъ, въ которыхъ ордината достигаетъ значенія  $\pm 1$ , причемъ абсцисса для этихъ экстремальныхъ значеній зависитъ отъ параметра  $\mu$ .
3. При каждомъ параметрѣ  $\mu$ , не удовлетворяющемъ условію

$$\frac{\left( 1 - \frac{\mu\pi}{2} \right)^2}{4\mu} = \frac{2k+1}{2} \pi$$

существуетъ такая абсцисса  $z_0$ , зависящая отъ параметра  $\mu$ , при которой ордината  $x_0$  пріобрѣтаетъ экстремальное значеніе

$$x_0 = - \sin \left[ \frac{\left( 1 - \frac{\mu\pi}{2} \right)^2}{4\mu} \right],$$

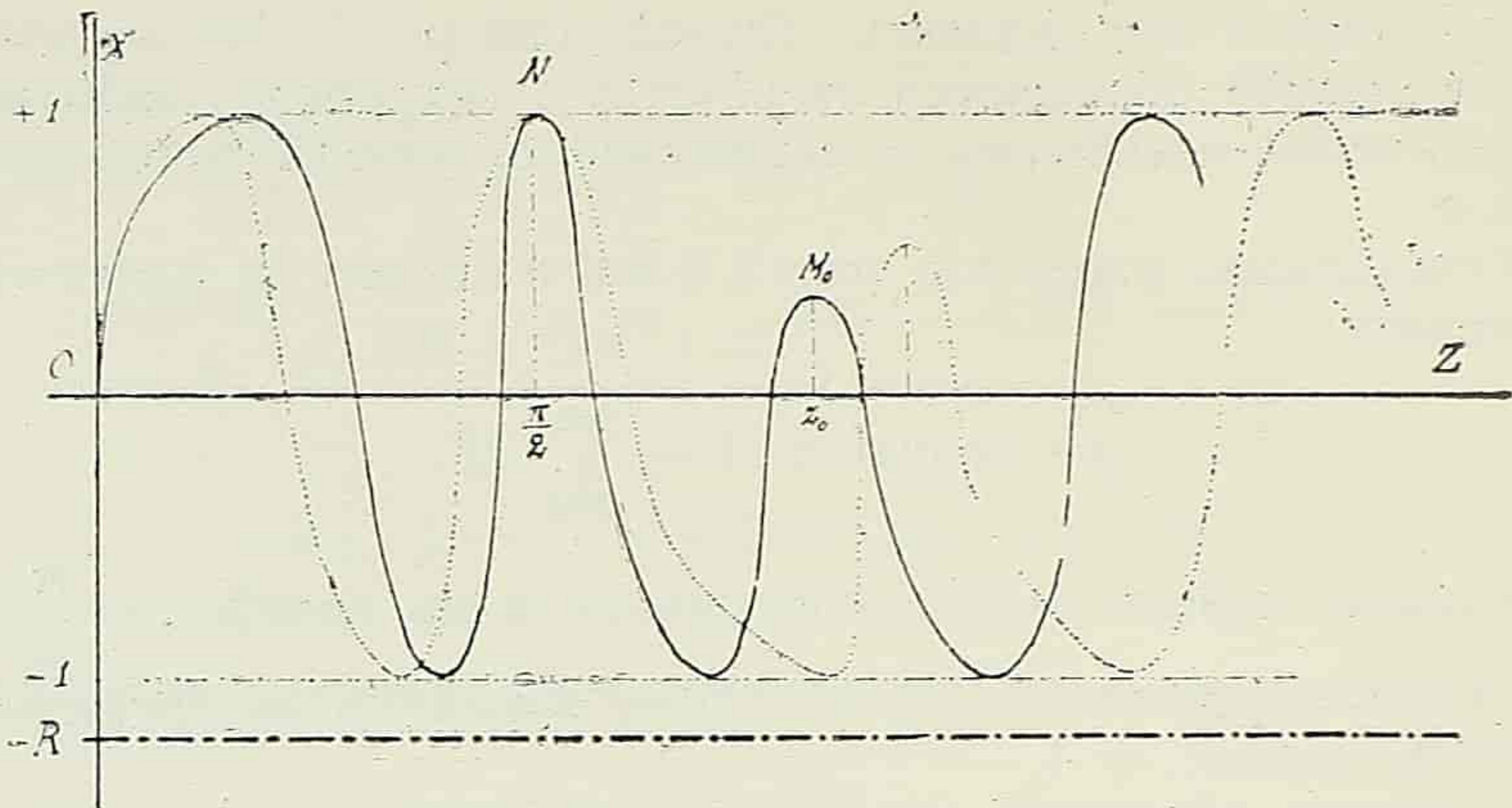
зависящее отъ параметра  $\mu$ , и меньшее 1 по абсолютной величинѣ.

4. При всякомъ параметрѣ  $\mu$ , кривая проходитъ черезъ начало координатъ.

5. При всякомъ параметрѣ  $\mu$ , абсцисса  $z = \frac{\pi}{2}$  соответствуетъ максимальное значеніе функціи, равное единицѣ.

Кривая  $x = \Omega(z, \mu)$ , для различныхъ параметровъ  $\mu \neq 0$ , будетъ имѣть слѣдующій видъ:





Черт. 2.

6. Воспользуемся кривой  $x = \Omega(z, \mu)$  для конструирования поверхности, которую можно было бы назвать поверхностью псевдо-вращения. Для это будем вращать кривую вокруг оси  $x = -R$ , где  $R > 1$ , изменяя при этом параметр  $\mu$  и этим самым изменяя форму соответствующаго „меридиональнаго“ сѣченія. Этого мы можем достигнуть, связавъ уголъ вращения  $\varphi$  съ параметромъ  $\mu$  нѣкоторой функциональной зависимостью. Возьмемъ простѣйшее предположеніе:

$$\mu = \varphi.$$

Обозначимъ разстояніе любой точки  $M$  этой поверхности до оси черезъ

$$\delta = R + \varrho.$$

Тогда

$$x = (R + \varrho) \cos \varphi$$

$$y = (R + \varrho) \sin \varphi;$$

а потому

$$x^2 + y^2 = (R + \varrho)^2.$$

Величины  $\varrho$  и  $z$  будутъ связаны зависимостью:

$$\varrho = \Omega(z, \mu),$$

причемъ  $\mu$ , какъ величина, равная углу вращения, выразится соотношеніемъ

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{y}{x}.$$

Такимъ образомъ, уравненіе искомой поверхности будетъ:



$$x^2 + y^2 - [R + \Omega(z, \operatorname{arctg} \frac{y}{x})]^2 = 0.$$

Очевидно, что для всѣхъ точекъ, соотвѣтствующихъ экстремальнымъ значеніямъ кривой сѣченія, касательная плоскость будетъ вертикальна.

Слѣдовательно:

1. Для всѣхъ точекъ  $M_1, M_2, \dots$ , высота которыхъ  $z$  измѣняется вмѣстѣ съ вращеніемъ плоскости кривой, геометрическія мѣста такихъ точекъ дадутъ кривыя  $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots$ , не лежація въ горизонтальныхъ плоскостяхъ.

2. Для точки  $N$ , высота которой  $z = \frac{\pi}{2}$ , геометрическое мѣсто дастъ окружность  $\Gamma$  радіуса  $R + 1$ .

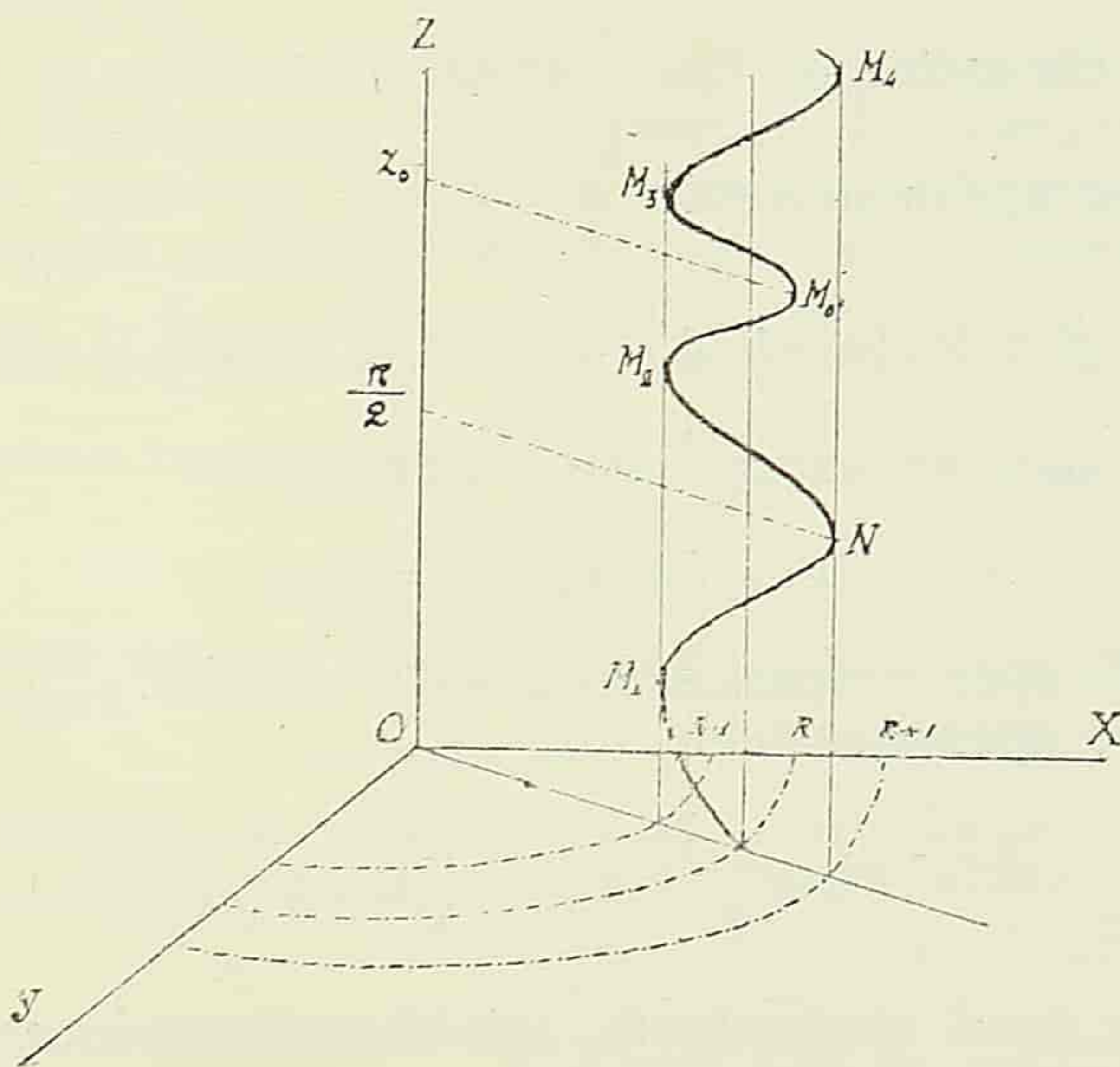
3. Для всѣхъ точекъ  $M_0$ , соотвѣтствующихъ измѣняющейся высотѣ  $z = z_0$ , геометрическое мѣсто точекъ дастъ нѣкоторую кривую  $\Gamma_0$ , заключенную внутри цилиндра радіуса  $R + 1$  и касающуюся этого цилиндра (или цилиндра радіуса  $R - 1$ ) въ отдѣльныхъ точкахъ.

Если мы рассмотримъ проекціи этихъ кривыхъ на плоскость  $XOY$ , то найдемъ:

1. Кривыя двойкой кривизны  $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots$ , какъ лежація на круговыхъ цилиндрахъ радіуса  $R \pm 1$ , спроектируются окружностями соотвѣтствующаго радіуса.

2. Кривая  $\Gamma$  спроектируется окружностью радіуса  $R + 1$ .

3. Кривая  $\Gamma_0$  спроектируется нѣкоторой кривой, заключенной внутри окружности радіуса  $R + 1$ .



Черт. 3.





7. Примѣняя сказанное выше въ § 3, и трактуя уравненіе поверхности, какъ нѣкоторое семейство кривыхъ

$$x^2 + y^2 - [R + \Omega(a, \operatorname{arctg} \frac{y}{x})]^2 = 0,$$

мы заключаемъ:

1. Семейство этихъ кривыхъ должно имѣть огибающими двѣ концентрическихъ окружности

$$x^2 + y^2 = (R \pm 1)^2$$

и нѣкоторую кривую  $C$ , заключенную внутри окружности радиуса  $R + 1$ .

2. Семейство этихъ кривыхъ должно имѣть стационарную кривую

$$x^2 + y^2 = (R + 1)^2.$$

Дѣйствительно, изъ уравненія семейства

$$F = x^2 + y^2 - \left\{ R + \sin \left[ a^2 \operatorname{arctg} \frac{y}{x} + a \left( 1 - \frac{\pi}{2} \operatorname{arctg} \frac{y}{x} \right) \right] \right\}^2 = 0$$

получаемъ:

$$F_a = 2 \left\{ R + \sin \left[ a^2 \operatorname{arctg} \frac{y}{x} + a \left( 1 - \frac{\pi}{2} \operatorname{arctg} \frac{y}{x} \right) \right] \right\} \cdot$$

$$\cdot \cos \left[ a^2 \operatorname{arctg} \frac{y}{x} + a \left( 1 - \frac{\pi}{2} \operatorname{arctg} \frac{y}{x} \right) \right] \cdot$$

$$\cdot \left( 2a \operatorname{arctg} \frac{y}{x} + 1 - \frac{\pi}{2} \operatorname{arctg} \frac{y}{x} \right) = 0.$$

Первое предположеніе

$$R + \sin \left[ a^2 \operatorname{arctg} \frac{y}{x} + a \left( 1 - \frac{\pi}{2} \operatorname{arctg} \frac{y}{x} \right) \right] = 0$$

приводитъ насъ къ изотропнымъ прямымъ

$$(x + iy)(x - iy) = 0,$$

рѣшеніе, которое отбрасывается, какъ мнимое.

Второе предположеніе

$$\cos \left[ a^2 \operatorname{arctg} \frac{y}{x} + a \left( 1 - \frac{\pi}{2} \operatorname{arctg} \frac{y}{x} \right) \right] = 0$$

дастъ намъ, какъ огибающую, двѣ концентрическихъ окружности



$$x^2 + y^2 - (R \pm 1)^2 = 0.$$

Третье предположение

$$2a \cdot \operatorname{arctg} \frac{y}{x} + 1 - \frac{\pi}{2} \operatorname{arctg} \frac{y}{x},$$

приводитъ насъ къ огибающей

$$x^2 + y^2 - \left[ R - \sin \frac{\left( \frac{\pi}{2} \operatorname{arctg} \frac{y}{x} - 1 \right)^2}{4 \operatorname{arctg} \frac{y}{x}} \right]^2 = 0.$$

Но при частномъ значеніи параметра  $a$ , а именно при  $a = \frac{\pi}{2}$ ,

$$F_a = 0,$$

а потому всѣ точки кривой параметра  $a$ , т. е.

$$x^2 + y^2 - (R + 1)^2 = 0,$$

будутъ характеристическими и кривая эта будетъ стационарной.

Такимъ образомъ, огибающая даннаго семейства  $x^2 + y^2 - (R + 1)^2 = 0$  совпадаетъ со стационарной кривой \*).

8. Въ дальнѣйшемъ мы будемъ предполагать, что огибающая на изслѣдуемомъ нами участкѣ, не совпадаетъ ни съ одной изъ кривыхъ семейства  $F(x, y, a) = 0$  (въ частности со стационарной кривой). Кромѣ того, мы ограничимся слу-

\*) Слѣдуетъ обратить вниманіе на существенное различіе этихъ двухъ примѣровъ.

Въ первомъ случаѣ, всѣ точки

$$\begin{aligned} x &= \cos \pi a \\ y &= \sin \pi a, \end{aligned}$$

соотвѣтствующія различнымъ параметрамъ  $a$ , но связанныя однимъ уравненіемъ

$$x^2 + y^2 = 1,$$

являлись огибающей. Во второмъ случаѣ, вся кривая, соотвѣтствующая параметру  $a = \frac{\pi}{2}$  т. е.

$$F(x, y, \frac{\pi}{2}) = 0$$

является огибающей.



чаемъ, когда огибающая не дегенерируетъ въ совокупность изолированныхъ точекъ.

Такъ какъ уравненіе огибающей для всего изслѣдуемаго участка не совпадаетъ съ уравненіемъ для отдѣльной кривой семейства, то на всемъ этомъ участкѣ функція  $a$  отлична отъ постоянной величины и слѣдовательно  $da \neq 0$ .

Кромѣ этого мы предположимъ, что огибающая не имѣетъ особенныхъ точекъ, т. е., для точекъ огибающей,  $dx$  и  $dy$  одновременно не обращаются въ нуль.

При сдѣланныхъ предположеніяхъ, изслѣдуемъ вопросъ, когда геометрическое мѣсто особенныхъ точекъ кривыхъ семейства можетъ имѣть общую касательную съ каждой изъ кривыхъ въ особенной точкѣ. Въ этомъ случаѣ геометрическое мѣсто такихъ точекъ можетъ быть включено въ понятіе огибающей и такимъ образомъ можетъ быть заполнено пробѣлъ, получающійся при отбрасываніи геометрическаго мѣста особенныхъ точекъ. При этомъ, рассматривая особенныя точки, мы ограничимся такъ называемыми „кратными“ точками, т. е. предположимъ возможность неограниченнаго дифференцированія функціи  $F$  по переменнымъ  $x$  и  $y$ .

## II

### О геометрическомъ мѣстѣ особенныхъ (кратныхъ) точекъ.

1. Для изслѣдованія поставленнаго въ § 8 вопроса, докажемъ предварительно слѣдующую лемму:

*Лемма.* Если черезъ  $T_n$  обозначимъ определитель

$$\begin{vmatrix} 1 & C_n^1 & C_n^2 & \dots & C_n^{n-1} \\ 1 & 1 & C_{n-1}^1 & \dots & C_{n-1}^{n-2} \\ 1 & 0 & 1 & \dots & C_{n-2}^{n-3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & \dots & C_2^1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

то значеніе  $T_n$  выразится равенствомъ:

$$T_n = (-1)^{n-1}.$$

Дѣйствительно, преобразуемъ определитель  $T_n$ , вычитая каждую нижнюю строку изъ верхней. Мы получимъ:



$$T_n = \begin{vmatrix} 1 & C_n^1 & C_n^2 & \dots & C_n^{n-1} \\ 1 & 1 & C_{n-1}^1 & \dots & C_{n-1}^{n-2} \\ 1 & 0 & 1 & \dots & C_{n-2}^{n-3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & \dots & C_2^1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} 0 & C_n^1 - C_{n-1}^0 & C_n^2 - C_{n-1}^1 & \dots & C_n^{n-1} - C_{n-1}^{n-2} \\ 0 & 1 & C_{n-1}^1 - C_{n-2}^0 & \dots & C_{n-1}^{n-2} - C_{n-2}^{n-3} \\ 0 & 0 & 1 & \dots & C_{n-2}^{n-3} - C_{n-3}^{n-4} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & C_2^1 - C_1^0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix} =$$

$$= (-1)^{n+1} \begin{vmatrix} C_n^1 - C_{n-1}^0 & C_n^2 - C_{n-1}^1 & \dots & C_n^{n-1} - C_{n-1}^{n-2} \\ 1 & C_{n-1}^1 - C_{n-2}^0 & \dots & C_{n-1}^{n-2} - C_{n-2}^{n-3} \\ 0 & 1 & \dots & C_{n-2}^{n-3} - C_{n-3}^{n-4} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & C_2^1 - C_1^0 \end{vmatrix}$$

Но

$$C_k^s - C_{k-1}^{s-1} = C_{k-1}^s,$$

а потому предыдущий определитель можетъ быть написанъ въ видѣ:

$$T_n = (-1)^{n+1} \begin{vmatrix} C_{n-1}^1 & C_{n-1}^2 & \dots & C_{n-1}^{n-2} & 1 \\ 1 & C_{n-2}^1 & \dots & C_{n-2}^{n-3} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & C_2^1 & 1 \end{vmatrix} =$$



$$\begin{aligned}
&= (-1)^{n+1} \cdot (-1)^{n-2} \begin{vmatrix} 1 & C_{n-1}^1 & C_{n-1}^2 & \dots & C_{n-1}^{n-2} \\ 1 & 1 & C_{n-2}^1 & \dots & C_{n-2}^{n-3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & \dots & C_2^1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix} = \\
&= (-1)^{2n-1} T_{n-1} = -T_{n-1}.
\end{aligned}$$

При помощи этой рекуррентной формулы, получаемъ:

$$T_n = -T_{n-1}$$

$$T_{n-1} = -T_{n-2}$$

.....

$$T_3 = -T_2.$$

Взявъ произведенія обѣихъ частей и сокративъ на

$$T_{n-1} T_{n-2} \dots T_3,$$

найдемъ

$$T_n = (-1)^{n-2} T_2.$$

Но

$$T_2 = \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} = -1,$$

а потому

$$T_n = (-1)^{n-2} \cdot (-1),$$

откуда

$$T_n = (-1)^{n-1},$$

что и требовалось доказать.

2. Этой леммой мы воспользуемся для вывода формулы, являющейся аналогичной для равенства, которымъ пользуется Darboux \*). Называя через  $d$  — дифференцирование по  $x$  и по  $y$ , а через  $\delta$  — дифференцирование по параметру  $a$  (въ первомъ случаѣ, считая  $a = \text{const.}$ , во второмъ —  $x = \text{const.}$   $y = \text{const.}$ ), Darboux пишетъ результатъ дифференцирования уравненія  $F=0$  въ формѣ

$$dF + \delta F = 0$$

\*) G. Darboux. Mémoire sur les solutions singulières des équations aux dérivées partielles du premier ordre. P. 36.



Изъ этого уравненія  $Da\gamma b o i x$  заключаетъ, что геометрическое мѣсто особенныхъ точекъ удовлетворяетъ уравненіямъ, которыя служатъ для опредѣленія огибающихъ. Дѣйствительно, для особенныхъ (кратныхъ) точекъ  $dF = 0$ , а потому написанное выше соотношеніе сведется къ уравненію  $\delta F = 0$ , и геометрическое мѣсто особенныхъ точекъ будетъ удовлетворять системѣ уравненій:

$$\left. \begin{array}{l} F = 0 \\ \delta F = 0 \end{array} \right\} (A)$$

Обратно, если уравненія (A) удовлетворены, то изъ приведеннаго выше соотношенія слѣдуетъ  $dF = 0$ , т. е. угловой коэффициентъ касательной къ огибающей опредѣляется изъ того же уравненія, которымъ опредѣляется угловой коэффициентъ касательной къ отдѣльной кривой семейства. Однако, въ случаѣ особенной точки, это разсужденіе непримѣнимо, ибо въ этомъ случаѣ  $dF = 0$  не есть уравненіе для опредѣленія углового коэффициента, но простое тождество.

Наша цѣль — найти такое соотношеніе, связывающее дифференціалы  $d$  и  $\delta$ , которое, послѣ обращенія въ нуль одной его части, не приводило бы къ тождеству, а давало бы уравненіе для опредѣленія соотвѣтственныхъ угловыхъ коэффициентовъ.

3. Предположимъ, что мы имѣемъ геометрическое мѣсто двойныхъ точекъ, т. е. что  $dF$  тождественно обращается въ нуль. Какъ извѣстно, угловые коэффициенты касательныхъ въ двойной точкѣ опредѣляются изъ уравненія:

$$d^2F = 0 \quad (1)$$

Если  $dF = 0$ , то, какъ мы видѣли, удовлетворяются уравненія системы (A). Дифференцируемъ первое уравненіе  $F = 0$  два раза и второе —  $\delta F = 0$  одинъ разъ. Мы получимъ:

$$\left. \begin{array}{l} d^2F + 2d\delta F + \delta^2F = 0 \\ d\delta F + \delta^2F = 0 \end{array} \right\} (B)$$

Исключая изъ этихъ уравненій  $d\delta F$ , получимъ соотношеніе искомаго типа:

$$d^2F - \delta^2F = 0. \quad (2)$$

Этому соотношенію долженъ удовлетворять угловой коэффициентъ касательной къ геометрическому мѣсту. По-



этому, если  $\delta^2 F = 0$ , то уравнения (1) и (2) имѣютъ общій корень; обратно, если уравнения имѣютъ общій корень, то  $\delta^2 F = 0$ .

Отсюда мы видимъ, что необходимымъ и достаточнымъ условіемъ для того, чтобы геометрическое мѣсто двойныхъ точекъ было огибающей, является требованіе:

$$\delta^2 F = 0.$$

Вмѣстѣ съ тѣмъ, имѣемъ слѣдующую теорему:

*Теорема I.* Пусть имѣемъ уравненіе

$$F(x, y, a) = 0$$

Если для нѣкоторыхъ значеній переменныхъ

$$dF = 0,$$

то существуетъ соотношеніе:

$$d^2 F - \delta^2 F = 0.$$

4. Теорема эта наводитъ на мысль о возможности распространенія ее на случай  $n$ -кратнаго дифференцированія и на существованіе, при извѣстныхъ условіяхъ, соотношенія  $d^n F - (-1)^n \delta^n F = 0$  \*). Соответствующая теорема будетъ слѣдующая:

\*) Эта формула, справедливость которой доказана ниже, кажется на первый взглядъ включаетъ въ себя и случай для  $n = 1$ . Однако, это совпаденіе чисто случайное.

Формула

$$d^2 F - \delta^2 F = 0 \quad (I)$$

также, при нѣкоторомъ невнимательномъ отношеніи, можетъ быть получена безъ добавочнаго условія  $dF = 0$ .

Дѣйствительно, изъ условія

$$dF + \delta F = 0$$

получимъ:

$$dF = -\delta F,$$

а потому, казалось бы, взявъ  $\delta$  обѣихъ частей:

$$\delta dF = d\delta F = -\delta^2 F.$$

Вставляя это значеніе въ

$$d^2 F + 2d\delta F + \delta^2 F = 0, \quad (II)$$

приведемъ къ равенству (I).

Это разсужденіе ошибочно, ибо изъ равенства

$$dF + \delta F = 0$$

слѣдуетъ

$$d(dF + \delta F) + \delta(dF + \delta F) = d(dF + \delta F) + d\delta F + \delta^2 F = 0,$$

а потому

$$d\delta F = -\delta^2 F - d(dF + \delta F),$$

что является тѣмъ же равенствомъ (II), написаннымъ только въ другой формѣ.



Теорема II. Пусть имѣемъ уравненіе

$$F(x, y, a) = 0.$$

Если для нѣкотораго значенія переменныхъ

$$dF = 0 \quad d^2F = 0 \quad \dots \quad d^{n-1}F = 0,$$

то существуетъ соотношеніе:

$$d^n F - (-1)^n \delta^n F = 0,$$

гдѣ  $n \geq 2$ .

Пусть теорема справедлива при нѣкоторомъ значеніи  $n - 1$ ; докажемъ, что она справедлива и при  $n$ .

Дифференцируемъ данныя условія соотвѣтственно  $n - 1$ ,  $n - 2, \dots, 1$  разъ. Мы получимъ:

$$\left. \begin{aligned} d\delta^{n-1}F + C_{n-1}^1 d^2\delta^{n-2} + \dots &= -d^n F \\ d^2\delta^{n-2} + \dots &= -d^n F \\ \dots & \\ d^{n-1}\delta F &= -d^n F \end{aligned} \right\} \text{I}$$

Уравненія (I) представляютъ систему линейныхъ уравненій относительно

$$d\delta^{n-1}F, \quad d^2\delta^{n-2}F, \quad \dots \quad d^{n-1}\delta F,$$

которую можемъ разрѣшить относительно неизвѣстныхъ  $d\delta^{n-1}F$  и  $d^{n-1}\delta F$ .

Детерминантъ системы (I) равняется единицѣ.

Поэтому

$$d\delta^{n-1}F = -d^n F \cdot \begin{vmatrix} 1 & C_{n-1}^1 & C_{n-1}^2 & \dots & C_{n-1}^{n-2} \\ 1 & 1 & C_{n-2}^1 & \dots & C_{n-2}^{n-3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & \dots & C_2^1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix} = -d^n F \cdot T_{n-1}$$

Примѣняя доказанную выше лемму, найдемъ:

$$d\delta^{n-1}F = (-1)^{n-1} d^n F.$$

Значеніе неизвѣстной  $d^{n-1}\delta F$  дано въ разрѣшенномъ видѣ:

$$d^{n-1}\delta F = -d^n F,$$



Такъ какъ мы предполагаемъ, что при нашихъ условіяхъ

$$d^{n-1}F - (-1)^{n-1} \delta^{n-1} F = 0,$$

т. е. что теорема вѣрна для числа  $n - 1$ , то дифференцируя это равенство, найдемъ:

$$d^n F + d^{n-1} \delta F - (-1)^{n-1} d \delta^{n-1} F - (-1)^{n-1} \delta^n F = 0,$$

или, замѣняя  $d^{n-1} \delta F$  и  $d \delta^{n-1} F$  полученными значеніями,

$$d^n F - d^n F - (-1)^{n-1} (-1)^{n-1} d^n F - (-1)^{n-1} \delta^n F = 0,$$

откуда

$$d^n F - (-1)^n \delta^n F = 0.$$

Такъ какъ, по теоремѣ I, предложеніе справедливо при  $n = 2$ , то оно справедливо для всякаго  $n \geq 2$ .

### 5. Теорема III. Равенства

$$dF = 0 \quad d^2F = 0 \quad \dots \quad d^{n-1}F = 0$$

влекутъ за собою:

$$\delta F = 0 \quad \delta^2 F = 0 \quad \dots \quad \delta^{n-1} F = 0.$$

Дѣйствительно, если  $dF = 0$ , то примѣняя теорему I, находимъ:

$$d^2F - \delta^2 F = 0,$$

а потому, если  $d^2F = 0$ , то и  $\delta^2 F = 0$ . Примѣняя теорему II, найдемъ соотношеніе

$$d^3F + \delta^3 F = 0,$$

а потому, если  $d^3F = 0$ , то и  $\delta^3 F = 0$ .

Продолжая эти разсужденія, дойдемъ до соотношенія:

$$d^{n-1}F - (-1)^{n-1} \delta^{n-1} F = 0,$$

а потому, при  $d^{n-1}F = 0$ , будемъ имѣть  $\delta^{n-1} F = 0$ .

### 6. Теорема IV. Пусть

$$F_{x^\alpha y^\beta} = 0, \quad \text{гдѣ } \alpha + \beta \leq n - 1.$$

Тогда существуютъ соотношенія:

$$F_a = F_{a^2} = \dots = F_{a^{n-1}} = 0 \quad \text{и}$$

$$\sum_{i=0}^n C_n^i F_{x^{n-i} y^i} dx^{n-i} dy^i - (-1)^n F_{a^n} da^n = 0.$$



Дѣйствительно, по опредѣленію, имѣемъ:

$$dF = F_x dx + F_y dy$$

$$d^2F = F_{x^2} dx^2 + 2F_{xy} dx dy + F_{y^2} dy^2 + F_x d^2x + F_y d^2y$$

.....

Если через  $S_k$  назовемъ суммы произведеній дифференціаловъ, имѣющихъ коэффициентами функціи вида  $F_{x^\alpha y^\beta}$ , гдѣ  $\alpha + \beta \leq k$ , то получимъ:

$$dF = S_1$$

$$d^2F = S_2$$

.....

$$d^n F = \sum C_n^i F_{x^{n-i} y^i} dx^{n-i} dy^i + S'_{n-1}.$$

Такъ какъ по условію  $F_{x^\alpha y^\beta} = 0$  ( $\alpha + \beta \leq n - 1$ ), то

$$S_1 = S_2 = \dots = S_{n-1} = S'_{n-1} = 0$$

и мы имѣемъ:

$$dF = 0, \quad d^2F = 0 \quad \dots \quad d^{n-1}F = 0, \quad (1)$$

$$d^n F = \sum C_n^i F_{x^{n-i} y^i} dx^{n-i} dy^i \quad (2)$$

Согласно теоремѣ III, будутъ существовать равенства:

$$\delta F = 0, \quad \delta^2 F = 0 \quad \dots \quad \delta^{n-1} F = 0,$$

или

$$\delta F = F_a da = 0$$

$$\delta^2 F = F_{a^2} da^2 + F_a d^2 a = 0$$

$$\delta^3 F = F_{a^3} da^3 + 3F_{a^2} da d^2 a + F_a d^3 a = 0.$$

.....

Такъ какъ по предположенію  $da \neq 0$ , то изъ этихъ равенствъ найдемъ послѣдовательно:

$$F_a = 0, \quad F_{a^2} = 0 \quad \dots \quad F_{a^{n-1}} = 0 \quad (3)$$

$$\delta^n F = F_{a^n} da^n \quad \dots \quad (4)$$

Условія (1) дадутъ возможность примѣнить теорему II, а потому будетъ существовать соотношеніе:

$$d^n F - (-1)^n \delta^n F = 0,$$

которое, согласно формуламъ (2) и (4) дастъ намъ:



$$\sum_{i=0}^n C_n^i F_{x^{n-i} y^i} dx^{n-i} dy^i - (-1)^n F_{a^n} da^n = 0.$$

7. Теорема V. Необходимымъ и достаточнымъ условіемъ для того, чтобы геометрическое мѣсто особенныхъ точекъ  $n$ -аго порядка было огибающей, является требованіе, чтобы для всѣхъ точекъ геометрическаго мѣста удовлетворялось условіе:

$$F_{a^n} = 0.$$

Дѣйствительно, для особенныхъ точекъ  $n$ -аго порядка

$$F_{x^\alpha y^\beta} = 0, \text{ гдѣ } \alpha + \beta \leq n - 1.$$

Тогда, согласно теоремѣ IV, существуютъ соотношенія:

$$F_a = 0 \quad F_{a^2} = 0 \quad \dots \quad F_{a^{n-1}} = 0,$$

которыя являются необходимыми условіями для всѣхъ точекъ геометрическаго мѣста.

Но въ этомъ случаѣ удовлетворяется и уравненіе:

$$\sum_0^n C_n^i F_{x^{n-i} y^i} dx^{n-i} dy^i - (-1)^n F_{a^n} da^n = 0, \quad (1)$$

которое, являясь однороднымъ, дастъ условіе, которому должно удовлетворять отношеніе  $\frac{dy}{dx}$ , т. е. угловой коэффициентъ для любой точки геометрическаго мѣста.

Угловой коэффициентъ касательной въ особенной точкѣ кривой опредѣлится изъ уравненія:

$$\sum_0^n C_n^i F_{x^{n-i} y^i} dx^{n-i} dy^i = 0; \quad (2)$$

поэтому условія, при которыхъ эти уравненія будутъ имѣть совмѣстный корень, будутъ условіями того, что геометрическое мѣсто особенныхъ точекъ будетъ огибающей.

Очевидно, что если  $F_{a^n} = 0$ , то оба уравненія будутъ имѣть общій корень.

Обратно, если для нѣкотораго значенія  $x, y$ , удовлетворяется второе уравненіе, то вставивъ это значеніе въ первое уравненіе, получимъ условіе при которомъ этотъ корень будетъ и корнемъ перваго уравненія. Такъ какъ при этомъ членъ  $\sum_0^n C_n^i F_{x^{n-i} y^i} dx^{n-i} dy^i$  обращается въ нуль, то условіе это будетъ:



$$\bar{F}_{a^n} da^n = 0,$$

и такъ какъ  $da \neq 0$ , то

$$F_{a^n} = 0.$$

### III.

#### Примѣры на геометрическія мѣста особенныхъ точекъ.

##### 1. Семейство

$$F = (x - a)^2 (x - a + 1) - (y - a)^2 = 0.$$

Для опредѣленія особенной точки имѣемъ условія:

$$\begin{aligned} F_x &= 2(x - a)(x - a + 1) + (x - a)^2 = \\ &= (x - a)(2x - 2a + 2 + x - a) = \\ &= (x - a)(3x - 3a + 2) = 0 \end{aligned}$$

$$F_y = -2(y - a) = 0.$$

Изъ корней этой системы

$$\begin{aligned} x &= a & x &= \frac{3a - 2}{3} \\ y &= a & y &= a \end{aligned}$$

первая пара удовлетворяетъ уравненію  $F = 0$ , а потому координаты этой точки — особенныя точки кривыхъ семейства.

Точка эта двойная, ибо

$$F_{x^2} = (3x - 3a + 2) + 3(x - a) \quad (F_{x^2})_{\substack{x=a \\ y=a}} = 2$$

$$F_{xy} = 0 \quad (F_{xy})_{\substack{x=a \\ y=a}} = 0$$

$$F_{y^2} = -2 \quad (F_{y^2})_{\substack{x=a \\ y=a}} = -2$$

Поэтому необходимымъ и достаточнымъ условіемъ, чтобы геометрическое мѣсто особенныхъ точекъ, т. е.

$$x - y = 0 \quad (I)$$

было огибающей, является требованіе, чтобы  $F_{a^2} = 0$ .

Мы имѣемъ:

$$F_a = -2(x - a)(x - a + 1) - (x - a)^2 + 2(y - a)$$

$$F_{a^2} = 2(x - a + 1) + 2(x - a) + 2(x - a) - 2.$$



При  $x = a$ ,  $y = a$ ,  $F a^2 = 0$ , а потому прямая (I) является огибающей.

## 2. Семейство

$$F = (x \cos a + y \sin a - 1)^2 (x \cos a + y \sin a) - (x \sin a - y \cos a - 1)^2 = 0.$$

Обозначимъ

$$x \cos a + y \sin a = u$$

$$x \sin a - y \cos a = v.$$

Тогда

$$F = (u - 1)^2 u - (v - 1)^2 = 0$$

и мы имѣемъ для опредѣленія особенной точки:

$$F_x = 2(u - 1)u \cos a + (u - 1)^2 \cos a - 2(v - 1) \sin a = 0$$

$$F_y = 2(u - 1)u \sin a + (u - 1)^2 \sin a + 2(v - 1) \cos a = 0.$$

Изъ этихъ уравненій, получаемъ:

$$F_x = (u - 1)(3u - 1) \cos a - 2(v - 1) \sin a = 0$$

$$F_y = (u - 1)(3u - 1) \sin a + 2(v - 1) \cos a = 0$$

откуда, такъ какъ опредѣлитель

$$\begin{vmatrix} \cos a & -\sin a \\ \sin a & \cos a \end{vmatrix} \neq 0,$$

$$(u - 1)(3u - 1) = 0$$

$$v - 1 = 0,$$

что дастъ систему рѣшеній

$$u = 1 \quad u = \frac{1}{3}$$

$$v = 1 \quad v = 1.$$

Изъ этихъ паръ рѣшеній, только первая удовлетворяетъ уравненію  $F = 0$ , а потому особенныя точки опредѣляются изъ уравненій:

$$u = x \cos a + y \sin a = 1$$

$$v = x \sin a - y \cos a = 1.$$

откуда

$$x = \cos a + \sin a$$

$$y = -\cos a + \sin a$$



Геометрическое мѣсто особенныхъ точекъ есть окружность

$$x^2 + y^2 = 2. \quad (\text{II})$$

Легко проверить, что точки эти двойныя, т. е., что для нихъ

$$F_{x^2} \quad F_{xy} \quad F_{y^2}$$

не равны одновременно нулю.

Дѣйствительно,

$$(F_{x^2})_{\substack{u=1 \\ v=1}} = 2 \cos 2a$$

$$(F_{xy})_{\substack{u=1 \\ v=1}} = 2 \sin 2a$$

$$(F_{y^2})_{\substack{u=1 \\ v=1}} = -2 \cos 2a$$

Составляемъ выраженіе для  $F_{a^2}$ . Замѣчая, что

$$u'_a = -v$$

$$v'_a = u,$$

мы найдемъ:

$$F_a = -2(u-1)uv - (u-1)^2v - 2(v-1)u$$

$$F_{a^2} = 2uv^2 + 4(u-1)v^2 - 2(u-1)(u-1)^2u - 2u^2 + 2(v-1)v$$

Для изслѣдуемыхъ точекъ  $u = 1$ ,  $v = 1$ , а потому

$$F_{a^2} = 0.$$

Согласно общей теоріи, окружность (II) есть огибающая.

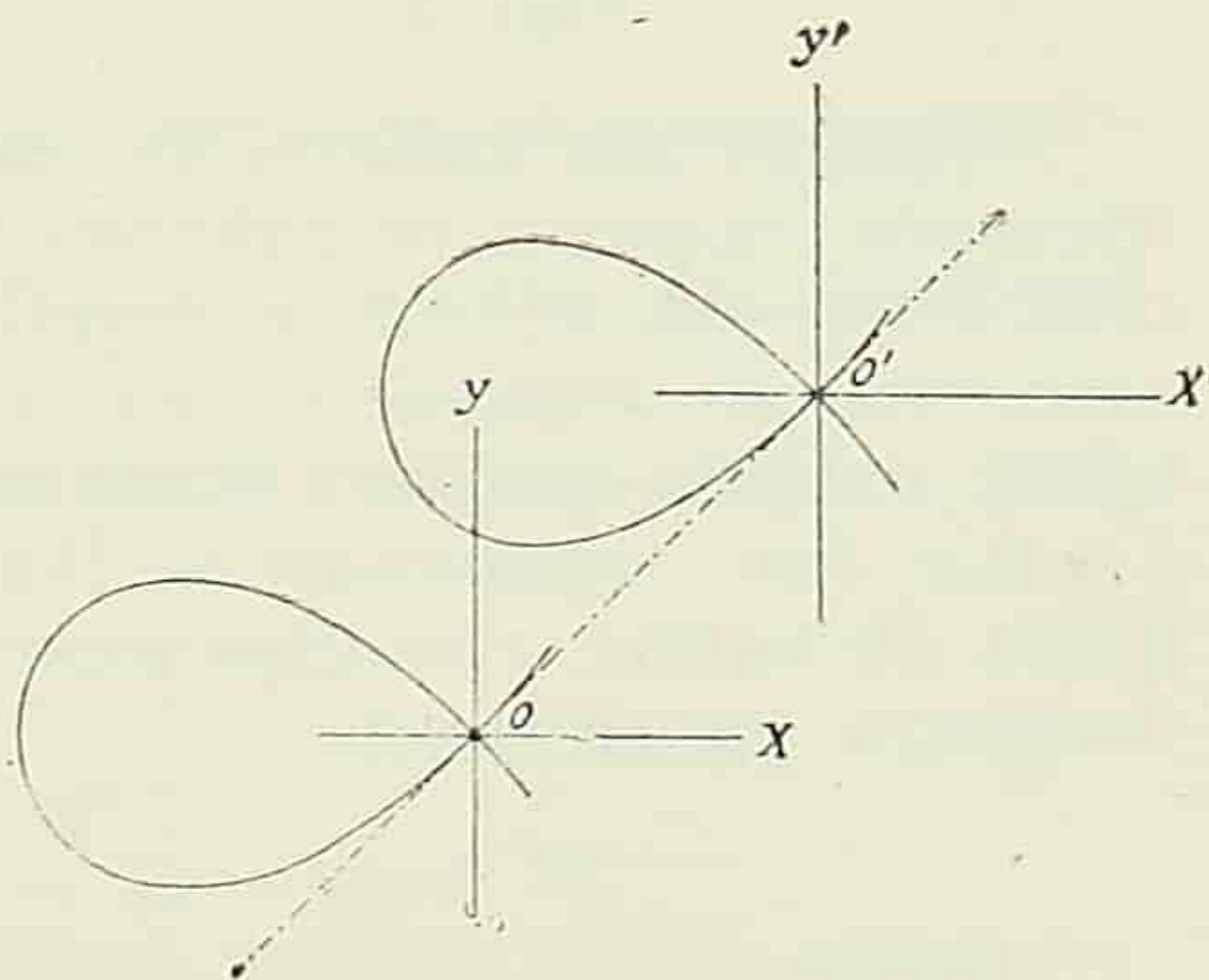
**3.** Оба эти примѣра получены изъ слѣдующихъ геометрическихъ соображеній.

Возьмемъ кривую

$$y^2 = x^2(x-1).$$

Кривая эта имѣетъ двойную точку въ началѣ координатъ (петля), въ которой касательныя имѣютъ угловые коэффициенты  $\pm 1$ .

Слѣдовательно, совершая перемѣщеніе кривой въ направленіи биссектрисы угла, образуемаго координатными осями, получимъ семейство кривыхъ, въ которомъ точ-



Черт. 4.



ка, соответствующая началу координатъ, будетъ двигаться, не сходя съ касательной.

Преобразование для такого перемѣщенія дано формулами:

$$x' = x - a$$

$$y' = y - a.$$

Во второмъ случаѣ образуемъ семейство кривыхъ слѣдующимъ образомъ. Переносимъ начало координатъ въ точку

$$x_0 = -1$$

$$y_0 = -1$$

и вращаемъ кривую около новаго начала на уголъ  $\alpha$ .

Очевидно, что при этомъ особенная точка опишетъ окружность радиуса  $\sqrt{2}$  и касательная къ этой окружности будетъ совпадать съ одной изъ касательныхъ въ особенной точкѣ.

4. Не лишена интереса провѣрка общей теоріи на семействѣ кривыхъ:

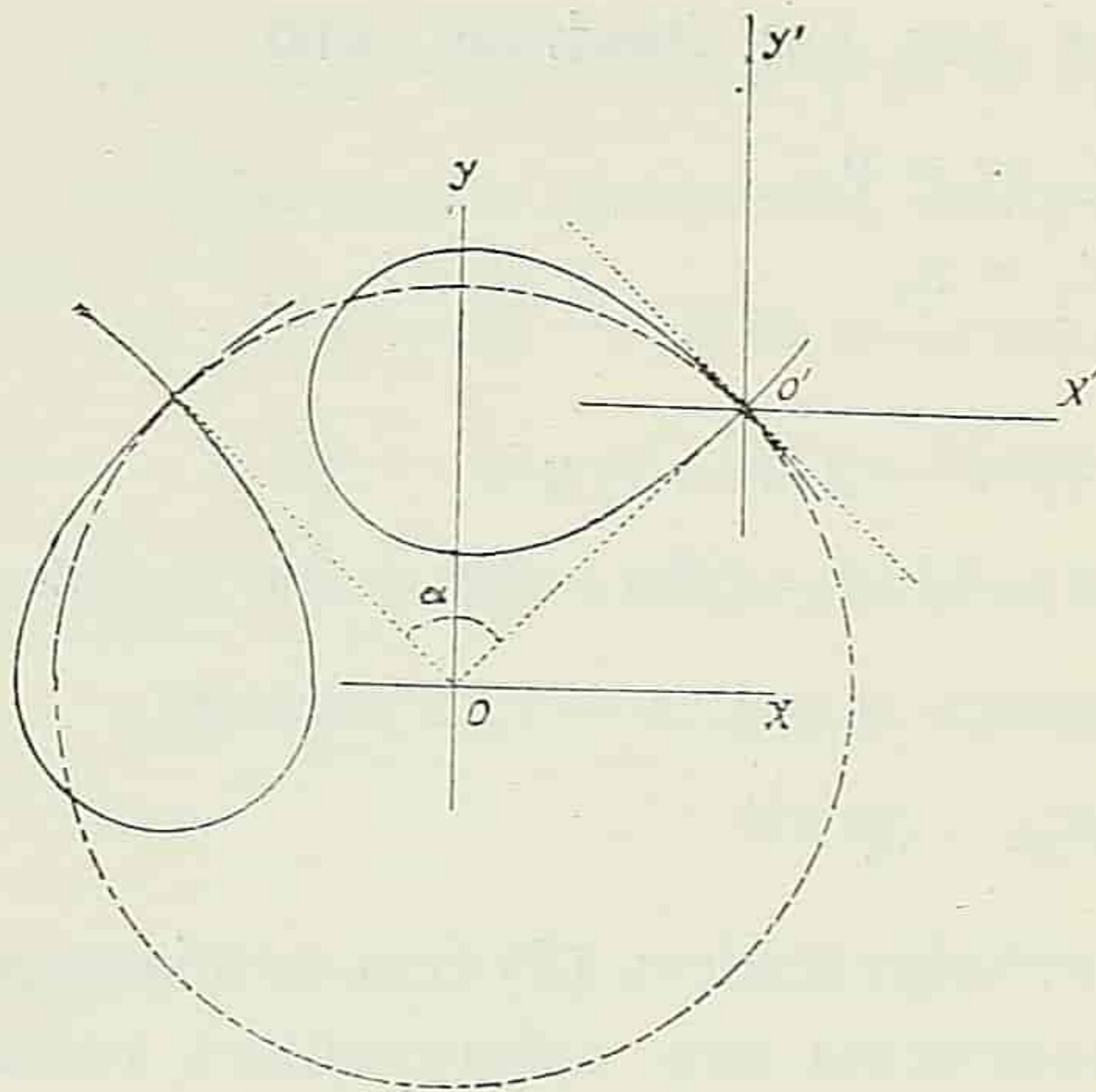
$$F = (x - a)^4 - (y - \mu a)^3 = 0.$$

Семейство это образуется параллельнымъ перемѣщеніемъ кривой

$$x^4 - y^3 = 0$$

въ направленіи угла  $\varphi$ , опредѣляемаго условіемъ:

$$\operatorname{tg} \varphi = \mu.$$



Черт. 5.

Кривая эта имѣетъ въ началѣ координатъ особенность третьяго порядка (а слѣдовательно и каждая кривая семейства въ точкѣ  $x_0 = a$   $y_0 = \mu a$ ). Однако, эта особенность такова, что не отражается на внѣшнемъ видѣ кривой; мы можемъ назвать поэтому особенности въ этихъ точкахъ скрытыми (по терминологіи Darboux — „non apparentes“). Тѣмъ не менѣе, геометрическое мѣсто этихъ точекъ удовлетворяетъ уравненіямъ:

$$F = (x - a)^4 - (y - \mu a)^3 = 0$$

$$F_a = 4(x - a)^3 - 3\mu(y - \mu a)^2 = 0,$$

причемъ прямая  $y = \mu x$ , вообще, не будетъ огибающей.

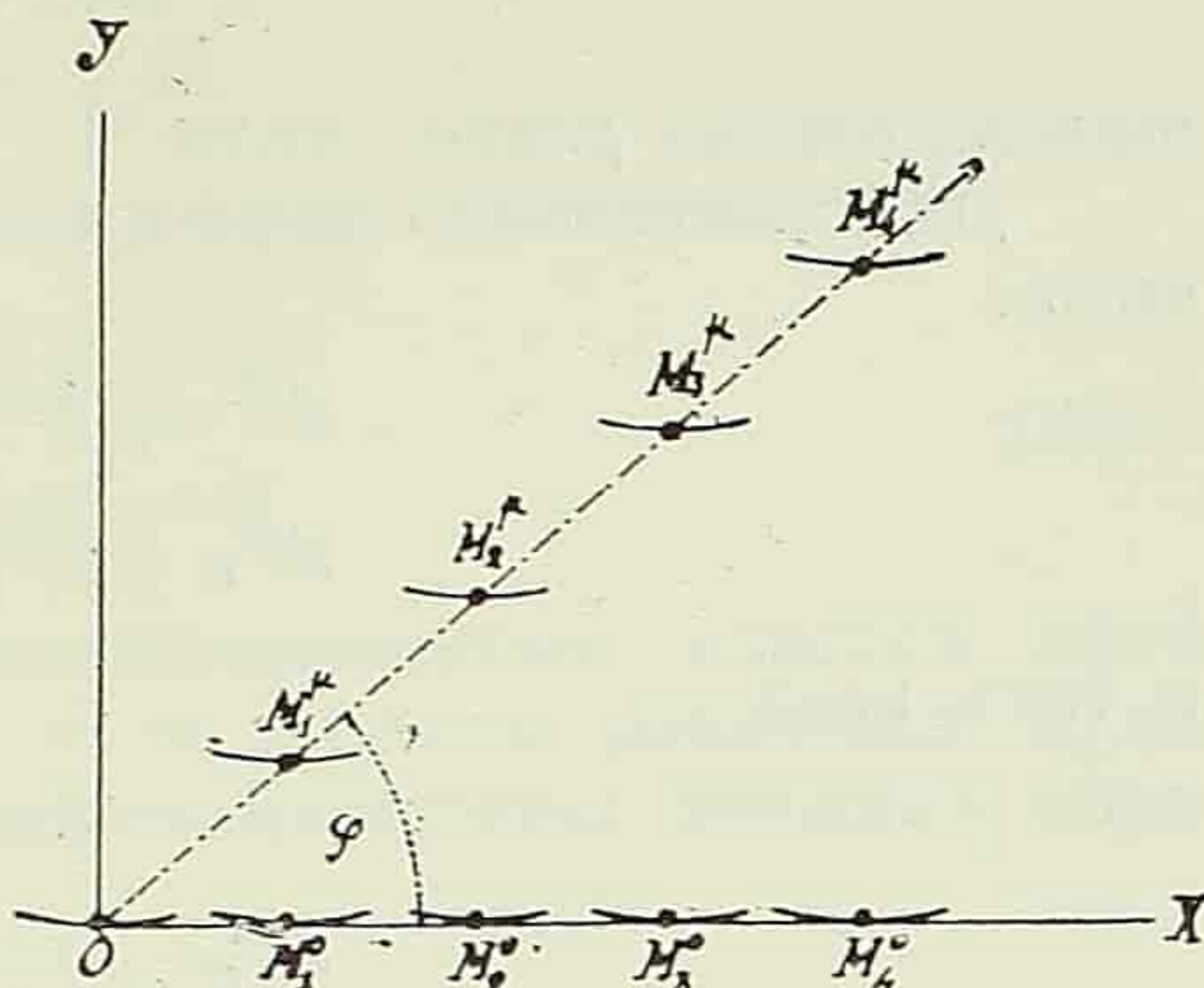


Такъ какъ интересующія насъ точки третьяго порядка, то необходимымъ и достаточнымъ условіемъ для того, чтобы прямая эта была огибающей, является требованіе:

$$F_{a^3} = 24(x - a) - 6\mu^3 = 0$$

для всѣхъ точекъ испытываемаго геометрическаго мѣста, т. е. при  $x = a$ ,  $y = \mu a$ , что приводитъ къ условію:

$$\mu = 0.$$



Черт. 6.

Такимъ образомъ, только при  $\mu = 0$ , т. е. при параллельномъ перемѣщеніи данной кривой по направленію оси абсциссъ, геометрическое мѣсто скрытой особенной точки даетъ намъ огибающую.

Этотъ результатъ вполне совпадаетъ съ геометрическимъ представленіемъ.

5. Изъ общей теоріи слѣдуетъ, что для геометрическаго мѣста особенныхъ точекъ  $n$ -аго порядка, должны тождественно обращаться въ нуль всѣ выраженія:

$$F_a, F_{a^2}, \dots, F_{a^{n-1}},$$

и лишь равенство или неравенство нулю производной

$$F_{a^n}$$

опредѣляетъ, будетъ-ли огибающей это геометрическое мѣсто особенныхъ точекъ, или нѣтъ.

Эти обстоятельства легко подтвердить на приведенныхъ выше примѣрахъ.

Но изъ этого свойства вытекаетъ и одно не лишнее интереса соображеніе.

На участкѣ геометрическаго мѣста, опредѣляемаго уравненіями

$$\left. \begin{aligned} F(x, y, a) &= 0 \\ F_a(x, y, a) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

на которомъ не имѣется особенныхъ точекъ и для котораго нѣкоторое число высшихъ производныхъ  $F$  по  $a$ , начиная съ  $F_{a^2}$ , обращается въ нуль, — якобіанъ системы (I), т. е.



$$\frac{D(F, F_a)}{D(x, y)} \quad (II)$$

тождественно равенъ нулю \*).

Дѣйствительно, дифференцируя оба уравненія (I), получимъ:

$$dF + \delta F = 0$$

$$dF_a + \delta F_a = 0$$

и такъ какъ

$$\delta F = F_a da$$

$$\delta F_a = F_{a^2} da,$$

то въ силу условій

$$F_a = 0$$

$$F_{a^2} = 0$$

мы имѣемъ

$$dF = F_x dx + F_y dy = 0$$

$$dF_a = F_{ax} dx + F_{ay} dy = 0.$$

Эти условія должны существовать для всѣхъ точекъ геометрическаго мѣста, опредѣляемаго уравненіями (I), независимо, будетъ ли это огибающая, или геометрическое мѣсто особенныхъ точекъ. Если эта кривая выражена въ параметрической формѣ, то

\*) Въ связи съ этимъ укажемъ на работу Д. М. Синцова „О точкахъ возврата огибающей“, напечатанную въ „Запискахъ Казанскаго Физико-Математическаго Общества“ въ 1924 г. Работа эта намъ неизвѣстна и мы цитируемъ ее по реферату въ „Jahrbuch über die Fortschritte der Mathematik“ (Bd. 50, 1929). Въ рефератѣ этомъ говорится:

„С. Jordan („Cours d'analyse“ I, S. 435) behauptet, dass die Punkte einer Kurvenfamilie  $F(x, y, c) = 0$ ,  $F_c = 0$ , für die  $F'_{cc} = 0$  ist, Rückkehrpunkte sind. Der Verf. zeigt, dass man den Satz nur unter der Bedingung

$$\frac{\partial F}{\partial x} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial y \partial c} - \frac{\partial F}{\partial y} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial c} \neq 0$$

beweisen kann. Wenn die letztere Determinant verschwindet, kann der entsprechende Punkt ein Wendepunkt oder ein gewöhnlicher oder ein höherer singulärer Punkt sein“.

Уравненія III дѣйствительно показываютъ, что условіемъ для сужденія о необходимости одновременнаго обращенія въ нуль величинъ  $x'$  и  $y'$  является отличіе отъ нуля детермината системы III, что соотвѣтствуетъ условію, указанному Д. М. Синцовымъ.



$$dx = x' dt$$

$$dy = y' dt$$

и предыдущія условія сведутся къ слѣдующимъ:

$$\begin{aligned} F_x x' + F_y y' &= 0 \\ F_{ax} x' + F_{ay} y' &= 0 \end{aligned} \quad (\text{III})$$

Такъ какъ на всемъ разсматриваемомъ участкѣ нѣтъ особенныхъ точекъ, то  $x'$  и  $y'$  не могутъ равняться нулю *одновременно*, а потому детерминантъ системы долженъ обращаться въ нуль, т. е.

$$\frac{D(F, F_a)}{D(x, y)} = 0.$$

Послѣднее обстоятельство будетъ имѣть мѣсто всегда, когда  $F_a \neq 0$ . Отсюда мы можемъ заключить:

Пусть  $\Gamma_n$  есть геометрическое мѣсто особенныхъ точекъ  $n$ -аго порядка кривыхъ семейства  $F(x, y, a) = 0$ .

На всемъ участкѣ  $\Gamma_n$ , на которомъ нѣтъ особенныхъ точекъ этой кривой, якобианъ

$$\frac{D(F, F_a)}{D(x, y)}$$

тождественно обращается въ нуль, если  $n > 2$ ; теорема остается справедливой и для  $n = 2$ , если кривая  $\Gamma_2$  есть въ то же время и огибающая.



V. Davatz.

**Sur les enveloppes d'une famille des courbes planes,  
dépendante d'un paramètre.**

(Résumé)

La théorie moderne des enveloppes (*de la Vallée Poussin*) doit être préférée à la théorie classique (*Monge*).

La théorie classique considère une enveloppe comme le lieu géométrique des limites des points d'intersection des courbes voisines, appartenantes à une famille; la théorie moderne définit une enveloppe comme le lieu géométrique des points dont la distance jusqu'aux points des courbes voisines a l'ordre plus élevé que  $da$ . La dernière définition est plus générale; c'est pourquoi les résultats qui parassaient être étrangers dans la conception classique, reçoivent une simple interprétation. La théorie des enveloppes d'une famille des courbes planes, construite à ce point de vue, peut être étendue à l'espace à  $n$  dimensions.

Le résultat de l'élimination du paramètre  $a$  entre les équations

$$F = 0 \quad F_a = 0$$

donne, outre des enveloppes, au sens directe de ce mot, des courbes qui se composent entièrement de points caractéristiques (courbes stationnaires) et des lieux géométriques des points singuliers.

Les courbes stationnaires, comme les courbes isolées de la famille, peuvent se confondre avec l'enveloppe même. En nous servant de la conception des projections des courbes.

$$F(x, y, z) = 0 \quad F_z(x, y, z) = 0,$$

nous construisons une pareille famille dont l'équation est:

$$F(x, y, a) = x^2 + y^2 - \\ - \{ R + \sin [a^2 \cdot \arctg \frac{y}{x} + a(1 - \frac{\pi}{2} \arctg \frac{y}{x})] \}^2 = 0.$$



Dans tous ces cas,  $a$ , considéré comme une fonction des  $x$  et  $y$ , est constant tout le long de l'enveloppe; laissant de côté ces cas, nous avons trouvé des conditions pour qu'un lieu géométrique des points multiples soit une enveloppe dans le sens géométrique.

En profitant de la désignation de *G. Darboux*, qui exprime par le symbole  $\delta$  toute différentielle par rapport à  $a$  et par  $d$  toute différentielle prise, en laissant  $a$  constant, nous trouvons que les conditions

$$dF=0, \quad d^2F=0 \dots \dots d^{n-1}F=0$$

entraînent les égalités:

$$\delta F=0, \quad \delta^2 F=0 \dots \dots \delta^{n-1} F=0$$

et

$$d^n F - (-1)^n \delta^n F = 0.$$

Ce théorème étant démontré, nous avons la possibilité d'enoncer la proposition suivante:

*Pour tous les points d'un lieu géométrique des points multiples d'ordre  $n$ ,*

$$F_a = 0, \quad F_{a^2} = 0 \dots \dots F_{a^{n-1}} = 0.$$

*La condition, nécessaire et suffisante, pour qu'un lieu géométrique des points multiples d'ordre  $n$  soit une enveloppe, est:*

$$F_{a^n} = 0.$$

Nous donnons quelques exemples pour illustrer la proposition énoncée et démontrons le théorème suivant:

*Soit  $\Gamma_n$  le lieu géométrique des points singuliers d'ordre  $n$  des courbes d'une famille  $F(x, y, a) = 0$ .*

*Sur toute la section du  $\Gamma_n$ , où l'on n'a pas des points singuliers de cette courbe, le jacobien*

$$\frac{D(F, F_a)}{D(x, y)}$$

*s'annule identiquement, si  $n > 2$ ; la proposition précédente subsiste pour  $n = 2$ , si la courbe  $\Gamma_2$  est, en même temps, une enveloppe.*







Проф. Н. Н. Салтыковъ.

## ИНТЕГРИРОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ СЪ ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ ПО СПОСОБУ ИЗМѢНЕНИЯ ПРОИЗВОЛЬНЫХЪ ПОСТОЯННЫХЪ.

1. Въ настоящей статьѣ имѣется въ виду сдѣлать рядъ дополненій къ результатамъ доклада „Преобразование уравненій съ частными производными перваго порядка одной неизвѣстной функціи“, сдѣланнаго на Съѣздѣ Математиковъ Славянскихъ странъ, въ Варшавѣ, въ сентябрѣ мѣсяцѣ 1929 года.

Поставленный вопросъ касается приложенія теоріи измененія произвольныхъ постоянныхъ величинъ къ интегрированію совокупныхъ уравненій съ частными производными.

Впервые Эйлеръ изобрѣлъ этотъ способъ для интегрированія одного уравненія въ полныхъ дифференціалахъ. Интегрируя усѣченное уравненіе, полученное вслѣдствіе принятія одной изъ трехъ переменныхъ за постоянную величину, Эйлеръ считаетъ затѣмъ вошедшую, благодаря интегрированію, произвольную постоянную за новую переменную величину. Этотъ способъ примѣнялся имъ чисто интуитивно. Затѣмъ Лагранжъ обосновалъ теоретически указанный приемъ интегрированія и распространилъ его на случай, когда коэффициенты разсматриваемаго уравненія содержатъ также и неизвѣстную функцію.

Развитіе Эйлеровой идеи привело Лагранжа къ примѣненію способа измененія произвольныхъ постоянныхъ въ теоріи обыкновенныхъ линейныхъ уравненій, а также въ ученіи о различныхъ видахъ интеграловъ дифференціальныхъ уравненій съ частными производными перваго порядка одной неизвѣстной функціи.

Наконецъ, Лагранжъ создалъ приближенный приемъ интегрированія дифференціальныхъ уравненій небесной механики, основанный на способѣ измененія произвольныхъ постоянныхъ величинъ.

Введеніе каноническихъ уравненій позволило Якоби усовершенствовать послѣдній способъ приближенныхъ инте-



грированій уравненій небесной механики. Вмѣстѣ съ тѣмъ Якоби связалъ эти свои изслѣдованія съ теоріей такъ называемыхъ касательныхъ преобразованій, ведущихъ также свое начало отъ работъ Эйлера.

Первый новый успѣхъ въ рассматриваемой области былъ достигнутъ А. Н. Коркинымъ. Онъ создалъ оригинальную методу интегрированія совокупныхъ уравненій съ частными производными перваго порядка одной неизвѣстной функціи.

Послѣ того С. Ли развилъ свою общую теорію преобразованій, рассматривая якобіевскую теорію, какъ частный случай своихъ болѣе общихъ формулъ.

Необходимо отмѣтить дальнѣйшія изслѣдованія Г. Морера, Г. Пуанкаре и Т. Де-Дондра. Въ частности, Г. Морера распространилъ результаты С. Ли на системы уравненій съ частными производными, развивая связь между дифференціальнымъ выраженіемъ Пфаффа и касательными преобразованіями.

Слѣдуетъ, однако, остановиться на тѣхъ особенностяхъ, которыми различаются, съ одной стороны, идеи Якоби и А. Н. Коркина, а съ другой стороны, соображенія С. Ли. Преслѣдуя наибольшую общность преобразованій, С. Ли упускаетъ изъ виду случаи невозможности обратной замѣны переменныхъ. Между тѣмъ какъ теоріи Якоби и А. Н. Коркина обезпечиваютъ возможность какъ прямой, такъ и обратной замѣны переменныхъ.

Основанныя на этихъ послѣднихъ соображеніяхъ, новыя обобщенія послѣднихъ идей даны въ построеніи усѣченныхъ касательныхъ преобразованій и въ дальнѣйшемъ развитіи теоріи интегрированія совокупныхъ уравненій съ частными производными. Читатель найдетъ изложеніе этихъ изслѣдованій въ XII-ой главѣ моихъ Бельгійскихъ лекцій.

Отмѣченныя соображенія послужили исходнымъ пунктомъ моего предварительнаго доклада на Славянскомъ Съѣздѣ математиковъ въ Варшавѣ.

Оставаясь на изложенной выше общей точкѣ зрѣнія, мы имѣемъ въ виду распространить классическія изслѣдованія на системы совокупныхъ уравненій.

Сущность теоріи, изложенной въ указанныхъ Бельгійскихъ лекціяхъ, сводится къ слѣдующему. Выдѣляя изъ всего числа данныхъ совокупныхъ уравненій одну часть уравненій, которыя однако могутъ быть совмѣстно проинтегрированы, мы принимали ихъ полный интегралъ за основную формулу дальнѣйшихъ преобразованій. Благодаря этому упрощается задача интегрированія исходной системы уравненій, такъ какъ мы сводимъ ее на интегрированіе одной или нѣсколькихъ системъ совокупныхъ уравненій, которыя заключаютъ меньшее число уравненій и меньшее число независимыхъ пере-



мѣнныхъ, сравнительно съ первоначально данной системой уравненій.

2. Въ настоящемъ изслѣдованіи, прежде всего, я имѣю въ виду остановиться на иной методѣ интегрированія, которая представляетъ обобщеніе первоначальной идеи Эйлера. Дѣло касается не сведенія данныхъ уравненій къ интегрированію меньшаго числа уравненій, какъ въ только что упомянутомъ способѣ. Напротивъ, число уравненій можетъ оставаться прежнимъ, но зато усѣкаются самыя уравненія, отбрасываніемъ нѣкоторыхъ своихъ частей. Такъ поступаютъ при интегрированіи уравненій небесной механики и такъ поступалъ В. П. Ермаковъ, при интегрированіи нѣкоторыхъ обыкновенныхъ дифференціальныхъ уравненій.

Чтобы пояснить сказанное, возьмемъ слѣдующій примѣръ.

Требуется проинтегрировать уравненіе съ частными производными перваго порядка съ тремя независимыми переменными величинами слѣдующаго вида

$$(p_1 + x_2)(p_2 + x_3)(p_3 + x_1) = a, \quad (1)$$

гдѣ  $a$  обозначаетъ постоянную величину, а  $p_1, p_2, p_3$  — частныя производныя неизвѣстной функціи  $z$ , взятыя соотвѣтственно по тремъ независимымъ переменнымъ величинамъ  $x_1, x_2, x_3$ .

Не трудно видѣть, что уравненіе

$$p_1 + x_3 = C_1,$$

гдѣ  $C_1$  представляетъ произвольную постоянную величину находится въ инволюціи съ даннымъ уравненіемъ. Поэтому, задача интегрированія послѣдняго уравненія сводится къ интегрированію системы обоихъ уравненій.

Эта же система, будучи разрѣшима относительно производныхъ  $p_1$  и  $p_2$ , приводится къ слѣдующему виду

$$\begin{aligned} p_1 + x_3 - C_1 &= 0 \\ p_2 + x_3 - \frac{a}{(x_1 + p_3)(x_2 - x_3 + C_1)} &= 0. \end{aligned}$$

Вмѣсто данной системы уравненій займемся интегрированіемъ слѣдующей усѣченной системы двухъ совокупныхъ уравненій

$$\begin{aligned} p_1 + x_3 - C_1 &= 0, \\ p_2 + x_3 &= 0, \end{aligned}$$

гдѣ, естественно, переменная  $x_3$  должна рассматриваться какъ постоянная величина.



Полный интегралъ послѣдней системы уравненій находится очень легко, и представляется въ слѣдующемъ видѣ

$$z = C_1 x_1 - (x_1 + x_2) x_3 + z',$$

гдѣ  $z'$  обозначаетъ новую произвольную постоянную величину.

Принимаемъ послѣднюю за новую функцію, которую и вводимъ вмѣсто  $z$  въ исходную систему уравненій. Въ такомъ случаѣ эта послѣдняя преобразовывается въ нижеслѣдующую

$$p_1' = 0, \quad p_2' - \frac{a}{(p_3' - x_2)(x_2 - x_3 + C_1)} = 0,$$

гдѣ  $p_1'$ ,  $p_2'$ ,  $p_3'$  обозначаютъ частныя производныя новой неизвѣстной функціи  $z'$ , взятыя соотвѣтственно по старымъ независимымъ переменнымъ величинамъ.

Однако, благодаря выполненному преобразованію наша система уравненій сводится, въ сущности, къ интегрированію одного второго изъ полученныхъ двухъ уравненій, съ двумя независимыми переменными величинами.

Полный интегралъ послѣдняго уравненія представляется въ слѣдующемъ видѣ

$$z' = \frac{1}{2} x_2 x_3 - \frac{1}{4} (x_2 - C_2)^2 + \frac{1}{4} (x_3 + C_2)^2 \mp \int R du + C,$$

гдѣ введены слѣдующія обозначенія:

$$u \equiv x_3 - x_2, \quad R \equiv \sqrt{\frac{1}{4} (u + C_2)^2 + \frac{a}{u - C_1}},$$

а  $C_2$  и  $C$  обозначаютъ двѣ произвольныхъ постоянныхъ величины.

Поэтому достаточно произвести обратную замѣну переменныхъ, чтобы получить полный интегралъ даннаго исходнаго уравненія:

$$z = C_1 x_1 - (x_1 + x_2) x_3 + \frac{1}{2} x_2 x_3 - \frac{1}{4} (x_2 - C_2)^2 + \frac{1}{4} (x_3 + C_2)^2 \mp \int R du + C,$$

гдѣ сохранены предыдущія обозначенія, а  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C$  представляютъ три произвольныхъ постоянныхъ величины.

3. Переходимъ теперь къ распространенію Якобіевской теоріи измѣненія произвольныхъ постоянныхъ на системы совокупныхъ уравненій въ частныхъ производныхъ,



Возьмемъ систему  $m$  уравненийъ съ частными производными перваго порядка въ инволюціи, разрѣшенныхъ относительно  $m$  частныхъ производныхъ

$$\left. \begin{aligned} p_k + H_k(x_1, x_2, \dots, x_n, p_{m+1}, p_{m+2}, \dots, p_n) &= 0 \\ k &= 1, 2, \dots, m, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

причемъ имѣеть мѣсто равенство

$$dz = \sum_{s=1}^n p_s dx_s,$$

гдѣ всякая переменная  $p_s$  обозначаетъ частную производную перваго порядка неизвѣстной функции  $z$ , взятую соотвѣтственно по независимой переменной  $x_s$ .

Составляемъ соотвѣтствующую уравненіямъ (1) каноническую систему уравненийъ въ полныхъ дифференціалахъ

$$\left. \begin{aligned} dx_{m+r} &= \sum_{k=1}^m \frac{\partial H_k}{\partial p_{m+r}} dx_k, \\ dp_{m+r} &= - \sum_{k=1}^m \frac{\partial H_k}{\partial x_{m+r}} dx_k, \\ r &= 1, 2, \dots, n-m. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Пусть полный интеграль системы уравненийъ въ частныхъ производныхъ (1) представляется формулой

$$z = V(x_1, x_2, \dots, x_n, C_1, C_2, \dots, C_{n-m}) + C, \quad (3)$$

гдѣ  $C_1, C_2, \dots, C_{n-m}, C$  обозначаютъ  $n$  различныхъ произвольныхъ постоянныхъ величинъ, причемъ имѣеть мѣсто неравенство

$$D \left( \begin{array}{c} \frac{\partial V}{\partial x_{m+1}}, \frac{\partial V}{\partial x_{m+2}}, \dots, \frac{\partial V}{\partial x_n} \\ C_1, C_2, \dots, C_{n-m} \end{array} \right) \neq 0. \quad (4)$$

Поэтому слѣдующія формулы

$$\left. \begin{aligned} p_{m+r} &= \frac{\partial V}{\partial x_{m+r}}, & \frac{\partial V}{\partial C_r} &= C'_r, \\ r &= 1, 2, \dots, n-m, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

гдѣ  $C'_r$  обозначаютъ новыя произвольныя постоянныя, опредѣляютъ полную систему каноническихъ интеграловъ канонической системы (2):



$$\left. \begin{aligned} \varphi_r (x_1, x_2, \dots, x_n, p_{m+1}, p_{m+2}, \dots, p_n) &\equiv C_r, \\ \psi_r (x_1, x_2, \dots, x_n, p_{m+1}, p_{m+2}, \dots, p_n) &= C'_r, \\ r &= 1, 2, \dots, n-m. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Какъ показано въ моемъ мемуарѣ, въ Запискахъ Академіи Наукъ, VIII-ая Серія, по физико-мат. отд. Томъ XXV, № 10, С.-Петербургъ, 1911, на стр. 6—7, каноническія свойства послѣднихъ интеграловъ выражаются, при помощи скобокъ Пуассона, слѣдующими формулами:

$$(\varphi_r, \varphi_k) = 0, \quad (7)$$

$$(\varphi_r, \psi_k) = \begin{cases} 0, & r \neq k, \\ 1, & r = k, \end{cases} \quad (8)$$

$$(\psi_r, \psi_k) = 0. \quad (9)$$

4. Воспользуемся указанными каноническими свойствами интеграловъ канонической системы уравненій, для преобразованія къ новымъ переменнымъ какой-либо другой нормальной системы также  $m$  уравненій съ частными производными.

Напишемъ послѣднюю въ слѣдующемъ видѣ:

$$\left. \begin{aligned} p_k + H_{1k} (x_1, x_2, \dots, x_n, p_{m+1}, p_{m+2}, \dots, p_n) &= 0, \\ k &= 1, 2, \dots, m. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Соотвѣтствующая этой системѣ уравненій Якобiевская линейная система уравненій становится

$$\left. \begin{aligned} (p_k + H_{1k}, f) &= 0, \\ k &= 1, 2, \dots, m, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

а уравненія въ полныхъ дифференціалахъ имѣютъ значеніе

$$\left. \begin{aligned} dx_{m+r} &= \sum_{k=1}^m \frac{\partial H_{1k}}{\partial p_{m+r}} dx_k, \\ dp_{m+r} &= - \sum_{k=1}^m \frac{\partial H_{1k}}{\partial x_{m+r}} dx_k, \\ r &= 1, 2, \dots, n-m. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Съ точки зрѣнія задачи интегрированія дифференціаль-ныхъ уравненій, системы уравненій (10), (11) и (12) равнозначны, ибо рѣшеніе одной изъ этихъ системъ приводитъ къ рѣшеніямъ каждой изъ двухъ остальныхъ. Кромѣ того,



по каждой изъ этихъ трехъ, возстанавливаются двѣ другихъ. Поэтому мы можемъ преобразовать какую угодно любую изъ этихъ трехъ системъ и послѣ этого преобразованія, немедленно найти результаты преобразованія двухъ остальныхъ системъ.

Въ виду этого мы займемся преобразованиемъ канонической системы (12), или равнозначныхъ ей уравненій

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial x_{m+r}}{\partial x_k} &= \frac{\partial H_{1k}}{\partial p_{m+r}}, & \frac{\partial p_{m+r}}{\partial x_k} &= -\frac{\partial H_{1k}}{\partial x_{m+r}}, \\ r &= 1, 2, 3, \dots, n-m, & k &= 1, 2, \dots, m. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Такъ какъ уравненія (6) разрѣшимы относительно переменныхъ

$$x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n, p_{m+1}, p_{m+2}, \dots, p_n, \quad (14)$$

то преобразуемъ наши уравненія (12) или (13) къ новымъ переменнымъ, вводя вмѣсто старыхъ переменныхъ (14) новыя переменныя, за которыя мы возьмемъ величины

$$C_1, C_2, \dots, C_{n-m}, C_1', C_2', \dots, C'_{n-m}, \quad (15)$$

Съ этою цѣлью замѣтимъ прежде всего, что опредѣляющія послѣднія величины функции  $\varphi_r$  и  $\psi_r$ , въ уравненіяхъ (6), удовлетворяютъ тождественно кромѣ условій (7), (8) и (9) еще слѣдующія равенства:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \varphi_r}{\partial x_k} + (H_k, \varphi_r) &= 0, \\ \frac{\partial \psi_r}{\partial x_k} + (H_k, \psi_r) &= 0, \\ r &= 1, 2, \dots, n-m, & k &= 1, 2, \dots, m. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Послѣднія формулы показываютъ, что функции  $\varphi_r$  и  $\psi_r$  являются интегралами яacobievской системы линейныхъ уравненій, соотвѣтствующей системѣ уравненій въ полныхъ дифференціалахъ (2).

Подставляя въ уравненія (6) опредѣляемые ими же значенія переменныхъ (14), мы получаемъ тождества. Дифференцирование послѣднихъ по независимымъ переменнымъ  $x_k$  даетъ рядъ слѣдующихъ новыхъ тождествъ, гдѣ величины (15) разсматриваются какъ новыя переменныя (при этомъ пишемъ на первомъ мѣстѣ производныя, которыя получаютъ



дифференцированиемъ вторыхъ частей рассматриваемыхъ равенствъ):

$$\frac{\partial C_r}{\partial x_k} = \frac{\partial \varphi_r}{\partial x_k} + \sum_{i=1}^{n-m} \left( \frac{\partial \varphi_r}{\partial x_{m+i}} \frac{\partial x_{m+i}}{\partial x_k} + \frac{\partial \varphi_r}{\partial p_{m+i}} \frac{\partial p_{m+i}}{\partial x_k} \right),$$

$$\frac{\partial C'_r}{\partial x_k} = \frac{\partial \psi_r}{\partial x_k} + \sum_{i=1}^{n-m} \left( \frac{\partial \psi_r}{\partial x_{m+i}} \frac{\partial x_{m+i}}{\partial x_k} + \frac{\partial \psi_r}{\partial p_{m+i}} \frac{\partial p_{m+i}}{\partial x_k} \right),$$

$$r = 1, 2, \dots, n - m, \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

Полученныя тождества легко преобразовываются въ уравненія. Съ этой цѣлью подставимъ значенія частныхъ производныхъ функцій  $x_{m+i}$  и  $p_{m+i}$  изъ уравненій (13) въ полученныя тождества. Послѣднія, благодаря этой постановкѣ, превращаются въ слѣдующія уравненія:

$$\frac{\partial C_r}{\partial x_k} = \frac{\partial \varphi_r}{\partial x_k} + (H_{1k}, \varphi_r),$$

$$\frac{\partial C'_r}{\partial x_k} = \frac{\partial \psi_r}{\partial x_k} + (H_{1k}, \psi_r),$$

$$r = 1, 2, \dots, n - m, \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

Наконецъ, въ силу тождествъ (16), послѣднія уравненія становятся

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial C_r}{\partial x_k} &= (H_{1k} - H_k, \varphi_r), \\ \frac{\partial C'_r}{\partial x_k} &= (H_{1k} - H_k, \psi_r), \\ r = 1, 2, \dots, n - m, \quad k = 1, 2, \dots, m. \end{aligned} \right\} (17)$$

Искомое преобразование уравненій (13) къ новымъ переменнымъ (16) представляется результатомъ подстановки въ уравненія (17), въ ихъ правыхъ частяхъ, выраженій старыхъ переменныхъ (14) въ новыхъ переменныхъ (15).

5. Чтобы найти искомые результаты, поступаемъ слѣдующимъ образомъ.

Обозначимъ черезъ прямыя скобки [ ] результатъ подстановки вмѣсто старыхъ переменныхъ ихъ значеній, въ новыхъ переменныхъ, въ выраженіе, которое заключено въ эти скобки, и напомнимъ, что

$$[H_{1k} - H_k] \equiv H_{2k}(x_1, x_2, \dots, x_m, C_1, C_2, \dots, \dots, C_{n-m}, C'_1, C'_2, \dots, C'_{n-m}) \quad (18)$$



Поэтому, обратно, имѣемъ тождества:

$$H_{1k} - H_k \equiv H_{2k}(x_1, x_2, \dots, x_m, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_{n-m}, \psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{n-m}).$$

Слѣдовательно, выраженія скобокъ Пуассона, находящихся въ лѣвыхъ частяхъ преобразовываемыхъ уравненій (17), на основаніи извѣстныхъ свойствъ скобокъ Пуассона, отъ сложныхъ функцій, принимаютъ слѣдующій видъ:

$$(H_{1k} - H_k, \varphi_r) \equiv \sum_{i=1}^{n-m} \left[ \left( \frac{\partial H_{2k}}{\partial C_i} \right) (\varphi_i, \varphi_r) + \left( \frac{\partial H_{2k}}{\partial C'_i} \right) (\psi_i, \varphi_r) \right],$$

$$(H_{1k} - H_k, \psi_r) \equiv \sum_{i=1}^{n-m} \left[ \left( \frac{\partial H_{2k}}{\partial C_i} \right) (\varphi_i, \psi_r) + \left( \frac{\partial H_{2k}}{\partial C'_i} \right) (\psi_i, \psi_r) \right],$$

причемъ круглыя скобки, въ которыя заключены частныя производныя

$$\frac{\partial H_{2k}}{\partial C_i} \quad \text{и} \quad \frac{\partial H_{2k}}{\partial C'_i},$$

указываютъ на результатъ замѣны, въ выраженіяхъ этихъ производныхъ, значеній  $C_i$  и  $C'_i$  ихъ выраженіями (6).

Послѣднія формулы упрощаются, въ силу условій (7) (8), (9) и становятся

$$(H_{1k} - H_k, \varphi_r) \equiv - \left( \frac{\partial H_{2k}}{\partial C'_r} \right),$$

$$(H_{1k} - H_k, \psi_r) \equiv \left( \frac{\partial H_{2k}}{\partial C_r} \right).$$

Если въ полученныя выраженія подставить выраженія старыхъ переменныхъ (14) въ новыхъ переменныхъ (15), то само собою разумѣется, что результатъ означенной подстановки выразится уничтоженіемъ круглыхъ скобокъ, въ которыя заключены правыя части только что полученныхъ тождествъ.

Поэтому преобразованныя къ новымъ переменнымъ уравненія (17) принимаютъ слѣдующій простой и симметричный видъ:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial C_r}{\partial x_k} &= - \frac{\partial H_{2k}}{\partial C'_r}, & \frac{\partial C'_r}{\partial x_k} &= \frac{\partial H_{2k}}{\partial C_r}, \\ r &= 1, 2, \dots, n-m, & k &= 1, 2, \dots, m, \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

гдѣ функціи  $H_{2k}$  опредѣляются формулами (18).



Выведенныя уравненія могутъ быть представлены сокращенно, въ видѣ слѣдующихъ уравненій въ полныхъ дифференціалахъ:

$$\left. \begin{aligned} dC_r &= - \sum_{k=1}^m \frac{\partial H_{2k}}{\partial C_r'} dx_k, \\ dC_r' &= \sum_{k=1}^m \frac{\partial H_{2k}}{\partial C_r} dx_k, \\ r &= 1, 2, \dots, n-m. \end{aligned} \right\} (20)$$

Такимъ образомъ разрѣшается задача преобразованія данной канонической системы уравненій въ полныхъ дифференціалахъ (12) въ новую каноническую систему (20), при помощи канонической системы интеграловъ третьей канонической системы уравненій въ полныхъ дифференціалахъ (2).

6. Этотъ результатъ и полученныя формулы (19) представляютъ очевидное обобщеніе теоріи Якоби преобразованія обыкновенныхъ каноническихъ уравненій.

Возвращаемся къ разсмотрѣнному общему случаю и полученнымъ преобразованнымъ уравненіямъ въ полныхъ дифференціалахъ (20).

Легко написать соотвѣтствующую послѣднимъ систему  $m$  уравненій въ инволюціи съ новыми частными производными  $p_s'$ :

$$\left. \begin{aligned} p_k' - H_{2k}(x_1, x_2, \dots, x_m, C_1, C_2, \dots, C_{n-m}) \\ p'_{m+1}, p'_{m+2}, \dots, p'_n = 0, \\ k = 1, 2, \dots, m, \end{aligned} \right\} (21)$$

гдѣ вновь введенныя обозначенія переменныхъ

$$p_1', p_2', \dots, p'_m, p'_{m+1}, p'_{m+2}, \dots, p'_n$$

являются частными производными новой неизвѣстной функціи, взятыми соотвѣтственно по новымъ независимымъ переменнымъ, которыя представляютъ величины.

$$x_1, x_2, \dots, x_m, C_1, C_2, \dots, C_m.$$

7. Предположимъ теперь, что характеристическія функціи  $H_{1k}$  преобразовываемой системы уравненій (10) таковы, что могутъ быть представлены въ слѣдующемъ видѣ

$$\left. \begin{aligned} H_{1k} &\equiv H_k + H'_k, \\ k &= 1, 2, \dots, m. \end{aligned} \right\} (22)$$



Первыя слагаемыя послѣднихъ формулъ  $H_k$  являются характеристическими функціями первой проинтегрированной системы уравненій съ частными производными (1). Поэтому, само собой разумѣется, что преобразованная выраженія вторыхъ слагаемыхъ формулъ (22), т. е. функціи  $H_k'$  будутъ служить характеристическими функціями преобразованной канонической системы уравненій.

Изложенное преобразование является вполне общимъ, для преобразования канонической системы съ сохраненіемъ ея каноническаго вида.

Вмѣстѣ съ тѣмъ изложенная теорія представляетъ преимущество для интегрированія разсматриваемыхъ уравненій по способу послѣдовательныхъ приближеній, когда ихъ характеристическія функціи выражаются суммою величинъ различнаго порядка, но кромѣ того еще и удовлетворяютъ отмѣченному выше необходимому условію, чтобы усѣченная система уравненій была также интегрируемой. Въ этомъ случаѣ всѣ заключенія будутъ аналогичны указаніямъ Якоби, для обыкновенныхъ каноническихъ уравненій въ созданной имъ теоріи возмущенныхъ движеній небесной механики.

8. Оставаясь на почвѣ общей теоріи каноническаго преобразования разсматриваемыхъ уравненій, напишемъ нормальную систему уравненій, соотвѣтствующую предположенію (22), а именно:

$$\left. \begin{aligned} p_k + H_k + H_k' &= 0, \\ k &= 1, 2, \dots, m \end{aligned} \right\} (23)$$

Введемъ теперь предположеніе, что нѣкоторыя изъ функцій  $H_k$  выбраны такъ, чтобы соотвѣтствующія имъ функціи  $H_k'$  были равны нулямъ. Благодаря этому вводится, стало-быть, предположеніе, что нѣкоторые изъ уравненій усѣченной системы сохраняютъ свой первоначальный видъ исходныхъ уравненій, причемъ получаемая такимъ образомъ усѣченная система представляется въ видѣ нормальной и поэтому можетъ быть проинтегрирована.

Предположимъ, на примѣръ, что имѣютъ мѣсто условія

$$H'_{m'+1} \equiv 0, \quad H'_{m'+2} \equiv 0, \dots, H'_m \equiv 0.$$

Въ такомъ случаѣ наша преобразованная система (21) въ настоящемъ разсматриваемомъ предположеніи становится:

$$\left. \begin{aligned} p_{k'} - [H'_{k'}] &= 0, \quad p_{m'+r} = 0, \\ k' &= 1, 2, \dots, m', \quad r = 1, 2, \dots, m - m', \end{aligned} \right\} (24)$$

гдѣ прямыя скобки имѣютъ прежнее указанное выше значеніе.



Послѣднія  $m - m'$  уравненій (24) показываютъ, что новая неизвѣстная функція не зависитъ отъ  $m - m'$  послѣднихъ главныхъ независимыхъ переменныхъ величинъ,

$$x_{m'+1}, x_{m'+2}, \dots, x_m.$$

Отсюда слѣдуетъ также заключеніе, что первыя  $m'$  преобразованныя уравненія (24) также не зависятъ отъ послѣднихъ переменныхъ и поэтому представляютъ самостоятельную систему  $m'$  совокупныхъ уравненій, гдѣ число независимыхъ переменныхъ уменьшилось на  $m - m'$  единицъ.

Это заключеніе основано на тѣхъ же самыхъ соображеніяхъ, которыя были нами изложены по поводу обоснованія методы А. Н. Коркина для интегрированія совокупныхъ уравненій съ частными производными \*).

Изложенное преобразование интересно въ томъ отношеніи, что позволяетъ въ соответствующихъ указанныхъ случаяхъ понижать какъ число уравненій интегрируемой системы, такъ и число независимыхъ переменныхъ величинъ.

Особенно интереснымъ является случай, когда, усѣкая одно только уравненіе, мы оказываемся въ состояніи свести интегрированіе системы совокупныхъ уравненій на одно уравненіе съ уменьшеннымъ числомъ независимыхъ переменныхъ величинъ.

Этотъ частный случай представляется въ примѣрѣ, который приведенъ въ началѣ настоящей статьи и соответствуетъ простѣйшимъ формуламъ преобразованія переменныхъ.

---

\*) Н. Н. Салтыковъ — Исслѣдованія по теоріи уравненій съ частными производными перваго порядка одной неизвѣстной функціи. Харьковъ, 1905 г. Глава V, № 7, стр. 136.



Вячеславъ Жардецкій.

## О ПЕРМАНЕНТНОМЪ ВРАЩЕНІИ ИЗОЛИРОВАННОЙ ЖИДКОЙ МАССЫ.

1. Рѣшенію классической задачи о формахъ равновѣсія вращающейся жидкой массы были посвящены многочисленныя работы выдающихся математиковъ послѣднихъ вѣковъ, начиная со временъ Ньютона и до эпохи Ляпунова и Пуанкаре. Эти изслѣдованія, имѣвшія также цѣль объяснить фигуры небесныхъ тѣлъ, увѣнчались многими результатами, хотя еще, въ особенности въ случаѣ неоднородной жидкости, не привели къ полному разрѣшенію вопроса. Однако, предпосылка, что небесное тѣло вращается какъ одно цѣлое, не является справедливой для многихъ объектовъ. Вотъ почему, при изученіи тѣлъ вращающихся или вращавшихся какъ Солнце, Юпитеръ и Сатурнъ, пріобрѣтаетъ смыслъ слѣдующее приближеніе, а именно задача о перманентномъ вращеніи изолированной жидкой или газообразной массы. Изслѣдованію этой проблемы посвящено значительно меньшее число работъ. Но и эти работы приводятъ пока, главнымъ образомъ, къ отрицательнымъ результатамъ, какъ и въ случаѣ задачи о равновѣсіи неоднородной жидкой массы, и даже къ противорѣчіямъ.

Наша работа имѣетъ цѣлью произвести анализъ этой задачи и изслѣдованій, сдѣланныхъ до сихъ поръ. Поэтому мы начинаемъ съ выясненія природы и допустимости основныхъ предпосылокъ.

### 2. Основныя гидродинамическія уравненія и предпосылки.

Формулируемъ задачу слѣдующимъ образомъ: дана изолированная идеальная жидкая масса (однородная или неоднородная), частицы которой притягиваются по закону Ньютона; опредѣлить, при какихъ условіяхъ возможно ея перманентное



вращение около оси неподвижной въ пространствѣ, и какова будетъ ея форма.

Движение этой массы мы отнесемъ къ неподвижному ортогональному тріедру  $Oxyz$ , съ началомъ въ центрѣ инерціи  $O$  и осью  $z$  направленной по оси вращенія.

Обозначимъ черезъ  $\vec{r}(x, y, z)$  радіусъ векторъ нѣкоторой частицы по отношенію къ точкѣ  $O$ ,  $\vec{v} = \dot{\vec{r}}$  скорость ея,  $\vec{\Omega}$  мгновенную угловую скорость этой частицы жидкости,  $p$  — давленіе,  $\rho$  — плотность,  $\vec{F}$  — равнодѣйствующую силъ притяженія, вычисленную на единицу массы,  $U$  — функцію силъ. Тогда  $\vec{F} = \text{grad } U$ .

Функція силъ  $U$ , какъ и ея производныя перваго и второго порядка непрерывны внутри жидкости. Допустимъ, что  $p$  и  $\rho$  непрерывныя функціи координатъ.

Условіе, что вращение перманентно равносильно двумъ предпосылкамъ:

$$1^{\circ}. \quad \vec{v} = [\vec{\Omega} \vec{r}],$$

$$2^{\circ}. \quad \dot{\vec{\Omega}} = 0,$$

т. е. производная мгновенной угловой скорости равна нулю, но  $\vec{\Omega}$  можетъ быть функціей координатъ:  $\vec{\Omega} = \vec{\Omega}(x, y, z)$ .

Изъ этихъ предпосылокъ слѣдуетъ, что ускореніе частицы дано слѣдующимъ равенствомъ, если, дифференцируя  $1^{\circ}$ , замѣнимъ  $\dot{\vec{r}} = \vec{v} = [\vec{\Omega} \vec{r}]$ :

$$\dot{\vec{v}} = [\dot{\vec{\Omega}} \vec{r}] + \vec{\Omega} (\vec{\Omega} \vec{r}) - \Omega^2 \vec{r} = \vec{\Omega} (\vec{\Omega} \vec{r}) - \Omega^2 \vec{r}.$$

Если введемъ проекціи  $\vec{\Omega}$ :  $0, 0, \omega$ , то проекціи ускоренія на координатныя оси будутъ:  $-\omega^2 x, -\omega^2 y, 0$ .

Основное уравненіе гидродинамики

$$(1) \quad \dot{\vec{v}} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p$$

дастъ, слѣдовательно, условіе перманентнаго вращенія:

$$(1') \quad \frac{1}{\rho} \text{grad } p = \text{grad } U - \vec{\Omega} (\vec{\Omega} \vec{r}) + \Omega^2 \vec{r},$$

которое эквивалентно тремъ скалярнымъ уравненіямъ:



$$(2) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\varrho} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial x} + \omega^2 x \\ \frac{1}{\varrho} \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial U}{\partial y} + \omega^2 y \\ \frac{1}{\varrho} \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{\partial U}{\partial z} \end{array} \right.$$

Въ этихъ уравненіяхъ можетъ быть  $\omega = \omega(x, y, z)$ .

Если величины  $U, u, p, \varrho$  являются функціями только разстоянія отъ оси  $s = \sqrt{x^2 + y^2}$  и  $z$ , то уравненія (2) приводятся къ двумъ:

$$(2') \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\varrho} \frac{\partial p}{\partial s^2} = \frac{\partial U}{\partial s^2} + \frac{\omega^2}{2} \\ \frac{1}{\varrho} \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{\partial U}{\partial z} \end{array} \right.$$

(за независимыя переменныя приняты  $s^2$  и  $z$ )

Изъ уравненій (2) слѣдуетъ условіе:

$$\frac{dp}{\varrho} = dU + \omega^2 (x dx + y dy)$$

или, какъ это видно и изъ уравненій (2'),

$$(3) \quad \frac{dp}{\varrho} = dU + \frac{\omega^2}{2} ds^2.$$

### 3. Условіе непрерывности. Теорема о формѣ словъ одинаковой плотности.

Къ основнымъ уравненіямъ гидродинамики (2) присоединяется еще условіе непрерывности:

$$(4) \quad \frac{d\varrho}{dt} + \varrho \operatorname{div} \vec{v} = \frac{\partial \varrho}{\partial t} + \operatorname{div} \varrho \vec{v} = 0.$$

Такъ какъ при перманентномъ движеніи не зависятъ явно отъ времени не только скорости но и функціи  $p$  и  $\varrho$ , то

$$\frac{\partial \varrho}{\partial t} = 0,$$

и поэтому, преобразуя условіе (4), мы получаемъ:



$$(4') \quad \vec{v} \operatorname{grad} \varrho + \varrho \operatorname{div} \vec{v} = 0.$$

На основаніи этого условія можно сдѣлать слѣдующее замѣчаніе. Предположимъ, что движеніе жидкости состоитъ лишь въ перемѣщеніяхъ ея частицъ въ слояхъ одинаковой плоскости, т. е. всюду  $\vec{v}$  перпендикулярно къ  $\operatorname{grad} \varrho$ . Тогда условіе (4') переходитъ въ

$$(4'') \quad \operatorname{div} \vec{v} = 0.$$

Такимъ образомъ мы видимъ, что послѣднее уравненіе не является достаточнымъ для опредѣленія несжимаемости жидкости. Дѣйствительно, если жидкость несжимаема, т. е. плотность частицъ постоянна то  $\operatorname{div} \vec{v} = 0$ , но изъ этого уравненія обратно слѣдуетъ лишь, что движеніе жидкости совершается въ слояхъ одинаковой плотности. Такое же движеніе можетъ быть и въ сжимаемой жидкости [ $\varrho = f(p)$ ].

Принявши во вниманіе вышесказанное, докажемъ теорему Р. Dive'a \*), состоящую въ томъ, что въ рассматриваемомъ случаѣ перманентнаго вращенія поверхности одинаковой плотности суть поверхности вращенія, если  $\omega = \omega(s^2, z)$ .

Дѣйствительно изъ 1<sup>o</sup>. слѣдуетъ, что

$$\operatorname{div} \vec{v} = \operatorname{div} [\vec{\Omega} \vec{r}] = -y \frac{\partial \omega}{\partial x} + x \frac{\partial \omega}{\partial y},$$

или, если введемъ функціональный опредѣлитель,

$$\operatorname{div} \vec{v} = \frac{1}{2} \frac{D(s^2, \omega)}{D(x, y)}.$$

Такъ какъ по предположенію  $\omega = \omega(s^2, z)$ , то это выраженіе равно

$$-y \frac{\partial \omega}{\partial s^2} \cdot 2x + x \frac{\partial \omega}{\partial s^2} \cdot 2y = 0.$$

Тогда изъ (4') слѣдуетъ, что  $(\vec{v} \operatorname{grad} \varrho) = 0$ . Но траекторіи частицъ по условію 1<sup>o</sup> — окружности въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ къ оси  $z$  и съ центрами на послѣдней (это получается, если на основаніи 1<sup>o</sup> написать уравненія траекторій и проинтегрировать ихъ). Слѣдовательно  $\varrho = \text{const}$ ,

\*) Р. Dive: 1) Mouvements internes des astres fluides et dérives des continents. Arch. d. sciences phys. et natur. Genève. 5-me pér. Vol. 9. p. 264. 1927.  
2) Rotations internes des astres fluides. Paris 1930, p. 6.



есть поверхность вращения. Обратная теорема нуждается въ слѣдующей формулировкѣ: если движеніе частицъ, при разсматриваемомъ перманентномъ вращеніи жидкой массы, совершается въ слояхъ одинаковой плотности, то  $\omega = \omega(s^2, z)$ . По условію

$$(\vec{v} \text{ grad } \varrho) = 0 \quad \text{и} \quad \vec{v} = [\vec{\Omega} \vec{r}].$$

Тогда изъ (4') слѣдуетъ, что

$$\text{div } \vec{v} = \frac{1}{2} \frac{D(s^2, \omega)}{D(x, y)} = 0,$$

а это равенство показываетъ, что  $\omega$  зависитъ отъ  $x$  и  $y$  черезъ посредство  $s^2$ , но кромѣ того оно можетъ быть функціей и  $z$ . Замѣтимъ еще, что, такъ какъ движеніе перманентно, внѣшняя поверхность жидкой массы не мѣняется съ теченіемъ времени.

#### 4. Характеристическое уравненіе. Законъ скоростей. Условіе на поверхности.

Если при опредѣленіи движенія жидкой массы четырехъ уравненій (2) и (4) недостаточно для нахождения пяти функцій ( $v_x, v_y, v_z, p$  и  $\varrho$ ) и является необходимость въ дополнительномъ условіи

$$F(\varrho, p, \Theta) = 0,$$

гдѣ  $\Theta$  — температура, характеризующемъ извѣстныя физическія свойства жидкости, то въ разсматриваемой задачѣ о перманентномъ движеніи мы можемъ исходить изъ другой предпосылки. Остановимся пока на случаѣ изотермическаго состоянія, когда, слѣдовательно, характеристическое уравненіе можетъ имѣть видъ:

$$(5) \quad \varrho = f(p);$$

откуда слѣдуетъ, что поверхности одинаковаго давленія совпадаютъ съ поверхностями одинаковой плотности.

Если мы допустимъ существованіе этого условія, то въ уравненіи (3) лѣвая часть будетъ полнымъ дифференціаломъ, а тогда и членъ  $\frac{\omega^2}{2} ds^2$  есть полный дифференціалъ, т. е.

$$(6) \quad \omega = \omega(s^2)$$

— величина угловой скорости зависитъ только отъ расто-



янія отъ оси вращенія. R. Wavre <sup>1)</sup> далъ нѣсколько видовъ предпосылокъ эквивалентныхъ этой.

Но мы можемъ задать, разъ мы уже сдѣлали предпосылки 1<sup>o</sup> и 2<sup>o</sup>, дальнѣйшій характеръ движенія, т. е. предположить:

$$3^o \quad \omega = \omega(s^2) \quad \text{или} \quad 3^o a \quad \omega = \omega(s^2, z).$$

При предпосылкѣ 3<sup>o</sup> изъ уравненія (3) получаемъ обратный выводъ, что между плотностью и давленіемъ существуетъ зависимость (5), ибо лѣвая часть его должна быть тоже полнымъ дифференціаломъ. Кромѣ того эта предпосылка (3<sup>o</sup>) даетъ возможность проинтегрировать уравненіе (3):

$$(7) \quad \int \frac{dp}{\varrho} = U + \int \frac{\omega^2}{2} ds^2 + \text{const.}$$

Если же мы примемъ во вниманіе, что масса изолирована, а это равносильно предпосылкѣ:

$$4^o \quad p = 0 \quad \text{на поверхности,}$$

то уравненіе (7) даетъ слѣдующее условіе на свободной поверхности:

$$(8) \quad U + \Phi + C = 0,$$

гдѣ

$$\Phi(s^2) = \int \frac{\omega^2}{2} ds^2.$$

Аналогичное условіе должно выполняться на любой поверхности одинаковой плотности, условіе же (8) опредѣляетъ уравненіе свободной поверхности. Чтобы опредѣлить соотвѣтствующее значеніе постоянной  $C$ , нужно, какъ извѣстно, задать массу жидкости. Какъ мы видимъ, если даже заданъ законъ 3<sup>o</sup>, то для рѣшенія уравненія (7) нужно задать и уравненіе (5), чтобы вычислить  $\int \frac{dp}{\varrho}$ , а, слѣдовательно, расpredѣленіе давленій и плотностей. Существованіе одного изъ уравненій 3<sup>o</sup> или (5) влечетъ за собой существованіе другого, но не опредѣляетъ соотвѣтствующихъ функціональныхъ зависимостей.

Итакъ мы должны еще принять опредѣленный законъ:

$$5^o. \quad \varrho = f(p).$$

\*) R. Wavre. Sur la rotation permanente des planètes et la géodésie. Arch. d. sciences phys. et naturelles. 5-me pér. Vol. 10. p. 19. 1928.



Такимъ образомъ при предпосылкахъ 1<sup>o</sup> — 5<sup>o</sup> мы приходимъ къ опредѣленной постановкѣ задачи: движеніе жидкой массы вполне опредѣлено равенствами 1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup> и 3<sup>o</sup>, ея физическія свойства, которыя необходимо знать для поставленной цѣли, заданы равенствомъ 5<sup>o</sup>, наконецъ, условіе 4<sup>o</sup> служитъ для того, чтобы написать уравненіе свободной поверхности. Задача наша сводится теперь къ нахожденію этой поверхности и распредѣленія плотностей внутри ея, при заданной массѣ и видѣ перманентнаго движенія.

### 5. Нѣкоторыя слѣдствія предпосылки 3<sup>o</sup>а.

Законъ распредѣленія угловыхъ скоростей 3<sup>o</sup>а:

$$\omega = \omega (s^2, z)$$

не противорѣчитъ предпосылкамъ 1<sup>o</sup> и 2<sup>o</sup>, какъ мы видѣли, а также и равенству 4<sup>o</sup>. Но въ слѣдующемъ рядѣ вопросовъ слѣдствія этого предположенія существенно отличаются отъ слѣдствій закона 3<sup>o</sup>.

Когда угловая скорость частицы жидкости зависитъ только отъ разстоянія отъ оси вращенія, равнодѣйствующая силъ притяженія и центробѣжной въ каждой точкѣ имѣетъ направленіе общей нормали къ поверхностямъ одинаковаго давленія и плотности, проходящимъ черезъ эту точку, такъ какъ, во-первыхъ, въ данномъ случаѣ эти семейства совпадаютъ, а во-вторыхъ, изъ уравненій (2) и (7) мы получаемъ:

$$(9) \quad \text{grad} \int \frac{dp}{\rho} = \text{grad} (U + \Phi).$$

Когда же  $\omega$  зависитъ не только отъ  $s$ , но и отъ разстоянія отъ экваторіальной плоскости  $Oxy$  (законъ 3<sup>o</sup>а), то прежде всего не можетъ существовать соотношеніе  $\rho = f(p)$ , ибо предпосылка 5<sup>o</sup> влечетъ за собой и 3<sup>o</sup>. Слѣдовательно при законѣ 3<sup>o</sup>а семейства поверхностей одинаковой плотности и одинаковаго давленія не могутъ совпадать.

Кромѣ того при этомъ законѣ не существуетъ функція  $\Phi(s^2)$ , а слѣдовательно и потенциалъ силы тяжести, т. е. равнодѣйствующей притяженія  $\vec{F}$  и центробѣжной силы, а поэтому и уравненія (7), (8) и (9).

Уравненія (2) даютъ возможность опредѣлить направленіе силы тяжести, проекціи которой суть:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \omega^2 x, \quad \frac{\partial U}{\partial y} + \omega^2 y, \quad \frac{\partial U}{\partial z}.$$

Дѣйствительно, исключая изъ нихъ  $\rho$ , мы находимъ вмѣсто (9):



$$(10) \quad \frac{\partial p}{\partial x} : \frac{\partial p}{\partial y} : \frac{\partial p}{\partial z} = \left( \frac{\partial U}{\partial x} + \omega^2 x \right) : \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \omega^2 y \right) : \frac{\partial U}{\partial z}$$

т. е. сила тяжести въ каждой точкѣ жидкости имѣетъ направление нормали къ поверхности одинаковаго давленія (но не плотности), проходящей черезъ эту точку.

Благодаря предпосылкѣ 4<sup>0</sup>, сила тяжести на внѣшней поверхности жидкости должна имѣть направление нормали къ ней.

Такъ какъ движеніе частицъ жидкости совершается около оси  $z$  по кругамъ (§ 3) и въ слояхъ одинаковой плотности, то

$$(11) \quad \begin{cases} \varrho = \varrho(s^2, z), & p = p(s^2, z), & U = U(s^2, z), \\ & S(s^2, z) = 0; \end{cases}$$

послѣднее уравненіе есть уравненіе свободной поверхности.

При законѣ 3<sup>0</sup>, который влечетъ за собой существованіе равенства  $\varrho = f(p)$ , плотность и давленіе очевидно должны зависѣть отъ координатъ такъ, чтобы  $s^2$  и  $z$  исключались изъ первыхъ двухъ равенствъ (11) одновременно.

При законѣ 3<sup>0а</sup> мы, исключая изъ нихъ  $s^2$ , должны получить

$$\varrho = f_1(p, z),$$

что снова показываетъ несовпаденіе поверхностей одинаковаго давленія и плотности.

Съ другой стороны, найдя изъ первыхъ двухъ равенствъ (11)

$$s = s(p, \varrho), \quad z = z(p, \varrho),$$

что возможно въ этомъ случаѣ благодаря независимости  $p$  и  $\varrho$ , мы можемъ затѣмъ написать

$$U = U^*(p, \varrho), \quad S^*(p, \varrho) = 0.$$

Этимъ преобразованіемъ мы воспользуемся въ дальнѣйшемъ.

Остановимся еще на одномъ слѣдствіи закона 3<sup>0а</sup> и уравненія (3):

$$(3') \quad \frac{dp}{\varrho} - \frac{\omega^2}{2} ds^2 = dU.$$

Такъ какъ и лѣвая часть этого равенства должна быть полнымъ дифференціаломъ, а  $\varrho \neq f(p)$ , то примемъ за независимыя переменныя  $s^2$  и  $p$  вмѣсто  $s^2$  и  $z$ . Тогда должно выполняться условіе



$$(12) \quad \frac{\partial}{\partial s^2} \left( \frac{1}{\varrho} \right) = \frac{\partial}{\partial p} \left( -\frac{\omega^2}{2} \right).$$

А, если  $U = U_1(s^2, p)$ , то

$$(13) \quad \frac{1}{\varrho} = \frac{\partial U_1}{\partial p}, \quad -\frac{\omega^2}{2} = \frac{\partial U_1}{\partial s^2};$$

и вторья производныя (12) функции  $U_1$  должны быть непрерывны.

Итакъ для  $\omega$  и  $U_1$  мы получаемъ слѣдующее соотношеніе

$$(13') \quad \omega^2 = -2 \frac{\partial U_1}{\partial s^2}$$

Допустимъ, что можно задать законъ распределенія угловыхъ скоростей въ слѣдующемъ видѣ:  $\omega = \omega(s^2, p)$ .

Тогда, на основаніи равенствъ (12—13') мы получаемъ интегрированіемъ

$$\frac{1}{\varrho} = \int \frac{\partial}{\partial p} \left( -\frac{\omega^2}{2} \right) ds^2 + \lambda(s^2)$$

$$U_1 = -\int \frac{\omega^2}{2} ds^2 + \mu(p),$$

гдѣ  $\lambda(s^2)$  и  $\mu(p)$  произвольныя функции. Но по условію (13)

$$-\int \frac{\partial}{\partial p} \frac{\omega^2}{2} ds^2 + \lambda(s^2) = -\frac{\partial}{\partial p} \int \frac{\omega^2}{2} ds^2 + \mu'(p)$$

или

$$\lambda(s^2) = \mu'(p),$$

что возможно лишь тогда, если  $\lambda(s^2) = \text{const} = a$ ;  $\mu(p) = ap + b$ .

Тогда

$$\frac{1}{\varrho} = -\int \frac{\partial}{\partial p} \frac{\omega^2}{2} ds^2 + a,$$

а на свободной поверхности  $p = 0$ , поэтому

$$\left[ U_1 \right]_{p=0} = \left[ -\int \frac{\omega^2}{2} ds^2 \right]_{p=0} + b.$$

Но, сдѣланное нами допущеніе относительно  $\omega$ , при независимыхъ переменныхъ  $s^2$  и  $p$  (которыя выбираются нѣкоторыми авторами, напр. Р. Dive'омъ, 1. с.), не даетъ возможности рѣшить поставленную задачу, такъ какъ для наход-



денія формы свободной поверхности, необходимо еще знать  $p = p(s^2, z)$ . Если бы мы сдѣлали допущеніе и относительно этой функциональной зависимости то, безъ дальнѣйшихъ вычисленій, по предпосылкѣ 4<sup>o</sup> имѣли бы уравненіе свободной поверхности

$$p(s^2, z) = 0.$$

Безъ знанія этой функциональной зависимости мы не можемъ выразить всѣ остальные величины, какъ функціи  $s^2$  и  $z$ .

Наконецъ, допуская существованіе закона 3<sup>o</sup>a, нѣкоторые авторы (P. Dive, A. Véronnet) постулируютъ при этомъ форму жидкой массы и распределеніе плотностей, съ цѣлью найти видъ  $\omega$ . Когда задано  $\varrho = \varrho(s^2, z)$  и область, занятая жидкой массой, извѣстно и  $U$ .

Изъ уравненій (2') находимъ, допуская еще, что вторыя производныя  $p$  непрерывны:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial s^2 \partial z} = \varrho \frac{\partial^2 U}{\partial s^2 \partial z} + \frac{\partial U}{\partial s^2} \frac{\partial \varrho}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \frac{\varrho \omega^2}{2} = \varrho \frac{\partial^2 U}{\partial z \partial s^2} + \frac{\partial U}{\partial z} \frac{\partial \varrho}{\partial s^2}$$

Откуда

$$\frac{\partial}{\partial z} \frac{\varrho \omega^2}{2} = \frac{\partial \varrho}{\partial s^2} \frac{\partial U}{\partial z} - \frac{\partial \varrho}{\partial z} \frac{\partial U}{\partial s^2} = \frac{D(\varrho, U)}{D(s^2, z)},$$

гдѣ правая часть извѣстная теперь функція  $s^2$  и  $z$ .

Тогда

$$(14) \quad \omega^2 = \frac{2}{\varrho} \left[ \int \frac{D(\varrho, U)}{D(s^2, z)} dz + \chi(s^2) \right],$$

гдѣ  $\chi(s^2)$  произвольная функція.

Интегрируя послѣднее изъ уравненій (2'), находимъ

$$p = \int \varrho \frac{\partial U}{\partial z} dz + \chi(s^2),$$

гдѣ  $\chi(s^2)$  произвольная функція, но ее можно найти, пользуясь предпосылкой 4<sup>o</sup>.

Затѣмъ первое уравненіе (2') и (14) даютъ

$$\frac{\partial}{\partial s^2} \int \varrho \frac{\partial U}{\partial z} dz + \chi'(s^2) = \varrho \frac{\partial U}{\partial s^2} + \int \frac{D(\varrho, U)}{D(s^2, z)} dz + \chi(s^2),$$

откуда можно было бы найти  $\chi(s^2)$ . Легко убѣдиться, что выраженіе



$$\varrho \frac{\partial U}{\partial s^2} + \int \frac{D(\varrho, U)}{D(s^2, z)} dz - \frac{\partial}{\partial s^2} \int \varrho \frac{\partial U}{\partial z} dz$$

дѣйствительно не содержитъ  $z$ .

Выразивши  $\omega$  и  $U$  черезъ  $s^2$  и  $p$ , сможемъ провѣрить условіе (2). Однако такой ходъ разсужденій не является рѣшеніемъ нашей задачи. Предположеніе, что задана форма жидкой массы, можетъ, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, приводить къ противорѣчіямъ. Кромѣ того здѣсь нѣтъ предположенія о физическихъ свойствахъ разсматриваемой жидкости.

Какъ видно изъ уравненій (2') въ нихъ три неизвѣстныхъ функціи  $\varrho$ ,  $p$ ,  $U$ , а уравненій только два. Такимъ образомъ при предпосылкахъ 1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup>а и 4<sup>o</sup> наша задача оказывается еще неопредѣленной, и мы переходимъ къ разсмотрѣнію вопроса, возможенъ ли такой видъ характеристическаго уравненія, ибо намъ необходимо еще задать физическія свойства, который былъ бы совмѣстимъ съ закономъ 3<sup>o</sup>а и остальными допущеніями.

## 6. Замѣчаніе относительно характеристическаго уравненія и закона 3<sup>o</sup>а.

Если мы ограничиваемся изотермическимъ состояніемъ, то должны различать слѣдующія четыре случая, предполагая извѣстными физическія свойства разсматриваемой жидкости.

1) Жидкость однородна по химическому составу и несжимаема.

Тогда

$$\varrho = const$$

является характеристическимъ уравненіемъ.

2) Жидкость однородна химически, но сжимаема; плотность есть функція давленія. Характеристическое уравненіе

$$\varrho = f(p)$$

должно быть задано для рѣшенія нашей проблемы.

3) Жидкость неоднородна химически, но несжимаема. Плотность и давленіе — функціи координатъ

$$\varrho = \varrho(x, y, z), \quad p = p(x, y, z);$$

или

$$\varrho = \varrho(s^2, z), \quad p = p(s^2, z)$$

въ разсматриваемомъ случаѣ. Если бы эти функціональныя зависимости были таковы, что всѣ координаты исключаются одновременно, то снова существовало бы характеристическое



уравнение предыдущаго типа. Очевиднымъ примѣромъ такого случая служитъ неоднородная жидкая масса въ состояніи покоя, въ которой поверхности одинаковой плотности — концентричныя сферы.

4) Жидкость неоднородна химически и сжимаема. Въ этомъ случаѣ, повидимому, нужно допустить существованіе зависимости вида

$$\varrho = \varrho(x, y, z, p) \quad \text{или} \quad \varrho = \varrho(s^2, z, p)$$

въ рассматриваемой проблемѣ.

Очевидно, что для жидкостей перваго и втораго типа невозможно вращеніе по закону 3<sup>0</sup>а. Разсмотримъ третій и четвертый виды. Если  $\varrho$  и  $p$  непрерывныя функціи, даже не во всей области занятой жидкостью, а только въ отдѣльныхъ частяхъ, то въ нихъ можно построить поверхности одинаковаго давленія и плотности.

Пусть

$$G(s^2, z) = 0$$

уравненіе произвольной поверхности вращенія. Допустимъ, что возможенъ законъ 3<sup>0</sup>а, тогда  $\varrho \neq f(p)$ , и можно найти

$$s = s(p, \varrho), \quad z = z(p, \varrho).$$

Введя эти новыя независимыя переменныя, мы получаемъ уравненіе взятой поверхности въ такомъ видѣ:

$$G_1(p, \varrho) = 0.$$

Если это уравненіе поверхности одинаковаго давленія ( $p = const$ ), то изъ него вытекаетъ либо, что и  $\varrho = const$ , т. е. поверхности этихъ двухъ семействъ совпадаютъ, а тогда существуетъ  $\varrho = f(p)$  и законъ 3<sup>0</sup>а невозможенъ, либо  $\varrho$  на этой поверхности получаетъ рядъ дискретныхъ значеній. Последнее несовмѣстимо съ предположеніемъ, что  $\varrho$  непрерывная функція. Итакъ во всѣхъ этихъ случаяхъ вытекаетъ необходимость существованія характеристическаго уравненія вида  $\varrho = f(p)$ . Но самый видъ этой функціи можетъ мѣняться отъ одного слоя до другаго.

Перейдемъ къ случаю неравномѣрнаго распредѣленія температуры ( $\Theta$ ). Въ полѣ занятомъ жидкостью проведемъ изотермическія поверхности. Если мы допустимъ, что жидкая масса не теряетъ теплоты на поверхности, то въ тѣлѣ изотермическія поверхности не могутъ, благодаря теплопроводности, не зависѣть отъ времени, а вмѣстѣ съ ними и плотность, т. е. тогда мы не будемъ имѣть перманентное поле. Если же существуетъ излученіе на свободной поверхности,



то можно себѣ представить стационарное состояніе. Конечно, вопросы, какъ помѣстить источники теплоты, не зная формы тѣла, какъ принять во вниманіе теплопроводность отдѣльныхъ слоевъ, не зная ихъ формы, чтобы осуществить это стационарное состояніе температуры и т. п., выхѣдятъ за предѣлы классической гидромеханики.

Относительно поля температуры приходится сдѣлать допущеніе

$$\Theta = \Theta (s^2, z),$$

чтобы оно не противорѣчило результатамъ § 3.

Допустимъ, что эта функція задана, такъ какъ для ея нахождения у насъ нѣтъ условій. Тогда характеристическое уравненіе

$$F(q, p, \Theta) = 0$$

принимаетъ видъ

$$F_1(q, p, s^2, z) = 0.$$

Допустимъ, что при помощи этого соотношенія, уравненій (2') и нѣкотораго заданнаго закона 3<sup>0</sup>а мы нашли функціи  $U$ ,  $q$ ,  $p$ . Такъ какъ при этомъ законѣ снова  $p$  и  $q$  независимы, то можно написать уравненіе любой поверхности вращенія въ видѣ

$$G_1(p, q) = 0$$

и, какъ въ случаѣ изотермическаго состоянія, мы приходимъ къ противорѣчію.

Основной причиной такового является несовмѣстимость теоремы § 3, закона 3<sup>0</sup>а и допущенія непрерывности плотности, ибо теорема § 3 справедлива независима отъ остальныхъ предпосылокъ кромѣ 1<sup>0</sup> и 2<sup>0</sup>: всѣ поверхности ( $q = \text{const}$ ,  $U = \text{const}$ ,  $\omega = \text{const}$ ,  $p = \text{const}$ ) имѣютъ ось симметріи ( $z$ ), ихъ уравненія содержатъ только двѣ величины  $s^2$  и  $z$ . Последнія же можно выразить черезъ  $p$  и  $q$ , которыя при законѣ 3<sup>0</sup>а независимы.

Мы не доказали, что этотъ законъ всегда невозможенъ. Уравненія (2') допускаютъ возможность его существованія, но, какъ мы видѣли онъ несовмѣстимъ съ нѣкоторыми изъ вышеприведенныхъ предпосылокъ, которыя привлекаются, для рѣшенія задачи о перманентномъ вращеніи жидкой массы.

Укажемъ еще, что въ нѣкоторыхъ изслѣдованіяхъ\*), перманентное вращеніе такого вида оказывается возможнымъ при существованіи поверхностей разрыва плотности. Но мы не будемъ пока останавливаться на анализѣ этихъ результа-

\*) R. E m d e n. Gaskugeln. 1907.



товъ, полученныхъ при помощи ряда допущеній, выходящихъ за предѣлы гидромеханики и относящихся специально къ газамъ.

Въ дальнѣйшемъ мы переходимъ къ задачѣ о перманентномъ вращеніи при законѣ  $Z^0$  и анализу результатовъ нѣкоторыхъ изслѣдованій поставленнаго нами вопроса.

### 7. Обобщенное уравненіе Пуассона.

Предположимъ, что заданы: нѣкоторый законъ распределенія угловыхъ скоростей  $Z^0$ , а характеристическое уравненіе рѣшено относительно давленія.

Тогда извѣстна функція  $\Phi$  и  $p = \chi(\varrho)$ . Затѣмъ

$$\int \frac{dp}{\varrho} = \int \frac{\chi' d\varrho}{\varrho} = \psi(\varrho)$$

и уравненіе (7) принимаетъ видъ:

$$(7') \quad \psi(\varrho) = U + \Phi + \text{const}$$

Откуда, применивши операторъ Лапласа

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2},$$

получаемъ уравненіе

$$\Delta\psi(\varrho) = \Delta U + \Delta\Phi.$$

Но потенциалъ притяженія внутри жидкости удовлетворяетъ уравненіе Пуассона:

$$\Delta U = -4\pi\varrho,$$

а

$$\Delta\Phi = \frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2} = 2\omega^2 + 2s^2 \frac{\partial\omega^2}{\partial s^2}.$$

Обозначимъ это извѣстное намъ выраженіе:  $\eta(s^2)$ , такъ какъ  $\omega = \omega(s^2)$ . Слѣдовательно плотность должна удовлетворять уравненіе:

$$(15) \quad \Delta\psi(\varrho) + 4\pi\varrho = \eta(s^2)$$

Въ то же время, при помощи уравненія (7'), мы можемъ выразить плотность какъ функцію отъ  $Q = U + \Phi$ ;  $\varrho = \varphi(Q)$  и, такъ какъ

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta\Phi$$



то  $\bar{Q}$  — потенциалъ равнодѣйствующей притяженія и центробѣжной силы — удовлетворяетъ уравненіе

$$(16) \quad \Delta Q + 4\pi\rho(Q) = \eta(s^2)$$

Видъ функціи  $\psi(\varrho)$ , а слѣдовательно и  $\varphi(Q)$  извѣстенъ. Уравненіе (16) принадлежитъ къ обобщенному виду уравненія Пуассона. Уравненіе (15) подстановкой

$$(17) \quad \psi(\varrho) = \sigma$$

приводится къ тому же виду

Найдя изъ (17)  $\varrho = \psi(\sigma)$ , мы получимъ изъ (15)

$$(18) \quad \Delta\sigma + 4\pi\psi(\sigma) = \eta(s^2).$$

### 8. Невозможность эллипсоидальнаго строенія жидкой массы.

Исходя изъ частнаго случая уравненія (15), при  $\omega = \text{const}$ , V. Volterra \*) далъ одно изъ своихъ доказательствъ невозможности равновѣсія жидкости въ области точки, гдѣ жидкость неоднородна и непрерывна, а поверхности одинаковой плотности — части подобныхъ и концентричныхъ поверхностей второго порядка (или софокусныхъ), если еще плотность удовлетворяетъ уравненіе Пуассона.

Этотъ результатъ можно обобщить и на случай перманентнаго вращенія при условіяхъ предыдущаго §.

Разсмотримъ сначала подобные эллипсоиды. Допустимъ, что семейство поверхностей одинаковой плотности дано уравненіемъ:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 - h \quad (0 < h < 1)$$

Тогда плотность можно разсматривать какъ функцію параметра  $h$ :  $\varrho = \varrho_*(h)$ , а вмѣстѣ съ ней, такъ какъ  $\varrho = f(p)$ , и

$$p = p_*(h), \quad \int \frac{dp}{\varrho} = \psi_*(h),$$

$$Q = U + \Phi = Q_*(h)$$

Изъ уравненія (15), принимая во вниманіе, что

$$\Delta\psi_*(h) = \psi_*'(h) \Delta h + \psi_*''(h) (\text{grad } h)^2,$$

\*) V. Volterra. Sur la stratification d'une masse fluide en équilibre. Acta Mathematica T. 27. p. 105. 1902.



получаемъ:

$$(15') \quad 4\pi q_*(h) = \eta(s^2) - \psi_*''(h) (\text{grad } h)^2 - \psi_*'(h) \Delta h.$$

Но изъ уравненія семейства эллипсоидовъ слѣдуетъ, что

$$(\text{grad } h)^2 = 4 \left( \frac{x^2}{a^4} + \frac{y^2}{b^4} + \frac{z^2}{c^4} \right) = \text{fonct } (h)$$

$$\Delta h = -2 \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} \right);$$

кромѣ того первый членъ правой части зависитъ только отъ  $s^2$ .

Поэтому плотность могла бы быть функцией только  $h$  при условіяхъ:  $\omega = \text{const}$ ,  $\psi_*''(h) = 0$ . Но и это невозможно, ибо тогда  $\psi_*'(h)$  становится постоянной и съ нею вся правая часть уравненія (15'). Условіе  $a = b$  не измѣняетъ хода доказательства и вывода:

Перманентное движеніе жидкаго эллипсоида, состоящаго изъ подобныхъ и концентричныхъ эллипсоидальныхъ слоевъ одинаковой плотности, невозможно.

Разсмотримъ случай софокусныхъ эллипсоидовъ, допуская, что поверхности одинаковой плотности являются поверхностями вращенія:

$$\frac{x^2 + y^2}{a^2 + \lambda} + \frac{z^2}{c^2 + \lambda} = 1,$$

гдѣ  $a$  и  $c$  полуоси свободной поверхности. Обозначимъ:

$$c_1^2 = c^2 + \lambda, \quad a^2 - c^2 = b^2$$

Считая малую полуось ( $c_1$ ) эллипсоида

$$\frac{\lambda^2 + y^2}{b^2 + c_1^2} + \frac{z^2}{c_1^2} = 1$$

параметромъ опредѣляющимъ слой, мы можемъ написать

$$q = \bar{q}(c_1)$$

Исходя снова изъ уравненія (15) докажемъ, что семейство софокусныхъ эллипсоидовъ не можетъ представлять слои одинаковой плотности.



Вычислимъ для этого выраженіе

$$\Delta\psi(\varrho) = \frac{\partial^2\psi(\varrho)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi(\varrho)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi(\varrho)}{\partial z^2}$$

$$\frac{\partial\psi(\varrho)}{\partial x} = \psi'_{c_1} \frac{\partial c_1}{\partial x}, \dots,$$

такъ какъ  $c_1$  зависитъ отъ  $\lambda$ , а  $\lambda$  есть функція координатъ  $x, y, z$ .

Далѣе

$$\frac{\partial^2\psi(\varrho)}{\partial x^2} = \psi''_{c_1^2} \left(\frac{\partial c_1}{\partial x}\right)^2 + \psi'_{c_1} \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2}$$

и аналогичныя выраженія для производныхъ  $\psi$  по  $y$  и  $z$ .

Подставимъ ихъ въ уравненіе (15):

$$(15'') \quad \psi''_{c_1^2} (\text{grad } c_1)^2 + \psi'_{c_1} \Delta c_1 + 4\pi \varrho(c_1) = \eta(s^2).$$

Подобно предыдущему случаю мы имѣемъ первое необходимое условіе, чтобы (15'') было дифференціальнымъ уравненіемъ, опредѣляющимъ  $\varrho$  какъ функцію только  $c_1$ :  $\eta(s^2) = \text{const}$  ( $\text{grad } c_1$  и  $\Delta c_1$  могутъ быть лишь функціями всѣхъ трехъ координатъ). А этотъ выводъ несовмѣстимъ съ предпосылкой 3°. Дальнѣйшія вычисленія относящіяся уже къ случаю  $\omega = \text{const}$  являются излишними.

Замѣтимъ, что V. Volterra далъ первое доказательство своей теоремы въ предположеніи, что плотность есть положительная, конечная и интегрируемая функція, но мы ограничиваемся случаемъ, что она удовлетворяетъ уравненіе Пуассона, какъ имѣющимъ конкретное значеніе для цѣлей Небесной Механики.

Невозможность перманентнаго вращенія въ однородной массѣ, имѣющей форму эллипсоида, когда  $\omega$  зависитъ только отъ разстоянія отъ оси, выведена А. V é r o n n e t \*) изъ условія

$$\frac{\partial\omega^2}{\partial z} = 0.$$

Отрицательный выводъ этого параграфа, какъ и вообще трудность поставленной задачи направляли ея рѣшеніе къ выводу различныхъ соотношеній между угловой скоростью и остальными величинами.

\*) A. V é r o n n e t. Sur la rotation d'une masse hétérogène. Evolution et fractionnement. Cas de Jupiter et de Saturne. C. R., 183. p. 949. 1926.

Смотри также работы R. Wavre'a. C. R. 184 и далѣе.



### 9. Различныя условія для $\omega^2$ .

Предпосылки 1<sup>o</sup> и 2<sup>o</sup> позволяют вывести изъ уравненій движенія жидкой массы (2') условія, которыя связываютъ  $\omega^2$  съ остальными величинами, входящими въ эти уравненія. Одинъ примѣръ такой зависимости мы имѣемъ въ формулѣ (13') § 5. Подобныя соотношенія играютъ важную роль въ тѣхъ случаяхъ, когда, допуская затѣмъ предпосылку 3<sup>o</sup>а, нѣкоторые изслѣдователи основываютъ на нихъ рядъ выводовъ.

Е. I. Wilczynski \*) показалъ, какъ можно вывести слѣдующія формулы (19) и (20) для  $\omega^2$ . Исключимъ  $U$  изъ уравненій (2')

$$\frac{\partial^2 U}{\partial s^2 \partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \frac{\omega^2}{2} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial p}{\partial s^2} \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 p}{\partial s^2 \partial z} = \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial p}{\partial z} \frac{\partial \rho}{\partial s^2} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 p}{\partial z \partial s^2}.$$

Предположимъ, что существуютъ непрерывныя вторыя производныя давленія. Тогда

$$\frac{\partial}{\partial z} \frac{\omega^2}{2} = \frac{1}{\rho^2} \left( \frac{\partial p}{\partial z} \frac{\partial \rho}{\partial s^2} - \frac{\partial p}{\partial s^2} \frac{\partial \rho}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho^2} \frac{D(\rho, p)}{D(s^2, z)}$$

и

$$(19) \quad \omega^2 = 2 \int_{z_0}^z \frac{1}{\rho^2} \frac{D(\rho, p)}{D(s^2, z)} dz + \text{fonct}(s^2).$$

Изъ этого соотношенія слѣдуетъ, что, если существуетъ характеристическое уравненіе вида  $\rho = f(p)$ , функциональный опредѣлитель равенъ нулю, и, въ согласіи съ закономъ 3<sup>o</sup>,  $\omega^2$  есть функція только отъ  $s^2$ .

Изъ перваго уравненія системы (2') слѣдуетъ, безъ какихъ либо новыхъ допущеній

$$(20) \quad \omega^2 = 2 \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s^2} - \frac{\partial U}{\partial s^2} \right).$$

Дальнѣйшее изслѣдованіе приводитъ Е. Wilczynsk'аго къ выводу, что въ вязкомъ газѣ постоянной температуры круговое движеніе частицъ возможно, если поверхности постоянной плотности цилиндры или  $\omega = \text{const}$ . Въ первой статьѣ Е. Wilczynski предполагаетъ, что  $\omega$  зависитъ отъ времени, но во второй этой предпосылки нѣтъ. Формулы (19) и (20) относятся, конечно, только къ случаю перманентнаго движе-

\*) Е. I. Wilczynsky. On the causes of the sun's equatorial acceleration and the sunspot period. Astron. Journ, n<sup>o</sup> 416. Vol. XVIII. 1897.

— Е. I. Wilczynsky. Hydrodynamical investigations of the solar rotation Astroph. J. Vol IV. p. 101. 1896.



нія, такъ какъ въ противномъ случаѣ въ уравненіи (1') появился бы дополнительный членъ:

$$[\dot{\Omega} \vec{r}] \quad (-\omega'y, \omega'x, 0).$$

Обобщая теорему Наму, относящуюся къ случаю конечнаго числа эллипсоидальныхъ слоевъ, на непрерывное распределе́ние плотностей А. Véronnet \*) также выводилъ соотношенія между угловой скоростью и остальными элементами проблемы. Онъ предполагаетъ, что жидкая масса состоитъ изъ эллипсоидальныхъ слоевъ постоянной плотности.

Тогда проекціи силъ тяготѣнія  $X, Y, Z$  въ точкѣ  $N(x, y, z)$ , черезъ которую проходитъ эллипсоидъ

$$\frac{x^2}{a_n^2} + \frac{y^2}{b_n^2} + \frac{z^2}{c_n^2} = 1$$

будутъ даны выраженіями:

$$X = -2\pi f x \int_0^{a_n} -\rho' da \int_{\mu}^{\infty} \frac{ds}{(a^2 + s) \Delta_s} - 2\pi f x \rho_1 \int_0^{\infty} \frac{ds}{(a_1^2 + s) \Delta_s} -$$

$$- 2\pi f x \int_{a_n}^1 -\rho' da \int_0^{\infty} \frac{ds}{(a^2 + s) \Delta_s},$$

$$Y = \dots \quad Z = \dots,$$

гдѣ  $f$  гравитаціонный множитель;  $a, b, c$  полуоси свободной поверхности;  $a_n^2 = a^2 + \mu$ ,  $b_n^2 = b^2 + \mu$ ,  $c_n^2 = c^2 + \mu$ , а  $\mu$  — корень кубическаго уравненія получающагося изъ уравненія эллипсоида, и, слѣдовательно, функція трехъ координатъ  $x, y, z$ ;

$$\Delta_s = \frac{\sqrt{(a^2 + s)(b^2 + s)(c^2 + s)}}{abc};$$

$\rho' < 0$  производная плотности по  $a$  (мы сохраняемъ обозначенія А. Véronnet — за ось  $x$  принята ось вращенія);  $\rho_1, a_1, b_1, c_1$  относятся къ поверхности эллипсоида  $S_1$ , наименьшаго внутри котораго находится точка  $N$ .

Итакъ въ основѣ лежитъ заданное распределе́ние плотностей. Условіе для  $\omega^2$  выводится изъ предположенія, что равнодѣйствующая силъ притяженія и центробѣжной нормальна къ поверхности одинаковой плотности, т. е. эллипсоида, уравненіе котораго написано выше:

\*) A. Véronnet. Rotation de l'ellipsoïde hétérogène et figure exacte de la Terre. Jour. de Mathém. 6-e série. T. VIII p. 331. 1912



$$(*) \quad \frac{X}{\frac{x}{a^2 + \mu}} = \frac{Y + \omega^2 y}{\frac{y}{b^2 + \mu}} = \frac{Z + \omega^2 z}{\frac{z}{c^2 + \mu}}.$$

Слѣдовательно А. Véronnet тѣмъ самымъ допускаетъ существованіе характеристическаго уравненія  $q = f(p)$ ; безъ этого допущенія можно было бы брать только нормали къ поверхностямъ одинаковаго давленія [ср. уравненія (10)].

Тогда изъ послѣднихъ равенствъ слѣдуетъ двѣ эквивалентныя формулы для  $\omega^2$ . Первая изъ нихъ имѣетъ видъ

$$(21) \quad \frac{\omega^2}{2\pi f} = \frac{1}{b_n^2} \int_0^{a_n} -q' da \int_{\mu}^{\infty} \left( \frac{b_n^2}{b^2 + s} - \frac{a_n^2}{a^2 + s} \right) \frac{ds}{\Delta_s} +$$

$$+ \frac{1}{b_n^2} \int_{a_n}^1 (q_1 - q' da) \int_0^{\infty} \left( \frac{b_n^2}{b^2 + s} - \frac{a_n^2}{a^2 + s} \right) \frac{ds}{\Delta_s}$$

и содержитъ черезъ посредство  $\mu$  всѣ три координаты. Онѣ входятъ въ дальнѣйшіе виды  $\omega^2$ , получающіеся преобразованіемъ (21). Этой же формулой пользуется Б. Фесенковъ \*), разсматривавшій лишь эллипсоиды вращенія.

Очевидно въ этомъ результатѣ кроется внутреннее противорѣчіе, такъ какъ полученное значеніе  $\omega^2$  зависитъ отъ всѣхъ трехъ координатъ. Какъ мы видѣли при законѣ 3<sup>0</sup>a:  $\omega = \omega(s^2, x)$ , не могутъ совпадать поверхности одинаковой плотности и давленія, а равнодѣйствующая силъ притяженія и центробѣжной была бы перпендикулярна къ послѣднимъ (уравненія 10), т. е. нельзя было бы написать исходныя у А. Véronnet условія. Взявши ихъ онъ самъ допустилъ, что  $\omega^2$  зависитъ только отъ  $s^2$  ( $= y^2 + z^2$  въ его обозначеніяхъ). Причиной этого противорѣчія очевидно служитъ допущеніе эллипсоидальности слоевъ, какъ это видно изъ § 8. Хотя разсмотрѣніе производныхъ  $\omega^2$  по  $x$  (т. е.  $z$  въ нашихъ прежнихъ обозначеніяхъ) и по  $a$  приводитъ А. Véronnet тоже къ невозможности эллипсоидальнаго строенія жидкой массы, находящейся въ „перманентномъ“ равновѣсіи, выводъ этотъ долженъ быть признанъ ошибочнымъ.

Кромѣ того должны отпасть и другіе выводы, которые основаны на его „фундаментальной“ формулѣ (стр. 344), выведенной при помощи (21) и воспроизведенной также въ Т. VIII *Mémoires des sciences mathématiques* 1926):

\*) В. Fessenkoff. Sur l'accélération équatoriale du Soleil C. R. T, 157. p. 834. 1913. *Bullet. Astronomique*. Paris 1914. T. 31. p. 1,



$$\frac{\partial \omega^2}{\partial a_n} + 2a_n \frac{\partial \omega^2}{\partial x_n^2} = \frac{2\pi f C}{(1 + \lambda^2)^2} \frac{d\lambda^2}{da_n},$$

гдѣ

$$C = -\frac{1}{2\pi f} \frac{X}{a_n}, \quad \lambda^2 = \frac{b^2 - a^2}{a^2}.$$

Изъ нихъ я приведу слѣдующій выводъ, къ которому приходитъ и Б. Фесенковъ, относящійся уже къ перманентному вращенію: чтобы поверхность уровня была эллипсоидальной, угловая скорость на ней должна возрастать отъ экватора къ полюсу вмѣстѣ съ  $z$  (кромѣ случая софокусныхъ эллипсоидовъ, стр. 345).

Такое распредѣленіе угловыхъ скоростей было бы, какъ извѣстно, противоположно наблюдаемому на флюидальныхъ членахъ солнечной системы.

Р. Dive\*) указалъ на расхожденіе его результатовъ и А. Véronnet, относящихся къ фундаментальной формулѣ послѣдняго. Какъ мы видѣли эта формула построена на противорѣчій, но и эти первыя изслѣдованія Р. Dive'а, который получилъ соотвѣтствующую формулу для  $\omega^2$  и преобразовывалъ ее другими методами, основываются на томъ же противорѣчій. Въ основаніи его разсужденій лежитъ условіе, что элементарная работа равнодѣйствующей силъ притяженія и центробѣжной на перемѣщеніи на слоѣ одинаковой плотности равна нулю. Это снова невозможно, такъ какъ его выраженіе для  $\omega^2$  содержитъ  $s^2$  и  $z$ .

Въ слѣдующихъ работахъ этотъ авторъ далъ рядъ новыхъ формулъ, и на разсмотрѣніи ихъ мы остановимся.

Какъ мы видѣли, формулы (13') и (14), изъ которыхъ первая принадлежитъ Р. Dive'у, получаются безъ какихъ либо дополнительныхъ предпосылокъ.

Если написать уравненіе (3) въ слѣдующемъ видѣ:

$$dp = \rho \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial s^2} + \frac{\omega^2}{2} \right) ds^2 + \frac{\partial U}{\partial z} dz \right],$$

и принять во вниманіе, что правая часть должна быть полнымъ дифференціаломъ, то должно выполняться условіе:

$$\frac{\partial}{\partial z} \frac{\rho \omega^2}{2} = \frac{D(\rho, U)}{D(s^2, z)}.$$

\*) Р. Dive. L'ellipsoïde hétérogène en rotation et la théorie des dérivées continentales. Arch. d. sciences phys. et natur. 5-me pér. Vol. 8. p. 175.



Откуда, обозначая индексом  $e$  величины относящіяся къ свободной поверхности, получаемъ интегрированиемъ:

$$\frac{\varrho \omega^2}{2} = \frac{\varrho_e \omega_e^2}{2} - \int_z^{z_e} \frac{D(\varrho, U)}{D(s^2, z)} dz.$$

Но на свободной поверхности  $dp = 0$  (дополнительная предпосылка Р. Dive'a, что существуетъ атмосфера съ постояннымъ давлениемъ, является излишней вслѣдствіе 4<sup>0</sup>) и поэтому

$$(22) \quad \omega^2 = -\frac{2}{\varrho} \left\{ \left[ \varrho \frac{\partial U}{\partial s^2} + \varrho \frac{\partial U}{\partial z} \frac{dz}{ds^2} \right]_e + \int_z^{z_e} \frac{D(\varrho, U)}{D(s^2, z)} dz \right\}.$$

Изъ уравненія свободной поверхности (11) слѣдуетъ, что

$$\frac{\partial S}{\partial s^2} ds^2 + \frac{\partial S}{\partial z} dz = 0.$$

Исключая при помощи этого уравненія  $\frac{dz}{ds^2}$  изъ (22), находимъ фундаментальную формулу Р. Dive'a \*)

$$(23) \quad \omega^2 = \frac{2}{\varrho} \left\{ \left[ \frac{\varrho}{\frac{\partial S}{\partial z}} \frac{D(S, U)}{D(s^2, z)} \right]_e - \int_z^{z_e} \frac{D(\varrho, U)}{D(s^2, z)} dz \right\}.$$

Это равенство получено путемъ исключенія давленія, и въ него помимо  $\omega^2$  входятъ еще функціи  $\varrho$ ,  $S$  и  $U$  (последняя зависитъ отъ первыхъ двухъ). Его можно преобразовать такъ, чтобы входили лишь  $\varrho$  и  $U$  (одинъ такой видъ мы имѣемъ въ формулѣ (22)).

Изъ равенствъ (11) слѣдуетъ, что можно исключениемъ  $s^2$  и  $z$  получить

$$S = H(U, \varrho).$$

Откуда

$$\frac{\partial S}{\partial s^2} = \frac{\partial H}{\partial U} \frac{\partial U}{\partial s^2} + \frac{\partial H}{\partial \varrho} \frac{\partial \varrho}{\partial s^2}$$

$$\frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial H}{\partial U} \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial H}{\partial \varrho} \frac{\partial \varrho}{\partial z}$$

и

$$\frac{D(S, U)}{D(s^2, z)} = \frac{\partial H}{\partial \varrho} \frac{D(\varrho, U)}{D(s^2, z)}.$$

\*) Р. Dive. Rotat. int... p. 10.



На свободной поверхности

$$S = H(U, \varrho) = 0,$$

и

$$\left[ \frac{\partial H}{\partial U} dU + \frac{\partial H}{\partial \varrho} d\varrho \right]_e = 0.$$

Поэтому

$$\left( \frac{\partial S}{\partial z} \right)_e = \left( \frac{\partial H}{\partial \varrho} \right)_e \left[ \frac{\partial \varrho}{\partial z} - \frac{\partial H}{\partial z} \frac{d\varrho}{dU} \right]_e,$$

и уравнение (23) принимаетъ видъ

$$(23') \quad \omega^2 = \frac{2}{\varrho} \left\{ \left[ \frac{\varrho}{\frac{\partial \varrho}{\partial z} - \frac{\partial U}{\partial z} \frac{d\varrho}{dU}} \frac{D(\varrho, U)}{D(s^2, z)} \right]_e - \int_z^{z_e} \frac{D(\varrho, U)}{D(s^2, z)} dz \right\}$$

Полагая

$$(24) \quad \Omega = \frac{2}{\frac{\partial \varrho}{\partial z} - \frac{\partial U}{\partial z} \frac{d\varrho}{dU}} \frac{D(\varrho, U)}{D(s^2, z)},$$

и интегрируя послѣдній членъ въ (23') по частямъ, приходимъ къ слѣдующему выраженію:

$$(25) \quad \omega^2 = \Omega + \frac{1}{\varrho} \int_z^{z_e} \left( \varrho \frac{\partial \Omega}{\partial z} + \Omega \frac{\partial U}{\partial z} \frac{d\varrho}{dU} \right) dz$$

Однако соотвѣтствующія (24) и (25) выраженія Р. Диве'а, которыми онъ пользуется для дальнѣйшихъ изслѣдованій, проще (отсутствуютъ члены содержащіе  $\frac{d\varrho}{dU}$ ), такъ какъ онъ вводитъ новую гипотезу. Относительно нея онъ говоритъ, что она не слѣдуетъ изъ гидродинамическихъ уравненій, но онъ считаетъ ее оправданной соображеніями физическими. Она состоитъ въ слѣдующемъ: на свободной поверхности  $\varrho = \text{const}$ , т. е. одна изъ поверхностей одинаковаго давленія ( $p = 0$ ) совпадаетъ съ поверхностью одинаковой плотности.

Въ случаѣ закона  $3^0$  это предположеніе есть непосредственное его слѣдствіе, но не въ случаѣ закона  $3^0a$ , существованіе котораго именно допускаетъ Р. Диве. Дѣлая эти два допущенія, а изъ послѣдняго слѣдуетъ, что  $\varrho$  и  $p$  независимы и

$$s = s(p, \varrho), \quad z = z(p, \varrho),$$



мы можемъ написать

$$\omega = \bar{\omega}(p, q), \quad U = \bar{U}(p, q)$$

Такъ какъ на свободной поверхности  $p = \text{const.}$  и  $q = \text{const.}$ , то и  $\omega = \text{const.}$ ,  $U = \text{const.}$ , т. е. она оказывается одной изъ эквипотенціальныхъ только силъ притяженія, а на ней угловая скорость постоянна. При этомъ, такъ какъ на ней  $\text{grad } U$  и  $\frac{1}{q} \text{grad } p$  совпадаютъ по направленію, то, какъ видно изъ уравненій (2) —  $\omega = 0$ . Такъ что, если заданъ законъ  $\omega = \omega(s^2, z)$ , достаточно положить  $\omega(s^2, z) = 0$ , чтобы получить уравненіе свободной поверхности  $\{S(s^2, z) = 0, U(s^2, z) = \text{const.}\}$ . Мы пришли къ противорѣчіямъ.

Дальнѣйшіе выводы Р. Dive'a, которые дѣлаются имъ при помощи упрощенныхъ вышеуказанной предпосылкой уравненій (24) и (25), слѣдуетъ признать необоснованными, тѣмъ болѣе, что въ разсужденія входитъ и законъ 3<sup>о</sup>а. Конечно изъ этого исключаются тѣ выводы, которые слѣдуютъ изъ формулы (13'), написанной имъ въ видѣ

$$\omega^2 = -2 \left( \frac{\partial U}{\partial l^2} \right)_{p = \text{const.}}$$

и выведенной безъ только что указанной дополнительной предпосылки, замѣняющей характеристическое уравненіе. Отметимъ еще, что Р. Dive самъ доказываетъ, что поверхности  $U = \text{const.}$  пересѣкаютъ свободную поверхность. Въ частности невыяснена имъ, слѣдовательно, и возможность перманентнаго вращенія согласно закону 3<sup>о</sup>а.

Помимо только что изслѣдованной предпосылки мы находимъ и другія необоснованныя. Напримѣръ, нельзя допустить а priori, что поверхности  $q = \text{const.}$  должны быть выпуклыми; вообще это можетъ быть связано съ другими —  $\omega$  есть бесконечно малая величина, но не выполняется при  $\omega$  конечномъ.

Въ числѣ выводовъ Р. Dive'a, которые мы считаемъ построенными на противорѣчій, имѣется аналогичный результату А. Véronnet: величина угловой скорости на слѣб одинаковой плотности возрастаетъ отъ экватора къ полюсу. На немъ, хотя онъ и противорѣчитъ, какъ было сказано, наблюденіямъ надъ Солнцемъ, Юпитеромъ и Сатурномъ, Р. Dive строитъ объясненіе теоріи А. Wegener'a о смѣщеніи материковъ. Мы остановились на немъ, такъ какъ онъ противоположенъ высказаннымъ нами взглядамъ на этотъ вопросъ \*).

\*) W. Jardetzky. Über die Ursachen der Spaltung und Verschiebung der Kontinente. Gerlands Beiträge zur Geophysik. Bd. 26. H. 2. 1930.



## 10. Основное функциональное уравнение.

Итакъ мы видѣли, что вполнѣ опредѣленной становится задача о перманентномъ вращеніи жидкой массы лишь при законѣ 3<sup>о</sup>, такъ какъ для нахождения трехъ функцій  $\rho$ ,  $\varrho$ ,  $U$  у насъ имѣется три уравненія: (2') и характеристическое. Если послѣднее  $\{\varrho = f(\rho)\}$  дано, то этимъ опредѣлено и значеніе плотности на поверхности  $\rho = 0$ , конечно при условіи, что  $\varrho$  есть непрерывная функція. Тогда наша проблема сводится къ разысканію вида свободной поверхности (т. е. функціи  $S$ ) и распределенія плотностей ( $\varrho$ ), при которомъ возможно заданное движеніе.

Для этой цѣли у насъ имѣется прежде всего условіе (8) на свободной поверхности, содержащее обѣ эти функціи. Обозначая черезъ  $V$  объемъ жидкой массы, и принимая во вниманіе, что лѣвая часть уравненія (8) должна именно представлять функцію  $S$ , мы можемъ написать

$$S(x, y, z) = \int_V \frac{\varrho' dV'}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}} + \Phi(x^2 + y^2) + C$$

гдѣ  $x, y, z$  — координаты точки на поверхности;  $x', y', z$  координаты элемента  $\varrho' dV'$  жидкой массы. Частный видъ этого уравненія для  $\varrho = \text{const.}$ ,  $\omega = \text{const.}$  данъ Р. Appell'емъ <sup>1)</sup>, причеиъ интеграль стоящій въ правой части преобразованъ по методу Lejeune-Dirichlet <sup>2)</sup> такъ, чтобы его предѣлы были извѣстны.

Въ томъ видѣ, въ какомъ потенциалъ написанъ въ уравненіи (26), интеграль содержитъ неизвѣстныя еще предѣлы. Указанное преобразование остается въ силѣ и для уравненія (26). Полагая

$$J(u) = \int_{-\infty}^{\infty} \xi(u, \tau) d\tau$$

можемъ выбрать видъ функціи  $\xi$  такъ, чтобы  $J(u)$  равнялось единицѣ въ рассматриваемой области  $V$  и нулю внѣ ея. Тогда мы можемъ написать уравненіе (26) въ слѣдующемъ видѣ:

$$(27) \quad S(x, y, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int \int \int \frac{\varrho' \xi[S(x', y', z') \tau] dV' d\tau}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}} + \Phi(x^2 + y^2) + C.$$

1) Р. Appell. Traité de Mécanique rationnelle T. IV. p. 88.

2) Lejeune-Dirichlet. Sur une nouvelle méthode pour la détermination des intégrales multiples. Journ. d. Math. T. IV. p. 164. 1839.



Для неоднородной жидкой массы это основное функциональное уравнение содержит двѣ искомыя функции  $\varrho$  и  $S$ . Если же жидкость однородна, то рѣшеніе его одного даетъ искомый видъ поверхности. Когда  $\varrho$  и  $S$  — функции только  $s^2$  и  $z$ , интеграль стоящій въ правой части можно преобразовать въ тройной.

Соотвѣтствующее значеніе постоянной опредѣляется заданной массой  $M$  жидкости, т. е. условіемъ

$$(28) \quad \int_V \varrho dV = M.$$

Кромѣ того функции  $\varrho$  и  $S$  связаны уравненіемъ Пуассона

$$\Delta \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\varrho' \xi [S(x', y', z'), \tau] dV' d\tau}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}} = -4\pi\varrho,$$

или уравненіемъ (18), которое является слѣдствіемъ интеграла (7') (частное значеніе его есть уравненіе (27)) и уравненія Пуассона:

$$(18) \quad \Delta\sigma + 4\pi\psi(\sigma) = \eta(s^2).$$

Если бы мы нашли  $\sigma$  изъ этого уравненія, то получили бы  $\varrho$  изъ уравненія (17). Такъ какъ на поверхности  $p=0$ , плотность имѣетъ значеніе  $\varrho_0 = f(0)$ , то мы имѣемъ и заданныя на свободной поверхности значенія  $\sigma^0 = \psi(\varrho_0)$ . Такимъ образомъ нахождение  $\sigma$  сводится къ рѣшенію уравненія (18) съ заданными пограничными условіями. Но здѣсь возникаетъ трудность даже въ примѣненіи тѣхъ приближенныхъ методовъ, которыми въ другихъ случаяхъ можно разрѣшить уравненіе этого типа, и причина таковой лежитъ въ томъ, что искомой величиной является и сама граничная поверхность.

Въ общемъ случаѣ нашей проблемы, повидимому, намѣчается слѣдующій ходъ приближеній.

Уравненіе (18) принадлежитъ къ типу обобщеннаго уравненія Пуассона. Можно написать, какъ это дѣлаетъ С. W. Oseen \*), болѣе общее уравненіе съ нѣкоторымъ параметромъ  $\lambda$ :

$$(29) \quad \Delta\sigma = \eta + \lambda\xi(\sigma)$$

и искать рѣшеніе въ видѣ ряда

\*) С. W. O s e e n. Neuere Methoden und Ergebnisse in der Hydrodynamik. 1927. S. 13.



$$(30) \quad \sigma = \sigma_0 + \lambda \sigma_1 + \lambda^2 \sigma_2 + \dots,$$

задавая  $\sigma^0$  въ видѣ такого же ряда. Если  $\lambda = 1$  будетъ въ кругѣ сходимости этого ряда, то мы получимъ и рѣшеніе нашего уравненія. Подставляя (30) въ (29) получимъ, для нахождения функций  $\sigma_i$ , рядъ условій

$$(31) \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta \sigma_0 = \eta, \\ \Delta \sigma_1 = \xi_1(\sigma_0), \\ \dots \dots \dots \\ \Delta \sigma_n = \xi_n(\sigma_0 \dots \sigma_{n-1}), \end{array} \right.$$

которыя являются уравненіями типа Пуассона. Ихъ рѣшенія можно написать въ видѣ:

$$(32) \quad \sigma_k = -\frac{1}{4\pi} \int_V \xi_k G dV - \frac{1}{4\pi} \int_S \sigma_{kS} \frac{dG}{dn} dS,$$

гдѣ  $\sigma_{kS}$  значенія  $\sigma_k$  на поверхности,  $G$  функція Грина.

Но, какъ мы сказали, функція  $S$  неизвѣстна и именно это еще затрудняетъ рѣшеніе. Зная, что искомая поверхность замкнутая, примемъ сначала за свободную поверхность  $S$  — поверхность эллипсоида. Тогда изъ уравненій (32) мы можемъ найти  $\sigma_k$ , затѣмъ изъ (30) —  $\sigma$  и изъ уравненія (17) значеніе плотности  $\rho_1$ . Подставляя его въ уравненіе (27) будемъ имѣть функціональное уравненіе съ одной неизвѣстной функціей  $S$ . Рѣшеніемъ его будетъ новая функція  $S_1$ , которая опредѣлитъ новую поверхность; для этой поверхности могутъ быть найдены новыя значенія  $\sigma_k$  и т. д.

Но доказательство сходимости указаннаго процесса, думаемъ, представляетъ непреодолимыя математическія трудности.

Если возьмемъ, какъ это дѣлаетъ А. Ляпуновъ, рѣшая вопросъ о равновѣсіи неоднородной жидкой массы, фигуры бесконечно близкія къ эллипсоиду ( $\omega$  — очень малое), то тогда вводится только одинъ параметръ опредѣляющій отступленіе и поэтому для рѣшенія проблемы достаточно только уравненіе (27).

Въ заключеніе упомянемъ еще, что J. H. Jeans <sup>\*</sup>), пытаюсь доказать существованіе рѣшенія уравненія (15) при  $\omega = \text{const.}$ , указываетъ также на математическую трудность построенія строгаго доказательства.

<sup>\*</sup>) J. H. Jeans. Proc. Roy. Soc. 93 (1917). p. 416.



Наконецъ, R. Wavre<sup>\*)</sup>, дѣлая предпосылки, что поверхности одинаковой плотности имѣютъ связность сферы, охватываютъ другъ друга и, что плотность не убываетъ отъ свободной поверхности къ центру, далъ рядъ преобразованій потенціала  $U$  при помощи уравненія (15). Найденныя выраженія позволили ему построить методъ приближеній (безъ доказательства сходимости процесса) для опредѣленія фигуръ небесныхъ тѣлъ, но уже съ новыми допущеніями:  $\omega = \text{const.}$  и очень малая величина. Въ первомъ приближеніи онъ получаетъ классическіе результаты, въ частности, пренебрегая  $\omega^4$ , поверхности одинаковой плотности суть эллипсоиды.

Очевидно, что для перманентнаго движенія, появленіе члена

$$\Phi = \int \frac{\omega^2}{2} ds^2,$$

вмѣсто  $\frac{\omega^2}{2} s^2$  при  $\omega = \text{const.}$ , вообще измѣняетъ эти результаты.

---

<sup>\*)</sup> R. Wavre. Figures planétaires et problème de Poincaré. Bulletin de la Société mathématique de France. 1930. и друг. работы въ Arch. d. sc. phys. et. natur. Genève.



Wenceslas Jardezký.

## Sur la rotation permanente d'une masse fluide isolée.

(Résumé)

Dans l'étude des formes et des rotations des corps célestes en seconde approximation on doit poser le problème suivant :

Soit donnée une masse fluide, homogène ou hétérogène, isolée dans l'espace, dont les particules s'attirent d'après la loi de Newton. Quelles sont les conditions de sa rotation permanente autour d'un axe fixe? Quelles sont les formes possibles de cette masse?

On peut montrer, que ce problème est déterminé, quand on donne les conditions: 1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup>, 4<sup>o</sup>, 5<sup>o</sup> (§§2—4). Supposons, que la densité est une fonction continue.

La condition 3<sup>o</sup>a donne la vitesse angulaire d'une particule en fonction de la distance ( $s$ ) de l'axe  $\Omega$  ou  $z$  et de cette dernière coordonnée. Quoique d'après les équations (2) ou (2') cette condition soit admissible, elle nous conduit aux conclusions contradictoires (§§ 5 - 6). Son existence est admise par M. M. Véronnet et P. Dive. Mais il n'est démontré ni pour les fluides idéales avec la densité continue ni pour les densités discontinues (R. Emden).

La généralisation d'une démonstration de M. V. Volterra permet d'affirmer que la stratification ellipsoïdale est impossible dans le cas  $\omega = \omega(s^2)$  (§§ 7—8).

Plusieurs formules sont données pour  $\omega^2$ . Parmi celles-ci sont exactes: les expressions (19) et (20) de M. E. Wilczynski, ainsi que la formule fondamentale de M. P. Dive (23). On peut en donner d'autres (§ 9). La formule de M. A. Véronnet semble cependant être déduite des hypothèses contradictoires. Car, en supposant que la stratification est ellipsoïdale et que la pesanteur est normale à la surface d'égale densité, M. A. Véronnet trouve pour  $\omega^2$  l'expression contenant à la fois toutes les coordonnées c'est à dire la condition 3<sup>o</sup>a pour les surfaces de révolution. Or d'après cette condition la pesanteur peut être normale à la surface d'égale pression (10), qui ne se confond pas avec la surface d'égale densité.



La condition supplémentaire de M. P. Dive:  $\rho = \text{const.}$  sur la surface libre, dans le cas 3<sup>o</sup>a conduit également aux conclusions contradictoires. De cette condition M. P. Dive a tiré la possibilité de la loi des rotations 3<sup>o</sup>a dans le fluide stratifié en couches ellipsoïdales. Il a également conclu que  $\omega^2$  croit de l'équateur au pôle. En outre son explication des dérives des continents semble être en contradiction avec le sens des rotations du Soleil, de Jupiter et de Saturne.

Le problème posé avec les conditions (1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup>, 4<sup>o</sup>, 5<sup>o</sup>), se ramène aux équations (27), (28), (18), (17), dont on ne donne ici qu'une idée de la solution par la méthode des approximations successives.



Д. П. Р у з с к і й.

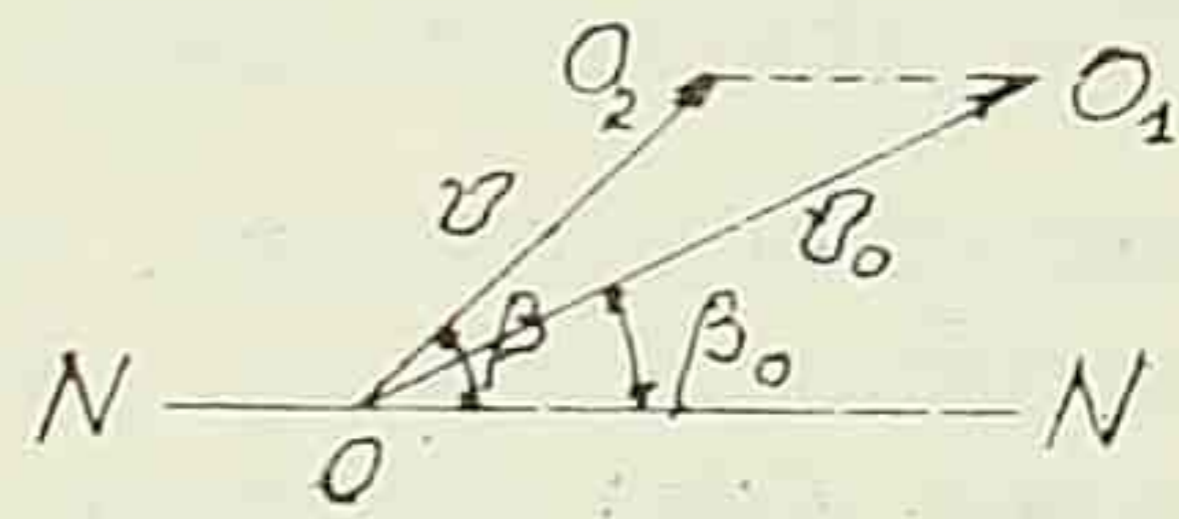
## РАБОТА ЦЕНТРОБѢЖНАГО НАСОСА ПРИ ПЕРЕМѢННЫХЪ УСЛОВІЯХЪ.

Вопросъ о работѣ центробѣжнаго насоса при переменныхъ условіяхъ освѣщенъ въ технической литературѣ еще очень плохо. Главное затрудненіе при рѣшеніи этого вопроса заключалось, во-первыхъ, въ томъ, что направленіе относительной скорости воды при выходѣ изъ насоса не совпадаетъ съ направленіемъ касательной къ послѣднему элементу лопатки и мѣняется съ измѣненіемъ условій работы, и, во-вторыхъ, въ томъ, что весьма затруднительно вычислить потерю энергіи при переходѣ изъ насоса въ диффузоръ.

Что касается перваго вопроса, то онъ болѣе или менѣе удовлетворительно разрѣшенъ Pfleiderer'омъ \*); были сдѣланы попытки разрѣшить и второй вопросъ, на примѣръ, тѣмъ же Pfleiderer'омъ, Thoman'омъ и др., но эти попытки, на мой взглядъ, не даютъ удовлетворительнаго результата. Въ этой работѣ я хочу предложить новый способъ вычисленія потери энергіи при переходѣ изъ колеса въ диффузоръ, который, по моимъ соображеніямъ, даетъ удовлетворительный результатъ и приводитъ къ выводамъ, подтверждаемымъ опытомъ.

Пусть  $MN$  (черт. 1) касательная въ нѣкоторой точкѣ  $O$  окружности колеса;  $OO_1$  — направленіе касательной къ первому элементу лопатки диффузора, составляющее съ касательной  $NN$  постоянный уголъ  $\beta_0$ ;  $OO_1$  — направленіе скорости воды при выходѣ изъ колеса;  $v_0$  — скорость на первомъ элементѣ лопатки диффузора и  $v$  — абсолютная скорость воды.

Въ виду малой разницы внѣшняго діаметра колеса и



Черт. 1.

\*) С. P f l e i d e r e r. Die Kreiselpumpen. Berlin, 1924.

Hydraulische Probleme. 1926. С. P f l e i d e r e r. Die endliche Saugzahl und das unmögliche Betriebgebiet bei Kreiselpumpen.



внутренняго діаметра диффузора и одинаковой ширины ихъ лопатокъ, мы имѣемъ въ силу несжимаемости воды:

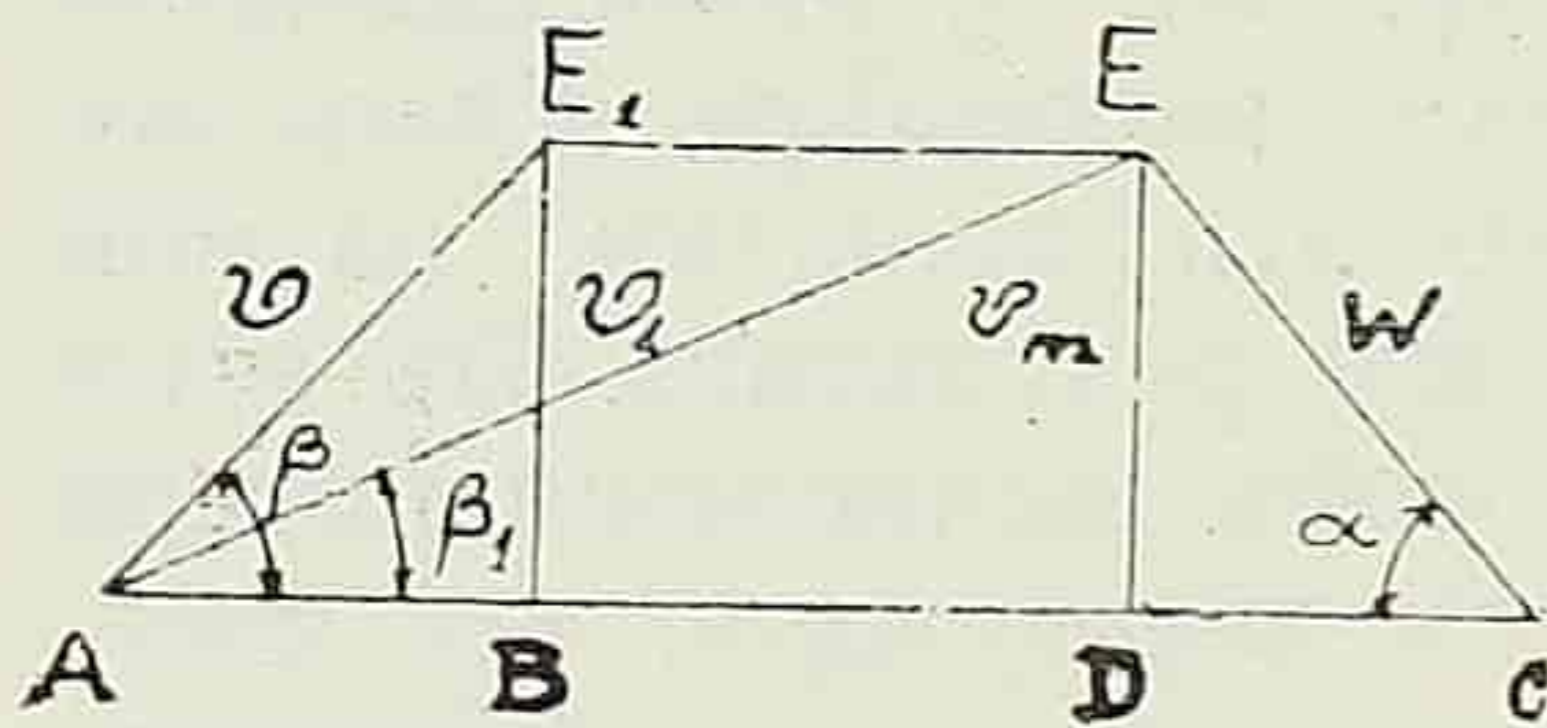
$$v_0 \sin \beta_0 = v \sin \beta. \quad (1)$$

Ясно, что при измѣненіи  $v$  въ  $v_0$  нужно затратить энергію, которая соотвѣтствуетъ геометрической разности скоростей  $v_0$  и  $v$ , т. е. скорости  $O_2O_1$ . Эта затрата энергіи выразится, понятно, соотвѣтствующимъ паденіемъ давленія; возстановится ли эта энергія при протеканіи воды черезъ диффузоръ, остается неяснымъ. Вѣроятно, что до нѣкоторой степени возстановится, поэтому потерю энергіи при переходѣ изъ колеса въ диффузоръ можно изобразить такимъ образомъ

$$h = \frac{\varphi}{2g} (v_0 \cos \beta_0 - v \cos \beta)^2 \quad (2)$$

Если бы уголъ  $\beta$  былъ меньше угла  $\beta_0$ , то тогда непосредственно теряется скорость и опять мы можемъ изобразить потерю энергіи помощью выраженія (2).

Открытымъ остается вопросъ, является ли  $\varphi$  постоянной величиной или мѣняется въ зависимости отъ соотношенія между угломъ  $\beta_0$  и  $\beta$ . Въ дальнѣйшемъ мы будемъ считать  $\varphi$  постояннымъ, предполагая, что это есть нѣкоторая средняя величина изъ всѣхъ возможныхъ ея значеній при различныхъ соотношеніяхъ между  $\beta_0$  и  $\beta$ .



Черт. 2.

Обратимся теперь къ діаграммѣ Pfleiderer'a (черт. 2). Здѣсь  $AC$  есть  $u$  — окружная скорость колеса;  $\alpha$  — уголъ лопатки съ внѣшней окружностью колеса;  $v_1$  — абсолютная скорость воды въ томъ случаѣ, если относительная скорость  $w$  имѣетъ направленіе послѣдняго элемента лопатки, и  $v$  — дѣйствительная абсолютная скорость. По Pfleiderer'у:

$$v \cos \beta = \frac{v_1 \cos \beta_1}{1 + a \sin \alpha} \quad (3)$$

гдѣ  $a$  постоянная величина для даннаго насоса.

Пользуясь выраженіемъ (3), преобразуемъ выраженіе для  $h$ :

$$h = \frac{\varphi}{2g} v_0^2 \sin^2 \beta_0 (\operatorname{ctg} \beta_0 - \operatorname{ctg} \beta)^2 = \frac{\varphi}{2g} \frac{Q^2}{F^2} (\operatorname{ctg} \beta_0 - \operatorname{ctg} \beta)^2,$$

гдѣ  $Q$  — расходъ воды, а  $F$  — площадь выходнаго отверстія изъ насоса.



Изъ чертежа 2 видимъ, что

$$\operatorname{ctg} \beta = \frac{AB}{ED} = \frac{v \cos \beta}{v_m} = \frac{F}{Q} \cdot \frac{v_1 \cos \beta_1}{1 + a \sin \alpha}$$

гдѣ  $v_m$  — радиальная скорость, равная  $\frac{Q}{F}$ . Но

$$v_1 \cos \beta_1 = AC - DC = u - v_m \operatorname{ctg} \alpha = u - \frac{Q}{F} \operatorname{ctg} \alpha;$$

поэтому

$$\operatorname{ctg} \beta = \frac{F}{Q} \cdot \frac{u - \frac{Q}{F} \operatorname{ctg} \alpha}{1 + a \sin \alpha} = \frac{\frac{F}{Q} u - \operatorname{ctg} \alpha}{1 + a \sin \alpha}$$

и

$$\begin{aligned} h &= \frac{\varphi}{2g} \frac{Q^2}{F^2} \left[ \operatorname{ctg} \beta_0 - \left( \frac{\frac{F}{Q} u - \operatorname{ctg} \alpha}{1 + a \sin \alpha} \right)^2 \right] = \\ &= \frac{\varphi}{2g} \left[ \frac{Q}{F} \operatorname{ctg} \beta_0 - \left( \frac{u - \frac{Q}{F} \operatorname{ctg} \alpha}{1 + a \sin \alpha} \right)^2 \right]. \end{aligned}$$

Положимъ для простоты письма:

$$\frac{\operatorname{ctg} \beta_0}{F} = q_0; \quad \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{F} = q \quad \text{и} \quad 1 + a \sin \alpha = p$$

Такъ что

$$h = \frac{\varphi}{2g} \left[ Qq_0 - \left( \frac{u - Qq}{p} \right)^2 \right] \quad (4)$$

Замѣтимъ, что такъ какъ среднее значеніе  $\beta_0$  можно считать  $10^\circ$ , а  $\alpha = 25^\circ$ , что  $q_0$  приблизительно въ два раза больше  $q$ .

Слѣдовало бы, конечно, принять во вниманіе потерю энергіи при отступленіи отъ нормальныхъ условій работы насоса и при входѣ воды на лопатку колеса. Но такъ какъ при входѣ скорости имѣютъ сравнительно малое значеніе, то этой потерей мы будемъ въ дальнѣйшемъ пренебрегать.

2. Изъ теоріи центробѣжнаго насоса извѣстно, что

$$\frac{H}{\eta_1} = \frac{uv \cos \beta}{g} \quad (5)$$

гдѣ  $H$  — напоръ, который долженъ создать насосъ и  $\eta_1$  — гидравлическій коэффициентъ полезнаго дѣйствія.



На основаніи предыдущихъ преобразованийъ мы можемъ уравненіе (5) представить въ такомъ видѣ:

$$H_2 = \frac{H}{\eta_1} = \frac{u}{g} \cdot \frac{u - \frac{Q}{F} \operatorname{ctg} \alpha}{1 + a \sin \alpha} = \frac{u}{g} \cdot \frac{u - Qq}{p} \quad (6)$$

Далѣе ясно, что

$$\eta_1 = \frac{H}{H + nQ^2 + \frac{\varphi}{2g} \left[ Qq_0 - \frac{u - Qq}{p} \right]^2} \quad (7)$$

гдѣ членъ  $nQ^2$  изображаетъ потерю энергіи на треніе внутри насоса.

Сопоставляя уравненія (6) и (7), получимъ:

$$H + nQ^2 + \frac{\varphi}{2g} \left[ Qq_0 - \frac{u - Qq}{p} \right]^2 = \frac{u}{g} \cdot \frac{u - Qq}{p} \quad (8)$$

При постоянномъ  $u$  это уравненіе представляетъ намъ уравненіе характеристики насоса. Если  $Q = 0$ , то

$$H_1 = H = \frac{u^2}{gp} - \frac{\varphi}{2g} \cdot \frac{u^2}{p^2} = \frac{u^2}{gp} \left[ 1 - \frac{\varphi}{2p} \right] \quad (9)$$

гдѣ  $H_1$  то давленіе, которое создаетъ насосъ при закрытомъ вентилѣ. Произведя операцію возведенія третьяго члена первой части уравненія (8) въ квадратъ и сдѣлавъ приведенія, мы получимъ:

$$H + Q^2 \left( n + \frac{\varphi}{2g} q_0^2 + \frac{\varphi q_0 q}{gp} + \frac{\varphi}{2g} \cdot \frac{q^2}{p^2} \right) - \\ - Qu \left( \frac{\varphi q_0}{gp} + \frac{\varphi q}{gp^2} - \frac{q}{gp} \right) = \frac{u^2}{gp} \left( 1 - \frac{\varphi}{2p} \right) \quad (10)$$

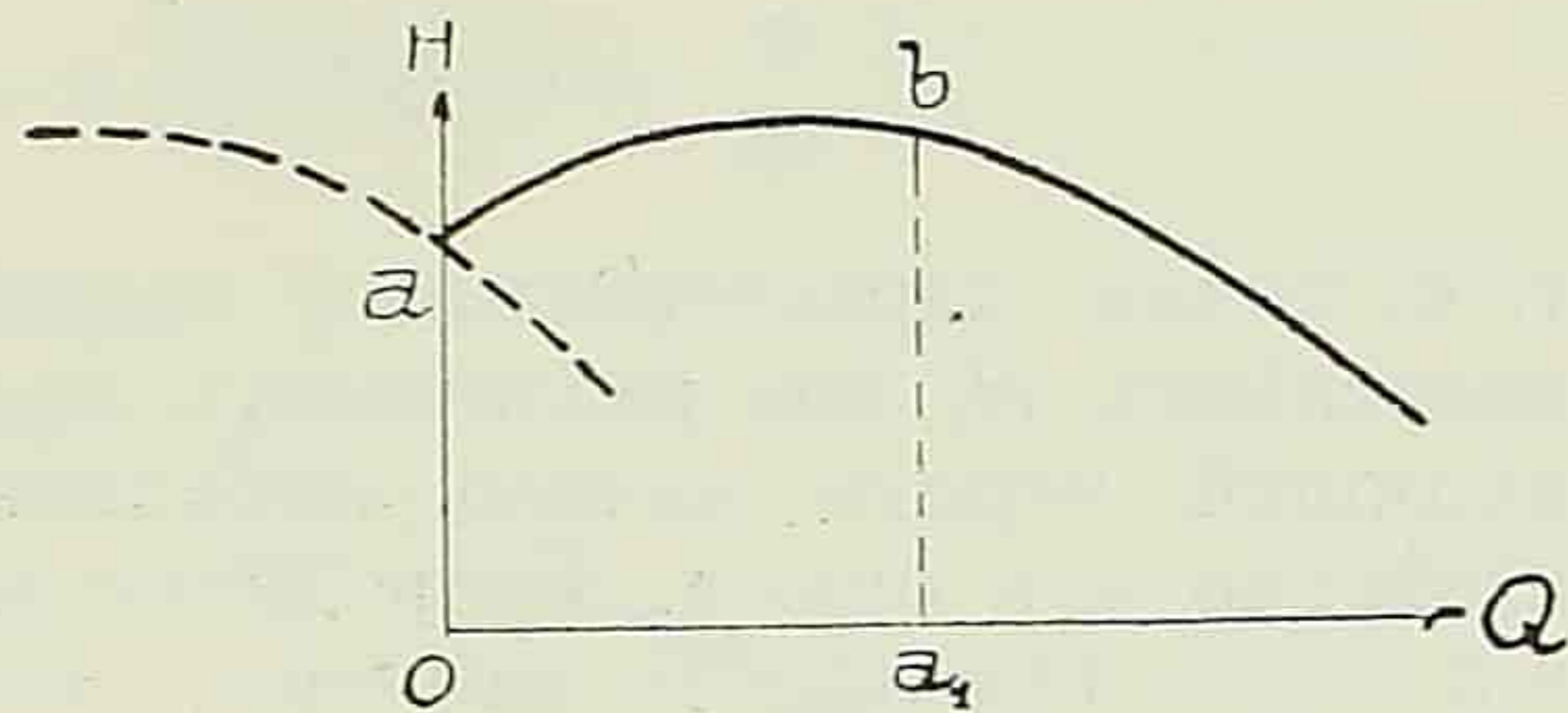
или

$$H + Q^2 \left[ n + \frac{\varphi}{2g} \left( q_0 + \frac{q}{p} \right)^2 \right] - Qu \left( \frac{\varphi q_0}{gp} + \frac{\varphi q}{gp^2} - \frac{q}{gp} \right) = \\ = \frac{u^2}{gp} \left( 1 - \frac{\varphi}{2p} \right) \quad (11)$$

Очевидно, что во второй части уравненія мы имѣемъ ничто иное какъ  $H_1$ .



Видъ характеристики зависитъ отъ знака коэффициента при  $Qu$ . Если этотъ коэффициентъ имѣетъ положительную величину, то характеристика имѣетъ видъ, показанный на чертежѣ 3 сплошной линіей; если же онъ имѣетъ отрицательную величину, то характеристика будетъ имѣть видъ показанный пунктиромъ на томъ же чертежѣ.



Черт. 3.

Въ первомъ случаѣ  $H$  достигаетъ при нѣкоторомъ положительномъ значеніи  $Q = Q_1$  наибольшей величины; во второмъ случаѣ постепенно убываетъ отъ величины  $H_1 = 0a$ .

Гораздо чаще имѣетъ мѣсто первый случай, поэтому мы на немъ и остановимся.

Положимъ для простоты

$$n + \frac{\varphi}{2g} \left( q_0 + \frac{q}{p} \right)^2 = t$$

$$\frac{\varphi q_0}{gp} + \frac{\varphi q}{gp^2} - \frac{q}{gp} = r \quad \text{и}$$

$$\frac{1}{gp} \left( 1 - \frac{\varphi}{2p} \right) = s.$$

Тогда уравненіе (11) переписется въ такомъ видѣ:

$$H + tQ^2 - ruQ = su^2. \quad (12)$$

Найдемъ  $Q_1$ , соответствующее максимуму  $H$  при постоянномъ  $u$ .

$$\frac{dH}{dQ} = ru - 2tQ_1 = 0;$$

$$Q_1 = \frac{ru}{2t} \quad (13)$$

$Q_1$  пропорціонально  $u$ , что давно извѣстно изъ опытныхъ данныхъ.

Найдемъ геометрическое мѣсто наибольшихъ значеній  $H$  при различныхъ  $u$ . Подставляя въ уравненіе (12) выраженіе (13) для  $u$ , найдемъ:



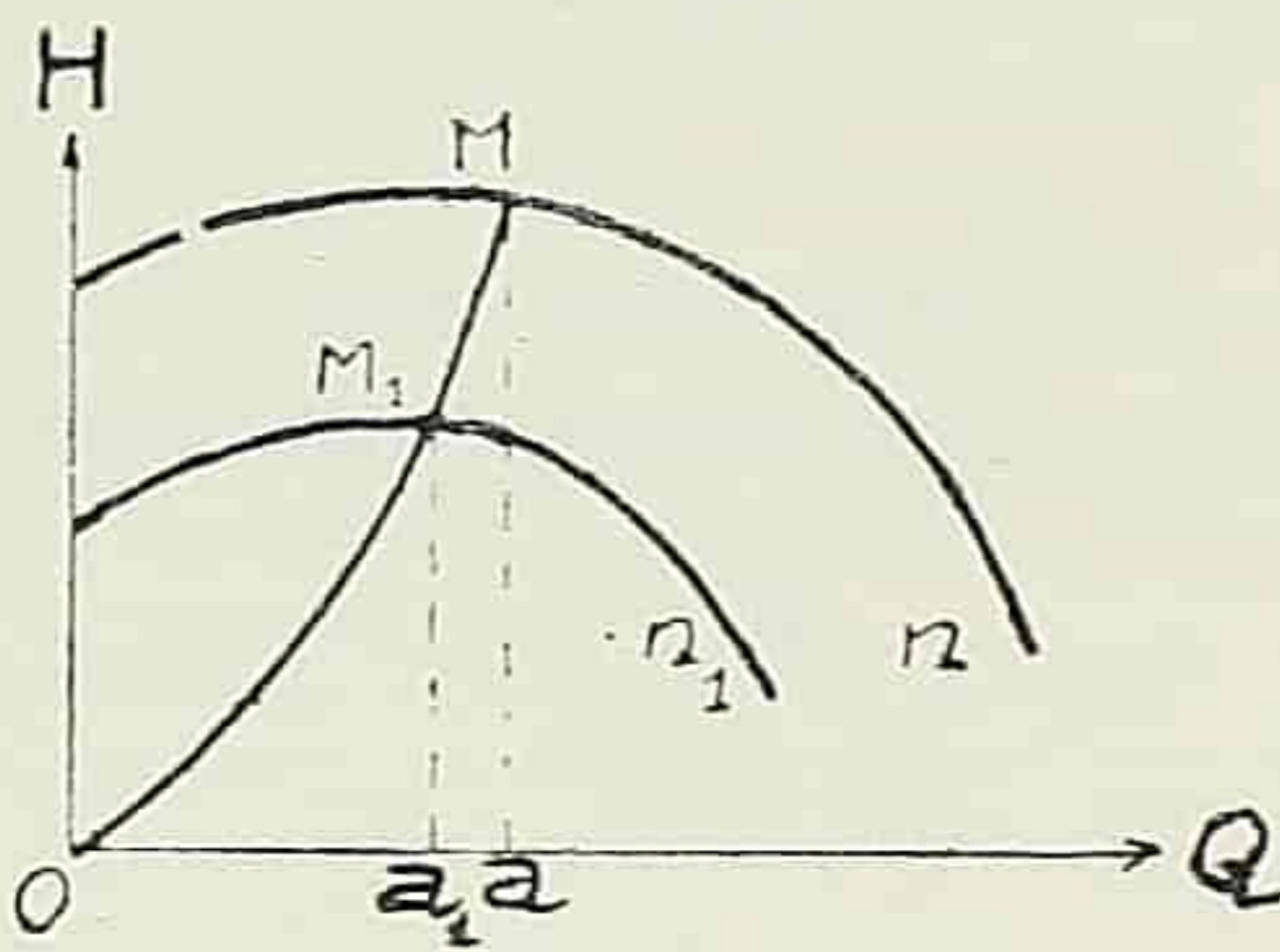
$$H + tQ^2 - 2tQ_1^2 = \left(\frac{2t}{r}\right)^2 s Q_1^2 \quad (14)$$

или

$$H = Q^2 \left( \frac{4t^2}{r^2} s + t \right) \quad (15)$$

т. е. точки характеристикъ, соответствующія наибольшимъ значеніямъ  $H_1$  при различныхъ  $u$ , лежатъ на параболѣ, проходящей черезъ начало координатъ. Это положеніе также извѣстно изъ опыта. Если далѣе мы исключимъ изъ уравненій (12) и (13)  $Q_1$ , то найдемъ, что наибольшія значенія  $H$  пропорціональны квадратамъ соответствующихъ  $u$  (или числамъ оборотовъ  $n$ ).

Всѣ эти положенія даютъ весьма простой способъ по одной характеристикѣ, полученной путемъ опыта для какого-нибудь числа оборотовъ  $n$ , построить характеристику для другого числа оборотовъ  $n_1$ . Для этого надо двигать кривую  $n$  (черт. 4) параллельно самой себѣ такъ, чтобы точка  $M$  двигалась по параболѣ  $OM$  до точки  $M_1$ , положеніе которой опредѣляется соотношеніемъ



Черт. 4.

$$\frac{Oa_1}{Oa} = \frac{n_1}{n}$$

По уравненію (12) можно было бы опредѣлить  $Q_2$ , которому соответствуетъ  $H=0$ ; но результатъ получился бы неправильный, ибо при большихъ значеніяхъ  $Q$  во всасывающемъ пространствѣ получается явленіе называемое „кавитацией“, вслѣдствіе чего движеніе воды черезъ насосъ измѣняется кореннымъ образомъ.

Чтобы закончить вопросъ о характеристикѣ, посмотримъ, какъ измѣняется при данномъ  $u$  съ возрастаніемъ  $Q$  гидравлическій коэффициентъ полезнаго дѣйствія  $\eta_1$ . Опредѣлимъ сначала гидравлическій напоръ  $H_2$ . По предыдущему (уравненіе 6)

$$H_2 = \frac{H}{\eta_1} = \frac{u}{g} \cdot \frac{u - Qq}{p} \quad (16)$$

Видимъ, что  $H_2$  въ зависимости отъ  $Q$  при данномъ  $u$  (черт. 5) изображается прямой  $ab$ , причемъ

$$Oa = \frac{u^2}{gp} \quad \text{и} \quad Ob = \frac{u}{q}.$$

Такимъ образомъ, на основаніи уравненія (12):

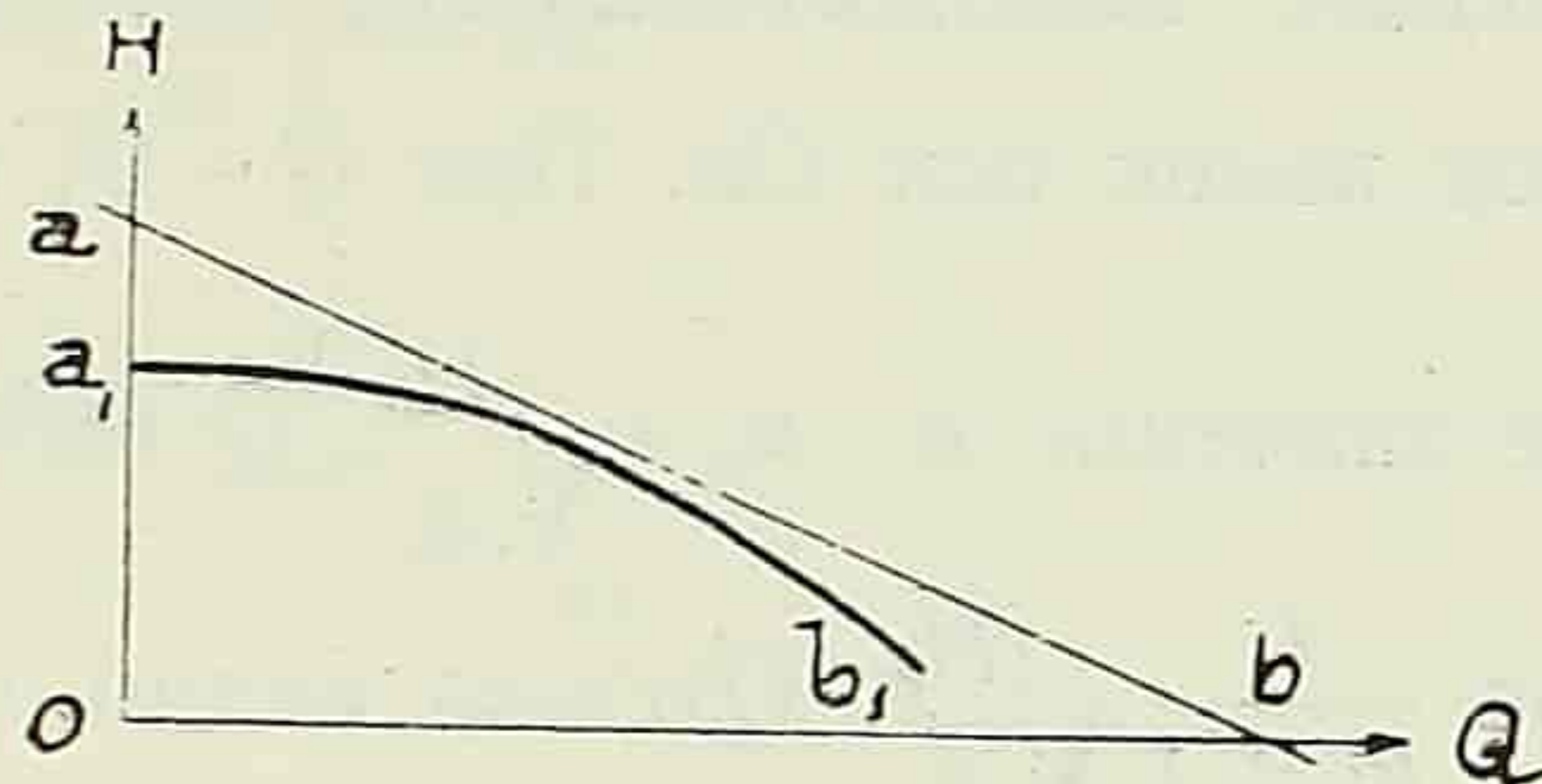


$$\eta_1 = \frac{H}{H_2} = \frac{su^2 + ruQ - tQ^2}{u^2 - Quq} \cdot g\rho$$

При

$$Q = 0, \quad \eta_1 = sgp = \left(1 - \frac{\varphi}{2\rho}\right).$$

Ясно, что при возрастании  $Q$  гидравлический коэффициент полезного действия увеличивается, ибо  $H$  увеличивается, а  $H_2$  уменьшается. Достигнув максимума,  $\eta_1$  уменьшается до нуля. Можно было бы, конечно, искать  $Q$  соответствующее наибольшему значению  $\eta_1$ , но результат получается не наглядный.



Черт. 5.

3. Перейдемъ теперь къ изслѣдованію измененія  $Q$ ,  $H$  и  $\eta_1$  въ зависимости отъ  $u$ .

Кромѣ уравненія (12), связывающаго  $Q$ ,  $H$  и  $u$ , мы имѣемъ еще одно соотношеніе, связывающее  $Q$  и  $H$ , именно:

$$H = H_0 + mQ^2 \quad (17)$$

гдѣ  $H_0$  статическій напоръ, а  $mQ^2$  — есть напоръ тренія во всасывающей и нагнетательной трубахъ. Здѣсь  $m$  коэффициентъ, зависящій отъ размѣра и матеріала трубъ.

Исключая изъ уравненій (12) и (17)  $H$ , получимъ

$$(m + t)Q^2 - ruQ - su^2 + H_0 = 0 \quad (18)$$

это уравненіе и даетъ намъ зависимость между  $Q$  и  $u$ .

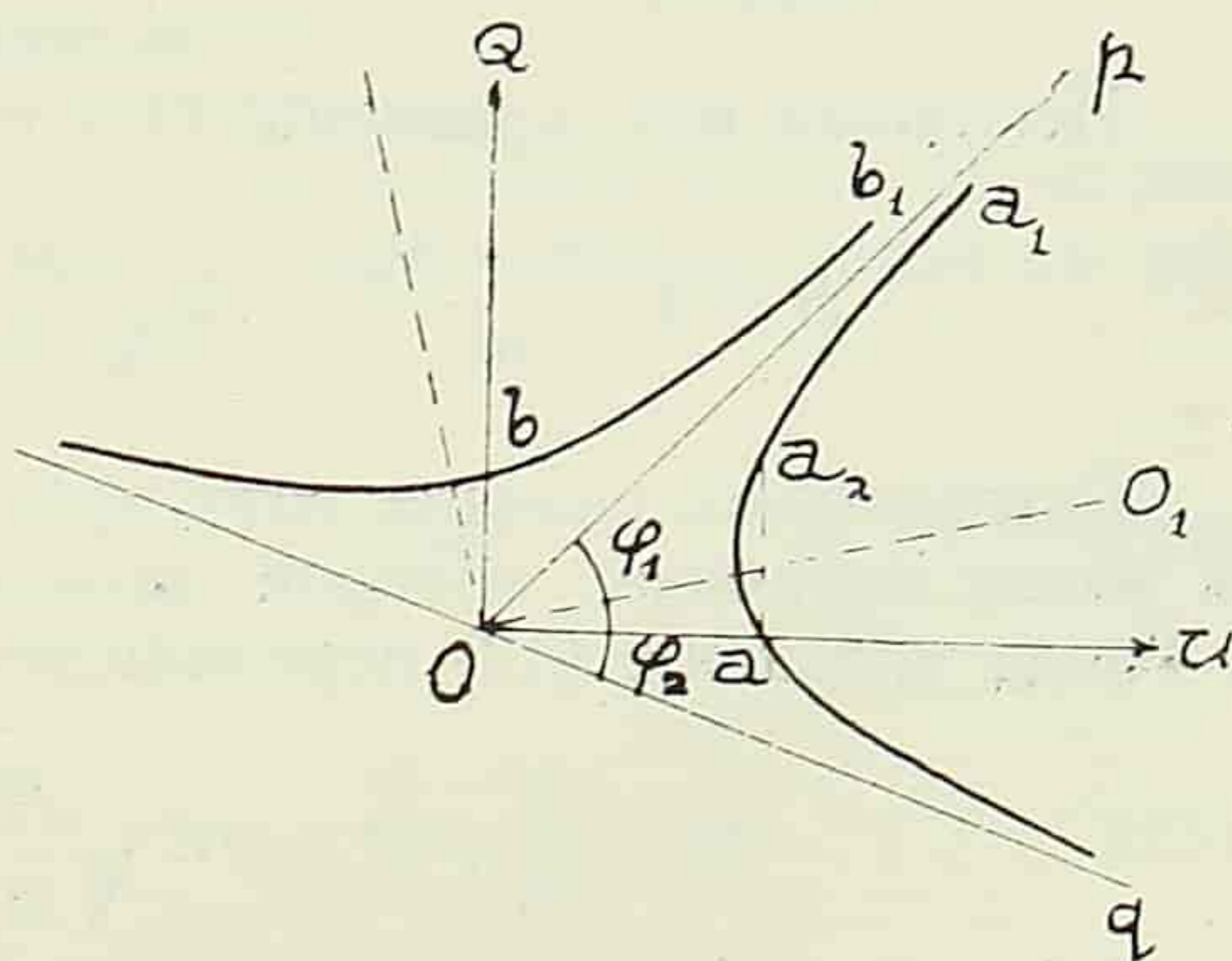
Очевидно, зависимость между  $Q$  и  $u$  изображается гиперболой съ центромъ въ началѣ координатъ, но повернутой относительно  $Qu$  и  $OQ$ . Чтобы опредѣлить положеніе гиперболы (черт. 6), найдемъ ея ассимптоты. Для этой цѣли разложимъ выраженіе:

$$Q^2 - \frac{ruQ}{m+t} - \frac{su^2}{m+t} = 0 \quad (19)$$

на два множителя

$$(Q + \alpha_1 u)(Q + \alpha_2 u) = 0 \quad (20)$$

Сравнивая коэффициенты въ уравненіяхъ (19) и (20) получимъ:



Черт. 6.



$$\alpha_1 + \alpha_2 = -\frac{r}{m+t}; \quad \alpha_1 \alpha_2 = -\frac{s}{m+t}.$$

Отсюда видно, что величины  $\alpha$  имѣютъ противоположные знаки и что по абсолютной величинѣ отрицательное  $\alpha$  больше положительнаго, поэтому ось гиперболы располагается выше оси  $Ou$ . При  $Q=0$ ,  $u=0a=u_0=\sqrt{\frac{H_0}{s}}$ . При томъ

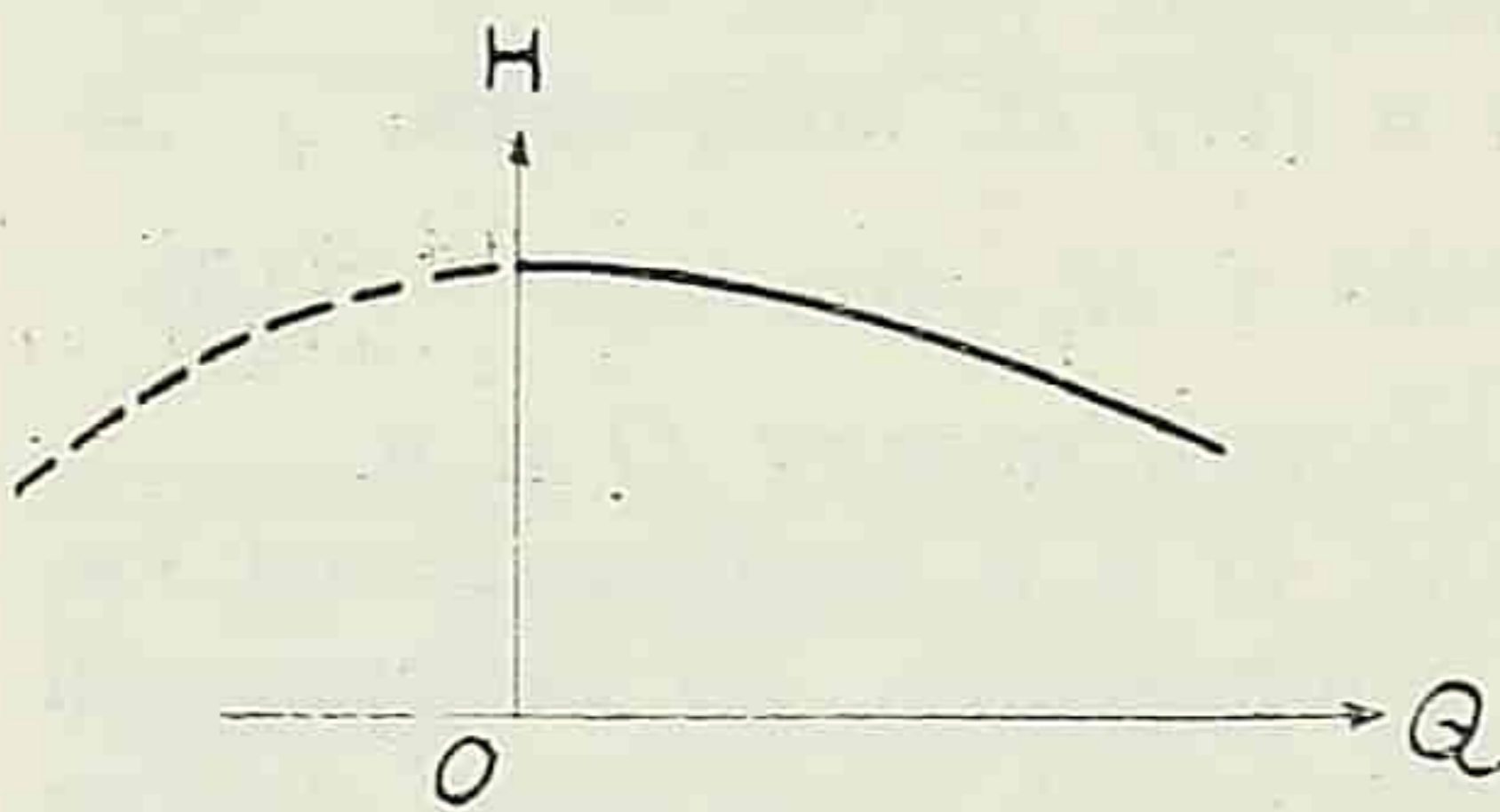
же значеніи  $u=u_0=\sqrt{\frac{H_0}{s}}$ ,  $Q$  имѣетъ второе значеніе  $aa_2$ , равное  $\frac{r}{m+t}\sqrt{\frac{H_0}{s}}$ . Отсюда видно, что  $Q$  остается равнымъ нулю, пока  $u$  не станетъ равнымъ  $u_0$ , а затѣмъ сразу получаетъ конечное значеніе  $aa_2$ .

Если  $H_0$  имѣетъ отрицательное значеніе, то  $Q$  измѣняется по гиперболѣ  $bb_1$ , гдѣ

$$ob = Q_0 = \sqrt{\frac{H_0}{m+t}},$$

если, наконецъ,  $H=0$ ,  $Q$  измѣняется по прямой  $or$ .

Если бы  $r$  было равно нулю, т. е. если бы насосъ имѣлъ характеристику, указанную на чертежѣ 7 съ максимумомъ  $H$  на оси ординатъ, то ось гиперболы совпадала бы съ осью  $Ou$ . Если бы, далѣе, максимумъ  $H$  находился въ области отрицательныхъ  $Q$ , т. е. если бы  $r$  было больше нуля, то ось гиперболы  $oo_1$  лежала бы ниже оси  $Ou$ .



Черт. 7.

Перейдемъ теперь къ измѣненію  $H$  въ зависимости отъ  $u$ .

Исключая изъ уравненій (12) и (17)  $Q$  получимъ:

$$H + t \frac{H - H_0}{m} - ru \sqrt{\frac{H - H_0}{m}} = su^2 \quad (21)$$

Разсмотримъ сначала тотъ простой случай, когда  $H_0 = 0$  или малая величина, которой можно пренебречь рядомъ съ  $H$ . Тогда уравненіе (12) перепишется въ такомъ видѣ:

$$H + \frac{t}{m} \cdot H - ru \sqrt{\frac{H}{m}} = su^2 \quad (22)$$

Это уравненіе удовлетворяется положеніемъ:



$$u^2 = \frac{\alpha^2 H}{m} = \beta H.$$

Дѣйствительно, мы получимъ

$$H \left( 1 + \frac{t}{m} - \frac{r\alpha}{m} \right) = su^2$$

или

$$u^2 = H \frac{1 + \frac{t}{m} - \frac{\alpha r}{m}}{s} = \frac{\alpha^2}{m} H,$$

откуда найдемъ  $\alpha$ , именно:

$$\alpha = -\frac{r}{2s} + \sqrt{\frac{r^2}{4s^2} + \left(\frac{m+t}{s}\right)} \quad (23)$$

Мы видимъ, что  $\beta$  является функціей  $m$  и остается постояннымъ пока  $m$  постоянно. Это значитъ, что всякая парабола  $H = mQ^2$ , проведенная въ системѣ осей координатъ  $OQH$ , пересѣкаетъ характеристики въ точкахъ, для которыхъ соотвѣтствующія значенія  $H$ ,  $H_1$ ,  $H_2$ , и т. д. пропорціональны квадратамъ  $n$  (черт. 8).

Отсюда видно, между прочимъ, что принципъ подобія такъ, какъ онъ примѣняется для турбинъ, примѣненъ быть не можетъ, ибо  $H$  пропорціонально  $u^2$  только въ томъ случаѣ, если остается постояннымъ  $m$ .

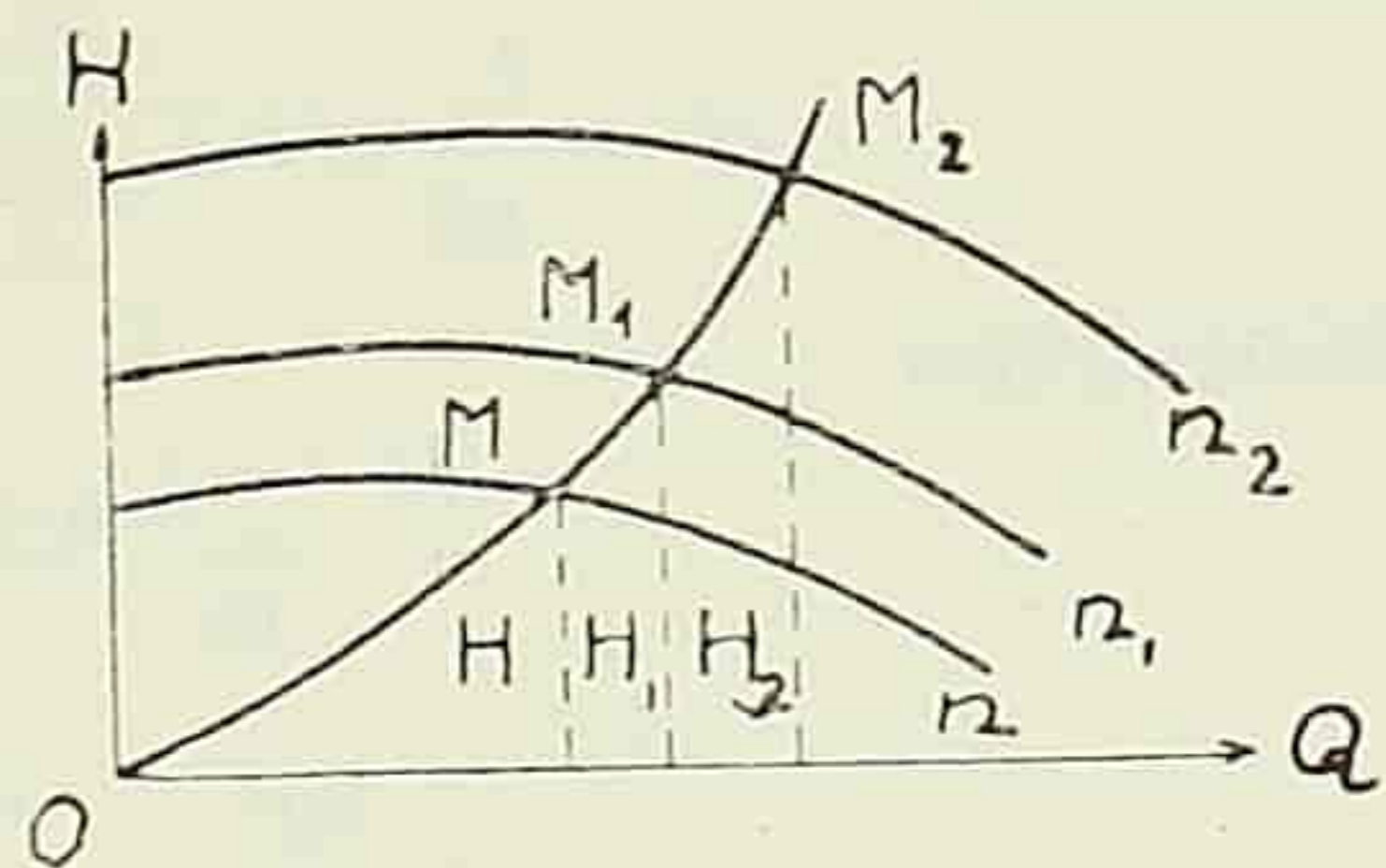
Этотъ результатъ былъ подтвержденъ опытнымъ путемъ въ гидравлической лабораторіи Кіевскаго Политехническаго Института \*).

Перейдемъ къ болѣе общему вопросу, когда  $H_0$  не равно нулю. Для начала рассмотримъ такой случай, когда въ уравненіи (21)  $r = 0$ ; тогда имѣемъ:

$$H + t \frac{H - H_0}{m} = su^2. \quad (24)$$

Откуда

$$H = \frac{ms}{m+t} u^2 + \frac{t}{m+t} H_0. \quad (25)$$

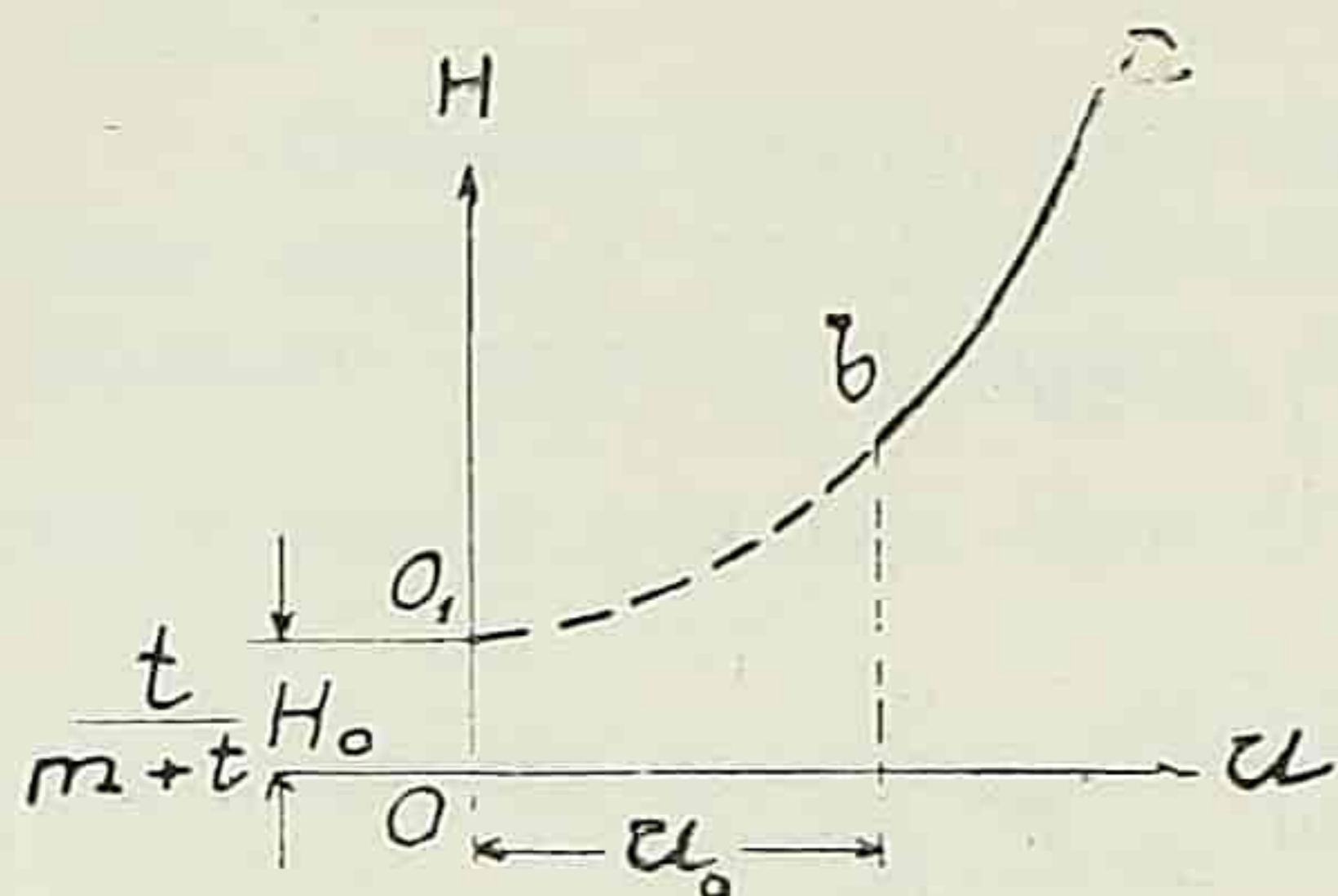


Черт. 8.

\*) Бюл. Моск. Полит. О-ва, 1911 года.



Это уравнение изобразится параболой  $O_1a$  (черт. 9). Но кривая имѣетъ реальный смыслъ лишь отъ точки  $b$ , абсцисса которой равна



Черт. 9.

$$u_0 = \sqrt{\frac{H_0}{s}}$$

Коэффициентъ передъ  $u^2$  и въ данномъ случаѣ зависитъ отъ  $m$ , такъ что остается постояннымъ лишь при постоянномъ  $m$ . Если мы обратимся къ предыдущему случаю и въ выражении для  $a$  положимъ  $r=0$ , то, очевидно, получимъ передъ

$u^2$  тотъ же самый коэффициентъ, что и въ данномъ случаѣ. Если мы перепишемъ выраженіе (25) такъ:

$$H = \left( \frac{ms}{t+m} + \frac{t}{m+t} \cdot \frac{H_0}{u^2} \right) u^2, \quad (26)$$

то придемъ къ заключенію, что коэффициентъ передъ  $u^2$  колеблется при постоянномъ  $m$  въ тѣсныхъ границахъ.

Разсмотримъ общій случай, когда нельзя пренебречь величиной  $r$ .

Имѣемъ:

$$H + \frac{t}{m} (H - H_0) - ru \sqrt{\frac{H - H_0}{m}} = su^2.$$

Обозначая

$$\frac{H - H_0}{m} = x; \quad m + t = a \quad \text{и}$$

$$su^2 - H_0 = z, \quad \text{получимъ}$$

$$ax - ru \sqrt{x} = z.$$

Освобождаясь отъ радикала, будемъ имѣть:

$$a^2 x^2 - xz \left( 2a + \frac{r^2}{s} \right) - \frac{r^2 H_0}{s} x + z^2 = 0. \quad (27)$$

Это уравненіе гиперболы. При  $z=0$ ,  $x=0$  и  $x = \frac{r^2 H_0}{a^2 \cdot s}$ . Последнее значеніе опредѣляетъ точку  $a$ , отъ которой кривая имѣетъ реальное значеніе.

При  $x = \infty$

$$\frac{z}{x} = a + \frac{r^2}{2s} \pm r \sqrt{\frac{r^2}{4s^2} + \frac{a}{s}}$$



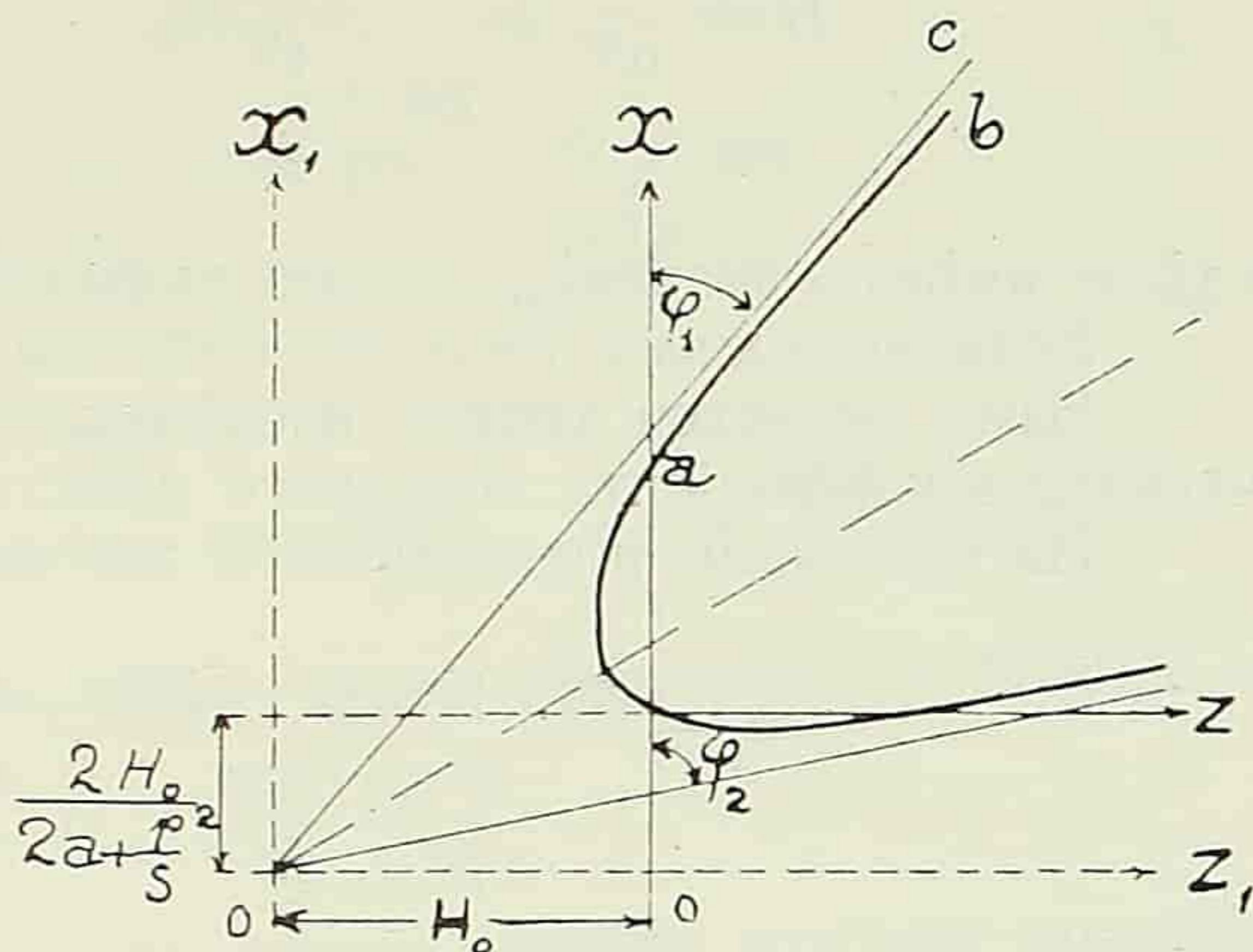
Это даетъ намъ тангенсы угловъ ассимптотъ съ осью  $x$  (черт. 10).

$$\left(\frac{z}{x}\right)_1 = \operatorname{tg} \varphi_1 = a + \frac{r^2}{2s} -$$

$$- r \sqrt{\frac{r^2}{4s^2} - \frac{a}{s}}$$

$$\left(\frac{z}{x}\right)_2 = \operatorname{tg} \varphi_2 = a + \frac{r^2}{2s} +$$

$$+ r \sqrt{\frac{r^2}{4s^2} + \frac{a}{s}}$$



Черт. 10.

Преобразуя уравнение (27) приблизительно къ новымъ осямъ  $O_1X_1Z_1$  съ началомъ координатъ въ центрѣ гиперболы, получимъ:

$$a^2x_1^2 - z_1x_1 \left(2a + \frac{r^2}{s}\right) + z_1^2 + \delta = 0. \quad (28)$$

Здѣсь

$$x_1 = x + \frac{2H_0}{2a + \frac{r^2}{s}}$$

$$z_1 = z + H_0 = su^2 \quad \text{и}$$

$$\delta = \frac{H_0^2 \frac{r^4}{s^2}}{\left(2a + \frac{r^2}{s}\right)^2} = \left[ \frac{H_0 r^2}{s \left(2a + \frac{r^2}{s}\right)} \right]^2$$

Если мы вмѣсто дуги гиперболы  $ab$  возьмемъ ассимптоту  $o_1c$ , то получимъ достаточно точное приближительное рѣшеніе.

Уравненіе ассимптоты  $o_1c$  будетъ:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 x_1 = z_1 \quad \text{или}$$

$$\frac{H - H_0}{m} + \frac{2H_0}{2a + \frac{r^2}{s}} = \frac{u^2}{\frac{a}{s} + \frac{r^2}{2s^2} - \sqrt{\frac{r^2}{4s^2} + \frac{a}{s}}}$$

Откуда



$$H = \frac{mu^2}{\alpha^2} + \frac{2t + \frac{r^2}{s}}{2\alpha + \frac{r^2}{s}} H_0 \quad (29)$$

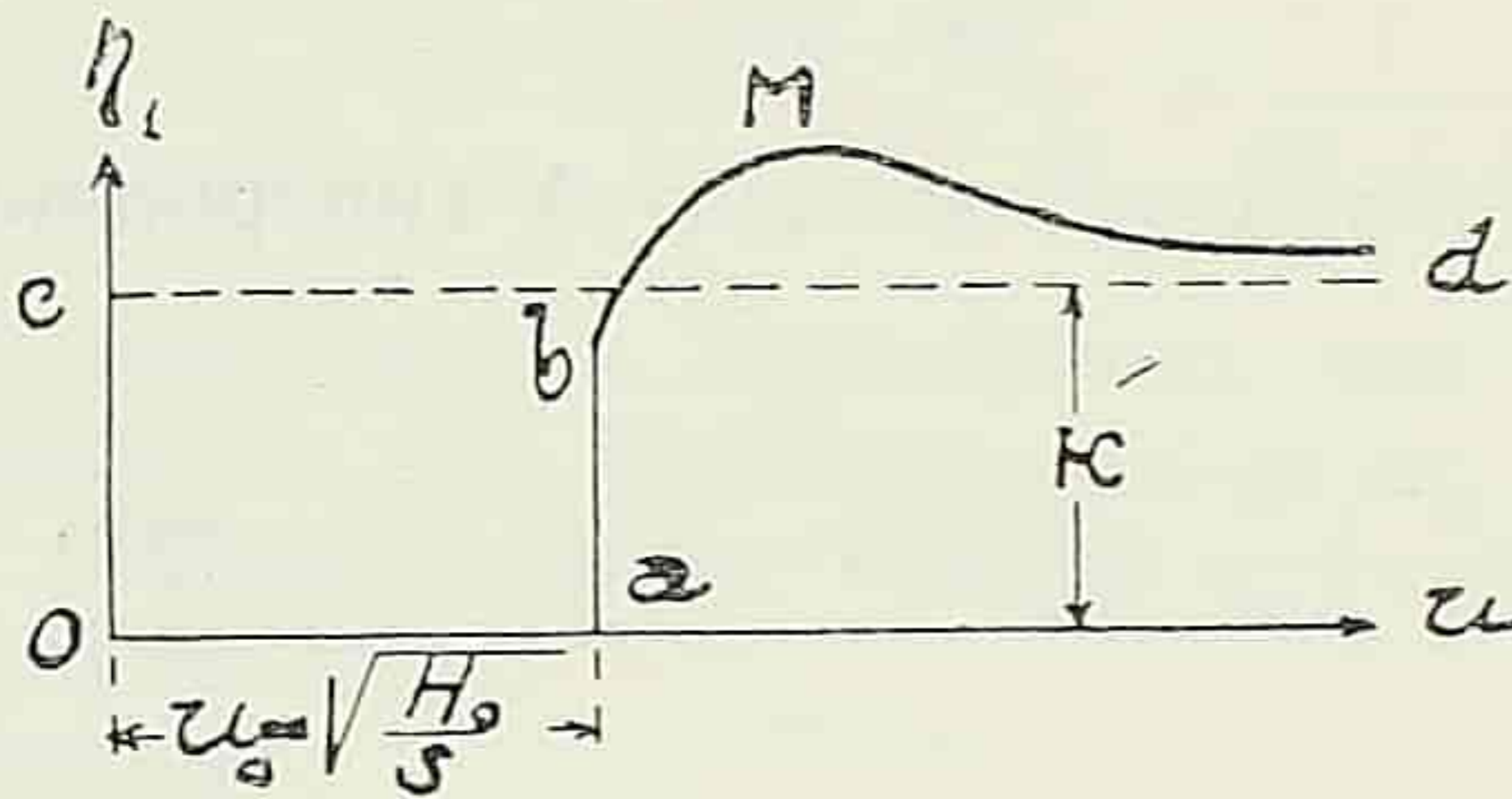
гдѣ  $\alpha$  имѣетъ значеніе, данное выраженіемъ (23).

Если положимъ  $r=0$ , то получимъ выраженіе (25).

Намъ остается теперь изслѣдовать измѣненіе гидравлическаго коэффиціента полезнаго дѣйствія при измѣненіи  $u$ .

На основаніи предыдущаго мы имѣемъ:

$$\eta_1 = \frac{su^2 + ruQ - tQ^2}{\frac{u^2}{gp} - \frac{Quq}{gp}} = \frac{H}{H_2} \quad (30)$$



Черт. 11.

Мы видѣли раньше, что при

$$Q=0 \text{ и } u = u_0 = \sqrt{\frac{H_0}{s}}$$

$$\eta_1 = sgp = ab \text{ (черт. 11).}$$

На основаніи формулы (29) мы можемъ выраженіе для  $\eta_1$  представить въ такомъ видѣ:

$$\eta_1 = \frac{\frac{m}{\alpha^2} + \frac{\beta H_0}{u^2}}{1 - \frac{Qq}{u}} \cdot gp \quad (31)$$

Изъ этого выраженія мы видимъ, что при данномъ  $m$  и  $H_0$  числитель съ возрастаніемъ  $u$  уменьшается. Что касается знаменателя, то съ возрастаніемъ  $u$  отъ  $u_0$  онъ сначала также уменьшается, ибо  $Q$  возрастаетъ быстрее  $u$ . Благодаря этому кривая  $\eta_1$  можетъ имѣть гдѣ-то въ точкѣ  $M$  наибольшее значеніе. При дальнѣйшемъ возрастаніи  $u$  отношеніе  $\frac{Q}{u}$  становится почти постояннымъ, а поэтому знаменатель остается почти неизмѣннымъ, числитель убываетъ и убываетъ также и  $\eta_1$ . При увеличеніи  $u$  до  $\infty$   $\eta_1$  стремится къ горизонтальной асимптотѣ, отстоящей отъ оси  $Ou$  на величину

$$k = \frac{m gp}{\alpha^2 (1 - q \operatorname{tg} \varphi_1)} \quad (32)$$



Гдѣ  $\varphi_1$  уголъ ассимптоты кривой, связывающей  $Q$  и  $u$  (черт. 6), съ осью  $u$ .

Примѣръ.

Насосъ имѣеть:

наружный діаметръ — 0,36 mt

внутренній „ „ 0,18 „

$\beta_1 = 10^\circ$ ;  $\alpha = 25^\circ$

площадь выходного отверстія  $F = 0.014 \text{ mt.}^2$ .

$n = 4500$ ;  $p = 1,1$ ;  $\varphi = 0,65$ ;  $q_0 = \frac{ctg\varphi}{F} = 400$

$q = \frac{ctg\alpha}{F} = 153$ ; нормальное число оборотовъ — 1450;  $u = 27 \frac{m}{sec}$ ; нормальное  $Q = 0,04 \frac{m^3}{sec}$ .

Здѣсь  $n$  вычислено въ предположеніи, что при нормальныхъ условіяхъ работы, когда  $\beta = \beta_0$ ,  $\eta_1 = 0,82$ .

Подсчитывая коэффиціенты  $t$ ,  $r$  и  $s$ , получимъ:

$t = 12800$ ;  $r = 14,5$  и  $s = 0,065$ .

На основаніи этого уравненіе характеристики приметъ видъ:

$$H + 12800 Q^2 - 14,5 Qu = 0,065 u^2.$$

Подсчетъ  $H$  при  $u = 27 \frac{mt}{sek}$  (при числѣ оборотовъ 1450) приводитъ къ результату, изображенному на черт. 12.

Далѣе, по формулѣ

$$\eta_1 = \frac{Hpg}{(u - Qq)u}$$

подсчитаемъ гидравлическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія  $\eta_1$  (черт. 13).

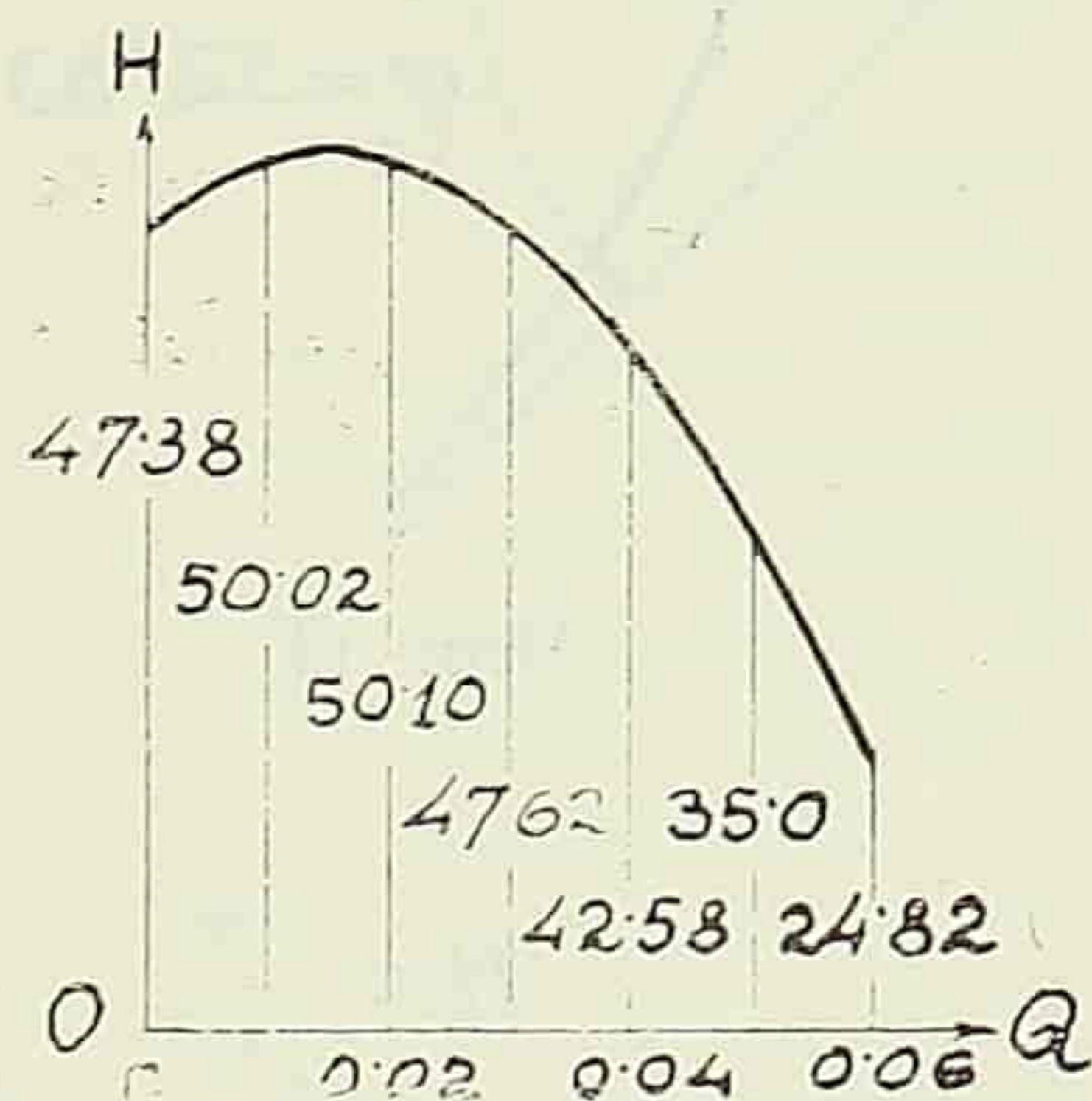
Для построения кривыхъ зависимости  $Q$ ,  $H$  и  $\eta_1$  отъ  $u$  надо даваться опредѣленными значеніями  $H_0$  и  $m$ .

Пусть

$$H_0 = 20 \text{ mt.}; \quad m = 14100,$$

что соотвѣтствуетъ при

$$u = 27 \frac{mt}{sek} \text{ расходу } Q = 0,04 \frac{m^3}{sek} \text{ и}$$

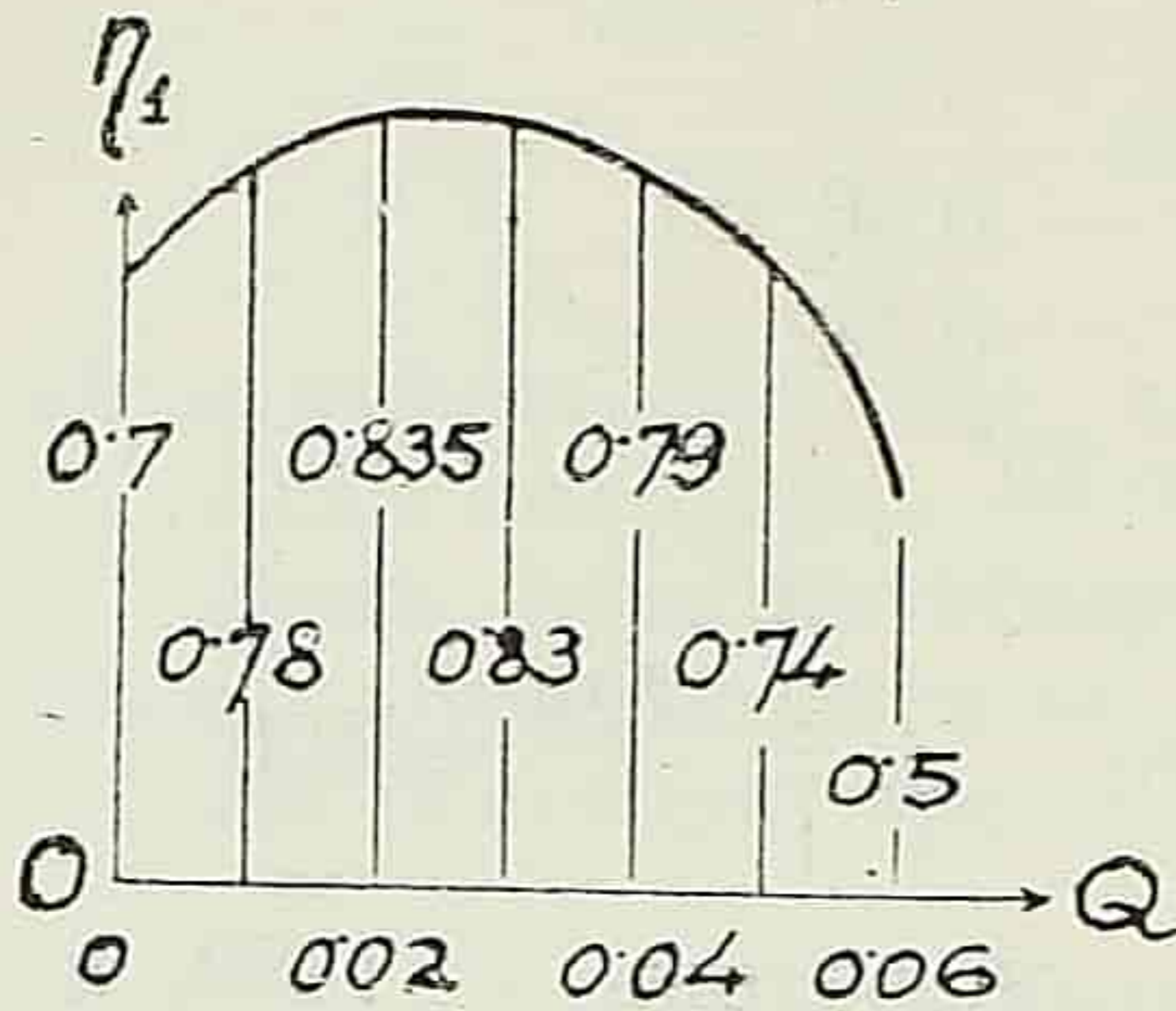


Черт. 12.

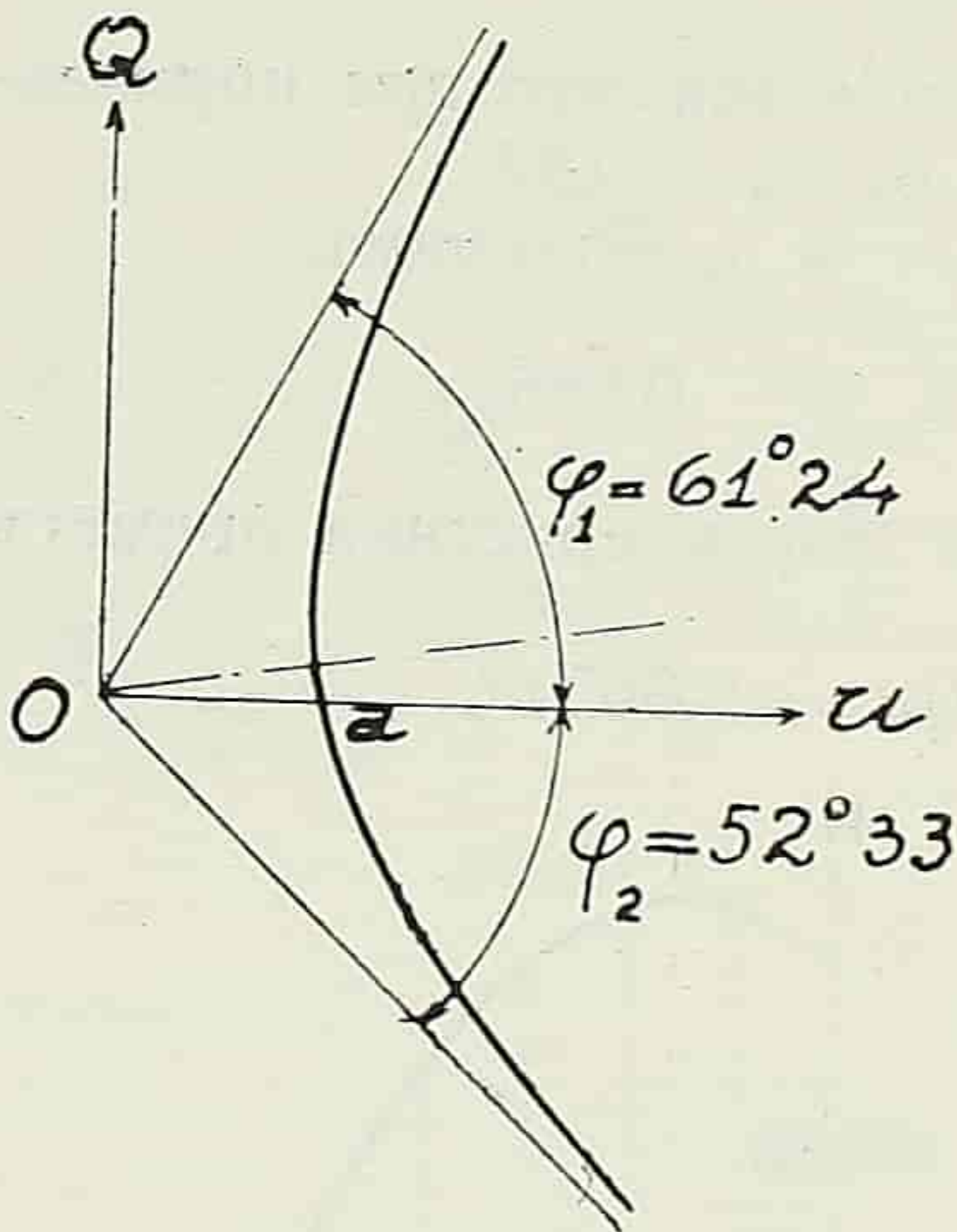


напору  $H = 42,58$  mt.

Уравнение кривой  $Q$  будетъ



Черт. 13.



Черт 14.

$$26900 Q^2 - 14,5 Qu - 0,065 u^2 + 20 = 0.$$

Въ данномъ случаѣ удобнѣе считать  $Q$  въ литрахъ, поэтому имѣемъ:

$$0,0269 Q^2 - 0,0145 Qu - 0,065 u^2 + 20 = 0.$$

По предыдущему уравненіе асимптотъ будетъ:

$$Q^2 - 0,53 Qu - 2,41 u^2 = 0.$$

Откуда найдемъ (черт. 14)

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = 61^{\circ}24' \text{ и } \operatorname{tg} \varphi_2 = 52^{\circ}33';$$

при этомъ

$$oa = u_0 = \sqrt{\frac{H_0}{s}} = 17,05 \frac{\text{mt}}{\text{sek}}.$$

Перейдемъ теперь къ вычисленію кривой зависимости  $H$  отъ  $u$  при  $m = 14100$  и различныхъ величинахъ  $H_0$ .

Мы имѣемъ:

$$H = \left[ \frac{m}{\alpha^2} + \frac{2t + \frac{r^2}{s}}{2(m+t) + \frac{r^2}{s}} \cdot \frac{H_0}{u^2} \right] u^2$$

гдѣ

$$\alpha^2 = \frac{m+t}{s} + \frac{r^2}{2s^2} - \frac{r}{s} \sqrt{\frac{r^2}{4s^2} + \frac{m+t}{s}}$$

Совершая вычисленіе, получимъ:

$$H = \left( 0,047 + 0,504 \frac{H_0}{u^2} \right) u^2.$$



Положимъ  $u = 27 \frac{mt}{sek}$ , а  $H_0$  — измѣнятся отъ 10—20—30 mt.

Будемъ имѣть:

$$\begin{aligned} \text{при } H = 10; & H = (0,047 + 0,007) u^2 \\ \text{„ } H = 20; & H = (0,047 + 0,014) u^2 \\ \text{„ } H = 30; & H = (0,047 + 0,021) u^2. \end{aligned}$$

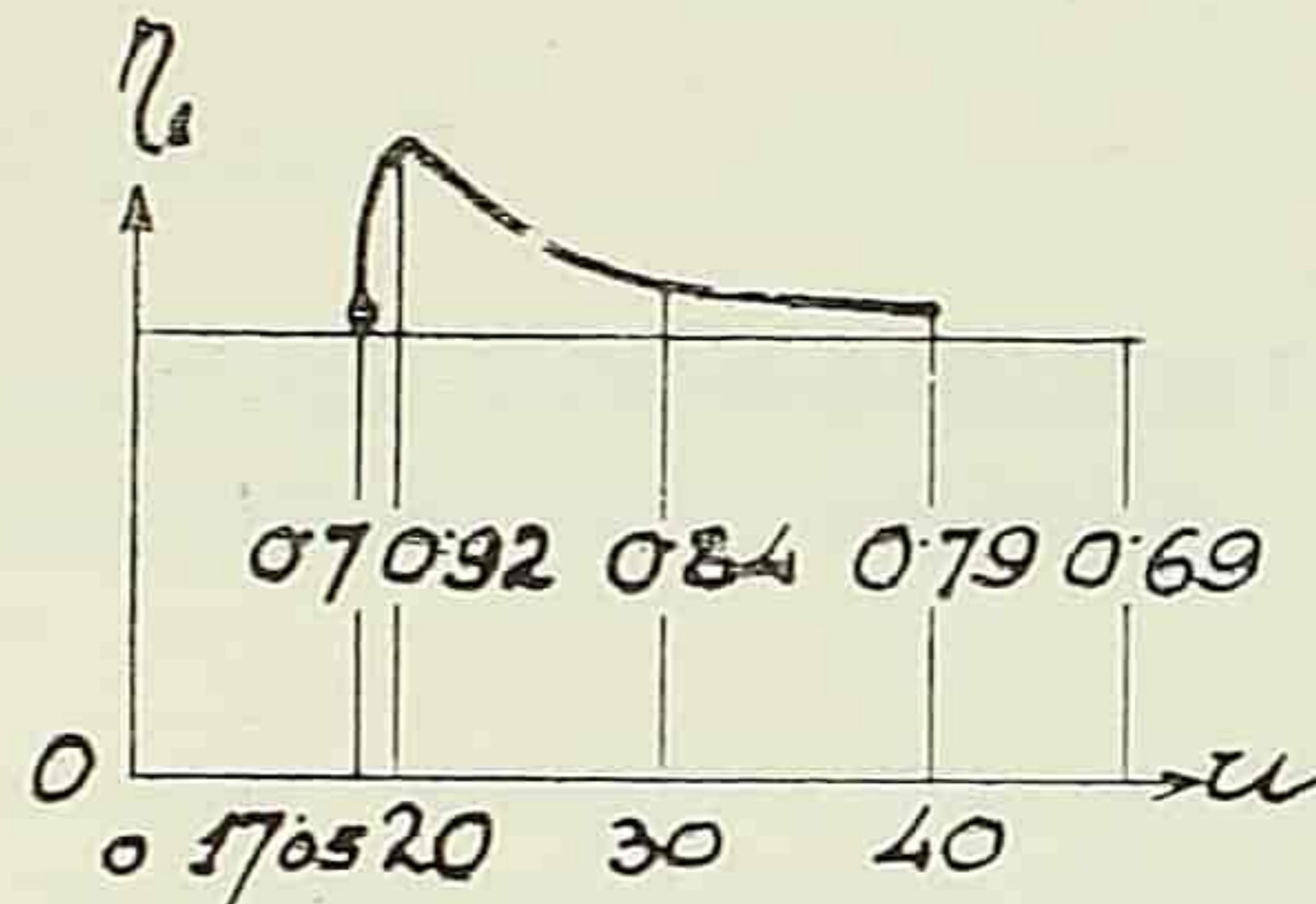
Мы видимъ, что преобладающее значеніе имѣетъ первый членъ.

Если  $u = 33 \frac{mt}{sek}$ , то въ трехъ предыдущихъ случаяхъ:

$$H = (0,047 + 0,005) u^2$$

$$H = (0,047 + 0,010) u^2$$

$$H = (0,047 + 0,015) u^2.$$



Черт. 15.

Подсчетъ  $\eta_1$  при томъ же  $m = 14100$  и при  $H_0 = 20$  mt. даетъ результатъ, изображенный на черт. 15.







Г. Н. Піо-Ульскій.

## О РАЦИОНАЛЬНОМЪ ОПРЕДѢЛЕНІИ КОЭФФИЦІЕНТА ПОЛЕЗНАГО ДѢЙСТВІЯ ПАРОВЫХЪ ТУРБИНЪ.

При опредѣленіи относительнаго коэффиціента полезнаго дѣйствія паровыхъ машинъ за образцовый циклъ обыкновенно принимается циклъ Ранкина Клаузіуса, который выражается перепадомъ теплосодержаній между начальнымъ и конечнымъ состояніями періода расширенія пара.

Тотъ же циклъ принимается за образцовый и для паровыхъ турбинъ, такъ какъ работа, соотвѣтствующая этому циклу численно равна тепловому перепаду между начальнымъ и конечнымъ состояніями пара въ періодъ преобразованія потенциальной энергіи давленія пара въ кинетическую.

Къ этому основному циклу относятъ работу дѣйствительнаго цикла и такимъ образомъ опредѣляютъ относительный коэффиціентъ полезнаго дѣйствія этого послѣдняго.

До сего времени этотъ способъ опредѣленія коэффиціента полезнаго дѣйствія паровыхъ турбинъ не вызывалъ никакой критики, хотя и приводилъ въ нѣкоторыхъ сложныхъ случаяхъ къ различнымъ затрудненіямъ главнымъ образомъ въ толкованіи, что именно въ этихъ сложныхъ случаяхъ слѣдуетъ считать за основной располагаемый тепловой перепадъ, къ которому слѣдуетъ относить использованную работу.

Упомянутые сложные случаи представляются въ случаѣ установокъ, гдѣ на пути расширенія пара или отводится нѣкоторое его количество для цѣлей регенеративнаго нагрѣванія питательной воды или гдѣ рабочей паръ получаетъ изъ внѣшняго посторонняго источника новое дополнительное количество тепла, какъ это бываетъ при промежуточномъ перегрѣваніи пара во время его расширенія въ турбинѣ, или, гдѣ приводится нѣкоторое количество пара изъ лабиринтовъ или вспомогательныхъ турбинъ въ элементы паровой турбины, или, наконецъ, гдѣ выполнена комбинація всѣхъ трехъ изложенныхъ случаевъ.



При такомъ сложномъ процессѣ, совершаемомъ рабочимъ количествомъ пара, дѣйствительно можно говорить о нѣкоторыхъ затрудненіяхъ въ опредѣленіи, что будетъ болѣе правильнымъ, относить ли использованную работу къ работѣ машины Ранкина Клаузіуса, циклъ которой не усложненъ промежуточными операціями или за основную работу нужно считать работу того же цикла, но сопровождаемаго упомянутыми дополнительными измѣненіями въ состояніи и количествѣ пара, протекающаго черезъ турбину.

Указанныя затрудненія въ опредѣленіи коэффициента полезнаго дѣйствія турбины въ сложныхъ случаяхъ турбинныхъ установокъ послужили причиною появленія критики существующаго способа критерія экономичности работы паровыхъ турбинъ и предложеніе совершенно новыхъ методовъ. За послѣднее время въ англійскомъ журналѣ „Engineering“ 1930, 5 Sept. подъ заглавіемъ „The rational definition of steam turbine efficiencies“ появилась статья г. G. Darrieus, въ которой онъ, указывая на существующія затрудненія въ опредѣленіи коэффициента полезнаго дѣйствія въ сложныхъ случаяхъ, предлагаетъ отступить отъ существующаго способа опредѣленія работоспособности машинъ помощью перепадовъ теплосодержаній пара, объясняя его существованіе, какъ стремленіе къ аналогіи съ гидравлическими машинами-двигателями и рекомендуетъ новый способъ, который онъ называетъ рациональнымъ и гдѣ онъ манипулируетъ съ перепадами „возможной полезной энергіи“. Французы этотъ родъ энергіи называютъ „l'énergie utilisable“ и, къ сожалѣнію, я не нахожу другого русскаго выраженія этого понятія, какъ мною только-что приведенное.

Статья г. G. Darrieus, возбуждающая необходимость примѣчаній и нѣкоторыхъ болѣе детальнѣхъ разъясненій, однако, по существу весьма интересна и открываетъ нѣкоторыя большаго значенія возможности упрощенія самой механики подсчетовъ относительнаго использованія теплоты въ тепловыхъ машинахъ, а поэтому заслуживаетъ особаго къ себѣ вниманія.

Понятіе „l'énergie utilisable“ введено впервые Максвеллемъ, а затѣмъ было развито Джемсомъ Томсономъ (Кельвинъ) и Гиббсомъ и, наконецъ, нашло особое разъясненіе въ работахъ Гоу. Этотъ послѣдній приурочиваетъ понятіе возможной полезной работы къ монотермическимъ процессамъ, т. е. такимъ, гдѣ тепловой обмѣнъ совершается въ концѣ концовъ или, какъ французы говорятъ, „en dernière analyse“ только съ однимъ источникомъ постоянной температуры. Къ такимъ монотермическимъ процессамъ принадлежитъ большинство химическихъ процессовъ, происходящихъ при температурѣ окружающей среды и когда не участвуютъ искусственные источники тепла, всѣ тепловые процессы біологическаго міра и къ



нимъ можетъ быть подведена, при нѣкоторыхъ условіяхъ разсмотрѣнія, и тепловая машина — двигатель. Въ этой машинѣ, если считать, что эволюционирующимъ веществомъ служитъ вода и водяной паръ, то процессъ, безъ сомнѣнія, не монотермическій, но, если разсматривать систему, въ составъ которой входитъ тепловая машина вмѣстѣ со своими источниками, то, собственно говоря, механической двигатель обращается въ двигатель химической, гдѣ активнымъ тѣломъ эволюционирующимъ въ процессѣ является смѣсь кислорода воздуха съ углеродомъ топлива, которая изъ нѣкотораго состоянія механической смѣси переходитъ въ состояніе химической связи: получается углекислота, которая послѣ передачи части своего тепла водѣ, въ концѣ концовъ должна принять давленіе и температуру окружающей среды. Вода же, является вспомогательнымъ промежуточнымъ веществомъ, описывающимъ циклъ операций, необходимыхъ для производства работы и, слѣдовательно, котель и конденсаторъ являются вспомогательными тепловыми источниками.

Тѣ случаи тепловыхъ процессовъ, когда необходимо для полученія перепада температуръ, вмѣшательство вспомогательныхъ тепловыхъ источниковъ, можно подвести подъ монотермическіе процессы только при условіи, если въ разсматриваемую систему мы включимъ кромѣ тѣлъ, подвергающихся тепловымъ измѣненіямъ, и вспомогательные тепловые источники. При этомъ необходимо, чтобы вспомогательные тепловые источники послѣ произведеннаго съ ними теплообмѣна, т. е. послѣ выполненія ими ихъ функцій, тотчасъ же приводились къ своимъ первоначальнымъ тепловымъ состояніямъ.

Этотъ возвратъ долженъ быть произведенъ за счетъ теплообмѣна съ окружающей систему средой постоянной температуры.

Теперь перейдемъ къ опредѣленію термодинамическаго выраженія возможной полезной работы въ монотермическихъ процессахъ.

Пусть система переходитъ изъ состоянія (0) въ состояніе (1) и пусть черезъ  $Q$  обозначается количество доводимаго тепла изъ источника постоянной температуры  $\Theta$ , а черезъ  $L$  — работа, произведенная этимъ количествомъ тепла при обратимомъ процессѣ. Тогда будемъ имѣть:

$$\begin{aligned} \text{Измѣненіе энтропій} & S_1 - S_0 \\ \text{„ внутренней энергіи} & U_1 - U_0. \end{aligned}$$

Такъ какъ процессъ обратимый, то

$$S_1 - S_0 = \frac{Q}{\Theta}, \quad (1)$$



а съ другой стороны

$$U_1 - U_0 = Q - AL \quad (2)$$

Изъ равенствъ (1) и (2) будемъ имѣть

$$AL = (U_0 - \Theta S_0) - (U_1 - \Theta S_1) \quad \dots \quad (A)$$

Если положить

$$F = U - \Theta S$$

и назвать это выраженіе возможной полезной энергіей (*l'energie utilisable*), то получимъ

$$AL = F_0 - F_1 \quad \dots \quad (B)$$

т. е. работа системы равняется перепаду возможной полезной энергіи.

Для случая термическихъ машинъ, гдѣ для непрерывнаго ихъ дѣйствія долженъ выполняться замкнутый циклъ операций и гдѣ работоспособность рабочаго вещества должна измѣряться, кромѣ внутренней его энергіи еще и энергіею упругости, численно равной произведенію давленія  $p$  на соотвѣтствующій удѣльный объемъ  $v$ , выраженіе возможной полезной энергіи должно принять нѣсколько другой видъ, а именно: возможная полезная энергія будетъ выражаться суммою

$$W = U - \Theta S + Aprv$$

и, слѣдовательно, работа системы между состояніями (0) и (1) представится разностью

$$W_0 - W_1 = (U_0 - \Theta S_0 + Apr_0v_0) - (U_1 - \Theta S_1 + Apr_1v_1)$$

или

$$W_0 - W_1 = (i_0 - \Theta S_0) - (i_1 - \Theta S_1) \quad (I)$$

Если мы рассматриваемъ часть цикла, гдѣ процессъ совершается адиабатически, то въ уравненіи (I)  $S_0$  должно быть равно  $S_1$ .

Такимъ образомъ для случая адиабатическаго истеченія пара въ паровой турбинѣ имѣемъ

$$W_0 - W_1 = (i_0 - \Theta S_0) - (i_1 - \Theta S_0) = i_0 - i_1.$$

Если превращеніе потенциальной энергіи въ кинетическую сопровождается треніемъ и другими гидравлическими сопротивленіями, то произведенная работа

$$AL' < W_0 - W_1$$



и, следовательно, часть располагаемой энергии идет на работу вредных сопротивлений.

Въ этомъ послѣднемъ случаѣ

$$AL' = W_0 - W_1 - \Delta S \cdot \Theta,$$

гдѣ  $\Delta S \cdot \Theta$  — то количество тепла, которое соотвѣтствуетъ потерѣ энергии на преодоленіе вредныхъ сопротивлений.

Представленіе величины  $W$ , какъ характеристичной величины для работоспособности пара въ паровыхъ турбинахъ можетъ быть выведено и безъ искусственнаго подведенія процесса термической машины подъ процессъ монотермической и лишь на основаніи простыхъ логическихъ разсужденій. Несомнѣнно, что въ каждый моментъ прохожденія пара черезъ паровую турбину абсолютная работоспособность пара выражается черезъ величину  $i$ , т. е. его теплосодержаніе. Если же мы предвидимъ, что процессъ работы совершается между изотермами  $T_0 = \text{const}$  и  $\Theta = \text{const}$ , то вполне справедливо при опредѣленіи работоспособности пара въ данный моментъ принять во вниманіе, что при температурѣ  $\Theta$  часть энергии ни въ коемъ случаѣ въ работу использована быть не можетъ. Эта часть энергии равна произведенію энтропії пара въ данный моментъ на нисшую температуру процесса  $\Theta$ , т. е.  $\Theta S$  и такимъ образомъ дѣйствительная работоспособность пара въ рассматриваемый моментъ выразится черезъ

$$W = i - \Theta S.$$

Естественно, что если мы возьмемъ два состоянія (0) и (1), то располагаемая работа между ними можетъ быть выражена черезъ разность величинъ  $W$ , соотвѣтствующихъ начальному и конечному состояніямъ. Однако, такое представленіе работоспособности пара при прохожденіи его черезъ элементы турбины не согласуется нѣсколько съ укоренившимся представленіемъ работоспособности отдѣльнаго элемента турбины, измѣряемой работою цикла Ранкина-Клаузиуса, что мы и увидимъ въ дальнѣйшемъ.

При опредѣленіи коэффиціента полезнаго дѣйствія паровыхъ турбинъ обыкновенно пользуются діаграммою  $I - S$  и, если желаютъ при этомъ воспользоваться изложенной теоріей возможной полезной энергии, то необходимо діаграмму  $I - S$  дополнить линіями постоянныхъ значеній  $i - \Theta S$ , причемъ нужно отмѣтить, что проведеніе такихъ линій должно быть сдѣлано въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ, такъ какъ значеніе величинъ  $i - \Theta S$  будетъ зависѣть отъ того, какая температура принята за наинисшую.

Нужно замѣтить, что  $\tan \alpha$  наклона изобаръ въ области насыщенія равняется численно температурѣ  $T$ . Линія  $i - \Theta S = \text{const}$  для давленія, которое соотвѣтствуетъ температурѣ  $\Theta$



конденсатора, которую примемъ за температуру окружающей среды, непременно будетъ совпадать съ изобарою соотвѣтствующей температурѣ  $\Theta$ , такъ какъ съ приращеніемъ энтропіи  $\Delta S$  на линіи равнаго давленія теплосодержаніе получитъ приращеніе  $\Delta i$ , которое численно будетъ равно  $\Theta \cdot \Delta S$ .

Такимъ образомъ, если для точки, находящейся на изобарѣ дадимъ абсциссѣ  $S$  приращеніе  $\Delta S$ , то теплосодержаніе  $i$  получитъ приращеніе  $\Delta i$  и тогда имѣемъ

$$W = i - \Theta S$$

$$W + dW = i + \Delta i - \Theta (S + \Delta S) = i - \Theta S.$$

т. е. по изобарѣ соотвѣтствующей температурѣ  $\Theta$  значеніе  $W$  не мѣняется.

Для величинъ  $W = i - \Theta S$ , соотвѣтствующихъ высшимъ давленіямъ, линіи  $W = \text{const.}$  уже не будутъ совпадать съ изобарами и всѣ будутъ имѣть  $\text{tg}$  своего наклона къ оси абсциссъ численно равнымъ  $\Theta$ , что видно изъ слѣдующаго вывода:

$$dW = \frac{\partial W}{\partial s} ds + \frac{\partial W}{\partial i} di; \text{ если } W = \text{const.}, \text{ то}$$

$$0 = \frac{\partial W}{\partial s} ds + \frac{\partial W}{\partial i} di \text{ или } \left( \frac{di}{ds} \right)_{W=\text{const}} = - \frac{\frac{\partial W}{\partial s}}{\frac{\partial W}{\partial i}} = - \frac{\frac{\partial (i - \Theta S)}{\partial s}}{\frac{\partial (i - \Theta S)}{\partial i}} = \Theta.$$

Такимъ образомъ уголъ между изобарами и линіями  $W = \text{const.}$  будетъ равенъ  $T - \Theta$  и, слѣдовательно, величины  $i - \Theta S$  вдоль изобаръ, соотвѣтствующихъ высшимъ температурамъ, чѣмъ  $\Theta$ , будутъ увеличиваться.

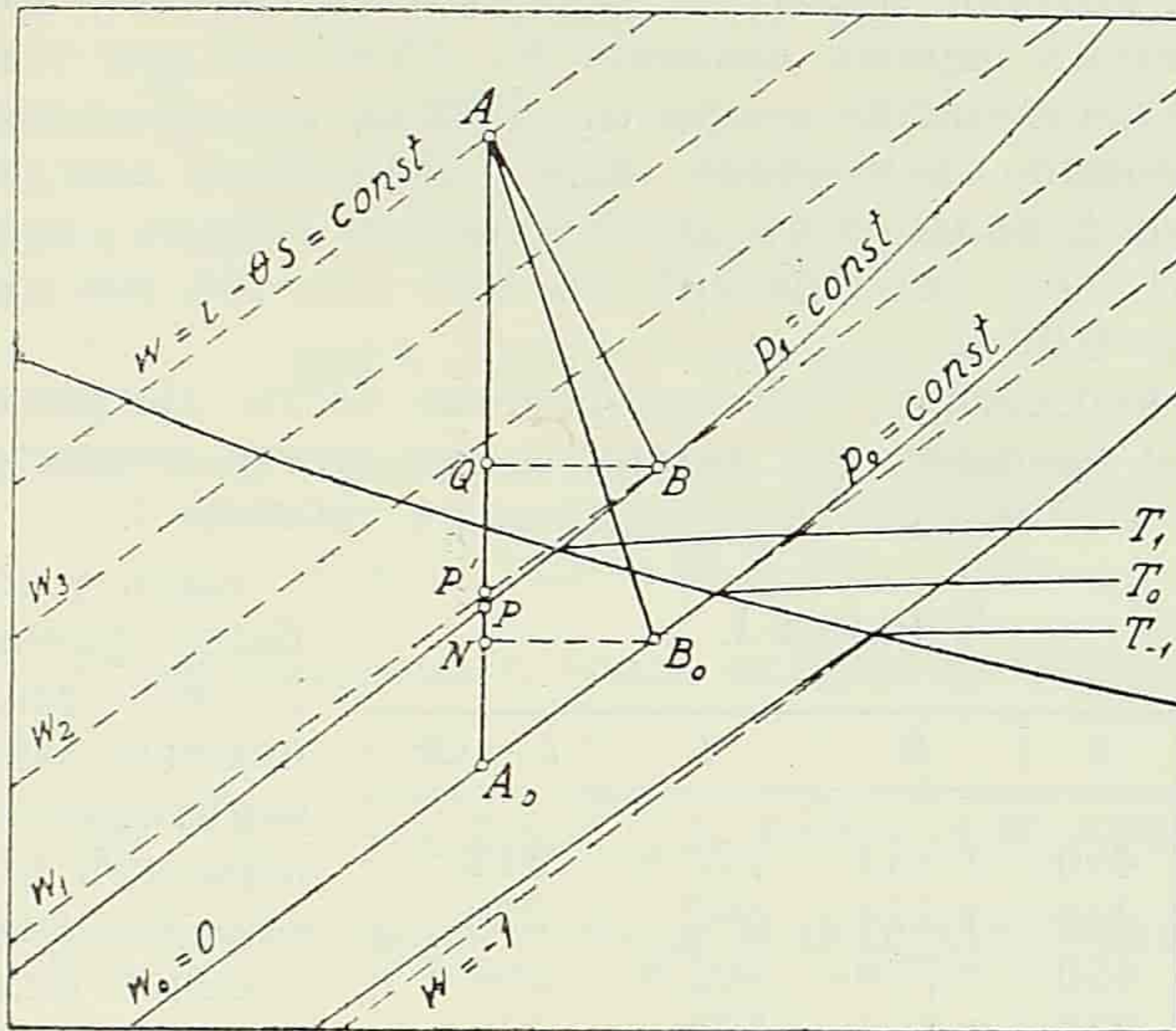
За нулевую линію для величинъ  $W = i - \Theta S$  естественнѣе всего принять именно линію, совпадающую съ изобарою соотвѣтствующей температурѣ  $\Theta$ .

Дополняя діаграмму  $I - S$  линіями постоянной возможной полезной энергіи, мы получимъ чертежъ 1 (стр. 97).

Пусть начальное состояніе выражается точкою  $A$ . Тогда, если расширение продолжается до изобары  $p_0 = \text{const.}$ , коэффициентъ полезнаго дѣйствія тепловаго процесса, опредѣленный по перепадамъ теплосодержаній и по перепадамъ величины  $W$ , будетъ численно одинаковъ. Если же мы будемъ разсматривать часть процесса, когда расширение кончается при изобарѣ  $p_1 = \text{const.}$ , то коэффициентъ полезнаго дѣйствія, опредѣленный по перепадамъ величины  $i$  выразится черезъ отношеніе  $\frac{AQ}{AP}$ , а опредѣленный по перепадамъ величины  $W$



выразится черезъ отношеніе  $\frac{AQ}{AP'} > \frac{AQ}{AP}$ , причемъ располагаемый перепадъ разсматриваемаго элемента окажется меньшимъ на  $P'P$ .



Черт. 1.

Для случая паровой турбины, процессъ которой не усложненъ разными дополнительными операціями, какъ-то промежуточнымъ перегрѣваніемъ пара, потерю давленія при прохожденіи пара по трубамъ, отведеніемъ нѣкотораго его количества и т. п. новый предлагаемый способъ опредѣленія коэффициента полезнаго дѣйствія разнится только въ промежуточныхъ опредѣленіяхъ, а для цѣлой турбины вполне совпадаетъ съ принятымъ способомъ опредѣленія коэффициента полезнаго дѣйствія по тепловымъ перепадамъ. По мнѣнію г. Dargieus въ сложныхъ случаяхъ предлагаемый имъ способъ даетъ несомнѣнныя преимущества, вполне устраняя всякую произвольность и неточность въ толкованіи самаго понятія коэффициента полезнаго дѣйствія турбины тамъ, гдѣ нужно сдѣлать нѣкоторый учетъ или ввести кое-какія поправки.

Для демонстраціи онъ рѣшаетъ примѣръ, который и намъ послужитъ для защиты нами справедливости до сего времени принятаго способа опредѣленія коэффициента полезнаго дѣйствія турбины.

Приводимый г. Dargieus примѣръ заключается въ слѣ-



дующемъ: Въ паровую турбину паръ поступаетъ при давлении 100 кг/см<sup>2</sup> и при температурѣ 450° Ц. Паръ этотъ расширяется до давленія въ 18 кг/см<sup>2</sup> и отводится въ пароперегрѣватель, гдѣ онъ снова пріобрѣтаетъ начальную температуру въ 450° Ц., но во время процесса перегрѣва теряетъ въ давленіи, которое дѣлается равнымъ 14,8 кг/см<sup>2</sup>, причемъ съ достиженіемъ паромъ давленія въ 3,5 кг/см<sup>2</sup> при температурѣ въ 275° часть этого пара  $\alpha_1 = 0,08 G$ , гдѣ  $G$  — количество доставленнаго въ турбину пара, отводится для нагрѣванія питательной воды, а съ достиженіемъ паромъ давленія въ 0,8 кг/см<sup>2</sup> при температурѣ въ 135° для той же цѣли отводится  $\alpha_2 = 0,09 G$ .

На чертежѣ 2, гдѣ изображена часть діаграммы  $I-S$ , отмѣчены данныя этой задачи и для шести моментовъ всего процесса составлена нижеслѣдующая таблица I.

Таблица I.

Моменты	$t$	$S$	$i$	$i - \Theta S$
I	450	1.533	772.5	312.5
II	244	1.574	692	220
III	450	1.778	802.5	269.5
IV	275	1.803	720	179
V	135	1.830	656	107
VI	27	1.883	561	-4

Какъ уже сказано было раньше, линия  $i - \Theta = \text{const.}$ , отвѣчающая давленію, соответствующему температурѣ  $\Theta$ , совпадаетъ съ линіей  $W_0 = \text{const.}$  Если бы пожелали отсчеты дѣлать именно отъ этой линіи, т. е. принять ее за нулевую, въ послѣ-

днемъ столбцѣ нужно было бы всѣ цифры увеличить на 4. Балансъ энергіи приведенъ въ таблицѣ II.

Чтобы опредѣлить энергію, использованную въ работу, то, пренебрегая потерями на треніе въ подшипникахъ и радіацію, нужно сдѣлать нижеслѣдующій подсчетъ

Таблица II.

Моменты	Дебетъ	Кредитъ
I	312.5	—
II	—	220
III	269.5	—
IV	—	14.3
V	—	9.6
VI	—	-3.3
	582.0	240.6

Балансъ = 341.4 калоріи.

$$772.5 - 692 + 0.08 (802.5 - 720) + 0.09 (802.5 - 656) + 0.83 (802.5 - 561) = 300.8 \text{ кал.}$$

Такимъ образомъ по рациональному методу коэффициентъ полезнаго дѣйствія турбины будетъ

$$\eta = \frac{300.8}{341.4} = 88\%$$

Чтобы опредѣлить разницу въ результатахъ, полученныхъ



такимъ методомъ вычисленія и методомъ по перепадамъ теплосодержаній, приведемъ данныя вычисленія по этому послѣднему способу.

Полный располагаемый перепадъ

$$772.5 - 456.5 = 316 \text{ кал.}$$

Располагаемый перепадъ отъ 18 кг/см<sup>2</sup> до 0,035 кг/см<sup>2</sup> равный  $671 - 456,5 = 214,5$  кал. вслѣдствіе промежуточнаго перегрѣванія пара замѣняется располагаемымъ перепадомъ (моментъ III)

$$802.5 - 529.5 = 273 \text{ кал.}$$

Разница этихъ располагаемыхъ перепадовъ

$$273 - 214.5 = 58.5 \text{ кал.}$$

Потеря располагаемаго тепла вслѣдствіе отвода пара въ моментъ IV

$$707 - 529.5 = 177.5; 177.5 \cdot 0.08 = 14.20 \text{ кал.}$$

Потеря располагаемаго тепла вслѣдствіе отвода пара въ моментъ V

$$636.5 - 529.5 = 107; 107 \cdot 0.09 = 9.63 \text{ кал.}$$

Общая потеря располагаемаго тепла вслѣдствіе обоихъ отводовъ

$$14,20 + 9.63 = 23.83 \text{ кал.}$$

Дѣйствительная разница въ тепловыхъ перепадахъ моментовъ II и III, если принять во вниманіе потери тепла вслѣдствіе отведенія пара

$$58.5 - 23.83 = 34.67 \text{ кал.}$$

Располагаемый перепадъ за весь процессъ

$$316 + 34.67 = 350.67 \text{ кал.}$$

Тепловой перепадъ, использованный въ работу

$$300.8 \text{ кал.}$$

Коэффициентъ полезнаго дѣйствія

$$\eta = \frac{300.8}{350.67} \cong 86\%.$$



Такимъ образомъ результатъ исчислений коэффициента полезнаго дѣйствія по обоимъ способамъ получается не одинаковымъ, если эти подсчеты въ обоихъ случаяхъ вести правильно.

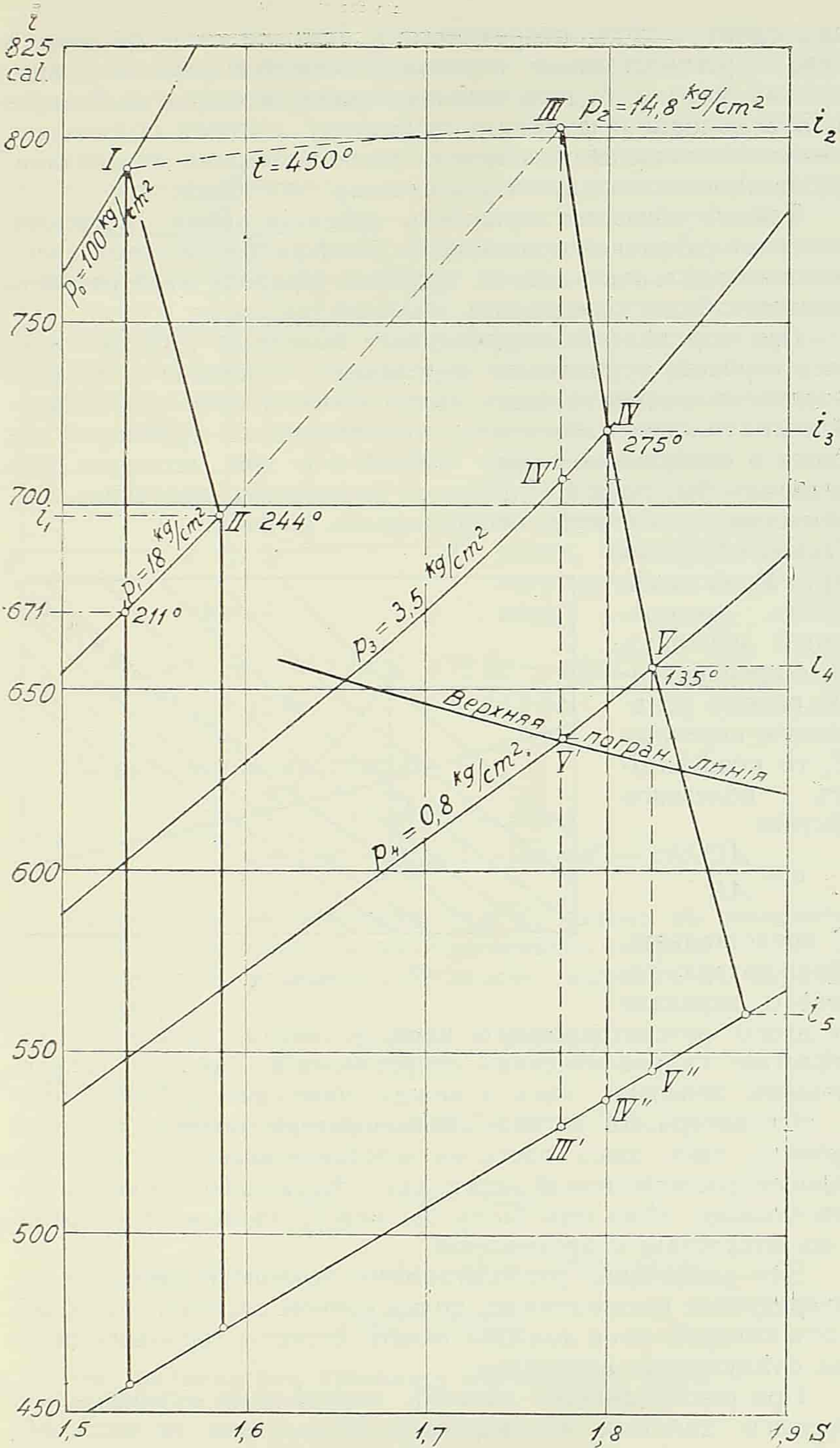
Однако, такая разница для сравненія между собою паровыхъ турбинъ практическаго значенія не имѣетъ, а происходитъ она въ случаѣ процессовъ осложненныхъ промежуточными операціями вслѣдствіе разной природы принятой единицы сравненія. Что же касается затрудненій при пользованіи принятымъ способомъ опредѣленія коэффициента полезнаго дѣйствія по перепадамъ теплосодержаній въ случаѣ отведенія или привода нѣкотораго количества пара на пути его протока черезъ турбину, то они, если могутъ возникнуть, то только при учетѣ потери или выигрыша тепла вслѣдствіе этихъ измѣненій въ рабочемъ его количествѣ. Напримѣръ, въ рѣшенномъ примѣрѣ можетъ возникнуть вопросъ, отъ какого перепада нужно отсчитать потерянное количество тепла, отъ перепадовъ  $IV' III'$  и  $V' III'$  или отъ перепадовъ  $IV IV''$  и  $V V''$ . Несомнѣнно, отсчетъ долженъ быть произведенъ отъ первыхъ приведенныхъ перепадовъ, если правильно понимать отъ какихъ именно моментовъ слѣдуетъ отсчитывать перепады при идеальномъ процессѣ. Чтобы въ этомъ не ошибиться, можно рекомендовать методъ разсмотрѣнія такой сложной турбинной установки, съ регенеративнымъ нагрѣваніемъ воды помощью предложенной мною трехкоординатной тепловой діаграммы  $T - S - G$  (Arch. Wärmewirtschaft. 1926). Для настоящаго случая отъ момента III нужно представить вмѣсто работы одной турбины съ секунднымъ расходомъ пара въ  $G$  кил. между изобарами  $p_2 = \text{const.}$  и  $p_5 = \text{const.}$ , работу трехъ турбинъ: 1) съ расходомъ пара въ  $G - (g_1 + g_2)$  кил. между изобарами  $p_2 = \text{const.}$  и  $p_5 = \text{const.}$ ; 2) съ расходомъ пара въ  $g_1$  кг. между изобарами  $p_2 = \text{const.}$  и  $p_3 = \text{const.}$  и, наконецъ, 3) съ расходомъ пара въ  $g_2$  кил. между изобарами  $p_2 = \text{const.}$  и  $p_4 = \text{const.}$ , причемъ  $g_1$  и  $g_2$  — вѣсовыя количества отведеннаго пара, равныя  $g_1 = 0,08 G$  и  $g_2 = 0,09 G$ .

При такомъ представленіи работы сложной системы никакой ошибки произойти не можетъ.

Если два сравниваемыхъ метода опредѣленія коэффициента полезнаго дѣйствія приводятъ въ концѣ концовъ къ различнымъ результатамъ, то не безынтересно проанализировать, въ чемъ именно эта разница заключается.

Если мы сложный процессъ нашего примѣра подѣлимъ на двѣ совершенно самостоятельныя части, а именно: первая между давленіями  $100 \text{ кг/см}^2$  и  $18 \text{ кг/см}^2$  и вторая между  $14,8 \text{ кг/см}^2$  и  $0,035 \text{ кг/см}^2$ , то для второй части опредѣленіе располагаемаго перепада по обоимъ рассмотреннымъ методамъ





Черт. 2.



даетъ одинъ и тотъ же результатъ. Что же касается первой части, то располагаемый перепадъ, опредѣленный по рациональному методу, будетъ меньше, приблизительно на 9 калорій. Эти калоріи и составятъ ту разницу, которая получилась въ нашихъ вычисленіяхъ между располагаемыми перепадами, опредѣленными по двумъ указаннымъ способамъ.

Такимъ образомъ сущность разницы обоихъ методовъ лежитъ въ различномъ толкованіи коэффициентовъ полезнаго дѣйствія отдѣльныхъ частей турбины. Природа этой разницы толкованія будетъ видна изъ нижеслѣдующаго:

При опредѣленіи коэффициента полезнаго дѣйствія элемента паровой турбины по перепадамъ величины  $i$ , мы рассматриваемъ элементъ, какъ нѣчто обособленное отъ остальной совокупности элементовъ, составляющихъ турбину и говоримъ о совершенной имъ работѣ и о той, которую онъ совершилъ бы, если бы процессъ расширения протекалъ адиабатически безъ участія необратимыхъ явленій.

Такимъ образомъ (черт. 3), если мы имѣемъ располагаемый перепадъ  $AB$ , а произведенную работу отвѣчающую перепаду  $AC$ , то коэффициентъ полезнаго дѣйствія

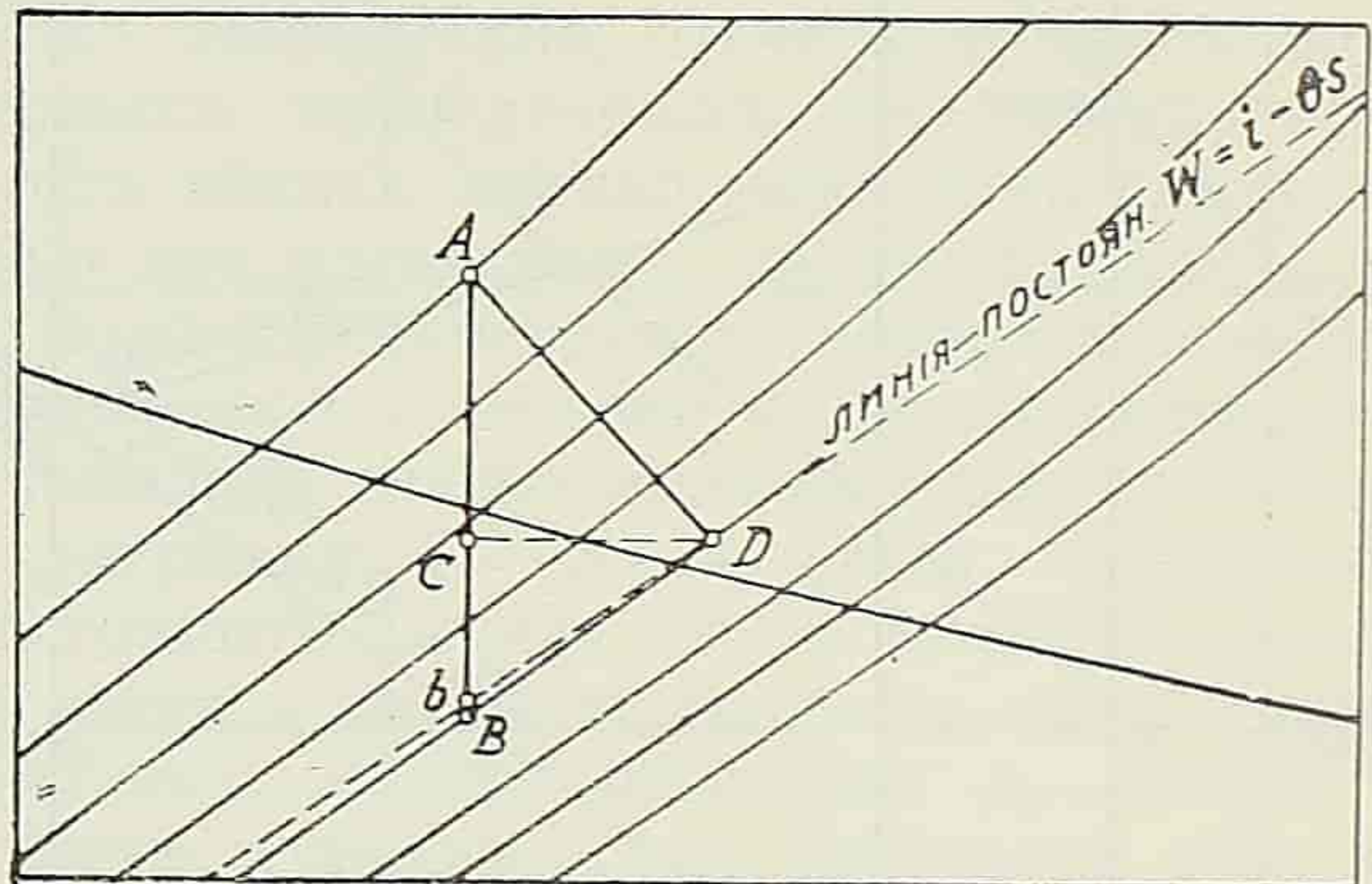
$$\eta = \frac{AC}{AB}.$$

$BC$  представляетъ собою потерю тепловаго перепада

для этого рассматриваемаго нами элемента, происходящую вслѣдствіе гидравлическихъ сопротивленій, какъ въ направляющемъ аппаратѣ, такъ и между лопатками рабочаго вѣнца. Эта потеря  $BC$  не есть безвозвратная потеря для всей турбины, такъ какъ часть ея возстанавливается тѣмъ, что тепловой располагаемый перепадъ слѣдующаго элемента будетъ больше, чѣмъ онъ былъ бы между тѣми же изобарами, но въ отсутствіи сопротивленій.

Это увеличеніе располагаемаго тепловаго перепада характеризуется нахожденіемъ точки кривой состоянія въ точкѣ  $D$ , отъ которой мы и должны начать отсчеты тепловаго перепада слѣдующаго элемента.

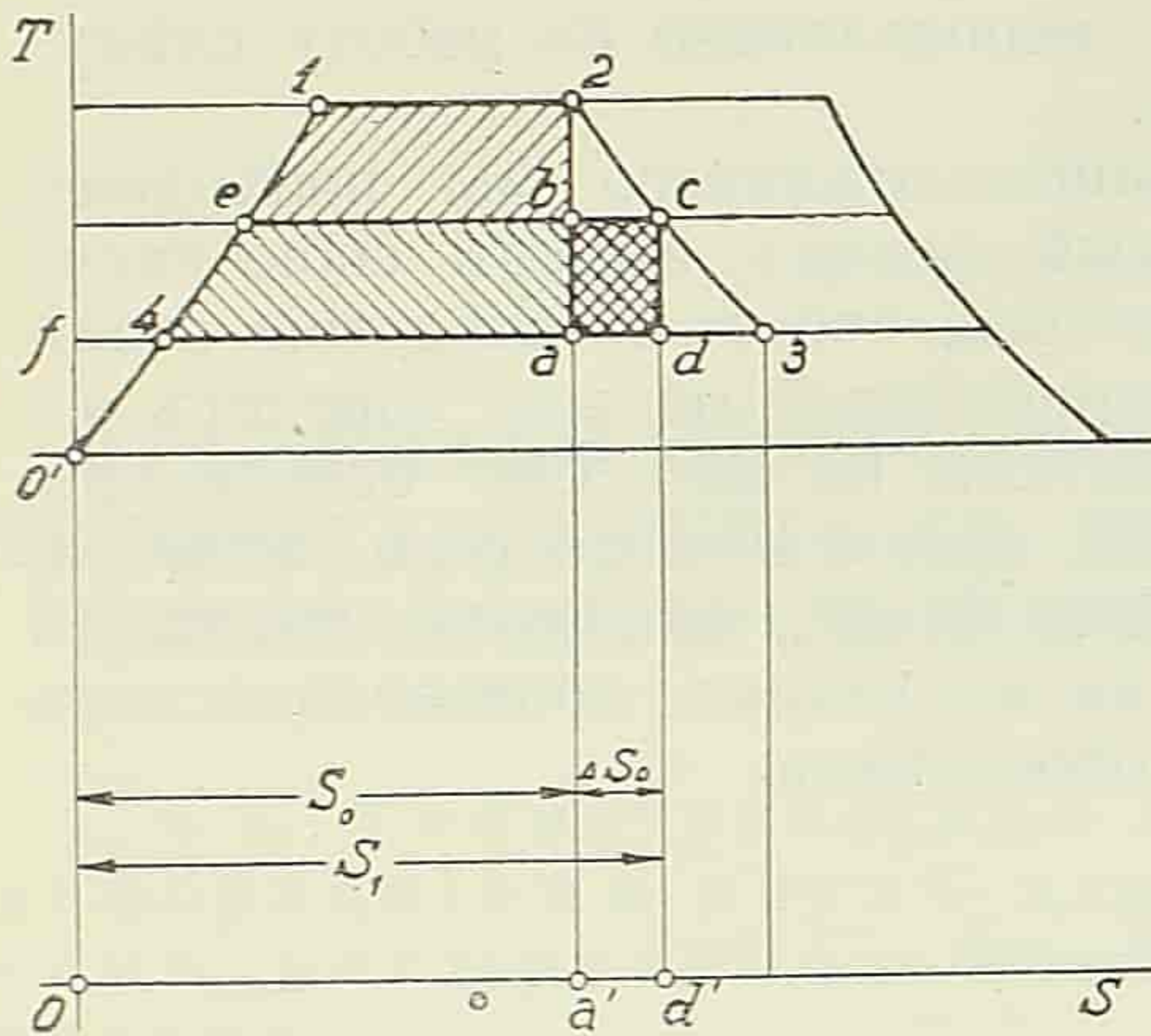
При рациональномъ способѣ опредѣленія коэффициента полезнаго дѣйствія изъ перепада  $AB$  вычтена та часть  $bB$ ,



Черт. 3.



которая будетъ обращена въ работу въ послѣдующемъ элементѣ и которая такимъ образомъ не принадлежитъ къ работоспособности разсматриваемаго элемента.



Черт. 4.

Чтобы уяснить себѣ болѣе отчетливо только что мною высказанное, обратимся къ диаграммѣ  $T-S$  и пусть турбина имѣетъ только два элемента, причемъ паръ расширяется по кривой 2—3. Для перваго элемента располагаемая энергія выразится черезъ площадь  $e12b$ , а для втораго  $4ecd = 4eba + abcd$ .

Коэффициентъ полезнаго дѣйствія перваго элемента, по принятому до сего времени способу, равенъ

$$(A) \quad \eta_{II} = \frac{e12ce - a'2cd'}{e12be} = \frac{e12be - a'bcd'}{e12be} = \frac{i_1 - i_c}{i_1 - i_b}$$

По рациональному способу

$$(B) \quad \eta'_I = \frac{e12be - a'bcd'}{[oo'12a' - ofaa'] - [oo'ecd' - ofdd']}$$

Разница въ выраженіяхъ  $\eta_I$  и  $\eta'_I$  только въ знаменателяхъ, т. е. въ величинахъ располагаемыхъ энергій.

Знаменатель уравненія (B) можно написать въ слѣдующемъ видѣ:

$$-(i_1 - \Theta S_0) - (i_c - \Theta S_1)$$

и, такъ какъ

$$i_c - \Theta S_1 = i_b + a'add' + abcd - \Theta S_1,$$

а

$$\Theta S_1 = \Theta S_0 + \Theta \Delta S_0,$$

то

$$i_1 - \Theta S_0 - i_b - a'add' - abcd + \Theta S_0 + \Theta \Delta S_0$$

$$a'add' = \Theta \Delta S_0$$

и потому знаменатель уравненія (B) приметъ видъ:

$$i_1 - (i_b + abcd).$$



Сравнивая его съ знаменателемъ выраженія (А) видимъ, что въ рациональномъ методѣ располагаемый тепловой перепадъ для перваго элемента меньше такого же при другомъ способѣ опредѣленія на величину  $abcd$ , т. е. на то количество тепла, которое будетъ использовано въ работу слѣдующимъ за нимъ элементомъ.

На основаніи всего вышеизложеннаго мы приходимъ къ выводу, что рациональный методъ имѣетъ свою научную логику и можно согласиться, что онъ вслѣдствіе своей простоты и механичности манипуляцій меньше поведетъ къ погрѣшностямъ въ вычисленіяхъ, но дать ему особое преимущество передъ методомъ, принятымъ до сего времени, нѣтъ никакого основанія, тѣмъ болѣе, что этотъ послѣдній вопреки мнѣнія г. Darricus ни къ какимъ произвольностямъ не ведетъ и строго научно обоснованъ.

---



Проф. А. Фанъ-дерь-Флитъ.

## СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЪЛИМЫЙ СТЕРЖНЕВОЙ ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНИКЪ СЪ ДВУМЯ ПРОВОЛОЧНЫМИ ДИАГОНАЛЯМИ И СЪ ШАРНИРАМИ ВЪ УЗЛАХЪ.

§ 1. Геометрическое соотношение между деформациями двухъ діагоналей въ шарнирномъ четырехугольникѣ съ жесткими сторонами.

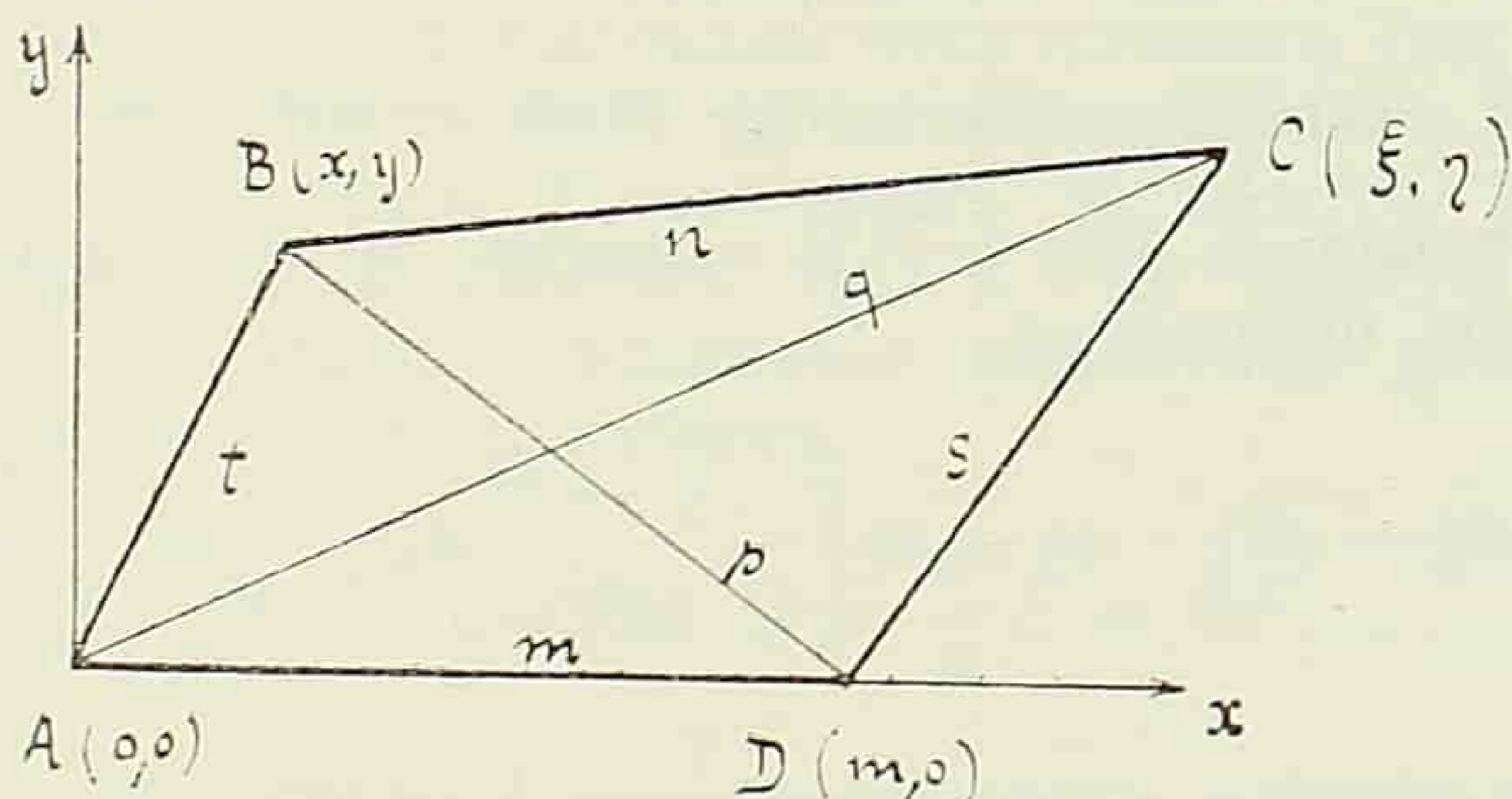
Представимъ себѣ въ плоскости четырехугольникъ  $ABCD$  съ жесткими сторонами и шарнирами въ узлахъ безъ матеріальныхъ діагоналей. Пусть вершина  $A$  находится въ началѣ координатъ и вершина  $D$  на оси  $x$ . Точки  $B$  и  $C$  считаемъ подвижными. Длины сторонъ суть заданныя величины  $t, n, s, m$ , а потому

$$x^2 + y^2 = t^2 = \text{const.} \quad (1)$$

$$m = \text{const.} \quad (2)$$

$$(\xi - m)^2 + \eta^2 = s^2 = \text{const.} \quad (3)$$

$$(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2 = n^2 = \text{const.} \quad (4)$$



Черт. 1.

Форма четырехугольника и значеніе координатъ  $x, y, \xi, \eta$ , не являются опредѣленными, такъ какъ система имѣетъ одну степень свободы. Если, напримѣръ, подвинемъ точку  $B$  по



направленію оси  $x$  на малое разстояніе  $dx$ , то остальныея координаты  $y$ ,  $\xi$ ,  $\eta$  получаютъ приращенія, зависящія отъ  $dx$ . Длины сторонъ не измѣнятся, а длины геометрическихъ діагоналей измѣнятся на дифференціалы  $dp$  и  $dq$ , и насъ особенно интересуесть соотношеніе между  $dp$  и  $dq$ .

Длины діагоналей опредѣляются уравненіями:

$$p^2 = t^2 + m^2 - 2mx \quad (5)$$

и

$$q^2 = m^2 + s^2 + 2m(\xi - m) = s^2 - m^2 + 2m\xi \quad (6)$$

Дифференцируя эти уравненія при измѣняемыхъ  $x$  и  $\xi$  и при неизмѣняемыхъ  $m$ ,  $s$ ,  $t$  получимъ

$$p dp = -m dx \quad (7)$$

и

$$q dq = m d\xi \quad (8)$$

откуда

$$\frac{q dq}{p dp} = -\frac{d\xi}{dx} \quad (9)$$

Отношеніе  $\frac{d\xi}{dx}$  вполне опредѣлено формой четырехугольника.

Чтобы найти подробное выраженіе этого отношенія, возьмемъ во вниманіе слѣдующія уравненія, получаемыя дифференцированіемъ уравненій (1), (3), (4):

$$x dx + y dy = 0 \quad (10)$$

$$(\xi - m) d\xi + \eta d\eta = 0 \quad (11)$$

$$(\xi - x)(d\xi - dx) + (\eta - y)(d\eta - dy) = 0. \quad (12)$$

Изъ уравненій (10) и (11) найдемъ  $dy$  и  $d\eta$  и подставимъ въ (12), тогда получится

$$(\xi - x)(d\xi - dx) + (\eta - y) \left[ -\frac{\xi - m}{\eta} d\xi + \frac{x}{y} dx \right] = 0 \quad (13)$$

или

$$d\xi \left[ \xi - x - \left( 1 - \frac{y}{\eta} \right) (\xi - m) \right] - dx \left[ \xi - x - \left( \frac{\eta}{y} - 1 \right) x \right] = 0,$$

откуда искомое отношеніе



$$\lambda = \frac{d\xi}{dx} = \frac{\xi - \frac{\eta}{y}x}{m - x + (\xi - m)\frac{y}{\eta}} = \frac{\left(\frac{\xi}{\eta} - \frac{x}{y}\right)}{\left(\frac{m-x}{y} - \frac{m-\xi}{\eta}\right)y} \quad (14)$$

При подробномъ разборѣ этого выраженія найдемъ, что  $\lambda = 1$ :

1) При  $\eta = y$ , т. е.  $\overline{BC} \parallel \overline{AD}$ , и 2) При  $\frac{\xi - m}{\eta} = \frac{x}{y}$ , т. е. при  $\overline{DC} \parallel \overline{AB}$ , т. е. когда въ четырехугольникѣ двѣ изъ сторонъ параллельны между собою.

Въ практическихъ случаяхъ это условіе удовлетворено либо точно, либо приближенно. Кромѣ формулы (14) отношеніе  $\lambda$  можетъ быть вычислено и исходя изъ Кремоновой діаграммы, какъ увидимъ далѣе.

На основаніи уравненія (14) формула (9) даетъ

$$\frac{dq}{dp} = -\frac{p}{q} \lambda, \quad (15)$$

т. е. при деформаци шарнирнаго четырехугольника съ жесткими сторонами деформаци діагоналей имѣютъ противоположные знаки и обратно пропорціональны ихъ длинамъ съ поправкою множителемъ  $\lambda$ , близкимъ къ единицѣ.

§ 2. Взаимная замѣна діагоналей въ четырехугольникѣ статически опредѣлимой системы.

Представимъ себѣ, что въ статически опредѣлимой системѣ  $EK \dots MN$  четырехугольникъ  $ABCD$  скрѣпленъ діагональю  $AC$ , тогда какъ другая діагональ отсутствуетъ (см. черт. 2).

Чтобы опредѣлить силу  $Q$ , возникающую въ этой діагонали при дѣйствіи груза  $F$ , выберемъ за центръ моментовъ точку  $O$  пересѣченія сторонъ  $BC$  и  $AD$  нашего четырехугольника и примѣнимъ уравненіе моментовъ относительно этого центра  $O$ . Тогда получимъ

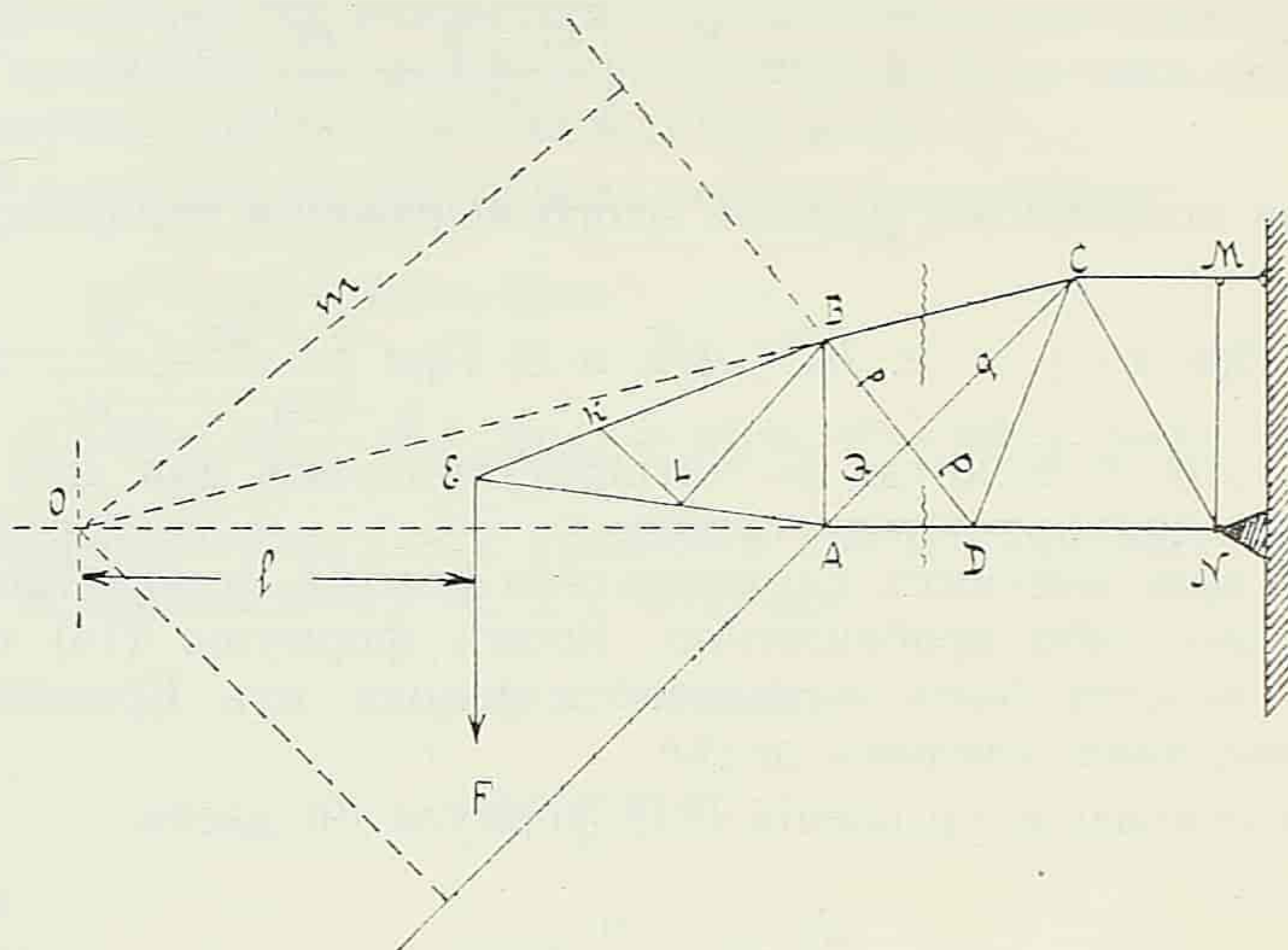
$$Qn = Fl, \text{ откуда } Q = \frac{l}{n} F = \psi F, \quad (16)$$

гдѣ отвлеченное число  $\psi = \frac{l}{n}$  выражаетъ вліяніе груза, приложеннаго въ  $E$  на діагональ  $AC$ .

Замѣнимъ теперь діагональ  $AC$  діагональю  $BD$ . Въ этой діагонали будетъ дѣйствовать сжатіе  $P$ , которое получимъ изъ уравненія моментовъ вокругъ точки  $O$



$$Pm = Fl, \quad \text{откуда} \quad P = \frac{l}{m} F = \varphi F \quad (16')$$



Черт. 2.

Коэффициенты  $\psi$  и  $\varphi$ , на которые надо помножить внешнюю силу  $F$ , чтобы получить усилие  $Q$  в диагонали  $AC$  или усилие  $P$  в замѣняющей ее диагонали  $BD$ , зависят от положения точки приложения силы  $F$ .

Отношение между ними

$$\frac{\psi}{\varphi} = \frac{Q}{P} = \frac{m}{n} \quad (17)$$

не зависит от положения точки приложения силы  $F$  и определяется только видомъ четырехугольника  $ABCD$ .

Это отношение имѣетъ для насъ важное значение, и мы должны вопросъ о немъ разслѣдовать подробно. Будемъ при этомъ пользоваться принципомъ возможныхъ перемѣщений, и виртуальной работой.

Представимъ себѣ, что мы имѣли только одну диагональ  $AC$  и что она подалась и увеличила свою длину  $q$  на дифференциаль  $dq$ . При этомъ диагональ  $AC$  получила работу  $Qdq$ , совершенную грузомъ  $F$ , котораго точка приложения  $E$  опустилась на  $dy$ , такъ что сила  $F$  совершила работу  $Fdy$ . Такъ какъ другихъ деформаций не было, работу  $Fdy$  получила только диагональ  $AC$ , а потому

$$Qdq = F dy \quad (18)$$

Представимъ себѣ теперь, что диагональ  $AC$  мы замѣнили сжатою диагональю  $BD$ , имѣющею длину  $p$  и усилие  $P$ .



Предположимъ, что эта діагональ подалась и сократила свою длину на такой дифференціалъ  $dp$ , что точка  $E$  приложенія внѣшней силы  $F$  опустилась на прежнюю высоту  $dy$ . Тогда будетъ

$$P dp = F dy \quad (19)$$

Сравненіе (18) и (19) даетъ

$$Q dq = P dp \quad \text{откуда} \quad \frac{Q}{P} = \frac{dp}{dq} \quad (20)$$

Здѣсь  $Q$  есть сила растяженія,  $P$  — сила сжатія,  $dq$  — увеличеніе длины,  $dp$  — сокращеніе длины. Деформаціи  $dq$  и  $dp$  суть соотвѣтствующія, т. е. отвѣчающія одному и тому-же искаженію вида четырехугольника. Уравненіе (20) указываетъ, что при замѣнѣ одной діагонали другою усилія въ нихъ обратно пропорціональны соотвѣтственнымъ измѣненіямъ длинъ этихъ діагоналей. Эти деформаціи  $dq$  и  $dp$  діагоналей можемъ разсматривать чисто геометрически, какъ возникающія одновременно при маломъ искаженіи формы четырехугольника безъ измѣненія длинъ сторонъ.

Если къ (20) присоединимъ уравненіе (17), то получимъ

$$\frac{Q}{P} = \frac{\psi}{\varphi} = \frac{m}{n} = \frac{dp}{dq} \quad (21)$$

Въ уравненіяхъ (21) вмѣсто знаковъ мы по существу различаемъ деформаціи и силы растяженія и сжатія, чтобы не разсѣивать вниманія, обращеннаго на существо вопроса.

Используемъ теперь уравненіе (15)

$$\frac{dp}{dq} = - \frac{q}{p} \frac{1}{\lambda} \quad (15^1)$$

и получимъ

$$\frac{Q}{P} = \frac{\psi}{\varphi} = - \frac{q}{p} \frac{1}{\lambda} \quad (22)$$

Изъ послѣдняго уравненія видимъ, что, при замѣнѣ одной діагонали другою, усиліе въ діагонали мѣняетъ знакъ, а величину измѣняетъ прямо пропорціонально длинамъ діагоналей съ небольшою поправкою множителемъ  $\lambda$ , всегда близкимъ къ единицѣ.

§ 3. Дѣйствительныя силы въ діагоналяхъ статически неопредѣлимаго четырехугольника съ двумя матерьяльными діагоналями.

Эти діагонали считаемъ здѣсь упругими стержнями. Усиліе  $P_1$  и  $Q_1$  въ діагоналяхъ  $BD$  и  $AC$  съ длинами  $p$  и  $q$  и



поперечными сѣченіями  $s_p$  и  $s_q$  опредѣляются относительными деформациями въ нихъ  $dp/p$  и  $dq/q$ , а именно согласно формуламъ:

$$\left. \begin{aligned} \text{сила сжатія} \quad P_1 &= \frac{dp}{p} s_p E \\ \text{и сила растяженія} \quad Q_1 &= \frac{dq}{q} s_q E \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Отношеніе этихъ усилій равно

$$\frac{P_1}{Q_1} = \frac{dp}{dq} \cdot \frac{q}{p} \cdot \frac{s_p}{s_q} \quad (24)$$

На основаніи формулы (15') можемъ представить это отношеніе въ видѣ

$$\frac{P_1}{Q_1} = - \frac{q^2}{p^2} \frac{s_p}{s_q} \frac{1}{\lambda} \quad (25)$$

При нагрузкѣ фермы, гдѣ четырехугольники съ жесткими сторонами имѣютъ по двѣ упругихъ діагонали, возникаютъ усилія въ обѣихъ діагоналяхъ и эти усилія обратно пропорціональны квадратамъ длинъ діагоналей и прямо пропорціональны ихъ сѣченіямъ.

Когда мы имѣли дѣло со статически опредѣлимымъ четырехугольникомъ, въ который мы вмонтовывали то одну діагональ, то другую взамѣнъ первой, то при опредѣленной внѣшней нагрузкѣ въ короткой діагонали возникало меньшее усиліе, нежели въ длинной. Въ статически неопредѣлимомъ четырехугольникѣ съ двумя діагоналями внѣшняя нагрузка возбуждаетъ одновременно усилія въ обѣихъ діагоналяхъ и притомъ въ короткой больше, чѣмъ въ длинной.

Интересно сравнить эти одновременно дѣйствующія силы  $P_1$  и  $Q_1$  въ двухъ діагоналяхъ съ силами  $P$  и  $Q$ , появляющимися по очереди при замонтованіи то одной діагонали, то другой. Для этого воспользуемся уравненіемъ (22), откуда найдемъ

$$\frac{q}{p} = - \frac{Q}{P} \lambda \quad \text{и} \quad \frac{q^2}{p^2} = \frac{Q^2}{P^2} \lambda^2$$

и подставимъ въ уравненіе (25). Тогда получится

$$\frac{P_1}{Q_1} = - \frac{Q^2}{P^2} \frac{s_p}{s_q} \lambda \quad (26)$$



Статически неопредѣлимья силы  $P_1$  и  $Q_1$  въ обѣихъ діагоналяхъ четырехугольника обратно пропорціональны квадратамъ силъ, возникающихъ въ этихъ діагоналяхъ по очереди при замѣнѣ одной діагонали другою.

Уравненіе (26) даетъ лишь отношеніе силъ  $P_1$  и  $Q_1$ , а не сами силы. Чтобы найти ихъ предположимъ, что внѣшній грузъ  $F$  мы раздѣлили неизвѣстнымъ пока еще способомъ на двѣ части, а именно такъ, что одна часть статически опредѣленнымъ способомъ возбуждаетъ усиліе  $P_1$  въ одной діагонали, а другая возбуждаетъ статически опредѣленнымъ способомъ усиліе  $Q_1$  въ другой діагонали. Та же мысль нѣсколько иными словами выражена и въ слѣдующемъ параграфѣ.

*Примѣчаніе.* Уравненіе  $\frac{q}{p} = -\frac{Q}{P} \lambda$  или  $\lambda = -\frac{qP}{pQ}$  даетъ  $\lambda$  по длинамъ  $p$  и  $q$  и Кремоновымъ силамъ  $P$  и  $Q$ .

§ 4. Дѣленіе внѣшней нагрузки на части, дѣйствующія на разныя діагонали статически неопредѣлимаго четырехугольника.

Замѣнимъ статически неопредѣлимый четырехугольникъ съ обѣими діагоналями двумя статически опредѣлимыми съ одною діагональю въ каждомъ и раздѣлимъ между ними и внѣшній грузъ  $F$  частями  $X$  и  $Y$ , причемъ

$$X + Y = F, \quad (27)$$

а именно такъ, чтобы грузъ  $X$  дѣйствовалъ на четырехугольникъ съ діагональю  $BD$  длины  $p$ , а грузъ  $Y$  дѣйствовалъ на четырехугольникъ съ діагональю  $AC$  длины  $q$ .

Это дѣленіе надо провести такъ, чтобы сила  $X$  возбудила въ діагонали  $BD$  какъ разъ усиліе  $P_1$ , а сила  $Y$  въ другомъ статически опредѣлимомъ четырехугольникѣ возбудила въ діагонали  $AC$  усиліе  $Q_1$ .

Намъ извѣстно, что внѣшняя сила  $F$  возбуждаетъ въ діагонали  $BD$  статически опредѣлимаго четырехугольника съ этою діагональю усиліе  $P$ , а та же сила возбуждаетъ въ діагонали  $AC$  другого статически опредѣлимаго четырехугольника съ діагональю  $AC$  усиліе  $Q$ . Теперь на эти четырехугольники дѣйствуютъ разныя силы  $X$  и  $Y$ , возбуждая въ діагоналяхъ пропорціонально меньшія усилія  $P_1$  и  $Q_1$ . Поэтому имѣемъ пропорціи

$$\frac{P_1}{X} = \frac{P}{F} \quad \text{и} \quad \frac{Q_1}{Y} = \frac{Q}{F} \quad (28)$$

Изъ этихъ пропорцій получается



$$\frac{P_1}{Q_1} = \frac{X}{Y} \frac{P}{Q} \quad (29)$$

Подставимъ сюда вмѣсто отношенія  $\frac{P_1}{Q_1}$  его выраженіе по уравненію (26) и тогда получимъ

$$-\frac{Q^2}{P^2} \frac{s_p}{s_q} \lambda = \frac{X}{Y} \frac{P}{Q},$$

откуда и найдется искомое отношеніе силъ  $X:Y$ , а именно

$$\frac{X}{Y} = -\frac{Q^3}{P^3} \frac{s_p}{s_q} \lambda, \text{ или } a = \frac{Y}{X} = -\left(\frac{P}{Q}\right)^3 \frac{s_q}{s_p} \frac{1}{\lambda}. \quad (30)$$

*Примѣчаніе.* Силы  $X$  и  $Y$  обѣ одного знака,  $P$  и  $Q$  разныхъ знаковъ; отсюда и происходитъ знакъ  $-$ .

Уравненіе (30) показываетъ, что внѣшняя сила  $F$  дѣлится на части  $Y$  и  $X$ , дѣйствующія каждая на одну изъ діагоналей и обратно пропорціональныя кубамъ усилій, возникающихъ въ этихъ діагоналяхъ подѣ дѣйствіемъ одной и той же внѣшней силы  $F$ , когда одну діагональ замѣняемъ другою.

Изъ уравненій

$$X + Y = F \text{ и } \frac{Y}{X} = a \quad (27) \text{ и } (30)$$

найдемъ

$$X = \frac{F}{1+a} \text{ и } Y = \frac{Fa}{1+a}, \quad (31)$$

гдѣ на основаніи (30) и (22)

$$a = -\left(\frac{P}{Q}\right)^3 \frac{s_q}{s_p} \frac{1}{\lambda} = +\left(\frac{p}{q}\right)^3 \frac{s_q}{s_p} \lambda^2 \quad (32)$$

Уравненія (30) и (31) и даютъ разрѣшеніе статической неопредѣлимости. Разъ знаемъ  $X$  и  $Y$ , далѣе все рѣшается съ помощью однихъ уравненій статики.

Въ слѣдующемъ параграфѣ укажемъ на примѣръ весь ходъ вычисленій.

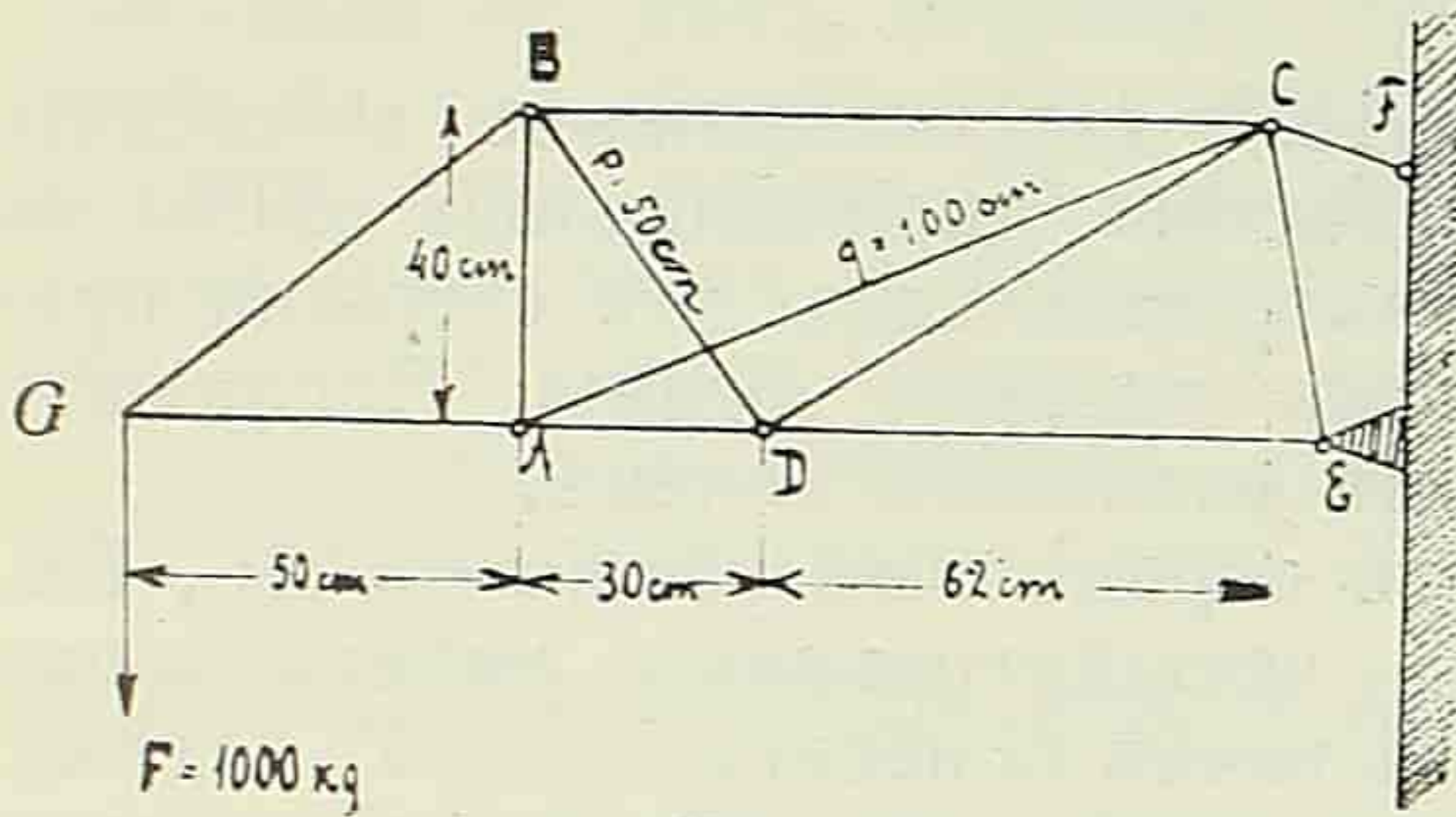
### § 5. Ходъ рѣшенія задачъ.

Ходъ рѣшенія выяснимъ на примѣрѣ. Представимъ себѣ, что въ стержневой фермѣ  $GABDCEF$ , четырехугольникъ  $ABCD$  составленъ изъ жесткихъ стержней и скрѣпленъ двумя



упругими діагоналями:  $\overline{BD}$  длина  $p = 50$  см. и  $\overline{AC}$  длина  $q = 100$  см.

Ферма нагружена внешним грузом  $F = 1000$  kg, действующим в узле  $G$ . Нам интересуют усилия в диагоналях и параллельных сторонах четырехугольника  $ABCD$ .



Черт. 3.

1. Для этого четырехугольника груз  $F$  делим на две части согласно уравнений (27) (30) (31) (32), причем поправочный множитель  $\lambda = 1$  по параллельности двух сторон. Поперечные сечения обеих диагоналей предполагаем одинаковыми  $S_q = S_p$ . Поэтому

$$a = \frac{Y}{X} = \frac{p^3 S_q}{q^3 S_p} \lambda^2 = \frac{50^3}{100^3} \cdot 1 \cdot 1 = \frac{1}{8},$$

такъ что

$$X = \frac{F}{1+a} = \frac{F}{1+\frac{1}{8}} = \frac{8}{9} F = \frac{8}{9} 1000 = 889 \text{ kg}$$

$$Y = \frac{Fa}{1+a} = \frac{\frac{1}{8} F}{1+\frac{1}{8}} = \frac{1}{9} F = \frac{1}{9} 1000 = 111 \text{ kg}.$$

2. Теперь должны провести с помощью уравнений статики вычисление усилий в диагонали  $BD$  и сторонах  $BC$  и  $AD$  в предположении, что в четырехугольнике имеется только одна диагональ  $BD$  и что в точке  $G$  приложена сила  $X = 889$  kg.

Усилие  $H_x$  в стороне  $BC$  найдем из уравнения моментов относительно точки  $D$ :

$$H_x \cdot 40 = X \cdot 80,$$

откуда

$$H_x = \frac{x \cdot 80}{40} = 889 \times 2 = 1778 \text{ kg растяжение.}$$

Усилие  $Z_x$  в стороне  $AD$  найдем из уравнения моментов вокруг точки  $B$ :

$$Z_x \cdot 40 = X \cdot 50,$$

откуда

$$Z_x = 889 \frac{50}{40} = 1111 \text{ kg сжатие.}$$



Сжатіе  $P_1$  діагоналями  $BD$  найдемъ по его вертикальной проекціи  $P_1 \frac{40}{50}$ , которая должна равняться грузу  $x = 889$ ;  
откуда

$$P_1 = 889 \frac{50}{40} = 1111 \text{ kg. сжатіе.}$$

Силы въ стержняхъ  $AB$  и  $DC$  осторожно вычислять въ концѣ, когда будутъ извѣстны окончательныя силы во всѣхъ остальныхъ стержняхъ, такъ какъ эти стержни принадлежатъ также и сосѣднимъ частямъ фермы. Послужатъ къ тому уравненія равновѣсія узловыхъ точекъ.

3. Подобнымъ образомъ опредѣлимъ усилія въ  $AC$ ,  $BC$ ,  $AD$  въ предположеніи, что четырехугольникъ имѣетъ лишь одну діагональ  $AC$ , а ферма въ точкѣ  $G$  несетъ грузъ  $Y = 111 \text{ kg.}$

Уравненіе моментовъ около  $A$  даетъ усиліе  $BC$ , которое теперь обозначимъ  $H_y$  :

$$H_y \cdot 40 = Y \cdot 50, \text{ откуда}$$

$$H_y = Y \frac{50}{40} = 111 \frac{50}{40} = 139 \text{ kg. растяженіе.}$$

Уравненіе моментовъ около  $C$  даетъ усиліе въ  $AD$ , которое теперь обозначимъ  $Z_y$  :

$$Z_y \cdot 40 = Y \cdot 142. \text{ Откуда}$$

$$Z_y = Y \frac{142}{40} = 111 \frac{142}{40} = 394 \text{ kg. сжатіе.}$$

Усиліе  $Q_1$  въ діагонали найдемъ по его вертикальной проекціи  $Q_1 \frac{40}{100}$ , которая должна равняться грузу  $Y = 111 \text{ kg.}$   
Отсюда усиліе въ  $AC$

$$Q_1 = 111 \frac{100}{40} = 278 \text{ kg растяженіе.}$$

4. Усилія въ верхнемъ и нижнемъ стержнѣ при дѣйствіи всей силы  $F$  и въ присутствіи обѣихъ діагоналей получатся сложеніемъ усилій въ обоихъ случаяхъ, а именно:

Усиліе въ  $BC$  будетъ растяженіе

$$H = H_x + H_y = 1778 + 139 = 1917 \text{ kg.}$$

Усиліе въ  $AD$  будетъ сжатіе

$$Z = Z_x + Z_y = 1111 + 394 = 1505 \text{ kg}$$

Усиліе въ  $BD$  будетъ сжатіе  $P_1 = 1111 \text{ kg.}$



Усиліе въ  $AC$  будетъ растяженіе  $Q_1 = 278 \text{ kg}$ .

5. Въ данномъ случаѣ усиліе въ стержнѣ  $\overline{AB}$  опредѣлить очень просто и безъ подробнаго составленія уравненій равновѣсія узловъ.

Въ первомъ случаѣ, когда дѣйствуетъ діагональ  $BC$ , а діагонали  $AC$  нѣтъ, стержень  $AB$  ничего не несетъ. Во второмъ случаѣ, когда нѣтъ діагонали  $BD$ , а есть  $AC$  и когда  $G$  загружена силою  $Y = 111 \text{ kg}$ , стержень переноситъ изъ точки  $B$  на точку  $A$  эту силу  $Y = 111 \text{ kg}$ . Значитъ окончательно онъ сжатъ силою  $111 \text{ kg}$ .

Подобнымъ образомъ дѣло обстоитъ и со стержнемъ  $DC$ . Когда дѣйствуетъ сила  $X = 889$ , а діагонали  $AC$  нѣтъ, вертикальная проекція усилія  $R$  въ немъ, равная  $R \frac{40}{74}$ , несетъ нагрузку  $889 \text{ kg}$  и растяженіе

$$R = 889 \frac{74}{40} = 1645 \text{ kg}.$$

Наоборотъ, когда дѣйствуетъ сила  $Y = 111 \text{ kg}$  и заведена діагональ  $AC$ , стержень  $DC$  ничего не несетъ. Поэтому окончательное усиліе въ  $DC$  есть растяженіе  $1645 \text{ kg}$ . Въ сложнѣйшихъ случаяхъ надо прибѣгать къ уравненіямъ равновѣсія узловъ.

§ 6. Предварительное монтажное натяженіе обѣихъ діагоналей въ статически неопредѣлимыхъ четырехугольникахъ.

Въ легкихъ аэропланнхъ конструкціяхъ часто пользуются проволочными діагоналями съ монтажнымъ ихъ натяженіемъ. Уменьшеніе растягивающаго усилія въ такой діагонали замѣняетъ сжатіе въ стержневой діагонали, не имѣющей монтажнаго натяженія. Малость поперечнаго сѣченія проволочной діагонали по сравненію съ сѣченіями боковыхъ сторонъ позволяетъ считать послѣднія жесткими, т. е. приписывать деформации четырехугольника исключительно упругимъ измѣненіямъ длинъ діагоналей.

Въ стержневомъ четырехугольникѣ съ шарнирами въ узлахъ и съ двумя проволочными діагоналями при монтажномъ натяженіи одной діагонали силою  $P_0$  возникаетъ въ другой діагонали натяженіе  $Q_0$ . При малой деформации четырехугольника съ постоянными длинами боковыхъ сторонъ при укороченіи одной діагонали на  $dp$ , другая увеличиваетъ свою длину на  $dq$ . Четырехугольникъ находится въ равновѣсіи и потому полная работа такого возможнаго перемѣщенія равна нулю, такъ что

$$P_0 dp + Q_0 dq = 0. \quad (33)$$



Отсюда отношение силъ натяженія  $Q_0$  и  $P_0$  будетъ:

$$\frac{Q_0}{P_0} = - \frac{dp}{dq}$$

На основаніи уравненія (15')

$$\frac{dp}{dq} = - \frac{q}{p} \frac{1}{\lambda} \quad (15')$$

это отношение будетъ

$$\frac{Q_0}{P_0} = \frac{q}{p} \frac{1}{\lambda} \quad (34)$$

Это отношение численно равно отношенію

$$\frac{Q}{P} = - \frac{q}{p} \frac{1}{\lambda} \quad (22)$$

усилій въ діагоналяхъ статически опредѣлимаго четырехугольника при замѣнѣ одной діагонали другою при опредѣленной внѣшней нагрузкѣ, съ тою разницею, что въ послѣднемъ случаѣ сжатіе мѣняется на растяженіе, а въ нынѣ разбираемомъ вопросѣ оба одновременно существующія усилія суть растяженія.

Силы  $P_0$  и  $Q_0$  монтажнаго натяженія можемъ измѣрить особыми приборами или вычислить при постепенномъ увеличеніи внѣшней нагрузки изъ того значенія послѣдней, при которомъ одна изъ діагоналей потеряетъ натяженіе, какъ это увидимъ далѣе.

§ 7. Дѣйствіе внѣшней нагрузки  $F$  на четырехугольникъ съ двумя діагоналями, имѣющими монтажное натяженіе.

Въ четырехугольникѣ съ двумя діагоналями, не имѣющими монтажнаго натяженія, при внѣшней нагрузкѣ  $F$  возникаютъ въ этихъ діагоналяхъ усилія  $P_1$  и  $Q_1$  разныхъ знаковъ, причемъ на основаніи уравненій (28)

$$P_1 = \frac{X}{F} P \quad \text{и} \quad Q_1 = \frac{Y}{F} Q, \quad (28)$$

гдѣ

$$\frac{X}{F} = \frac{1}{1+a}, \quad \frac{Y}{F} = \frac{a}{1+a}, \quad a = \frac{P^3 S_q}{Q^3 S_p} \frac{1}{\lambda} = \left(\frac{p}{q}\right)^3 \frac{S_q}{S_p} \lambda^2 \quad (31 \text{ и } 32)$$

Въ условіяхъ нашихъ случаевъ  $P$  и  $P_1$  будетъ сжатіе,  $Q$  и  $Q_1$  будетъ растяженіе.



Кромѣ того отъ монтажнаго натяженія въ этихъ діагоналяхъ будутъ дѣйствовать растягивающія усилія  $P_0$  и  $Q_0$  приче́мъ на основаніи (34) и (22)

$$\frac{P_0}{Q_0} = -\frac{P}{Q}, \quad (35)$$

гдѣ  $P$  и  $Q$  суть Кремоновы силы при разныхъ діагоналяхъ четырехугольника.

Такимъ образомъ, окончательныя усилія въ діагоналяхъ будутъ растяженія

$$\text{въ } BD \quad P_2 = P_0 - P_1 = P_0 - \frac{X}{F} P = P_0 - \frac{P}{1+a} \quad (36)$$

$$\text{въ } AC \quad Q_2 = Q_0 + Q_1 = Q_0 + \frac{Y}{F} Q = Q_0 + \frac{Qa}{1+a} \quad (37)$$

Если одна изъ силъ  $P_0$  или  $Q_0$  была измѣрена, то уравненія (35), (36) и (37) дають окончательное рѣшеніе объ усиліяхъ въ діагоналяхъ. Если этого измѣренія не было, то при проведеніи испытанія и при постепенномъ увеличеніи внѣшней нагрузки  $F$  мы должны отмѣтить то ея значеніе  $F_m$ , при которомъ первая изъ діагоналей освободилась отъ тяги. Въ этотъ моментъ

$$P_2 = P_0 - \frac{X_m}{F_m} P_m = P_0 - \frac{P_m}{1+a} = 0,$$

гдѣ  $P_m$  есть значеніе Кремоновой силы въ первой изъ діагоналей при внѣшнемъ грузѣ  $F_m$ , т. е.  $P_m = \varphi F_m$ . Отсюда монтажное натяженіе первой діагонали будетъ

$$P_0 = \frac{P_m}{1+a} \quad (38)$$

Такимъ образомъ, общее выраженіе силы тяги  $P_2$  будетъ

$$P_2 = \frac{P_m - P}{1+a} \quad (39)$$

пока  $P < P_m$ . При увеличеніи  $F$  сверхъ  $F_m$  эта проволочная діагональ будетъ болтаться и система превратится въ статически опредѣлимую.

Теперь обратимся ко второй діагонали. Въ уравненіяхъ (36) и (37) направленія силъ выражены явно, а потому и въ (35) надо отбросить знакъ  $-$ . Монтажное натяженіе  $Q_0$  второй діагонали на основаніи (35) будетъ

$$Q_0 = P_0 \frac{Q}{P} = \frac{P_m}{1+a} \frac{Q}{P} = \frac{Q_m}{1+a}$$

по пропорціональности силъ внѣшней нагрузки.



Поэтому сила  $Q_2$  во второй диагонали будетъ

$$Q_2 = \frac{Q_m}{1+a} + \frac{Qa}{1+a}. \quad (40)$$

Когда внѣшняя сила  $F$  дойдетъ до значенія  $F_m$ , тяга  $Q$  дойдетъ до значенія  $Q_m$  и въ этотъ моментъ будетъ

$$Q_2 = \frac{Q_m(1+a)}{1+a} = Q_m, \quad (41)$$

т. е. тяга  $Q_2$  сдѣлается равной Кремоновой силѣ въ четырехугольникѣ съ соответственной диагональю. При дальнѣйшемъ увеличеніи силы  $F$  система будетъ статически опредѣлимой, причемъ

$$P_2 = 0, \quad Q_2 = Q = \psi F. \quad (42)$$

Итакъ, при малыхъ силахъ  $F$  усилія въ діагоналяхъ опредѣляются уравненіями (36) и (37), которыя можно писать въ видѣ (39) и (40), или въ видѣ

$$P_2 = \frac{\varphi}{1+a}(F_m - F) \quad \text{и} \quad Q_2 = \frac{\psi}{1+a}(F_m + aF), \quad (43)$$

гдѣ  $F_m$  есть значеніе внѣшней нагрузки въ моментъ освобожденія одной изъ діагоналей.

При  $F \geq F_m$  силы въ діагоналяхъ опредѣляются уравненіями (42), какъ въ статически опредѣляемомъ четырехугольникѣ съ одною растянутою диагональю.

§ 8. Усилія въ сторонахъ четырехугольника.

Остается намъ еще опредѣленіе силъ въ сторонахъ четырехугольника, возникающихъ отъ монтажнаго натяженія діагоналей. Эти силы можемъ опредѣлить простымъ разложеніемъ тяги въ діагоналяхъ, т. е. изъ условій равновѣсія узловъ. Однако въ стержняхъ, принадлежащихъ также и къ сосѣднему четырехугольнику, надо взять во вниманіе и сжатіе отъ монтажнаго натяженія діагоналей въ этой сосѣдней части системы.

При измѣреніи силъ въ частяхъ фермы измѣрительными приборами, послѣдніе монтируются на стержнѣ обыкновенно послѣ сообщенія діагоналямъ монтажнаго натяженія и потому не указываютъ послѣднюю и реагируютъ только на измѣненія усилій, возникающія отъ внѣшней нагрузки.

Опыты показали, что указанный здѣсь способъ опредѣленія усилій въ фермахъ съ перекрестными проволочными діагоналями даетъ вполне удовлетворительныя результаты даже въ случаяхъ, когда стержни въ узлахъ соединены не шарниромъ, а сваркою.



## II. О сопротивленіи при движеніи судна противъ теченія въ ограниченномъ рѣчномъ корытѣ.

### § 1. Введеніе.

Когда плыветъ маленькое суденышко въ широкой глубокой рѣкѣ, теченіе послѣдней складывается кинематически съ собственнымъ движеніемъ суденышка. При движеніи по теченію, скорость послѣдняго арифметически складывается съ собственной скоростью суденышка, при движеніи противъ теченія — отнимается.

Если же поперечные размѣры судна составляютъ замѣтную часть сѣченія рѣки, то дѣло крайне усложняется и нѣтъ возможности уложить возникающія явленія въ простыя математическія зависимости. Если даже органичимся настолько малыми скоростями, что можно пренебречь вздутіями уровня, т. е. явленіями волнообразованія и ограничиться однимъ треніемъ воды, то и тогда явленіе остается весьма сложнымъ. Несомнѣнно однако, что теченіе дѣйствуетъ не просто кинематически, а сильнѣе. Если, на примѣръ, собственная скорость парохода равна  $12 \frac{\text{км}}{\text{час}}$ , а скорость теченія  $5 \frac{\text{км}}{\text{час}}$ , то при ходѣ противъ теченія скорость относительно береговъ получится не  $7 \frac{\text{км}}{\text{час}}$ , а меньше, а при ходѣ по теченію не  $17 \frac{\text{км}}{\text{час}}$ , а больше. Такимъ образомъ при проектированіи можно ошибиться въ опасную сторону и это принуждаетъ насъ попытаться хотя бы и несовершеннымъ способомъ оцѣнить вліяніе теченія рѣки на сопротивленіе. Вычисленіе приходится вести въ упрощенныхъ предположеніяхъ, такъ что получается схема рѣшенія вопроса о сопротивленіи, происходящемъ отъ тренія при движеніи судна противъ теченія въ узкомъ и мелкомъ рѣчномъ корытѣ.

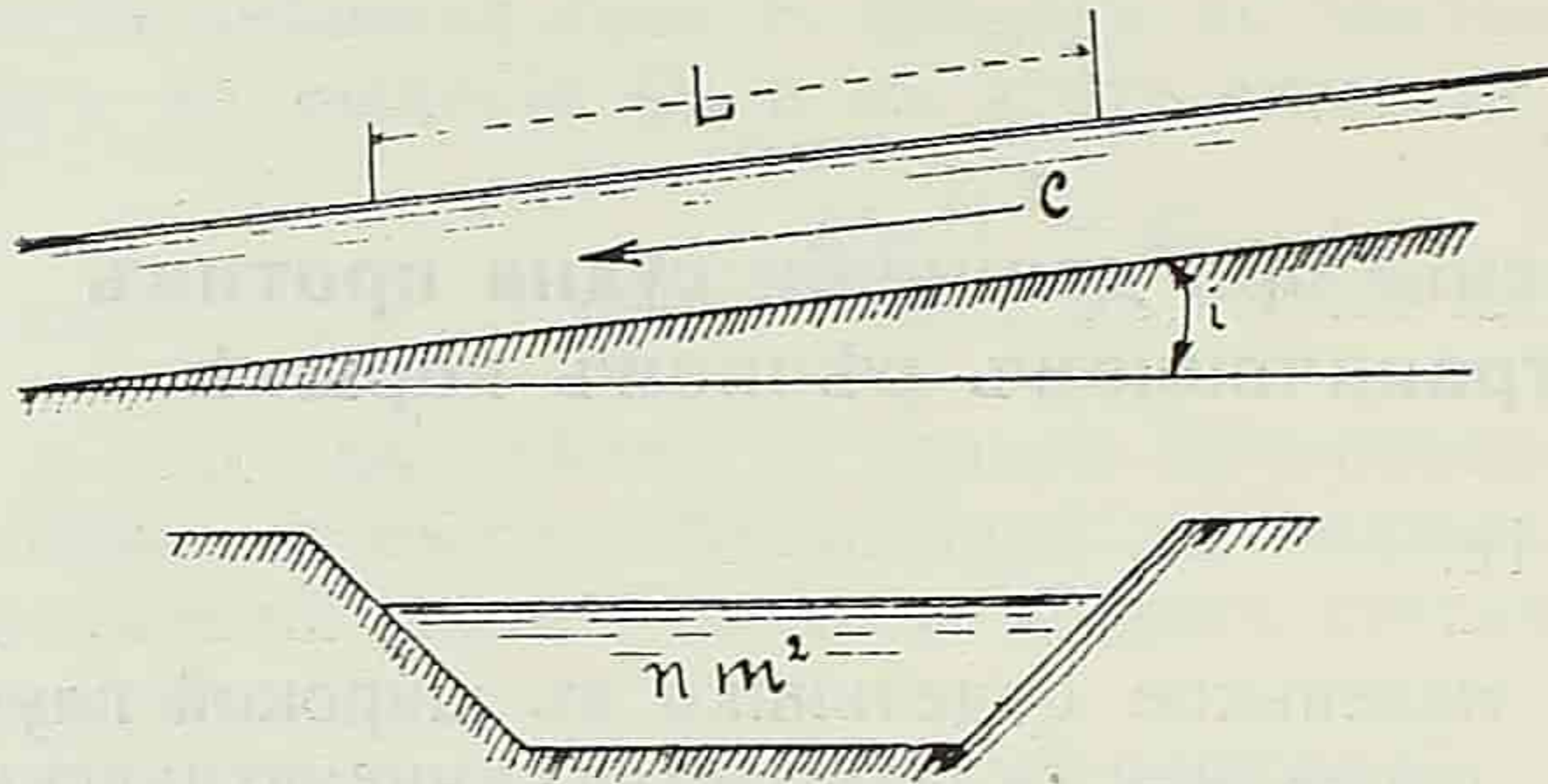
### § 2. Связь между скоростью теченія и склономъ русла.

Представимъ себѣ равномерное движеніе воды со скоростью  $c$  въ рѣчномъ руслѣ, имѣющемъ склонъ  $i$ , смоченный периметръ  $P$  и живое сѣченіе  $n m^2$ .



Тогда на длинѣ  $L$  русла треніе воды о русло будетъ равняться

$$k_1 \cdot P \cdot L \cdot c^2.$$



Черт. 1.

Работа этого тренія за секунду будетъ

$$k_1 \cdot P \cdot L \cdot c^3.$$

Съ другой стороны во время той же секунды центръ тяжести вѣса  $1000 nL$  этой части воды въ рѣкѣ понизится на вертикальную проекцію  $ci$  скорости  $c$ , такъ что работа вѣса будетъ

1000  $nLci$ .

$$1000 nLci.$$

При установившемся движеніи эти двѣ работы равны другъ другу, т. е.

$$1000 nLci = k_1 P L c^3, \quad (1)$$

откуда

$$1000 ni = k_1 P c^2 \quad \text{и} \quad c = \sqrt{\frac{1000}{k_1}} \sqrt{\frac{n}{P} i} = \alpha \sqrt{ri}, \quad (2)$$

гдѣ  $\alpha$  — коэффициентъ, зависящій отъ коэффициента тренія воды о ложѣ рѣки, а  $r$  — такъ называемый гидравлическій радіусъ, отношеніе живого сѣченія  $n$  къ смоченному периметру  $P$ . Формула (1) понадобится намъ далѣе, какъ выраженіе того прихода энергіи, который происходитъ отъ паденія рѣки.

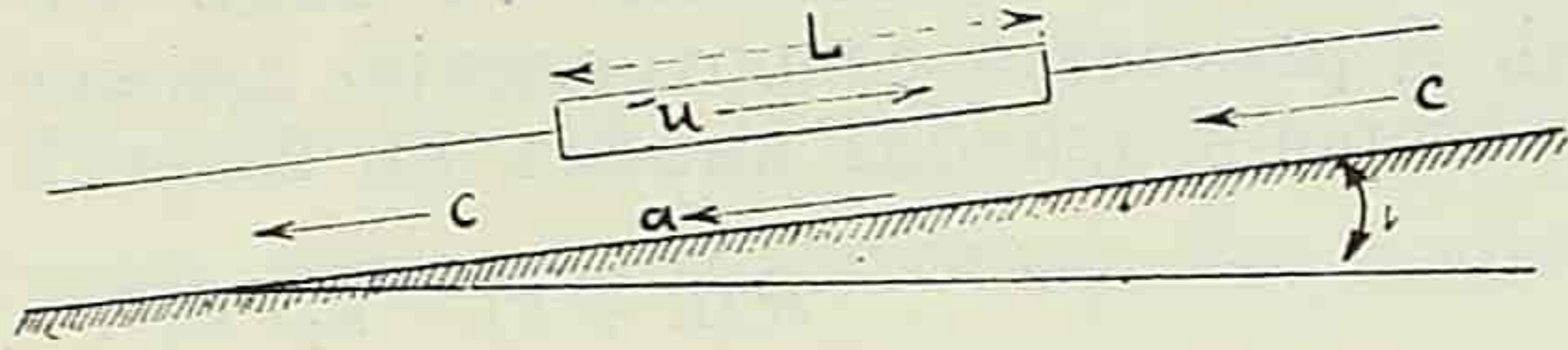
§ 3. Балансъ энергіи при движеніи судна противъ теченія.

Представимъ себѣ теперь, что на встрѣчу этому теченію двигается судно со скоростью  $u$  по отношенію къ берегамъ. Скорость судна по отношенію къ первоначальной скорости воды въ рѣкѣ будетъ  $u + c$ .

По сторонамъ судна скорость воды въ отношеніи береговъ будетъ однако теперь  $a > c$ . Это увеличеніе скорости происходитъ по двумъ причинамъ: во-первыхъ, вода теперь принуждена течь черезъ все живое сѣченіе  $n$ , а черезъ сѣченіе  $n - m$ , уменьшенное поперечнымъ сѣченіемъ  $m$  судна,



во-вторыхъ, теперь вода должна усиленно течь назадъ, чтобы дать мѣсто судну, двигающемуся впередъ. Скорость  $a$  найдется по уравненію



Черт. 2.

$$(n - m) a = n c + m u, \text{ откуда } a = \frac{n c + m u}{n - m}. \quad (3)$$

Вычислимъ теперь секундную работу, поглощенную треніемъ воды о поверхность судна и соотвѣтствующую скорости  $u + a$ . Это будетъ

$$kS(u + a)^3 = kpL(u + a)^3, \quad (4)$$

гдѣ  $p$  есть обводъ поперечнаго сѣченія судна,  $L$  — его длина и  $k$  — коэффициентъ тренія.

Секундная работа, поглощаемая треніемъ воды о часть корыта рѣки, лежащую противъ судна, т. е. имѣющую длину  $L$ , вычисляется по скорости  $a$  движенія воды по корыту и равна

$$k_1 P L a^3 \quad (5)$$

Къ поглощенной работѣ принадлежитъ также работа противъ продольной составляющей вѣса судна  $1000 L m i$  при движеніи со скоростью  $u + c$ , т. е.

$$1000 m L i (u + c). \quad (6)$$

Но изъ уравненія (2) слѣдуетъ  $1000 i = k_1 \frac{P}{n} c^2$ , а потому выраженіе (6) будетъ равно

$$k_1 \frac{m}{n} P L c^2 (u + c). \quad (7)$$

Такимъ образомъ, въ балансѣ энергіи на сторонѣ расхода имѣемъ сумму выраженій (4), (5) и (7), т. е.

$$kpL(u + a)^3 + k_1 P L a^3 + k_1 P L \frac{m}{n} c^2 (c + u) \quad (8)$$

На сторонѣ прихода энергіи въ балансѣ имѣемъ секундную работу воды, которая бѣжала здѣсь внизъ подѣйствиемъ силы тяжести. Эта работа уже была нами вычислена и есть, согласно (1)

$$k_1 P L c^3.$$



Сюда принадлежит также секундная работа тяги  $R$  въ движеніи по отношенію къ водѣ въ рѣкѣ, т. е.  $R(u+c)$ , гдѣ  $R$  равняется сопротивленію движенія. Такимъ образомъ, на сторонѣ прихода имѣемъ въ балансѣ

$$R(u+c) + k_1 PLc^3. \quad (9)$$

Сравнивая приходъ съ расходомъ, получаемъ уравненіе (9) = (8), откуда и получаемъ выраженіе для сопротивленія  $R$

$$R = kpL \frac{(u+a)^3}{u+c} + k_1 PL \frac{a^3 - c^3}{u+c} + k_1 PL \frac{m}{n} c^2 \quad (10)$$

§ 4. Преобразование выраженія сопротивленія.

1. На основаніи уравненія (3)  $a = \frac{nc+mu}{n-m}$  имѣемъ

$$u+a = \frac{nu - mu + nc + mu}{n-m} = \frac{n}{n-m} (u+c)$$

и потому первый членъ выраженія сопротивленія будетъ

$$kpL \left( \frac{n}{n-m} \right)^3 (u+c)^2 \quad (11)$$

2. Далѣе можемъ доказать, что  $a^3 - c^3$  дѣлится нацѣло на  $u+c$ .

Въ самомъ дѣлѣ

$$\begin{aligned} a^3 - c^3 &= \frac{1}{(n-m)^3} [ (nc+mu)^3 - (n-m)^3 c^3 ] = \\ &= \frac{c^3}{(\mu-1)^3} [ (\mu+\gamma)^3 - (\mu-1)^3 ], \end{aligned}$$

гдѣ  $\frac{n}{m} = \mu$  и  $\frac{u}{c} = \gamma$ .

Но

$$\begin{aligned} (\mu+\gamma)^3 - (\mu-1)^3 &= 3\mu^2(\gamma+1) + 3\mu(\gamma^2-1) + \gamma^3 + 1 = \\ &= (\gamma+1)[3\mu^2 + 3\mu(\gamma-1) + \gamma^2 - \gamma + 1]. \end{aligned}$$

Поэтому

$$a^3 - c^3 = \frac{c^2(u+c)}{(\mu-1)^3} \left[ 3\mu^2 + 3\mu \left( \frac{u}{c} - 1 \right) + \left( \frac{u}{c} \right)^2 - \left( \frac{u}{c} \right) + 1 \right],$$

или

$$\frac{a^3 - c^3}{u+c} = \frac{1}{(\mu-1)^3} [ (3\mu^2 + 1) c^2 + (3\mu c + u)(u-c) ] \quad (12)$$



Въ этомъ выраженіи  $\mu > 1$ , а сумму въ скобкахъ можно написать въ видѣ

$$3\mu^2 c^2 + c^2 + 3\mu cu - 3\mu c^2 + u^2 - uc = 3\mu c^2 (\mu - 1) + c^2 + u^2 + (3\mu - 1) cu.$$

Вслѣдствіе  $\mu > 1$  эта сумма всегда положительна, что и прямо видно, такъ какъ  $a > c$ .

3. Пользуясь обозначеніемъ  $\mu = \frac{n}{m}$ , первый членъ формулы (10) напишется въ видѣ

$$kpL \left( \frac{\mu}{\mu - 1} \right)^3 (u + c)^2, \text{ а послѣдній } k_1 PL \frac{1}{\mu} c^2 \quad (13)$$

4. Все выраженіе сопротивленія будетъ

$$R = kpL \left( \frac{\mu}{\mu - 1} \right)^3 (c + u)^2 + k_1 PL \frac{(3\mu^2 + 1) c^2 + (3\mu c + u)(u - c)}{(\mu - 1)^3} + k_1 PL \frac{c^2}{\mu}. \quad (14)$$

Первый членъ представляетъ треніе воды о поверхность судна, вычисленное по относительной скорости судна въ отношеніи воды въ рѣкѣ съ принятіемъ во вниманіе усиленія встрѣчнаго теченія присутствіемъ идущаго впередъ судна и потери давленія за кормой вслѣдствіе тренія воды о судно.

Второй членъ представляетъ вліяніе тренія воды о ложѣ рѣки, проявляющееся подобной-же разностью давленій на носъ и корму.

Третій членъ выражаетъ продольную проекцію вѣса судна, причемъ наклонъ  $i$  свободной поверхности воды въ рѣкѣ выраженъ черезъ скорость воды въ рѣкѣ  $c$ .

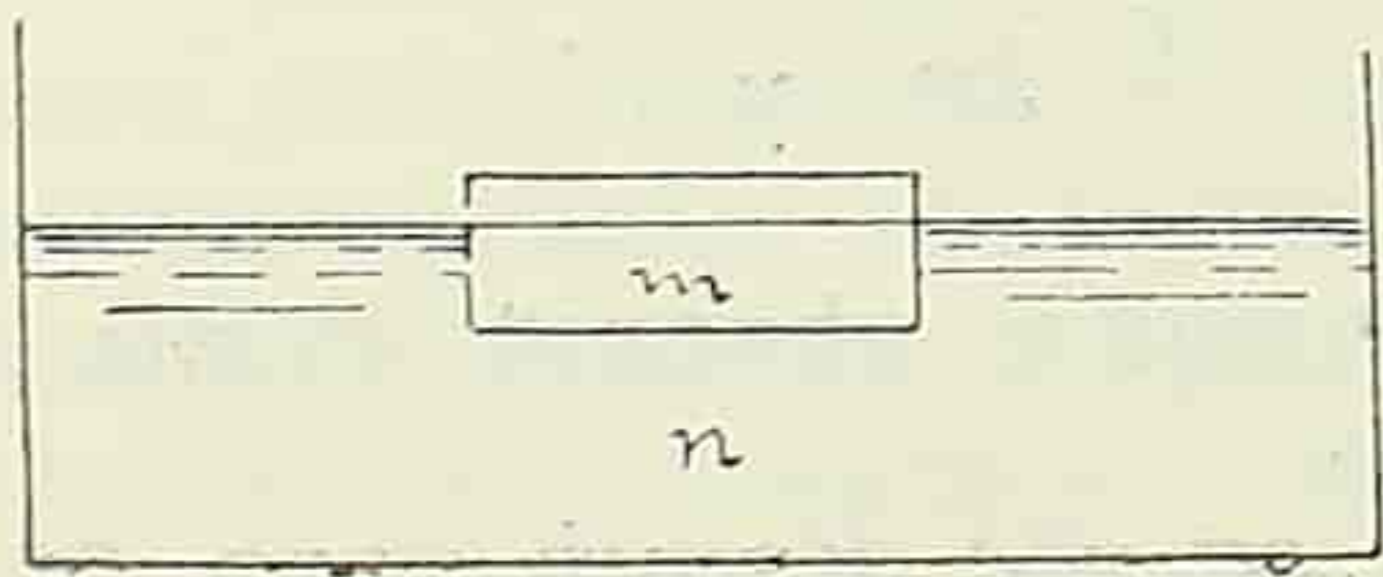
### § 5. Численный примѣръ.

Возьмемъ случай, гдѣ поперечные размѣры ложа рѣки въ три раза больше размѣровъ судна. Тогда

$$\mu = \frac{n}{m} = 9 \quad \text{и} \quad \frac{P}{p} = 3.$$

Далѣе предположимъ, что

$$c = 2 \frac{m}{\text{sec}} \quad \text{и} \quad u = 3 \frac{m}{\text{sec}}.$$



Черт. 3.

Наконецъ, примемъ, что коэффициентъ тренія  $k_1$  воды о ложѣ рѣки въ 3 раза больше коэффициента тренія воды о поверхность



судна

$$k_1 = 3k.$$

Вычислимъ также

$$\left(\frac{\mu}{\mu-1}\right)^3 = \left(\frac{9}{8}\right)^3 = 1,42; \quad \left(\frac{1}{\mu-1}\right)^3 = \frac{1}{512} = \approx 0,002$$

$$3\mu^2 + 1 = 244; \quad c + u = 5 \frac{m}{sec}.$$

Поэтому

$$R = kpL (c+u)^2 \left[ 1,42 + 3 \cdot 3 \frac{244 \cdot 2^2 + (3 \cdot 9 \cdot 2 + 3) \cdot 1}{5^2 \cdot 512} + 3 \cdot 3 \frac{2^2}{5^2 \cdot 9} \right],$$

или

$$R = kpL (c+u)^2 [1,42 + 0,73 + 0,16] = 2,31 kpL (c+u)^2.$$

Здѣсь  $kdL (c+u)^2 = kS (c+u)^2$  есть сопротивление отъ тренія, вычисленное просто по относительной скорости  $c+u$  безъ вниманія ко всѣмъ добавочнымъ явленіямъ. Видимъ, что дѣйствительное сопротивление въ 2,3 раза больше, чѣмъ просто такъ вычисленное треніе. На 42% сопротивление увеличено усиленіемъ тренія о поверхность судна, на 73% оно увеличено треніемъ о ложѣ рѣки и на 16% — наклономъ свободной поверхности воды. 2,31 есть въ данномъ случаѣ значеніе т. н. коэффициента увеличенія.

### § 6. Коэффициентъ увеличенія.

Введемъ обозначенія

$$v = u + c \quad \text{и} \quad \alpha = \frac{c}{v}, \quad (15)$$

откуда

$$u = v - c = v - \alpha v = v(1 - \alpha), \quad c = \alpha v \quad (16)$$

Въ этихъ обозначеніяхъ сопротивление  $R$  будетъ.

$$R = kpLv^2 \left[ \left(\frac{\mu}{\mu-1}\right)^3 + \frac{k_1 P}{k p} \frac{(3\mu^2 + 1) \alpha^2 + (3\mu\alpha + (1-\alpha)) (1-2\alpha)}{(\mu-1)^3} + \frac{k_1 P}{kp} \frac{\alpha^2}{\mu} \right].$$

Предположеніе подобія поперечныхъ сѣченій судна и живого сѣченія рѣки даетъ  $\frac{P}{p} = \left(\frac{n}{m}\right)^{0,5} = \mu^{0,5}$ . Кромѣ того бу-



демъ предполагать  $\frac{k_1}{k} = 3$ . Тогда „коэффициентъ увеличенія“

$$q = \frac{R}{kpLv^2} = \frac{1}{(\mu-1)^3} \left[ \mu^3 + 3\mu^{0,5} \left\{ 3\mu^2 + 1 - 6\mu + 2 + \frac{(\mu-1)^3}{\mu} \right\} \alpha^2 + 3\mu^{0,5} (3\mu-1) \alpha + 3\mu^{0,5} \right],$$

или

$$q = a\alpha^2 + b\alpha + c, \quad (17)$$

гдѣ

$$a = \frac{3\mu^{0,5}}{(\mu-1)^3 \mu} \{4\mu^3 - 9\mu^2 + 6\mu - 1\} \quad (18)$$

$$b = \frac{3\mu^{0,5}}{(\mu-1)^3} (3\mu-1); \quad c = \frac{\mu^3 + 3\mu^{0,5}}{(\mu-1)^3} \quad (19)$$

Численныя значенія коэффициентовъ  $a$ ,  $b$ ,  $c$  при различныхъ значеніяхъ отношенія  $\mu^{0,5}$  размѣровъ русла къ поперечнымъ размѣрамъ судна приведены въ слѣдующей табличкѣ

$\mu^{0,5}$	3	4	5	6	7	8	9	10	$\mu^{0,5}$
$\mu$	9	16	25	36	49	64	81	100	$\mu$
$a$	4,375	3,150	2,475	2,043	1,741	1,518	1,346	1,209	$a$
$b$	0,4570	0,1686	0,0803	0,0448	0,0296	0,0183	0,0128	0,0092	$b$
$c$	1,441	1,217	1,131	1,089	1,064	1,048	1,038	1,031	$c$

Пользуясь этой таблицей можно вычислить и таблицу значеній множителя увеличенія  $q = a\alpha^2 + b\alpha + c = f(\mu, \alpha)$ .

$\mu \backslash \alpha$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
$\alpha^2$	0	0,01	0,04	0,09	0,16	0,25	0,36	0,64	1,00
9	1,44	1,53	1,71	1,97	2,32	2,76	3,29	4,61	6,27
16	1,22	1,27	1,38	1,55	1,79	2,09	2,45	3,37	4,54
25	1,13	1,16	1,25	1,38	1,56	1,79	2,07	2,78	3,69
36	1,09	1,11	1,18	1,29	1,43	1,62	1,85	2,43	3,18
49	1,06	1,08	1,14	1,23	1,35	1,52	1,71	2,20	2,84
64	1,05	1,07	1,11	1,19	1,30	1,44	1,61	2,04	2,58
81	1,04	1,05	1,09	1,16	1,26	1,38	1,53	1,91	2,40
100	1,03	1,04	1,08	1,14	1,23	1,34	1,47	1,81	2,25

Коэффициентъ увеличенія  $q$  есть отношеніе дѣйствительнаго сопротивленія  $R$ , происходящаго отъ тренія, къ тренію, вычисленному обыкновеннымъ способомъ просто по смоченной поверхности  $S = pL$ , а по относительной скорости  $v = u + c$  судна по отношенію къ водѣ въ рѣкѣ, не беря во вниманіе разсмотрѣнныхъ нами усложняющихъ явленій, увеличивающихъ сопротивленіе отъ тренія.



Само собою разумѣется, что этимъ способомъ можно опредѣлять сопротивленіе лишь въ случаяхъ, когда скорости такъ малы, что не возникаетъ замѣтныхъ волнъ отъ судна. Кромѣ того явленіе разобрано схематически, такъ что ожидать хорошей точности отъ этого способа нѣтъ основаній.

Первый столбецъ таблицы даетъ увеличеніе сопротивленія въ каналѣ безъ собственной скорости воды ( $c = 0$ ) по сравненію съ сопротивленіемъ въ неограниченномъ пространствѣ воды. Послѣдній столбецъ, гдѣ  $\alpha = \frac{c}{v} = \frac{c}{u+c} = 1$ , отвѣчаетъ случаю  $u = 0$ , т. е. даетъ тягу нужную для удержанія судна недвижимо на мѣстѣ въ рѣкѣ съ теченіемъ  $c$  по сравненію съ сопротивленіемъ судна, идущаго съ тою-же скоростью  $c$  въ неограниченномъ водномъ пространствѣ.

*Примѣръ.* Пусть  $\mu = 64$ ,  $u = 2$  и  $c = 3$ . Тогда  $v = u + c = 5$  и  $\alpha = \frac{c}{v} = \frac{3}{5} = 0,6$ . По таблицѣ находимъ  $q = 1,61$ , т. е. сопротивление будетъ

$$R = kpLv^2q = 1,61 kS \cdot (u+c)^2 = 1,61 kS 5^2,$$

гдѣ  $S$  — смоченная поверхность судна и  $k$  — коэффициентъ тренія. Сопротивленіе здѣсь на 61% больше, чѣмъ вычисленное безъ этой теоріи, имѣющей цѣлью убереечь конструктора отъ неприятныхъ ошибокъ.

Прага, 1930.

$\alpha$	$q$	$\alpha$	$q$	$\alpha$	$q$	$\alpha$	$q$	$\alpha$	$q$
0,0	1,00	0,2	1,05	0,4	1,12	0,6	1,22	0,8	1,35
0,1	1,02	0,3	1,10	0,5	1,18	0,7	1,28	0,9	1,42
0,2	1,05	0,4	1,15	0,6	1,25	0,8	1,35	1,0	1,50
0,3	1,10	0,5	1,20	0,7	1,30	0,9	1,42	1,1	1,58
0,4	1,15	0,6	1,25	0,8	1,35	1,0	1,50	1,2	1,65
0,5	1,20	0,7	1,30	0,9	1,42	1,1	1,58	1,3	1,72
0,6	1,25	0,8	1,35	1,0	1,50	1,2	1,65	1,4	1,78
0,7	1,30	0,9	1,42	1,1	1,58	1,3	1,72	1,5	1,83
0,8	1,35	1,0	1,50	1,2	1,65	1,4	1,78	1,6	1,88
0,9	1,42	1,1	1,58	1,3	1,72	1,5	1,83	1,7	1,92
1,0	1,50	1,2	1,65	1,4	1,78	1,6	1,88	1,8	1,95



Проф. В. В. Фармаковскій.

## О ВЫБОРѢ НАИВЫГОДНѢЙШАГО ПОДЪЕМА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛѢЗНОДОРОЖНЫХЪ ЛИНІЙ.

„НаивыгоднѢйшій подъемъ“ въ современномъ пониманіи этого термина есть тотъ подъемъ желѢзнодорожнаго предольнаго профиля, который отвѣчаетъ наименьшей себѣ-стоимости эксплуатаціи даннаго участка (постояннаго профиля), при данной густотѣ движенія и при данномъ типѣ тяговой машины (паровоза).

Задача розысканія наивыгоднѢйшаго подъема столь же стара, какъ и сами желѢзные дороги и надъ ея рѣшеніемъ много потрудились желѢзнодорожные спеціалисты всѣхъ странъ за все истекшее время. Эта весьма важная задача при проектированіи новыхъ желѢзнодорожныхъ линій до конца все же еще не рѣшена въ удобной для практики формѣ и авторъ беретъ на себя смѣлость, послѣ краткаго обзора существующихъ способовъ рѣшенія задачи, предложить еще одинъ новый способъ розысканія наивыгоднѢйшаго подъема.

### 1. Способъ „виртуальной длины“.

Методъ „виртуальныхъ длинъ“ состоитъ въ замѣнѣ даннаго участка съ подъемомъ  $S^0/00$  „виртуальнымъ“, т. е. равнодѣйственнымъ въ извѣстномъ смыслѣ, горизонтальнымъ участкомъ. Виртуальная длина участка  $L_v$  получается изъ длины дѣйствительнаго участка  $L$  умноженіемъ на такъ называемый виртуальный коэффициентъ  $\alpha$ , т. е.

$$L_v = \alpha L.$$

Если линія съ подъемомъ  $S^0/00$  должна преодолѣть высоту (разность уровня)  $Hm$ , то виртуальная длина линіи будетъ при этомъ

$$L_{vH} = \frac{1000 \cdot \alpha \cdot H}{S}$$

или для  $H = 1m$  получаемъ



$$L_{v_{H_1}} = \frac{1000 \cdot \alpha}{S}.$$

Тотъ подъемъ линіи считаютъ наивыгоднѣйшимъ, для котораго величина удѣльной виртуальной длины  $L_{v_{H_1}}$  получается наименьшей.

Методъ виртуальныхъ длинъ предложенъ былъ въ 1836 г. со стороны Англійской Парламентской Комиссіи, разсматривавшей проекты новыхъ желѣзнодорожныхъ линій въ Ирландіи и затѣмъ получилъ широкое распространеніе. Исчерпывающій матеріалъ по примѣненію метода виртуальныхъ длинъ мы находимъ въ сравнительно недавней работѣ Dr. Ing. Mutzner' a <sup>1)</sup>.

Виртуальный коэффициентъ  $\alpha$  устанавливаетъ, какъ уже выше сказано, равнодѣйственность или равноцѣнность въ извѣстномъ смыслѣ между даннымъ участкомъ съ подъемомъ  $S^0/_{00}$  и его виртуальной горизонталью.

Ghega (1844 г.), Lindner (1879 г.), I. Stocker и Baum (1880 г.) предлагали выбирать значенія  $\alpha$ , принимая во вниманіе измѣненіе работы силы тяги паровоза при измѣненіи подъема  $S^0/_{00}$ . Ввиду различія типовъ паровозовъ получаются, конечно, и весьма различныя значенія виртуальнаго коэф.  $\alpha$  для одного и того же подъема. Кромѣ того такое пониманіе виртуальнаго коэффициента не учитываетъ совершенно тѣхъ элементовъ стоимости эксплуатаціи линіи, которые не находятся въ зависимости отъ работы силы тяги, напр. стоимости сооруженія участка, высоты процентовъ по займамъ, отчисленій на амортизацію, стоимости ремонта пути и зданій и др.

Швейцарскія желѣзныя дороги (1873), Amiot (1879 г.), Menche de Loip (1879 г.), Kreuter (1900 г.) и Jacquier (1904 г.) принимаютъ значенія виртуальнаго коэффициента  $\alpha$  на основаніи статистическихъ данныхъ для существующихъ желѣзныхъ дорогъ, принимая во вниманіе величину или эксплуатационныхъ расходовъ полностью или же въ части, относящейся непосредственно къ самой перевозкѣ (Transportkosten). Здѣсь опять не учитываются расходы амортизаціоннаго характера и проценты по займу (то что мы дальше будемъ называть „расходы службы капитала“), а также расходы по содержанію пути и пр. Ввиду разнообразія условій службы различныхъ желѣзныхъ дорогъ и здѣсь получились весьма различныя значенія виртуальнаго коэффициента  $\alpha$  для одного и того же подъема  $S^0/_{00}$ .

A. von Borries (1902—1905 г.) предположилъ вычи-

<sup>1)</sup> Dr. Ing. Carl Mutzner. Die wirtuelle Länge der Eisenbahnen, Zürich, 1924.



слать  $\alpha$  по времени хода данного поезда по различнымъ подъемамъ  $S^0/_{00}$ . Этотъ методъ пригоденъ по существу для быстрыхъ и достаточно точныхъ расчетовъ времени хода поезда на линіи, но по своей сущности онъ не имѣлъ и цѣли быть орудіемъ для вычисленія наивыгоднѣйшаго подъема, хотя быть можетъ онъ - то и даетъ въ дѣйствительности наиболѣе точное приближеніе къ дѣйствительности, ибо значительная часть эксплуатаціонныхъ расходовъ находится въ прямой зависимости отъ времени хода поезда по участку. M u t z n e r предлагаетъ называть виртуальныя длины, вычисленныя по B o r r i e s ' у, „эксплуатаціонными длинами“.

Наконецъ M u t z n e r (1914 г.) при выборѣ значенія виртуальныхъ коэффиціентовъ  $\alpha$  принимаетъ во вниманіе не только стоимость перевозки (Transportkosten), но также и стоимость по ремонту и содержанію пути и по его обслуживанію — „линейные расходы“ — (Bahndienstkosten). Въ этомъ смыслѣ онъ наиболѣе близко подходитъ къ цѣли, но все же расходы службы капитала, которые несомнѣнно играютъ весьма крупную роль въ оцѣнкѣ себѣ-стоимости эксплуатаціи, у него еще не учитываются. Значеніе  $\alpha$  M u t z n e r принимаетъ на основаніи статистическихъ данныхъ желѣз. дор. въ частности Швейцарскихъ. Въ этихъ условіяхъ онъ нашель наивыгоднѣйшій подъемъ для линій съ паровозной тягой какъ  $S_n = 15-16^0/_{00}$ , если принимать во вниманіе только стоимость перевозокъ, и до  $S_n = 25^0/_{00}$ , если учитывать и линейные расходы.

Резюмируя вышеизложенное опредѣленіе наивыгоднѣйшаго подъема  $S_n^0/_{00}$  по способу „виртуальныхъ длинъ“, можно сказать, что этотъ методъ обладаетъ существенными недостатками, ибо онъ или базируется на значеніяхъ виртуальнаго коэффиціента  $\alpha$ , не учитывающихъ весьма существенныхъ элементовъ себѣ-стоимости эксплуатаціи, или на статистическихъ данныхъ извѣстной группы желѣзныхъ дорогъ, которыя часто оказываются совершенно неподходящими для вновь проектируемой линіи, для которой сплошь и рядомъ и нормы оплаты труда и стоимость и качество топлива и типъ паровоза являются совершенно иными. Методъ виртуальныхъ длинъ кромѣ того не принимаетъ во вниманіе неодинаковости грузооборота въ обоихъ направленіяхъ линіи, что часто имѣетъ мѣсто при постройкѣ желѣзныхъ дорогъ (напр. экспортныхъ, промышленныхъ и т. п.). Наконецъ, если методъ виртуальныхъ длинъ и даетъ, хотя и не точное, рѣшеніе въ смыслѣ выбора наивыгоднѣйшаго подъема для участка съ постояннымъ подъемомъ, то онъ не дастъ рѣшенія того же вопроса при переменномъ профилѣ участка. При помощи метода вир-



туальныхъ длинъ можно сравнить нѣсколько трассъ и найти трассу съ наименьшей суммарной виртуальной длиной, но нельзя сказать утвердительно, что въ этой трассѣ примѣнены наивыгоднѣйшіе подъемы. Такимъ образомъ за методомъ виртуальныхъ длинъ, который подкупаетъ своей простотой, остается нынѣ лишь факультативное значеніе при сравненіи вариантовъ трассъ.

## 2. Способъ „виртуальныхъ высотъ“.

Въ недавнее время профессоръ *Richard Petersen*<sup>2)</sup> предложилъ оригинальный способъ опредѣленія наивыгоднѣйшаго подъема, который явился, какъ можно думать, результатомъ его неудовлетворенности методомъ виртуальныхъ длинъ.

Онъ рассматриваетъ затрату механической работы для поднятія поѣзда на дѣйствительную высоту  $h$  *m* и приравниваетъ ее механической работѣ при поднятіи вѣса вагоновъ поѣзда  $Q$  *t* вертикально на высоту  $h_v$  *m*, которую онъ и называетъ „виртуальной высотой подъема“. Эта механическая работа можетъ быть выражена двояко. Съ одной стороны она равна

$$A(tm) = (L + Q) \left( h + \frac{w_i l_i}{1000} \right), \text{ гдѣ}$$

$l_i$  — длина подъема, соотвѣтствующая поднятію на высоту  $h$  *m*,

$w_i$  (*kg/t*) — удѣльное сопротивленіе на подъемѣ,

$L$  (*t*) — вѣсъ паровоза,

$Q$  (*t*) — вѣсъ вагоновъ.

Съ другой же стороны механическую работу  $A(tm)$  можно выразить черезъ виртуальную высоту такъ:

$$A = Qh_v = \frac{h_v}{h} Qh, \text{ гдѣ}$$

$\frac{h_v}{h} = c$  есть удѣльная виртуальная высота, т. е. отвѣчающая случаю  $h = 1$  *m*.

Приравнивая правыя части вышеприведенныхъ равенствъ, *Petersen* послѣ ряда преобразованій находитъ, что

<sup>2)</sup> *Prof. R. Petersen*: Die zweckmässigste Neigung der Eisenbahnen. Berlin. 1921. См. также

*Prof. Dr. L. Oerley*: Die massgebende Arbeitshöhe der Eisenbahn. Organ f. d. F. d. E. 1922, Heft 3.



$$c = \frac{f/a - (w_L - w_Q)}{f/a - (S + w_L)} \cdot \frac{S + w}{S} \quad \text{или}$$

$$c = \frac{L + Q}{Q} \cdot \frac{S + w}{S}.$$

Въ этихъ выраженіяхъ обозначено:

$f$  (kg/t) — удѣльная сила сцѣпленія для паровоза,

$a = \frac{L}{L_a}$  — отношеніе служебнаго вѣса паровоза съ тендеромъ къ его сцѣпному вѣсу,

$w_L$  (kg/t) — удѣльное сопротивленіе паровоза,

$w_Q$  „ — то-же вагоновъ,

$w$  „ — то-же среднее для цѣлаго поѣзда,

$S\%$  — показатель подъема.

*Petersen* считаетъ тотъ подъемъ наивыгоднѣйшимъ, который даетъ наименьшее значеніе удѣльной виртуальной высоты  $c$ .

Въ рядѣ діаграммъ *Petersen* находитъ конкретныя значенія наивыгоднѣйшаго подъема, причемъ для желѣзныхъ дорогъ съ паровозной тягой (фиг. 11) у *Petersen*'а таковой получается всего 12—13‰, а для дорогъ съ электрической тягой около 20‰.

По мнѣнію автора, при этомъ *Petersen* дѣлаетъ рядъ существенно неточныхъ предположеній и допущеній, фаворизируя этимъ электрическую тягу, а именно: а) Значеніе  $\frac{L}{L_a}$  *Petersen* принимаетъ равнымъ 1,5 для паровозовъ и 1,0 для электровозовъ. Между тѣмъ для извѣстныхъ типовъ паровозовъ — танкъ-паровозы со всѣми спаренными осями (а это и есть типъ паровоза для участковъ съ тяжелымъ профилемъ) — мы и для паровоза имѣемъ  $L/L_a = 1,0$ . б) *Petersen* принимаетъ  $f = 150$  для паровозовъ и  $f = 180$  для электровозовъ, между тѣмъ какъ для извѣстнаго класса паровозовъ (турбопаровозы)  $f$  имѣетъ то-же значеніе, что и для электровозовъ, а для многоцилиндровыхъ паровозовъ  $f$  лишь незначительно меньше и можетъ быть принято около  $f = 165—170$ . в) *Petersen* никакъ не учитываетъ болѣе высокую стоимость электровозовъ (почти двойную) при одинаковой мощности съ паровозомъ, а также весьма значительную стоимость оборудованія пути электрическихъ желѣзныхъ дорогъ (центральная станція, трансформаторныя подстанціи и сѣть). д) *Petersen* несомнѣнно переоцѣниваетъ вліяніе отношенія  $L/L_a$  и совсѣмъ не считается съ абсолютной величиной сцѣпнаго вѣса  $L_a$  локомотива. Между тѣмъ эта величина существенно вліяетъ на составъ поѣзда  $Q$ , а значитъ и на коли-



чество поѣздовъ при заданной пропускной способности. Въ всякаго сомнѣнія, напр. эксплуатація дороги при помощи паровоза съ тендеромъ 1—Е—1 съ большимъ отношеніемъ  $a = \frac{L}{L_n} = 1,9-2,0$ , со сцѣпнымъ вѣсомъ  $L_a = 90 t$ , будетъ выгоднѣе, чѣмъ эксплуатація помощью электровозовъ типа 0—В—0 съ очень выгоднымъ отношеніемъ  $a = L/L_a = 1,0$ , но зато съ абсолютной величиной сцѣпного вѣса всего въ  $30 t$ . Въ первомъ случаѣ мы можемъ реализовать по сцѣпленію силу тяги  $90 \cdot 165 = 14850 kg$ , а во второмъ лишь  $30 \cdot 180 = 5400 kg$ , т. е. во второмъ случаѣ количество поѣздовъ увеличилось бы въ  $\frac{14850}{5400} = 2,76$  раза, что отразилось бы очень невыгодно въ смыслѣ огромнаго увеличенія расходовъ на персоналъ.

Помимо вышеизложеннаго методъ виртуальныхъ высотъ сохраняетъ всѣ недочеты метода виртуальныхъ длинъ, а именно: 1) онъ не принимаетъ при рѣшеніи задачи во вниманіе расходовъ службы капитала и другихъ расходовъ, не зависящихъ отъ величины механической работы поѣзда; 2) онъ не учитываетъ неодинаковости грузооборота въ обѣ стороны движенія и 3) онъ не пригоденъ для нахождения наивыгоднѣйшаго подъема для случая тягового участка съ переменнымъ профилемъ линіи.

### 3. Коммерческій способъ.

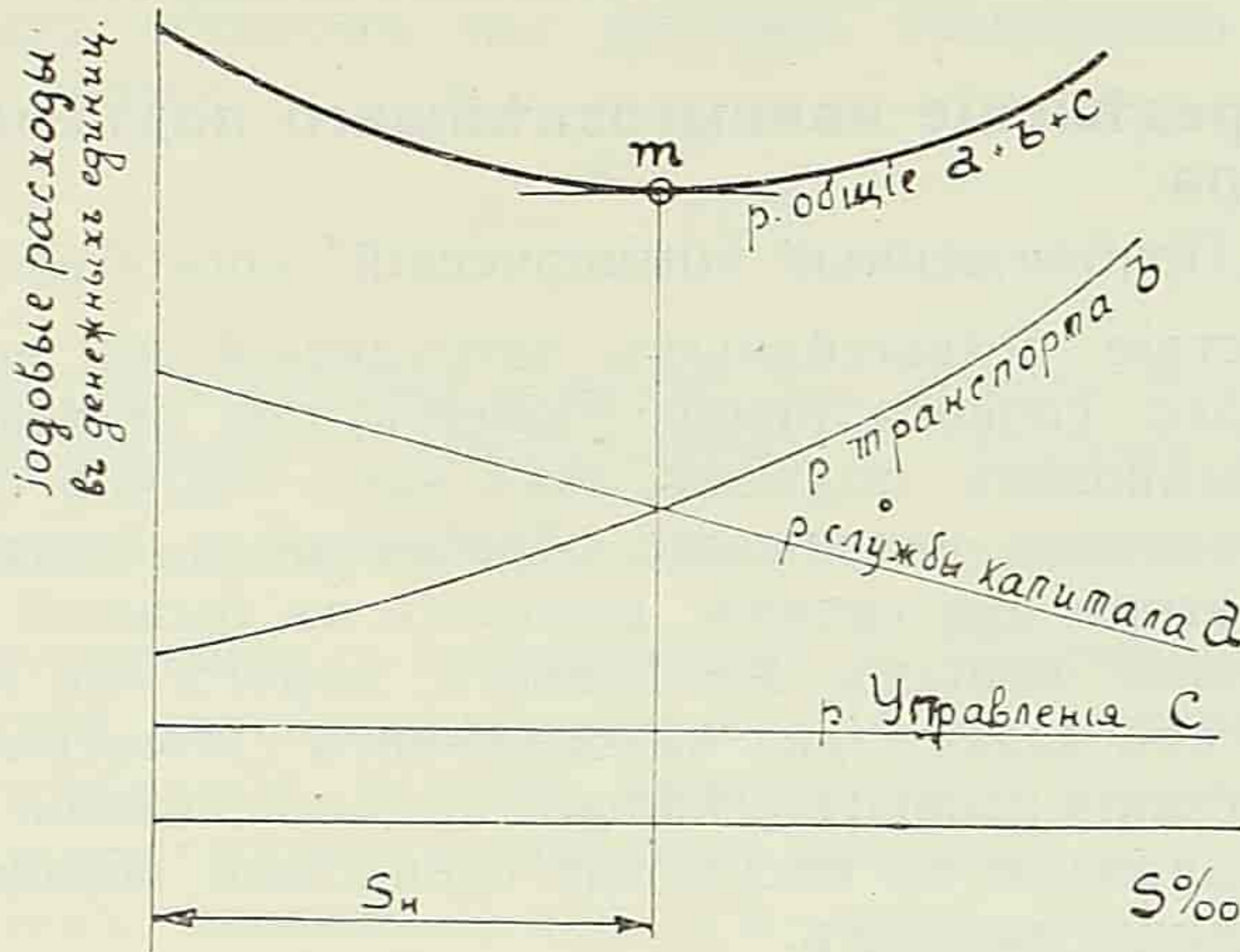
На совершенно правильный путь при рѣшеніи задачи опредѣленія наивыгоднѣйшаго подъема сталъ профессоръ Robert Findeis<sup>3)</sup> въ Вѣнѣ. Онъ находитъ, что для правильнаго рѣшенія задачи о выборѣ наивыгоднѣйшаго подъема надо составлять подробную калькуляцію себѣ-стоимости эксплуатаціи линіи, принимая во вниманіе рѣшительно всѣ расходы эксплуатаціи и расходы службы капитала. Тотъ подъемъ, который отвѣчаетъ наименьшей себѣ-стоимости эксплуатаціи и является наивыгоднѣйшимъ, съ чѣмъ и нельзя не согласиться. Подобнаго рода калькуляція себѣ-стоимости является самымъ обычнымъ дѣломъ для всякаго рода коммерческихъ и промышленныхъ предпріятій, къ каковымъ несомнѣнно относятся и желѣзныя дороги (исключая чисто стратегическія или политическія дороги) и можно только выразить удивленіе, что столь важный и значительный расходъ, какъ расходы службы капитала, до сего времени не учиты-

<sup>3)</sup> Prof. R. Findeis. Zur Frage der günstigster Neigung. „Schweizerische Bauzeitung“. 1924 I. S. 215 и въ извлеченіи въ Génie Civile 1924, стр. 531.



вался другими изслѣдователями при рѣшеніи задачи о выборѣ наивыгоднѣйшаго подъема.

Самое рѣшеніе задачи Findeis проводить помощью весьма нагляднаго графика (фиг. 1), въ которомъ осью абс-



Фиг. 1.

циссъ служатъ подъемы  $S\%$ , а по ординатамъ откладываются расходы: 1) независящія отъ подъема  $S$  расходы  $c$  — расходы управленія; 2) расходы увеличивающіеся съ увеличеніемъ  $S$  — расходы транспорта  $b$ ; 3) расходы уменьшающіеся съ увеличеніемъ  $S$  — расходы службы капитала  $a$ . Затѣмъ берется сумма расходовъ  $a+b+c$  и эта кривая положеніемъ своего минимума опредѣляетъ значеніе наивыгоднѣйшаго подъема  $S_n\%$ . Для каждаго конкретнаго случая, т. е. для дороги съ данной стоимостью постройки и при данныхъ нормахъ оплаты труда персонала, мы естественно получаемъ свое значеніе наивыгоднѣйшаго подъема  $S_n\%$ . Разсматривая въ частности условія Швейцарскихъ желѣзныхъ дорогъ, профессоръ Findeis находитъ значеніе наивыгоднѣйшаго подъема въ предѣлахъ  $S_n = 20 - 22\%$ .

Методъ Findeis'а, самъ по себѣ, совершенно и единственно правильный, при примѣненіи въ практикѣ находитъ затрудненія въ томъ, что обычно мы не располагаемъ статистическими свѣдѣніями обработанными такъ, какъ это нужно для пользованія ими при рѣшеніи задачи, а именно обычно мы имѣемъ лишь среднія данныя для цѣлой сѣти желѣзныхъ дорогъ въ извѣстной странѣ, въ лучшемъ случаѣ среднія данныя для отдѣльныхъ линій, но совершенно не имѣемъ свѣдѣній, классифицированныхъ по опредѣленнымъ подъемамъ. Кромѣ того нельзя данными, полученными, скажемъ, для Швейцарскихъ желѣзныхъ дорогъ пользоваться для



опредѣленія наивыгоднѣйшаго подъема проектируемой линіи гдѣ-нибудь въ Абиссиніи, ибо условія постройки и эксплуатаціи такой линіи существенно иныя, чѣмъ для Швейцаріи. Значитъ въ этомъ случаѣ пришлось бы базироваться на вымышленныхъ или завѣдомо неточныхъ данныхъ.

#### 4. Опредѣленіе наивыгоднѣйшаго подъема по способу автора.

(„Приближенный коммерческій“ способъ).

Вслѣдствіе безвыходныхъ затрудненій при примѣненіи коммерческаго способа (проф. Findeis'a) при рѣшеніи задачи о наивыгоднѣйшемъ подъемѣ, такъ какъ обычно отсутствуютъ необходимыя, надлежаще обработанныя, статистическія свѣдѣнія, авторъ при своихъ работахъ въ бывшей Дирекціи по сооруженію новыхъ желѣзныхъ дорогъ въ Югославіи поставилъ себѣ задачу такъ видоизмѣнить „коммерческій способъ“ разысканія наивыгоднѣйшаго подъема, чтобы онъ могъ быть примѣнимъ и въ отсутствіи специально обработанныхъ статистическихъ данныхъ.

##### I. Основанія метода.

1) Такъ какъ при рѣшеніи задачи о наивыгоднѣйшемъ подъемѣ насъ интересуетъ не абсолютное численное значеніе минимума расходовъ  $a + b + c$  (фиг. 1), а лишь положеніе этого минимума — т. е. абсцисса точки  $m$  перегиба кривой  $a + b + c$  или наивыгоднѣйшій подъемъ  $S_n$ , при которомъ этотъ минимумъ имѣетъ мѣсто, то мы имѣемъ полную возможность отбросить изъ разсмотрѣнія группу расходовъ  $c$ , т. е. расходовъ не зависящихъ отъ величины подъема (расходы управленія), какъ не вліяющихъ на положеніе минимума.

2) Группу расходовъ  $a$  — расходовъ службы капитала, которые уменьшаются съ увеличеніемъ подъема  $S\%$ , можно привести къ линейному виду

$$\frac{M}{S} + M_0 = A, \quad (1)$$

какъ это будетъ показано въ дальнѣйшемъ при детальномъ рѣшеніи задачи (см. отд. II). Въ этомъ выраженіи  $M_0$  и  $M$  суть постоянныя величины.

3) Группу расходовъ  $b$  — расходовъ транспорта, возрастающихъ съ возрастаніемъ подъема  $S$ , можно, (какъ это будетъ видно изъ дальнѣйшаго (см. отд. III)) представить въ простѣйшемъ видѣ въ обликѣ

$$\frac{1}{\epsilon} (N + CS) = \frac{B}{\epsilon} \quad (2)$$



гдѣ  $N$  и  $C$  суть постоянныя, а  $1/\epsilon$  есть отношеніе между всѣми расходами транспорта (включая и расходы службы пути) и расходомъ на топливо для поѣздной службы, считая по максимальному товарному графику.

Такимъ образомъ мы должны отыскивать положеніе минимума суммы

$$A + \frac{B}{\epsilon} = f(S)$$

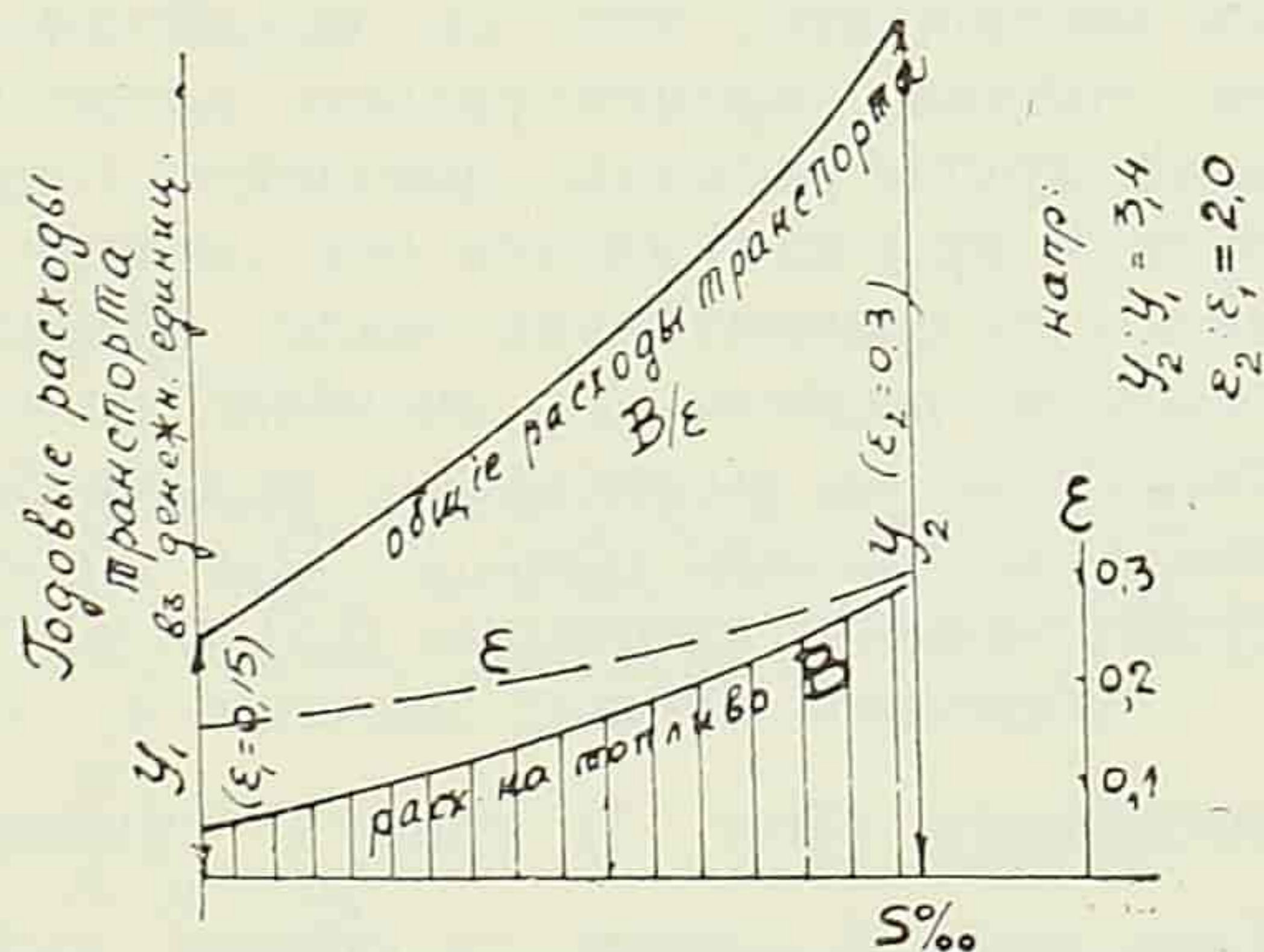
какъ функціи величины подъема  $S\%$ .  $A$  есть функція непрерывно убывающая съ возрастаніемъ  $S$ . Поэтому  $f(S)$  можетъ вообще имѣть минимумъ только въ томъ случаѣ, если  $\frac{B}{\epsilon}$  возрастаетъ непрерывно съ возрастаніемъ  $S$ . Числитель  $B = N + CS$  самъ по себѣ непрерывно возрастаетъ съ увеличеніемъ  $S$  и поэтому требуемое условіе непрерывнаго возрастанія значенія  $B/\epsilon$  удовлетворяется завѣдомо или если 1)  $\epsilon$  убываетъ съ возрастаніемъ подъема  $S$  или 2)  $\epsilon = \text{const}$  или 3) если  $\epsilon$  возрастаетъ медленнѣе, чѣмъ возрастаетъ  $B$ .

Наоборотъ, если бы  $\epsilon$  возрастало быстрѣе чѣмъ  $B$  (съ увеличеніемъ  $S\%$ )  $S$ , то задача становилась бы неопредѣленной, ибо тогда кривая  $a + b + c$  не имѣла бы минимума.

Какъ видно изъ фиг. 1 (рѣшеніе задачи по Findeis'у) кривая  $a + b + c$  имѣетъ одинъ опредѣленный минимумъ, такъ что очевидно должно осуществляться одно изъ ранѣе приведенныхъ условій существованія минимума  $f(S)$ . Какъ видно изъ дальнѣйшаго (см. ниже пунктъ  $b$ ) въ дѣйствительности отношеніе  $\epsilon$  возрастаетъ съ увеличеніемъ  $S\%$ , но возрастаетъ медленнѣе чѣмъ  $B$  (см. фиг. 2), т. е.  $f(S)$  дѣйствительно имѣетъ минимумъ.

Абсолютная величина отношенія  $\epsilon$ , для нашей вновь проектируемой дороги не извѣстна, но о ней намъ извѣстно слѣдующее:

а) Какъ видно изъ разсмотрѣнія среднихъ статистическихъ данныхъ (приведенныхъ ниже въ таблицѣ отд. IV) для различныхъ европейскихъ желѣзныхъ дорогъ отношеніе  $\epsilon$  измѣняется въ зависимо-



Фиг. 2.



сти отъ интенсивности движенія на желѣзнодорожной сѣти и для дорогъ сильно напряженныхъ значеніе  $\epsilon$  меньше, чѣмъ для дорогъ съ слабымъ движеніемъ, гдѣ расходъ на топливо является однимъ изъ весьма значительныхъ расходовъ транспорта. Это обстоятельство объясняется тѣмъ, что на сильно напряженныхъ дорогахъ обычно примѣняются болѣе выгодные тяжелые локомотивы (болѣе совершенной конструкціи и съ меньшимъ удѣльнымъ расходомъ топлива). Еще болѣе вліяетъ въ смыслѣ уменьшенія  $\epsilon$  — уменьшеніе числа недогруженныхъ и порожнихъ вагоновъ въ поѣздахъ. Расходы на персоналъ повышаются часто въ большей мѣрѣ, чѣмъ расходы на топливо. Кромѣ того на сильно напряженныхъ дорогахъ увеличиваются расходы службы капитала въ части относящейся къ подвижному составу и особенно устройствамъ, обслуживающимъ подвижной составъ, а также замѣтно увеличиваются и расходы по службѣ пути. Во всякомъ случаѣ мы изъ разсмотрѣнія статистическихъ данныхъ можемъ достаточно точно установить крайнія границы для среднихъ значеній  $\epsilon$  и выбрать  $\epsilon_1$  — для сильно напряженныхъ желѣзныхъ дорогъ (минимальное среднее значеніе) и  $\epsilon_2$  — для дорогъ со слабымъ движеніемъ (максимальное среднее значеніе). Тогда мы съ полной увѣренностью можемъ сказать, что истинное среднее значеніе  $\epsilon$  для вновь проектируемой желѣзнодорожной линіи, внѣ сомнѣнія, заключается между крайними значеніями  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ , а именно:

$$\epsilon_1 < \epsilon < \epsilon_2 \quad (3)$$

или въ частномъ случаѣ  $\epsilon$  можетъ совпадать съ граничными значеніями  $\epsilon_1$  или  $\epsilon_2$ .

*b)* Разсматривая расходы транспорта генерально въ зависимости отъ величины подъема, мы неизбежно приходимъ къ заключенію, что съ возрастаніемъ подъема  $S_{\%}$  расходъ на топливо процентуально непрерывно возрастаетъ, тогда какъ другіе расходы транспорта (персоналъ, расходы службы пути и пр.) измѣняется (въ смыслѣ возрастанія съ возрастаніемъ  $S$ ) сравнительно мало. Поэтому несомнѣнно съ возрастаніемъ подъема  $S_{\%}$  значеніе соотношенія  $\epsilon$  непрерывно возрастаетъ, но возрастаетъ медленнѣе, чѣмъ возрастаютъ расходы на топливо (фиг. 2). Это обстоятельство обезпечиваетъ существованіе минимума  $f(S)$ , о чемъ рѣчь была уже выше.

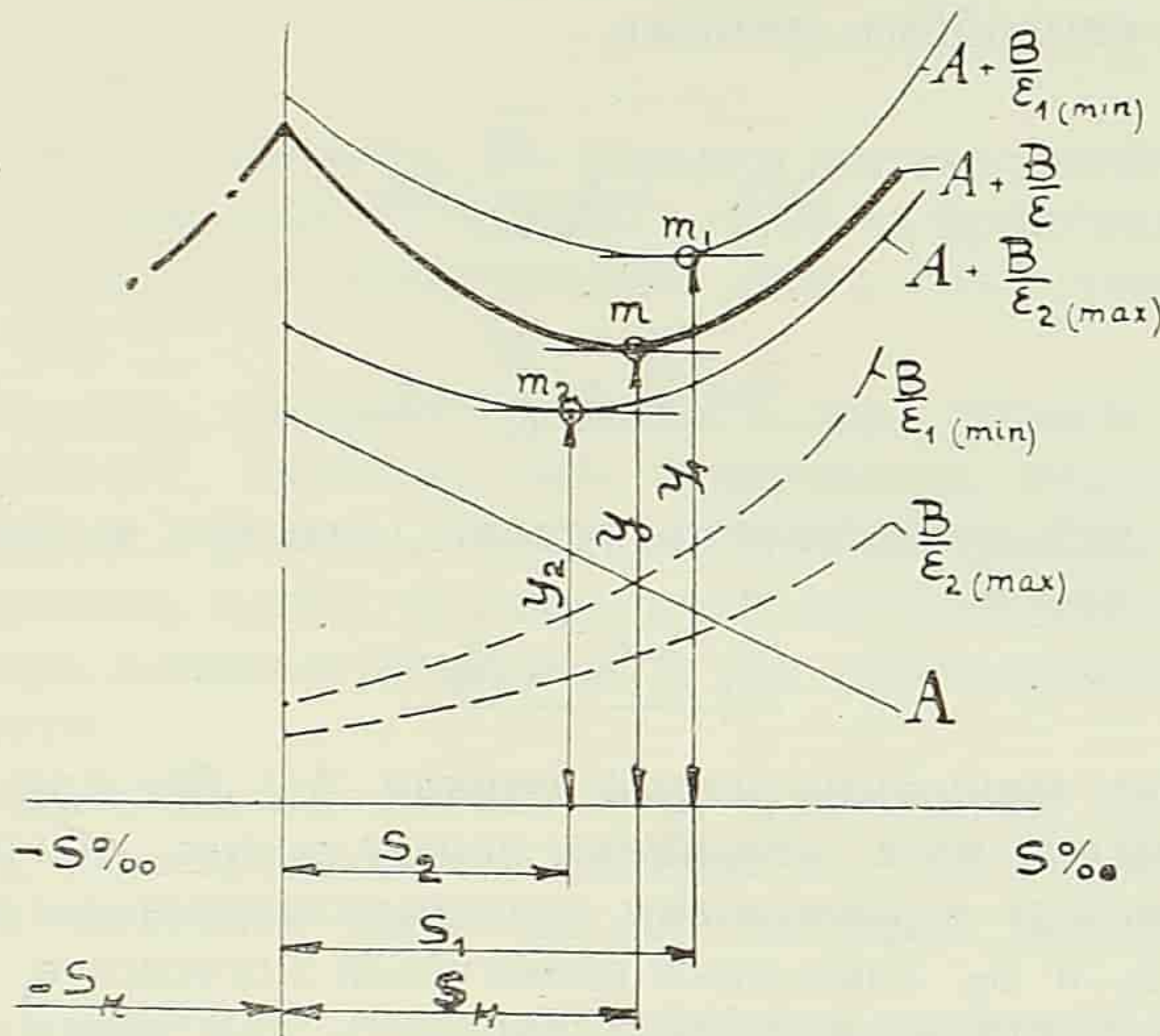
Усвоимъ сначала значеніе  $\epsilon_1 = \text{const}$  и при этомъ условіи построимъ (фиг. 3) кривую суммарныхъ расходовъ  $A + \frac{B}{\epsilon_1}$ , Такъ какъ  $\epsilon_1 = \text{const}$ , то кривая имѣетъ минимумъ, который опредѣляется ординатой  $y_1$  и абсциссой  $S_1$ , причемъ очевидно, что при этомъ производная  $y = f(S)$  для точки  $m_1$



$$y'_1 = A' + \frac{B'}{\epsilon_1} = 0$$

или, иначе говоря,

$$\epsilon_1 = \left( -\frac{B'}{A'} \right) S = S_1$$



Фиг. 3.

Аналогично, если мы усвоимъ значение  $\epsilon_2 = \text{const}$ , то найдемъ положеніе минимума ординатъ кривой  $A + \frac{B}{\epsilon_2}$ , а именно ординату  $y_2$  и абсциссу  $S_2$ , причемъ для точки  $m_2$

$$y'_2 = A' + \frac{B'}{\epsilon_2} = 0$$

или

$$\epsilon_2 = \left( -\frac{B'}{A'} \right) S = S_2$$

Для нашей проектируемой линіи, для которой мы имѣемъ среднее соотношеніе  $\epsilon$  (которое намъ неизвѣстно численно, но извѣстно, что  $\epsilon_1 < \epsilon < \epsilon_2$ ), аналогично должны имѣть:

$$\epsilon = \left( -\frac{B'}{A'} \right) S = S_H$$

Подставляя вмѣсто  $B$  и  $A$  ихъ значенія изъ уравненія (1) и (2) и беря производныя, получимъ



$$\varepsilon = \frac{C}{M} S_{II}^2$$

откуда

$$S_{II} = \pm \sqrt{\frac{M}{C}} \cdot \sqrt{\varepsilon}$$

Такимъ же способомъ имѣемъ

$$S_1 = \pm \sqrt{\frac{M}{C}} \cdot \sqrt{\varepsilon_1}$$

и

$$S_2 = \pm \sqrt{\frac{M}{C}} \cdot \sqrt{\varepsilon_2}$$

Такъ какъ существуетъ условіе, что  $\varepsilon_1 < \varepsilon < \varepsilon_2$ , то ясно получаемъ, что и

$$\underline{S_1 < S_{II} < S_2} \quad (4)$$

То есть минимумъ нашей кривой  $A + B/\varepsilon$  при численно намъ неизвѣстномъ  $\varepsilon$ , лежащемъ между  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  получается въ границахъ между минимумами, соответствующими значеніямъ подъемовъ  $S_1$  и  $S_2$ . Такъ какъ граничныя значенія  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  намъ извѣстны изъ статистическихъ данныхъ для разныхъ желѣзныхъ дорогъ, то задача розысканія наивыгоднѣйшаго подъема сводится къ розысканію границъ, между которыми онъ лежитъ ( $S_1$  и  $S_2$ ), причемъ эта операція въ свою очередь сводится къ опредѣленію расходовъ на топливо — этого характернаго и значительнаго расхода для желѣзныхъ дорогъ съ паровой тягой, кстати вполне рациональнаго опредѣлимаго для локомотива даннаго типа въ зависимости отъ подъема  $S^0/_{00}$ , вѣса поѣзда  $Q$  и скорости движенія  $V_1$ , что и изложено въ дальнѣйшемъ. Если полученныя границы для  $S_1$  и  $S_2^0/_{00}$  не широки (интервалъ 2 — 3  $^0/_{00}$ ), то наша задача можетъ считаться практически разрѣшенной.

Знакъ минусъ во второмъ рѣшеніи даетъ второй минимумъ для численно равнаго  $S_{II}$  „отрицательнаго подъема“, т. е. для уклона  $S_{II}$ . Другими словами, практически это то же самое рѣшеніе.

Въ дальнѣйшемъ даны подробности метода, необходимыя для практическаго его осуществленія.

II) Группа расходовъ службы капитала  $A$ .

Къ этой группѣ расходовъ относятся: проценты по займу для сооруженія желѣзной дороги и отчисленіе на амортизацію долга. Къ строительной стоимости дороги по смѣтѣ слѣдуетъ еще „прибавлять“ проценты за время постройки, когда



дорога еще не приноситъ никакихъ доходовъ, и убытки на курсѣ при совершеніи займа (включая и комиссіонный процентъ банкирскихъ предпріятій, осуществляющихъ заемъ).

Вычисленіе годовыхъ расходовъ службы капитала можетъ быть производимо по формулѣ

$$A = a (D_i l_i + D_0), \quad (5)$$

гдѣ обозначено:

$a$  — годовыя отчисленія въ сотыхъ доляхъ; можно въ среднемъ принимать около 0,07 — 0,08 на проценты по займу; 0,01 — 0,02 на амортизацію долга, въ суммѣ  $a \cong 0,08$  до 0,1.

$D_i$  — стоимость сооруженія одного км. дороги въ данной мѣстности, включая всѣ сооруженія, исключая особо крупные объекты, присущіе данной трассѣ.

$D_0$  — стоимость особо крупныхъ объектовъ дороги (большіе мосты, длинные тунели и т. п.), приходящаяся на 1 км. дороги.

$l_i$  — длина линіи въ км., которая получается при подъемѣ  $S\%$  для преодоленія высоты въ 100 метровъ. Эта высота поднятія линіи на 100 метровъ принимается, такимъ образомъ, какъ единица для сравненія  $l_i \cong \frac{100}{S(\%)}.$

Такимъ образомъ формула (5) легко приводится къ виду

$$A = \frac{M}{S} + M_0, \quad (1)$$

которымъ мы и пользовались въ отд. I для выясненія основаній метода.

### III. Группа расходовъ транспорта $\frac{B}{\epsilon}$

Къ этой группѣ расходовъ относятся слѣдующіе расходы: расходы на топливо для перевозокъ и всѣ другіе расходы, зависящіе отъ расхода топлива, какъ-то расходы на персоналъ службы тяги, движенія и телеграфа, расходы на матеріалы (вода, смазка и др.), расходы по ремонту подвижного состава, расходы службы капитала въ отношеніи подвижного состава и т. д. Къ этой же группѣ расходовъ относятся расходы по содержанію пути и зданій, которые также возростають съ увеличеніемъ подъема  $S\%$  главнымъ образомъ вслѣдствіе угона рельсовъ и болѣе сильнаго износа головокъ рельсъ и шпаль. Если годовой расходъ на топливо для участка съ постояннымъ подъемомъ  $S\%$  и высотой поднятія въ 100 метровъ составляетъ  $B$ , то всѣ расходы этой



группы мы оцѣниваемъ какъ  $B/\epsilon$ . О величинѣ отношенія  $\epsilon$  см. подробности въ слѣдующемъ отдѣлѣ (IV), здѣсь же мы предлагаемъ способъ расчета расходовъ на топливо  $B$ , который получается изъ вѣсового расхода топлива  $B_2$ , умноженнаго на стоимость единицы вѣса топлива  $K$ , т. е.  $B = B_2 K$ . Въ свою очередь опредѣленіе расхода топлива основано на опредѣленіи расхода воды (пара) паровозомъ.

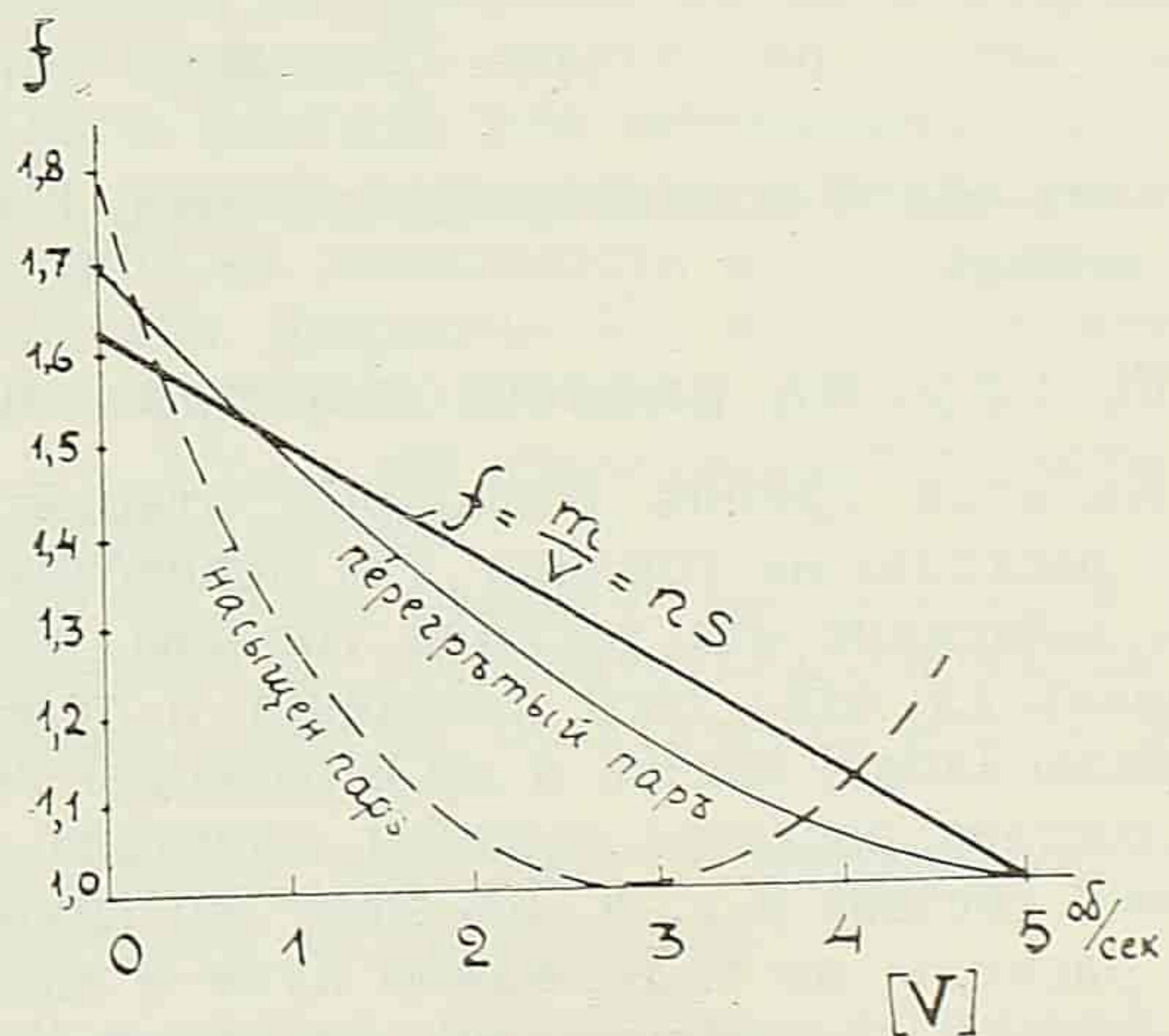
Расходъ воды въ  $kg$ . на 1 поѣздо-километръ на постоянномъ подъемѣ  $S\%$  опредѣляется какъ

$$W_1 (kg/n. km) = afW_i \frac{Z_i}{270},$$

гдѣ обозначены:

$a$  — практической коэффициентъ учитывающій не вполне исправное состояніе паровозовъ въ эксплуатаціи (пропары, течь швовъ и трубъ), а также потерю воды (при закачиваніи инжекторовъ) и пара (черезъ предохранительный клапанъ и пр.). Этотъ коэффициентъ  $a$  можно принимать равнымъ въ среднемъ около  $a = 1,3$ .

$f$  — отношеніе дѣйствительнаго расхода пара машиною на 1 л.с.-часъ при данной скорости движенія  $V_i$  по подъему къ минимальному (опытному) расходу пара машиною даннаго типа. Фиг. 4 въ графическомъ



Фиг. 4.

видѣ даетъ значенія этого коэффициента для паровозовъ съ перегрѣтымъ и насыщеннымъ паромъ, какъ функцію числа обо-



ротовъ движущихъ колесъ въ секунду; этотъ графикъ составленъ на основаніи опытныхъ данныхъ. Въ дальнѣйшемъ, принимая во вниманіе только паровозы съ перегрѣтымъ паромъ, мы для упрощенія принимаемъ что  $f$  измѣняется обратно пропорціонально скорости движенія или, иначе говоря, прямо пропорціонально подъему  $S^0/_{00}$  линіи, ибо скорость движенія вверхъ по подъему  $V_i$  можетъ быть въ первомъ приближеніи принята обратно пропорціональ-

ной подъему  $S^0/_{00}$ , т. е.  $f \cong \frac{m}{V_i} \cong nS$ .

$W_i$  — ( $kg/л.с.-ч.$ ) — минимальный расходъ пара въ  $kg$ . на 1 л.с.-часъ по опытнымъ даннымъ. Онъ въ среднемъ составляетъ:

13,5 — для насыщеннаго пара и простой машины,

11,0 — для насыщеннаго пара и машины компаундъ,

8,0 — для перегрѣтаго пара и простой машины,

7,5 — для перегрѣтаго пара и машины компаундъ,

4,5 — 5,0 для перегрѣтаго пара и паровой турбины съ конденсаціей отработаннаго пара,

$Z_i$  ( $kg$ ) — сила тяги паровоза при скорости  $V_i$  на подъемѣ.

Расходъ топлива въ  $kg$ . на 1 поѣздо-километръ  $B_1$  въ видѣ

$$B_1 = bafW_i \frac{Z_i}{270} \cdot \frac{(i - i_0)}{\eta_k h_u},$$

гдѣ дополнительно обозначаемъ:

$b$  — практической коэффиціентъ, учитывающій расходъ извѣстнаго количества воды въ холодномъ и горячемъ видѣ (а не въ видѣ пара), напр., на поливку угля, потерю инжекторами и пр. Въ среднемъ можно принимать  $b \cong 0,9$ .

$i - i_0$  —  $\left(\frac{kcal}{kg}\right)$  — количество калорій, необходимое для полученія одного  $kg$ . рабочаго пара изъ питательной воды съ теплотою  $i_0$  (температурою  $t_0$ ). Въ паровозахъ съ подогревателями



питательной воды  $i_0$  измѣряется послѣ подогревателя.

$\eta_k$  — полезное дѣйствіе котла, которое можно въ среднемъ принимать (съ резервомъ) около 0,5 — для форсированной работы котла и 0,6 — для нормальной работы. Для механическаго отопленія нефтью или угольной пылью значенія  $\eta_k$  приблизительно на 20—25% выше указанныхъ.

$h_u = \left( \frac{kcal}{kg} \right)$  — нижняя граница теплотворной способности топлива на основаніи колориметрической пробы топлива.

Величина  $\frac{W_i (i - i_0)}{\eta_k h_u} = B_i$  есть средній расходъ угля въ

$kg$  на 1 л.с.-часъ. Для нормальнаго угля съ  $h_u = 7500 \left( \frac{kcal}{kg} \right)$

величину  $B_i$  можно принимать <sup>4)</sup>:

$B_i = 1,8$	( $kg$ /л.с.-часъ)	для насыщеннаго пара и простой машины,
1,5	„	для насыщеннаго пара и машины компаундъ,
1,42	„	для перегрѣтаго пара и простой машины,
1,37	„	для перегрѣтаго пара и машины компаундъ,
1,2	„	для перегрѣтаго пара, простой машины, котель съ подогревателемъ питательной воды,
0,69	„	перегрѣтый паръ, паровая турбина съ конденсаціей, котель съ подогревомъ питательной воды.

Введя обозначенія  $B_i$ , имѣемъ для  $B_i$  выраженіе

$$B_i = b a f B_i \frac{Z_i}{270} \quad (6)$$

Такъ какъ длина линіи для преодоленія высоты 100 м. равна  $l_i = \frac{100}{S}$ , сила тяги при равномерномъ движеніи равна сопротивленію поѣзда, т. е.  $Z_i = (L + Q)(w_0 + S)$  и наконецъ коэффициентъ  $f = nS$ , то очевидно, что годовая стоимость

<sup>4)</sup> Dr. Ing. E. Metzeltin: Die Dampflokomotive der Gegenwart (Vortrag am 15-16-IV 1923 gelegentlich des IV Hannoverschen Hochschultagen) — Hanomag — Nachrichten 1923, Heft 123, S. 5.

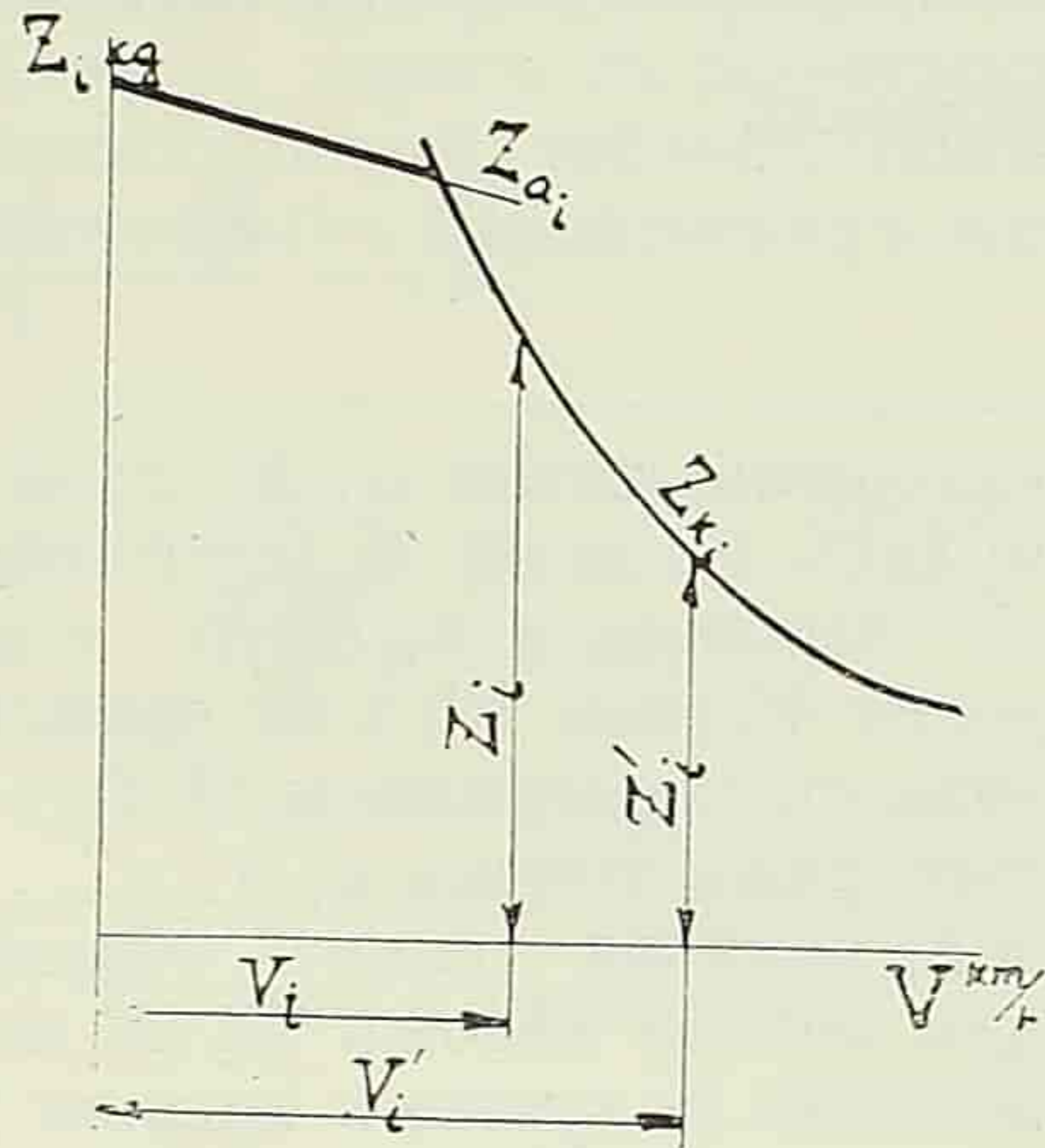


топлива (при  $n$  поѣздахъ въ годъ и стоимости единицы вѣса топлива  $K$ ) приводится къ виду

$$B = N + CS \tag{2}$$

которымъ мы и пользовались въ отд. (I) при изученіи основаній метода.

Когда намъ дана тяговая характеристика паровоза <sup>5)</sup> (фигура 5), то пользуясь ею и формулою (6) можно построить кривыя расхода топлива на 1 поѣздо-километръ (фиг. 6) для различныхъ составовъ поѣзда  $Q_1, Q_2, Q_3$  и т. д. въ функціи подъема  $S$ . Эти кривыя и служатъ намъ какъ основаніе для практическихъ расчетовъ топлива. Способъ построения этихъ кривыхъ расхода топлива нижеслѣдующій:

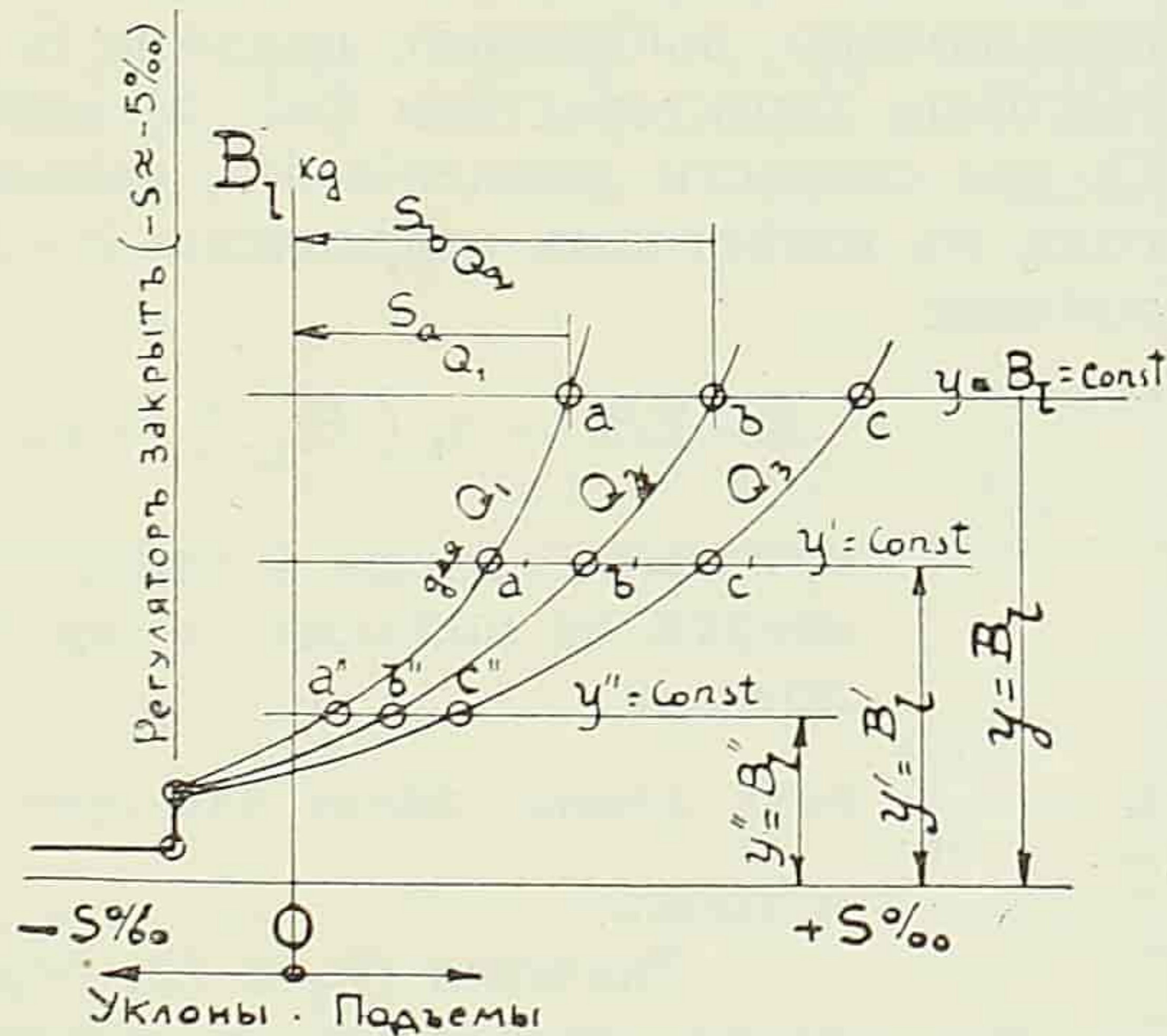


Фиг. 5.

Задаемся скоростью движенія на подъемѣ (наиболѣе тяжеломъ для даннаго состава поѣзда)  $V_i$ . Возьмемъ напр.  $V_i = 15 \frac{km}{h}$ . Изъ тяговой характеристики паровоза (фиг. 5) беремъ соотвѣтствующую

силу тяги  $Z_i$  и по ней по формулѣ (6) вычисляемъ расходъ топлива  $B_1 = baf_{vi} B_i \frac{Z_i}{270} = \text{const}$ . Проводимъ на фигурѣ 6 горизонталь  $y = B_1$ . Задаемся послѣдовательно составами поѣзда (вѣсь вагоновъ)  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$  и находимъ соотвѣтствующіе имъ подъемы по формулѣ

$$S_i = \frac{Z_i - Lw_L - Q_i w_Q}{L + Q} \tag{7}$$



Фиг. 6.

<sup>5)</sup> О составленіи тяговой характеристики паровоза см: W. F a r m a k o v s k y. Die betriebswirtschaftlichste Arbeitslage des Lokomotivkessels — „Glaser's Annalen“, 1930 № 1281, S. 115.



Такимъ образомъ получаютъ послѣдовательно точки графика  $a, b, c, d \dots$

Задаемъ дальше произвольной скоростью  $V'_i > V_i$ , находимъ на фиг. 5 соответствующую силу тяги  $Z'_i$ , далѣе вычисляемъ соответствующее  $B'_i = baf_{v'_i} B_i \frac{Z'_i}{270} = \text{const}$  по формулѣ

$$S'_i = \frac{Z'_i - Lw'_L - Q_i w'_Q}{L + Q} \quad (8)$$

находимъ точки  $a', b', c', d' \dots$  на прямой  $y = B'_i$ . Въ формулахъ (7) и (8)  $w_L$  ( $kg/t$ ) обозначаетъ удѣльное сопротивление паровоза и  $w_Q$  ( $kg/t$ ) — вагоновъ, то и другое при скорости  $V_i$  (или  $V'_i$ ) на прямой горизонтали.  $L$  ( $t$ ) вѣсъ паровоза съ тендеромъ и  $Q$  ( $t$ ) — вѣсъ вагоновъ. Получивъ цѣлый рядъ точекъ  $a, a', a'' \dots$  соединяемъ ихъ плавной кривой, получая такимъ образомъ кривую расхода топлива  $B_1$  для поѣзда вѣсомъ  $Q_1$  ( $t$ ) какъ функцію подъема  $S^0/_{00}$ . Аналогично получаемъ кривыя  $B_1$  для составовъ  $Q_2, Q_3 \dots$ . Эти кривыя мы и используемъ для расчета годового расхода топлива, который производится по данной пропускной способности дороги такъ:

Если намъ дано, что наша линія должна пропускать въ направленіи вверхъ  $P_1$  брутто-тоннъ въ годъ, а въ направленіи обратномъ  $P_2$  бр.-тоннъ въ годъ, то, принимая для каждаго, произвольно выбраннаго подъема  $S_i$  и для даннаго паровоза (тяговыя характеристики фиг. 5) наибольшей составъ поѣзда  $Q_i$  при скорости движенія  $V_i$ , находимъ число поѣздовъ въ годъ въ извѣстномъ направленіи  $n = P_1/Q_i$  и по нему расходъ топлива

$$B = \Sigma B_1 = n_1 ( B_{l_1} \cdot l_i ) + n_2 ( B_{l_2} \cdot l_i ) \quad (8)$$

причемъ значекъ 1 относится къ движенію поѣзда вверхъ на подъемъ, а значекъ 2 — внизъ подъ уклонъ, а

$l_i = \frac{100}{S_i}$  есть длина линіи для преодоленія высоты въ 100 метровъ.

Значенія  $B_{l_1}$  и  $B_{l_2}$  беремъ для соответствующихъ подъемовъ  $S_i$  и составовъ  $Q_i$  изъ графика фиг. 6.

Когда расходъ топлива  $B$  опредѣленъ, то не представляетъ затрудненія построение кривыхъ  $K \cdot B/\epsilon_1$  и  $K \cdot B/\epsilon_2$  — годовыхъ расходовъ транспорта, если намъ извѣстны значенія  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  (гдѣ  $K$  стоимость вѣсовой единицы топлива).



IV. Выборъ граничныхъ значеній  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  для отношенія  $\epsilon$ .

Значенія  $\epsilon_1$  — [минимальное] — и  $\epsilon_2$  [максимальное] — отношенія годовыхъ расходовъ на уголь къ годовымъ расходамъ транспорта могутъ быть выбраны изъ разсмотрѣннѣ статистическихъ данныхъ для желѣзныхъ дорогъ съ развитымъ и слабымъ движеніемъ. Въ нижеслѣдующей таблицѣ помѣщены данныя о расходахъ на нѣкоторыхъ Европейскихъ желѣзныхъ дорогахъ<sup>6)</sup>.

Желѣзныя дороги въ	Югославіи	Чехословакии	Польшѣ	Франціи (каз. ж. дороги)	Швейцаріи
Годы:	1924	1922	1925	1925	1922
Расходы:	въ ‰ общего расхода				
1. Расходы Центрального управлен.	3,94	4,02	9,90	10,41	2,29
2. Служба движенія.	16,49	23,38	23,60	33,65	32,24
3. Служба тяги.	54,18	45,24	43,10	41,31	46,51
4. Служба пути.	19,14	15,52	16,70	15,54	12,64
5. Разные расходы.	6,25	11,84	6,20	0,09	6,32
Расходы на топливо составляютъ ‰ отъ всѣхъ расходовъ.	18,0	15,0	14,4	13,7	15,5
Расходы на топливо составляютъ ‰ отъ расходовъ транспорта (выключена графа 1 общихъ расходовъ). 100 $\epsilon$ =	18,8	15,7	15,5	15,3	15,8

Расходы на топливо въ вышеприведенной таблицѣ мы приняли генерально какъ  $\frac{1}{3}$  отъ расходовъ на службу тяги

<sup>6)</sup> Таблица эта въ пп. 1—5 заимствована изъ книги: „Статистика желѣзница Краљевине Срба, Хрвата и Словенаца у експлоатацији Министарства Саобраћаја за годину 1924“. Суботица, 1927. Стр. 40—41.



согласно указаніямъ американской и европейской практики <sup>7)</sup> ибо, къ сожалѣнію, мы не имѣемъ подъ руками другихъ обработанныхъ надлежащимъ образомъ статистическихъ данныхъ.

Расходы Центрального Управленія должны быть исключены изъ разсмотрѣнія, ибо, какъ было замѣчено, они отпадаютъ изъ разсмотрѣнія, какъ не вліяющіе на положеніе минимума кривой годовыхъ расходовъ въ функціи подъема  $S^0/_{00}$ . Послѣ принятія этого во вниманіе получается послѣдній горизонтальный рядъ нашей таблицы, показывающей, что  $\epsilon$  лежитъ въ предѣлахъ отъ  $\epsilon_1 = 0,153$  (Франція) до  $\epsilon_2 = 0,188$  (Югославія). Эти цифры однако должны быть уменьшены примѣрно на 25%, ибо въ вышеприведенной таблицѣ не приняты во вниманіе расходы службы капитала въ отношеніи паровозовъ и подвижного состава и, кромѣ того, въ ней не выдѣленъ расходъ на топливо, на маневренную службу, мастерскія и водокачки. Послѣ этой поправки съ достаточной степенью вѣроятности можемъ принять  $\epsilon_1 = 0,115$  (Франція) и  $\epsilon_2 = 0,141$  (Югославія). По другимъ статистическимъ даннымъ <sup>8)</sup> для Польскихъ желѣзныхъ дорогъ  $\epsilon = 0,1$ .

Посмотримъ еще, какъ обстоитъ дѣло на наиболее интенсивной континентально-европейской желѣзно-дорожной сѣти—Германскихъ государств. дорогъ.

На германскихъ дорогахъ по статистикѣ за 1927 годъ <sup>9)</sup> расходы на топливо составляли 23,2% отъ всѣхъ расходовъ паровозной службы, принимая во вниманіе и расходы службы капитала въ отношеніи локомотивовъ (18,7%) и устройствъ по обслуживанію локомотивовъ (8,7%). Въ свою очередь расходы паровозной службы составляютъ по даннымъ Fuchs'a 30% отъ всего бюджета расходовъ германскихъ дорогъ, и такимъ образомъ расходы на топливо составляютъ  $\approx 7,0\%$  отъ всѣхъ расходовъ. Отбрасывая  $\approx 10\%$  на расходы Центрального Управленія, получаемъ, что расходы на топливо составляютъ около 7,8%. Такимъ образомъ для германскихъ желѣзныхъ дорогъ получаемъ вѣроятное наименьшее значеніе  $\epsilon_1 = 0,078$ . Столь низкое значеніе  $\epsilon_1$  здѣсь, повидимому, объясняется тѣмъ, что въ общихъ расходахъ предвидены и расходы службы капитала въ отношеніи пути и сооружений, чего

7) По даннымъ D-r. Ing. E. Metzeltin'a (Hanomag-Nachrichten 1923, Heft 123: Die Dampflokomotive der Gegenwart) изъ расходовъ службы тяги падаетъ около  $\frac{1}{3}$  на топливо,  $\frac{1}{3}$  на возобновленіе и ремонтъ и  $\frac{1}{3}$  на персоналъ. Такое раздѣленіе вполне отвѣчаетъ американской практикѣ, а также даннымъ для германскихъ ж. д. и для генерального рѣшенія задачи можетъ быть въ первомъ приближеніи распространено и на другія ж. д.

8) Die Locomotive, 1927, стр. 136.

9) Zweite Weltkraftkonferenz 1930. Sektion 26, Bericht № 19 „Die wirtschaftliche Entwicklung der Dampflokomotiveu bei der Deutschen Reichsbahn“. A. Die Entwicklung des Dampflokomotivparks der D. R., bearbeitet vom Reichsbahndirektor Fuchs, S. 2.



нѣтъ въ статистикѣ другихъ странъ и каковой расходъ мы при рѣшеніи задачи выдѣляли въ особую группу „расходовъ службы капитала“. Что это такъ, подтверждаетъ слѣдующее вычисленіе, сдѣланное на основаніи другого источника<sup>10)</sup>. По этимъ другимъ даннымъ расходъ на всѣ эксплуатационные матеріалы составляетъ около 20% всѣхъ расходовъ транспорта, куда отнесены (стр. 3) расходы на персоналъ всѣхъ службъ, расходы на матеріалы, расходы по содержанию пути и сооружений и по содержанию и ремонту подвижного состава. Цифра 20% должна быть уменьшена на около 25%, какъ это мы дѣлали раньше по отношенію къ другимъ странамъ, если учесть расходы службы капитала въ отношеніи подвижного состава въ числѣ расходовъ транспорта, т. е. мы получаемъ 15%. Отсюда надо сбросить около 2,5 — 3% на прочіе, кромѣ топлива, матеріалы (смазочные и обтирочные матеріалы и вода), т. е. окончательно имѣемъ  $\epsilon_1 \cong 0,13$ . Это значеніе достаточно хорошо согласуется съ данными, полученными нами для другихъ европейскихъ желѣзныхъ дорогъ.

На основаніи всего вышеизложеннаго мы съ большой степенью запаса можемъ принять какъ крайнія границы для значенія  $\epsilon$  слѣдующія данныя:

*для желѣзныхъ дорогъ съ очень развитымъ движеніемъ...*  
 $\epsilon_1 = 0,07$  и

*желѣзныхъ дорогъ съ очень слабо развитымъ движеніемъ...*  $\epsilon_2 = 0,20$ .

Эти значенія  $\epsilon$  охватываютъ такимъ образомъ почти всѣ возможные въ практикѣ случаи и въ то же время даютъ для значенія наивыгоднѣйшаго подъема  $S_{II}$  ‰ узкія границы, различающіяся не болѣе чѣмъ на 2 — 3 ‰, въ чемъ мы могли неоднократно убѣдиться при нашихъ работахъ въ Дирекціи по постройкѣ новыхъ желѣзныхъ дорогъ въ Югославіи, напри- мѣръ, для новаго перевальнаго участка линіи Сараево-Мостаръ, линіи Бѣлградъ-Обреновацъ и мн. др. Исслѣдованія помощью нашего метода показали между прочимъ, что типъ паровоза, а именно его *сцѣпной вѣсъ*  $L_a$  играетъ весьма значительную роль въ опредѣленіи наивыгоднѣйшаго подъема  $S_{II}$ . Наприм., въ одномъ конкретномъ случаѣ, когда при заданномъ типѣ паровоза со сцѣпнымъ вѣсомъ  $L_a = 80t$  мы получили наивыгоднѣйшій подъемъ въ границахъ  $S_{II} = 16 — 18 ‰$ , при предположеніи эксплуатации того же участка паровозами болѣе слабого типа, со сцѣпнымъ вѣсомъ  $L_a = 42t$  значеніе наивыгоднѣйшаго подъема получилось равнымъ только  $S_{II} = 13 — 14 ‰$ .

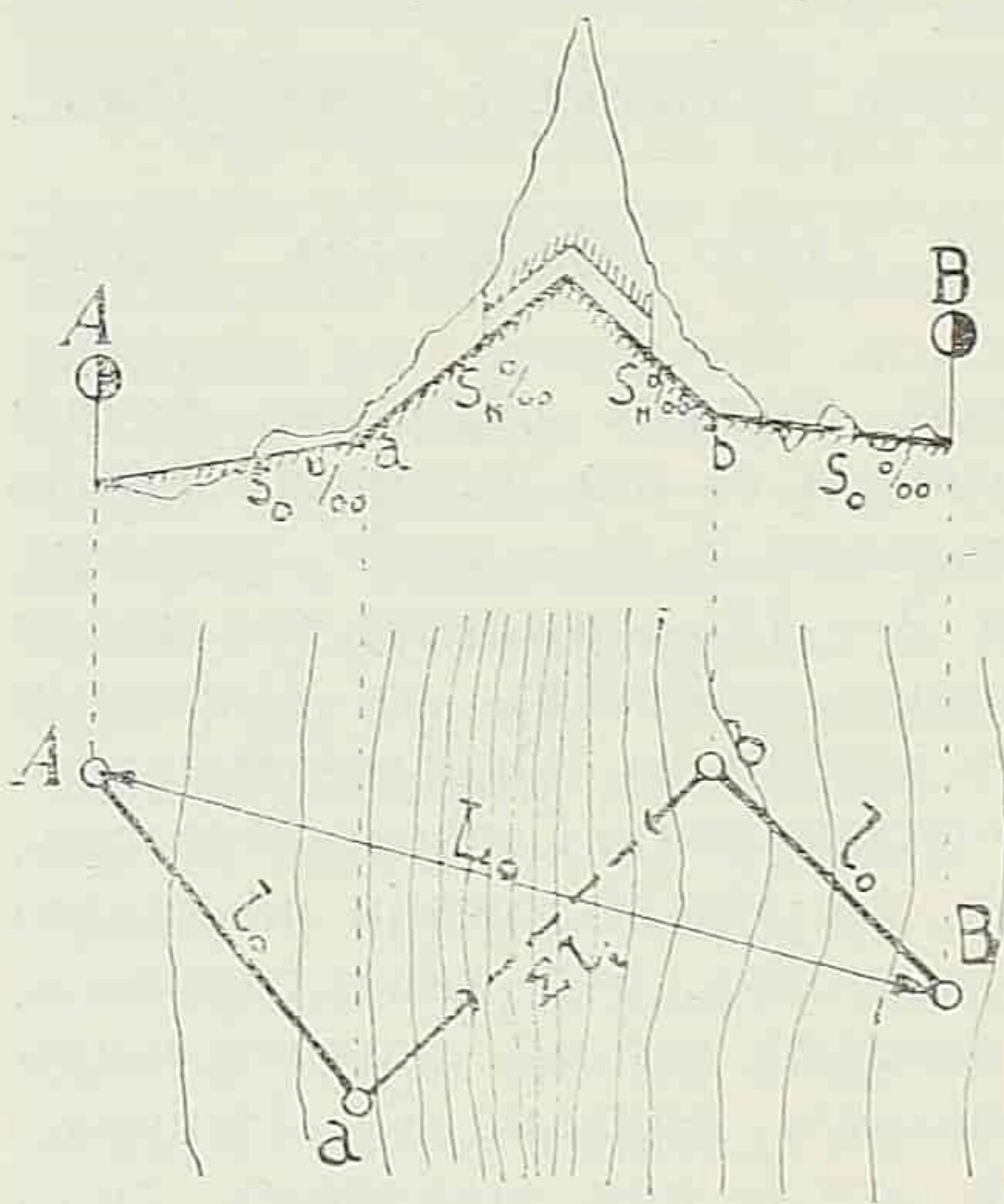
<sup>10)</sup> Capelle, D-r Ing. A. Baumann, D-r Ing. R. Feindler Zugbildungskosten, Zugförderungskosten und ihre Wechselbeziehungen. Berlin 1920 (Sonderdruck aus der „Verkehrstechnische Woche“, 23 Jahrgang, Hefte 23 — 26, 40 — 47 и 49 — 50), Стр. 142 и 3.



Нашъ выводъ, совпадающій въ этомъ случаѣ и съ теоріей проф. Petersen'a, тотъ, что для тяги поѣздовъ на перевальныхъ тяговыхъ участкахъ слѣдуетъ примѣнять возможно болѣе тяжелые танкъ-паровозы со вѣсьми спаренными осями. Особо пригодными являются въ этомъ случаѣ паровозы типа *Garrott* и его модификаціи. Примѣненіе двойной тяги невыгодно и въ техническомъ и въ коммерческомъ смыслѣ и должно быть ограничено исключительными случаями, какъ напр. употребленіе второго паровоза — толкача на короткомъ подъемѣ вблизи станціи, на которой имѣются маневренные паровозы, которые и могутъ быть съ выгодой использованы какъ толкачи безъ замѣтнаго нарушенія ихъ нормальной маневровой работы и гдѣ такимъ образомъ примѣненіе двойной тяги можетъ дать выгоду и въ смыслѣ сокращенія расходовъ по постройкѣ дороги и въ смыслѣ эксплуатаціонныхъ расходовъ.

V. Случай тягового участка переменнаго профиля.

Для рѣшенія этой задачи въ общемъ видѣ данъ на



Фиг. 7.

фиг. 7 тяговымъ участкомъ въ планѣ и профилѣ *AB*. Этотъ участокъ состоитъ изъ перевальной части *ab* и подходовъ *Aa* и *bB*, которые спроектированы или какъ горизонтали, или какъ „безвредные“ подъемы, т. е. подъемы не выше 4 — 5‰, на которыхъ при движеніи поѣзда внизъ не приходится прибѣгать къ затратѣ механической работы на уменьшеніе скорости помощью тормозовъ.

Въ этомъ случаѣ уравненіе (5) приметъ видъ

$$A = a (\sum D_{i_0} l_0 + \sum D_i l_i + D_0) \quad (10)$$

гдѣ  $D_{i_0}$  — стоимость постройки одного километра подходовъ,

$D_i$  — стоимость постройки одного километра перевальнаго участка, а

$\sum l_0$  и  $\sum l_i$  — соответственные длины участковъ.

Расходъ топлива  $B$  вмѣсто уравненія (9) долженъ быть соответственно выраженъ уравненіемъ

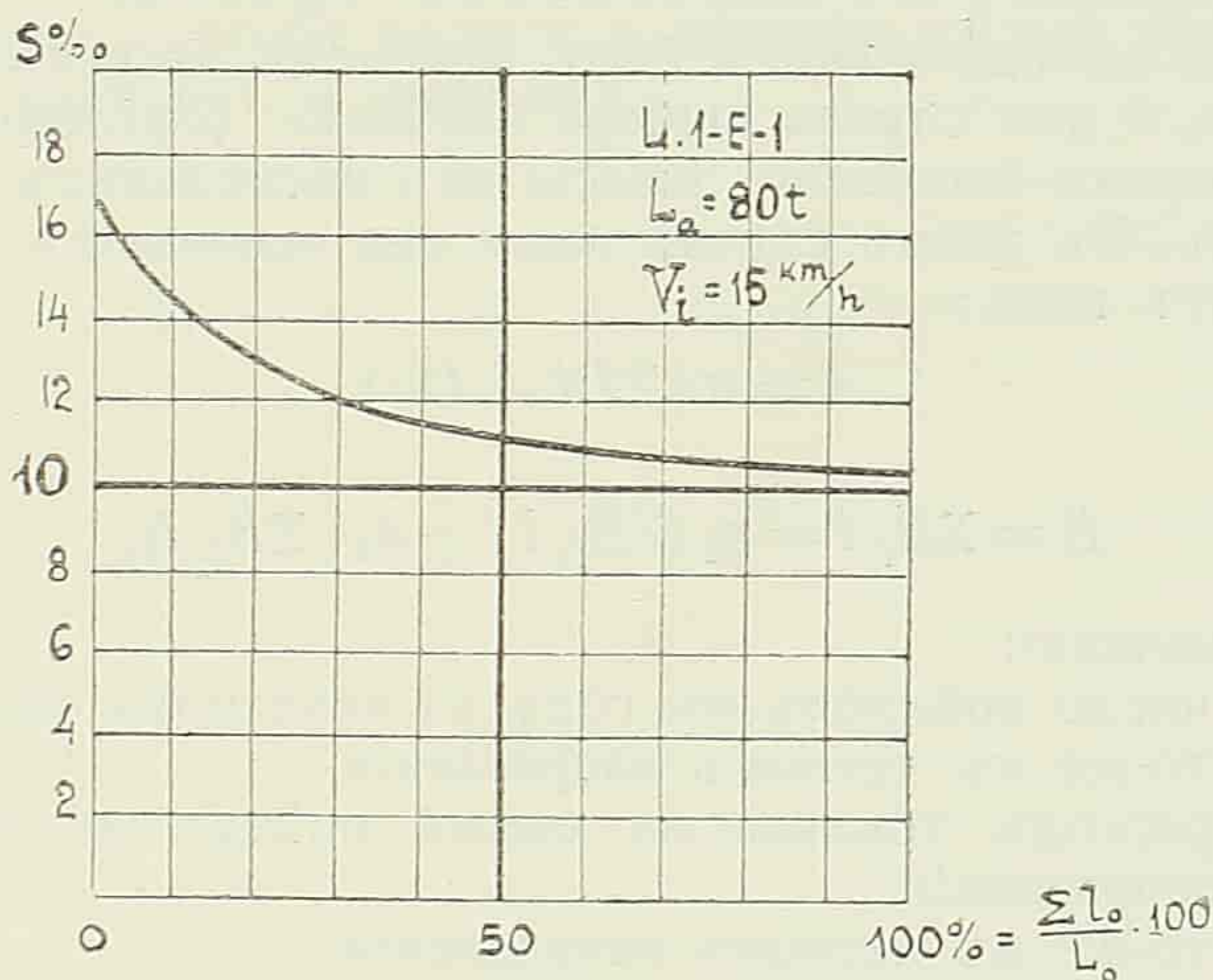


$$B = \Sigma B_l = n_1 (\Sigma B_{l_0} l_0 + \Sigma B_{l_i} l_i) + n_2 (\Sigma B_{l_0} l_0 + \Sigma B_{l_i} l_i) \quad (11)$$

Изслѣдованіе конкретныхъ задачъ помощью нашего метода показываетъ, что въ этомъ случаѣ, т. к. мы имѣемъ одинъ тяговой участокъ, то уменьшеніе вѣса поѣзда  $Q$  вслѣдствіе увеличенія подъема  $S$  на перевалѣ вызываетъ ухудшеніе условій использованія паровоза на подходахъ профиля  $S_0$  и при этомъ результатъ тѣмъ замѣтнѣе, чѣмъ длина подходовъ  $\Sigma l_0$  процентуально больше по отношенію къ разстоянію между точками  $A$  и  $B$  по горизонтали. Поэтому, при короткихъ подходахъ имѣемъ большее значеніе наивыгоднѣйшаго подъема  $S_n$ , а наибольшее — получаемъ для чисто перевальнаго участка, когда  $\Sigma l_0 = 0$ , т. е. когда

$$\frac{\Sigma l_0}{L_0} \cdot 100 = 0\%. \text{ Фиг. 8 воспроизводитъ измѣненіе } S_n \text{ ‰}_{00}$$

какъ функцію отъ  $\frac{\Sigma l_0}{L_0} \cdot 100$ , подсчитанное для паровоза типа 1—E—1 со сѣпнымъ вѣсомъ  $L_a = 80t$  и для случая скорости на подъемѣ  $V_i = 15 \text{ км/ч}$ . Разсмотрѣніе этого графика при-



Фиг. 8.

водитъ насъ къ заключенію, что для тягового участка съ переменнымъ профилемъ и съ явнымъ преобладаніемъ нулевыхъ участковъ (или безвредныхъ подъемовъ) значеніе наивыгоднѣйшаго подъема есть то, которое при движеніи поѣзда съ наименьшей допустимой скоростью  $V_i$  на перевальномъ подъемѣ не ограничиваетъ еще вѣса поѣзда  $Qt$ , вычисленнаго по силѣ тяги паровоза и допускаемой скорости движенія на безвредномъ подъемѣ (4—5‰), на примѣръ, для паровоза со сѣпнымъ



вѣсомъ  $La = 80t$  получаемъ  $Q = 1000t$  при скорости движенія около 30 км/ч. Со скоростью  $V_i = 15$  км/ч, которую мы принимаемъ какъ наименьшую допустимую на наиболѣе тяжеломъ подъемѣ, мы этотъ составъ можемъ еще тащить на подъемъ  $S_{ii} = 11\%$ , который и является наивыгоднѣйшимъ. Дальнѣйшее увеличеніе подъема (скажемъ до  $14\%$ ) значительно уменьшило бы составъ  $Q^{11}$ ) и паровозъ не былъ бы въ тяговомъ смыслѣ достаточно использованъ на легкихъ частяхъ профиля; кромѣ того это создало бы при данной пропускной способности необходимость назначенія бѣльшого числа поѣздовъ, т. е. и усиленные расходы на персоналъ, маневровую службу и вызвало бы еще и другіе расходы, связанные съ увеличеніемъ персонала, напр. необходимость бѣльшихъ зданій для депо, для дежурныхъ бригадъ и т. п. Все это справедливо, если легкіе участки составляютъ выше  $50\%$  отъ  $L_0$ . При преобладаніи же участковъ съ болѣе тяжелыми подъемами неблагоприятное вліяніе горизонталей и легкихъ участковъ уменьшается и значеніе наивыгоднѣйшаго подъема  $S_{ii} \%$  увеличивается. При тяговомъ участкѣ, гдѣ  $\Sigma l_0 = 0$ , мы получаемъ нашу первую основную задачу.

#### VI. Сравненіе вариантовъ трассъ.

Нашъ методъ можетъ быть, наконецъ, съ успѣхомъ употребляемъ и для случая выбора наиболѣе благоприятной въ коммерческомъ отношеніи трассы изъ нѣсколькихъ спроектированныхъ. Въ этомъ случаѣ наши два основныхъ уравненія принимаютъ видъ:

$$A = a (\Sigma D l + D_0) \quad (12)$$

и

$$B = \Sigma B_l l = n_1 (\Sigma B_{l_1} l) + n_2 (\Sigma B_{l_2} l); \quad (13)$$

гдѣ обозначены:

$n_1$  — число поѣздовъ въ годъ въ нечетномъ направленіи,

$n_2$  — то-же въ четномъ направленіи,

$\Sigma B_{l_1} l$  — расходъ топлива на одинъ поѣздъ въ нечетномъ направленіи,

$\Sigma B_{l_2} l$  — то-же въ четномъ направленіи,

причемъ та трасса можетъ быть признана наивыгоднѣйшей въ коммерческомъ смыслѣ, которая даетъ сумму

$$A + B/\epsilon$$

наименьшую. При этомъ для всѣхъ подсчетовъ мы задержи-

<sup>11)</sup> Напр., для паровоза типа 1-D-O сербскихъ желѣзныхъ дорогъ со сѣпнымъ вѣсомъ около  $65t$ , вѣсъ поѣзда при скорости  $V_i = 15$  км/часъ на подъемѣ  $11\%$  составляетъ  $Q_{11} = 530t$ , а на подъемѣ  $14\%$  всего  $Q_{14} = 400t$ , т. е. на  $26\%$  меньше.



ваемъ въ этомъ случаѣ постоянное значеніе  $\epsilon$ , выбираемое по соображеніямъ, изложеннымъ въ отд. IV въ границахъ между  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ , ибо 1) обычно сравниваются трассы дороги, для которой мы заранее можемъ установить, будетъ ли она принадлежать къ числу линій съ сильнымъ или слабымъ движеніемъ и 2) мы предполагаемъ, что эксплуатаціонные расходы для двухъ или нѣсколькихъ сравниваемыхъ вариантовъ дороги, будутъ находиться въ одинаковыхъ соотношеніяхъ къ расходу на топливо. Последнее не всегда вѣрно, наприм., для случая когда сравнивается перевальный вариантъ съ обходнымъ равниннымъ и т. п. Въ этихъ случаяхъ для перевальнаго варианта (большія  $S^0/_{00}$ ) отношеніе  $\epsilon$  больше (см. фиг. 2), чѣмъ для равниннаго. Это обстоятельство можно будетъ учитывать съ достаточной для практики точностью лишь тогда, когда мы будемъ располагать статистическимъ матеріаломъ, обработаннымъ соответствующимъ образомъ, т. е. когда мы сможемъ построить достаточно точно кривую  $\epsilon = \varphi(S^0/_{00})$ .

Въ заключеніе нашей работы считаю долгомъ принести мою сердечную благодарность профессору Рышкову, посвятившему не мало труда и времени на изученіе въ деталяхъ нашего способа расчета и давшего цѣлый рядъ весьма цѣнныхъ совѣтовъ и замѣчаній.







Н. П. Абакумовъ.

## ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОПРАВКА ЗА ДЕФОРМАЦИЮ ЦѢПНОЙ ЛИНИИ ПРИ ИЗМѢРЕНІИ БАЗИСА ИНВАРНЫМИ ПРОВОЛОКАМИ.

Въ своемъ трудѣ: „La mesure rapide des bases géodésiques“ Benoit и Guillaume опредѣляютъ относительную поправку за деформацию цѣпной линии посредствомъ довольно сложнаго ряда. Между тѣмъ эту поправку можно получить при помощи очень простаго выраженія.

При измѣреніи базиса инварными проволоками по линии базиса, на разстояніяхъ равныхъ длинѣ проволоки разставляются треноги съ реперами. Разстоянія между отдѣльными, сосѣдними реперами измѣряются проволоками подѣленнымъ натяженіемъ (обычно 10 килогр.). Такимъ образомъ мы имѣемъ дѣло съ цѣпной линіей, уравненіе которой выражается формулой:

$$y = c \frac{e^{\frac{x}{c}} + e^{-\frac{x}{c}}}{2} - c, \quad (1)$$

гдѣ постоянная  $c$  есть натяженіе въ нижней точкѣ кривой, въ которой взято и начало координатъ. Эту постоянную  $c$  необходимо выразить въ единицахъ вѣса, принявъ за такую вѣсъ одного метра проволоки. Инварныя проволоки приготовляются съ такимъ расчетомъ, чтобы ихъ поперечное сѣченіе было равно 2,138 квадр. миллим.; а такъ какъ плотность инвара равна 8,1, то масса одного метра будетъ равна 17,3 грамма. Если обозначимъ вѣсъ одного метра проволоки  $\omega$ , а вѣсъ гири, при помощи которой натягивается проволока  $\Theta'$ , то получимъ

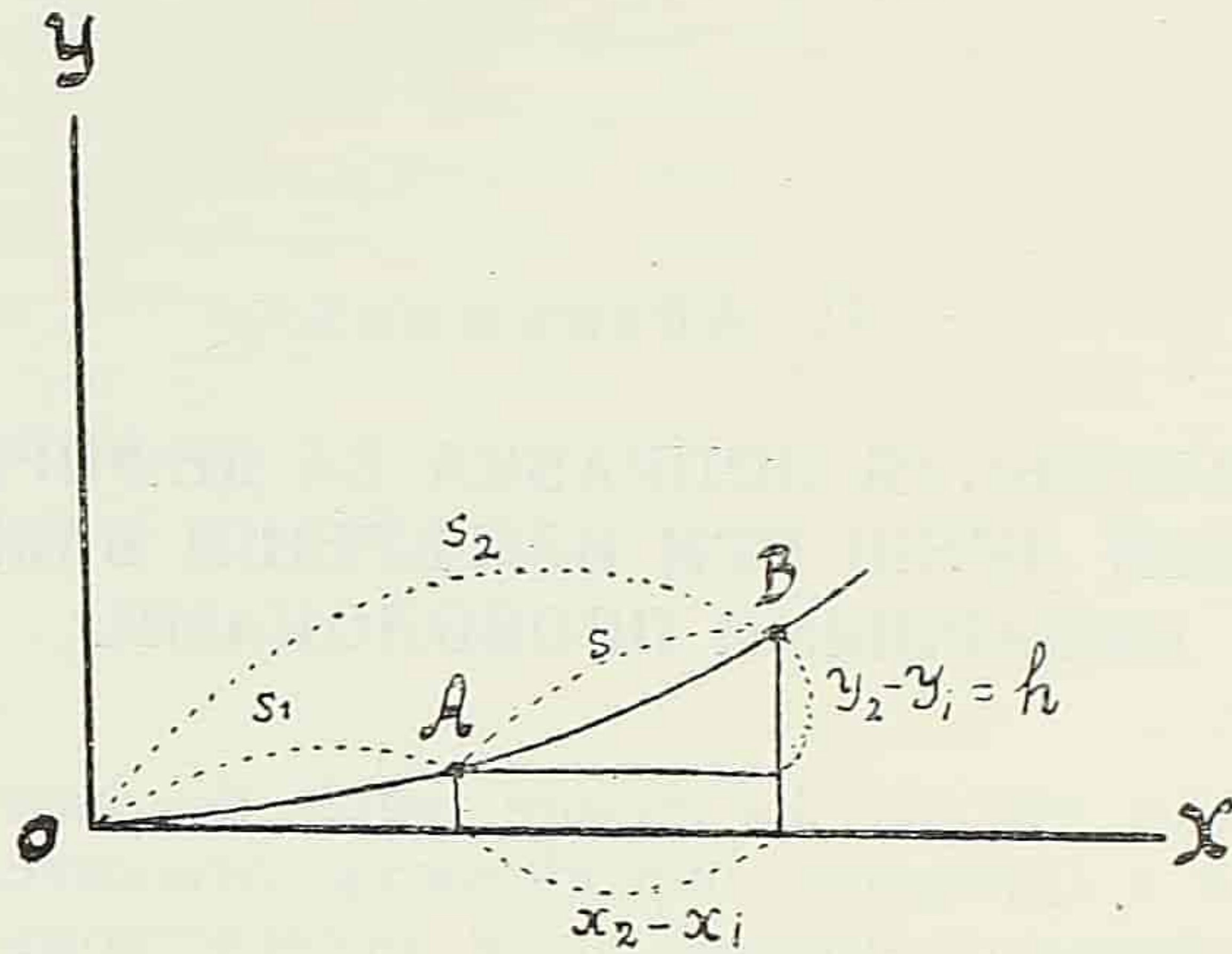
$$c = \frac{\Theta'}{\omega} = \frac{10}{0,0173} = 578,1 \text{ метр.}$$

Пусть проволока  $s = AB$  составляетъ часть цѣпной линіи



$OAB$  (черт. 1). Для насъ необходимо опредѣлить горизонтальную проекцію проволоки  $s$ , т. е. разность абсциссъ

$$x_2 - x_1.$$



Черт. 1.

Изъ теории цѣпной линіи извѣстно, что

$$x_1 = c \ln \frac{s_1 + \Theta_1}{c} \quad (2)$$

$$x_2 = c \ln \frac{s_2 + \Theta_2}{c}$$

гдѣ  $\Theta_1$  и  $\Theta_2$  — натяженія въ точкахъ  $A$  и  $B$  кривой, причемъ

$$\Theta_1 = y_1 + c \quad (3)$$

$$\Theta_2 = y_2 + c$$

$$\Theta_1^2 = s_1^2 + c^2 \quad (4)$$

$$\Theta_2^2 = s_2^2 + c^2$$

слѣдовательно

$$x_2 - x_1 = c \ln \frac{s_2 + \Theta_2}{s_1 + \Theta_1} \quad (5)$$

Преобразуемъ это выраженіе. Согласно уравн. (3)

$$\Theta_2 - \Theta_1 = y_2 - y_1 = h, \quad (6)$$

т. е. превышенію одного репера надъ другимъ.



Введемъ обозначеніе

$$\Theta_0 = \frac{\Theta_2 + \Theta_1}{2} \quad (7)$$

Слѣдовательно

$$\begin{aligned} \Theta_2 &= \Theta_0 + \frac{h}{2} \\ \Theta_1 &= \Theta_0 - \frac{h}{2} \end{aligned} \quad (8)$$

Согласно уравн. (4)

$$\Theta_2^2 - \Theta_1^2 = s_2^2 - s_1^2$$

откуда

$$s_2 + s_1 = \Theta_0 \frac{2h}{s_2 - s_1},$$

а такъ какъ

$$s_2 - s_1 = s \quad \text{длинѣ проволоки,}$$

то

$$\begin{aligned} s_2 &= \frac{s}{2} + \frac{h\Theta_0}{s} \\ s_1 &= -\frac{s}{2} + \frac{h\Theta_0}{s}. \end{aligned} \quad (9)$$

Такимъ образомъ

$$\begin{aligned} \Theta_2 + s_2 &= \Theta_0 \left( 1 + \frac{s}{2\Theta_0} \right) \left( 1 + \frac{h}{s} \right) \\ \Theta_1 + s_1 &= \Theta_0 \left( 1 - \frac{s}{2\Theta_0} \right) \left( 1 + \frac{h}{s} \right) \end{aligned}$$

Подставивъ полученныя выраженія въ уравн. (5), получимъ

$$x_2 - x_1 = c \ln \frac{1 + \frac{s}{2\Theta_0}}{1 - \frac{s}{2\Theta_0}} \quad (10)$$

это будетъ строгое выраженіе для горизонтальной проекціи проволоки. Представимъ это выраженіе въ видѣ ряда



$$x_2 - x_1 = 2c \left[ \frac{s}{2\Theta_0} + \frac{1}{3} \left( \frac{s}{2\Theta_0} \right)^3 + \frac{1}{5} \left( \frac{s}{2\Theta_0} \right)^5 + \dots \right] \quad (11)$$

Найдемъ зависимость между переменнѣй величиной  $\Theta_0$ , постоянной  $c$ , длиною проволоки  $s$  и превышеніемъ одного репера надъ другимъ  $h$ .

Согласно уравн. (4)

$$c^2 = \Theta_2^2 - s_2^2.$$

Подставивъ значенія  $\Theta_2^2$  и  $s_2^2$  изъ уравн. (8) и (9), получимъ

$$c^2 = \Theta_0^2 \left( 1 - \frac{s^2}{4\Theta_0^2} \right) \left( 1 - \frac{h^2}{s^2} \right)$$

откуда

$$\Theta_0 = c \frac{1}{\sqrt{\left( 1 - \frac{s^2}{4\Theta_0^2} \right) \left( 1 - \frac{h^2}{s^2} \right)}}$$

Введемъ обозначеніе

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{h^2}{s^2}}} = 1 + \frac{1}{2} \frac{h^2}{s^2} + \frac{3}{8} \frac{h^4}{s^4} + \frac{15}{16} \frac{h^6}{s^6} \dots \quad (12)$$

Тогда

$$\Theta_0 = c\lambda + \frac{1}{8} c\lambda \frac{s^2}{\Theta_0^2} + \frac{3}{128} c\lambda \frac{s^4}{\Theta_0^4} + \dots$$

Въ первомъ приближеніи можемъ считать

$$\Theta_0 = c\lambda + \frac{1}{8} \frac{s^2}{c\lambda}$$

$$\frac{1}{\Theta_0} = \frac{1}{c\lambda} - \frac{1}{8} \frac{s^2}{c^3\lambda^3}.$$

Если подставимъ это приближеніе во второй членъ, а въ третій членъ просто  $\frac{1}{\Theta_0} = \frac{1}{c\lambda}$ , то получимъ съ точностью до члена, въ который входитъ  $s^4$

$$\Theta_0 = c\lambda + \frac{1}{8} \frac{s^2}{c\lambda} - \frac{1}{128} \frac{s^4}{c^3\lambda^3} \quad (13)$$



На основаніи этого уравненія и уравненія (12) можемъ написать

$$\frac{1}{\Theta_0} = \frac{1}{c\lambda} \left( 1 - \frac{1}{8} \frac{s^2}{c^2\lambda^2} + \frac{3}{128} \frac{s^4}{c^4\lambda^4} \right)$$

$$\left( \frac{1}{\Theta_0} \right)^3 = \frac{1}{c^3\lambda^3} \left( 1 - \frac{3}{8} \frac{s^2}{c^2\lambda^2} \right)$$

$$\left( \frac{1}{\Theta_0} \right)^5 = \frac{1}{c^5\lambda^5}$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1 - \frac{1}{2} \frac{h^2}{s^2} - \frac{1}{8} \frac{h^4}{s^4} - \frac{1}{16} \frac{h^6}{s^6}$$

$$\left( \frac{1}{\lambda} \right)^3 = 1 - \frac{3}{2} \frac{h^2}{s^2} + \frac{3}{8} \frac{h^4}{s^4}$$

$$\left( \frac{1}{\lambda} \right)^5 = 1.$$

Подставивъ полученныя значенія въ рядъ (11) и введя обозначеніе

$$\frac{1}{2c} = a = 0,000865, \quad (14)$$

получимъ

$$\begin{aligned} x_2 - x_1 = s - \frac{1}{6} a^2 s^3 - \frac{h^2}{2s} - \frac{h^4}{8s^3} - \frac{h^6}{16s^5} + \frac{1}{4} a^2 h^2 s - \frac{1}{6} a^2 \frac{h^4}{s} + \\ + \frac{3}{40} a^4 s^5 + \dots \end{aligned} \quad (15)$$

Обычно при измѣреніи базисовъ превышенія одного репера надъ другимъ рѣдко бываетъ больше 1-го метра, но если мы возьмемъ даже  $h = 2$  метра, то для 24 метровой проволоки получимъ

$$- \frac{h^6}{16s^5} = -0,5 \text{ микро на}$$

$$- \frac{1}{6} a^2 \frac{h^4}{s} = -0,1 \quad "$$

$$\frac{3}{40} a^4 s^5 = 0,3 \quad "$$

$$-0,3 \quad "$$



Слѣдовательно эти члены можемъ свободно отбросить; и для проволоки въ 24 метра уравн. (15) приметъ видъ:

$$x_2 - x_1 = s - \frac{1}{6} a^2 s^3 - \frac{h^2}{2s} - \frac{h^4}{8s^3} + \frac{1}{4} a^2 h^2 s \quad (16)$$

Если хорда проволоки находится въ горизонтальномъ положеніи, то всѣ члены съ  $h$  будутъ равны нулю. Обозначимъ для этого частнаго случая

$$x_2 - x_1 = l$$

слѣдовательно

$$l = s - \frac{1}{6} a^2 s^3.$$

Во всѣхъ нашихъ выводахъ мы не приняли во вниманіе растяженіе проволоки. Какъ извѣстно это растяженіе выражается формулой

$$\Delta s = \sigma s,$$

гдѣ

$$\sigma = \frac{10}{xE} \quad (17)$$

$x$  — поперечное сѣченіе проволоки. Для нашего случая  $x = 2,138$  мм<sup>2</sup>,

$E$  — модуль упругости. Для инвара  $E = 1600$  килогр. на кв. мм.

Слѣдовательно

$$\sigma = 0.0002923.$$

Окончательная формула для частнаго случая, когда  $h = 0$ , будетъ

$$l = s - \frac{1}{6} a^2 s^3 + \sigma s; \quad (18)$$

для наклоннаго положенія проволоки

$$x_2 - x_1 = l - \frac{h^2}{2s} - \frac{h^4}{8s^3} + \frac{1}{4} a^2 h^2 s. \quad (19)$$

При внимательномъ изслѣдованіи уравненій (18) и (19) мы должны притти къ заключенію, что длина проволоки  $s$ , входящая въ первый и третій члены уравненія (18) и длина проволоки  $s$ , входящая во второй членъ уравненія (18) и въ члены съ  $h$  уравненія (19), суть различныя величины.

Назовемъ первую величину  $s_0$ , а вторую  $s$ .



$s_0$  — это истинная длина проволоки не подвергнутая еще натяженію, а

$s$  — длина проволоки подвергнутая натяженію, въ нашемъ случаѣ 10 килогр., и вліянію силы тяжести, т. е. другими словами истинная длина цѣпной линіи.

Такимъ образомъ уравненія (18) и (19) должны принять видъ:

$$l = s_0 + \sigma s_0 - \frac{1}{6} a^2 s^3 \quad (20)$$

$$x_2 - x_1 = l - \frac{h^2}{2s} - \frac{h^4}{8s^3} + \frac{1}{4} a^2 h^2 s \quad (21)$$

причемъ должно существовать уравненіе

$$s = l + \frac{1}{6} a^2 s^3 \quad (22)$$

Механики, изготовляющіе инварныя проволоки, подбираютъ истинную длину проволоки  $s_0$  съ такимъ расчетомъ, чтобы величина  $l$  (длина хорды проволоки при ея горизонтальномъ положеніи) была точно равна 24 метрамъ, 48 метр. и т. д.

Напримѣръ при  $l = 24$  метра

$$\sigma l = 7,015 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{6} a^2 l^3 = 1,723 \text{ mm},$$

слѣдовательно

$$s_0 = 24 \text{ m} - 7,015 \text{ mm} + 1,723 \text{ mm}$$

$$s = 24 \text{ m} + 1,723 \text{ mm}:$$

съ этими величинами получимъ уже точные поправочные члены

$$\sigma s_0 = 7,014 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{6} a^2 s^3 = 1,724 \text{ mm},$$

т. е. почти тѣ же, что и по приближеннымъ формуламъ.

Подставляя въ уравненіе (21) значеніе  $s$  изъ уравненія (22), получимъ формулу для горизонтальной проекціи проволоки въ такомъ видѣ:



$$x_2 - x_1 = l - \frac{h^2}{2 \left( l + \frac{1}{6} a^2 s^3 \right)} - \frac{h^4}{8 \left( l + \frac{1}{6} a^2 s^3 \right)^3} +$$

$$+ \frac{1}{4} a^2 h^2 \left( l + \frac{1}{6} a^2 s^3 \right) \quad (23)$$

откуда

$$x_2 - x_1 = l - \left( \frac{h^2}{2l} + \frac{h^4}{8l^3} \right) + \frac{h^2}{2l^2} \frac{1}{6} a^2 s^3 -$$

$$- \frac{h^2}{2l^3} \left( \frac{1}{6} a^2 s^3 \right)^2 + \frac{3}{8} \frac{h^4}{l^4} \frac{1}{6} a^2 s^3 +$$

$$+ \frac{1}{4} a^2 h^2 l + \frac{1}{4} a^2 h^2 \frac{1}{6} a^2 s^3.$$

Посмотримъ величину появившихся новыхъ членовъ для  $h = 2$  метр. и для  $l = 24$  метр.

$$\frac{h^2}{2l^2} \frac{1}{6} a^2 s^3 = 6,0 \text{ микрона}$$

$$\frac{h^2}{2l^3} \left( \frac{1}{6} a^2 s^3 \right)^2 = 0,03 \quad "$$

$$\frac{1}{4} a^2 h^2 \frac{1}{6} a^2 s^3 = 0,00 \quad "$$

Слѣдовательно окажется нѣкоторое вліяніе только членъ  $\frac{h^2}{2l^2} \frac{1}{6} a^2 s^3$ , и уравненіе (23) приметъ видъ:

$$x_2 - x_1 = l - \left( \frac{h^2}{2l} + \frac{h^4}{8l^3} \right) + \frac{h^2}{2l^2} \frac{1}{6} a^2 s^3 + \frac{1}{4} a^2 h^2 l.$$

Подставляя численныя значенія величинъ  $l$  и  $\frac{1}{6} a^2 s^3$ , получимъ окончательную формулу для 24 метровой проволоки

$$x_2 - x_1 = l - \left( \frac{h^2}{48} + \frac{h^4}{110592} \right) + 0,000006 h^2, \quad (24)$$

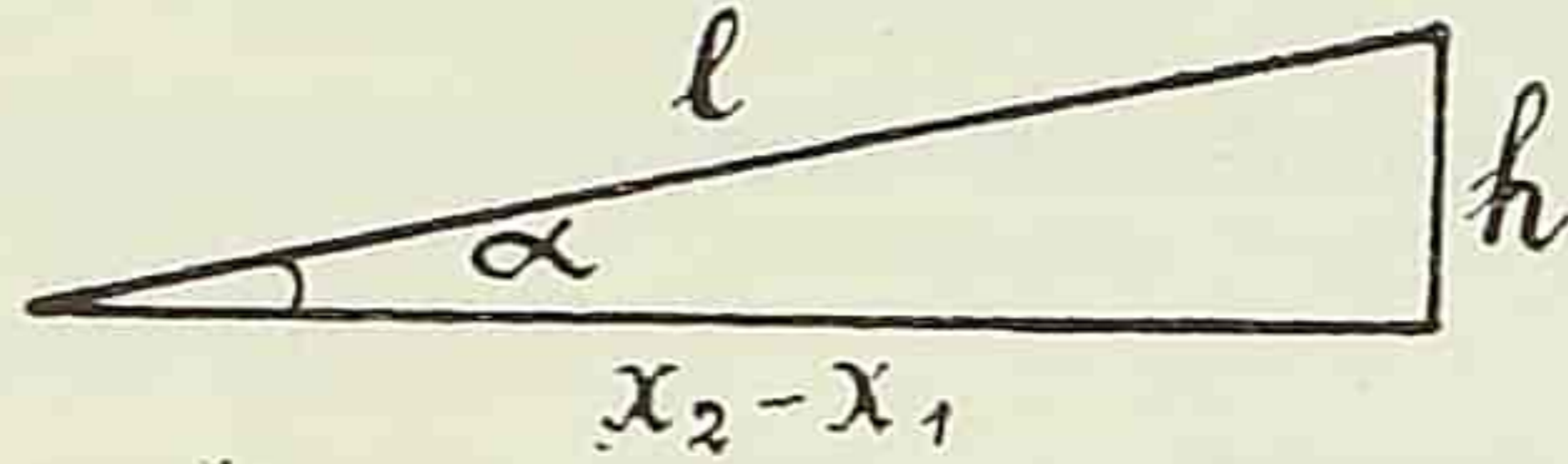
гдѣ  $l$  — длина хорды при горизонтальномъ положеніи и при натяженіи въ 10 килогр. Эта величина опредѣляется этало-



нированіемъ каждой проволоки, т. е. сравненіемъ проволоки съ нормальной мѣрой.

$\frac{h^2}{48} + \frac{h^4}{110592}$  — рядъ для разности  $l - (x_2 - x_1)$  (черт. 2). При помощи этого ряда мы получаемъ горизонтальное проложене хорды проволоки, считая ее кругло въ 24 метра.

Послѣдній членъ  $0,000006 h^2$  и получилъ въ научной геодезической литературѣ названіе „относительной поправки за деформацию цѣпной линіи“. Benoit и Guillaume



Черт. 2.

эту поправку представляютъ довольно сложнымъ рядомъ.

Директоръ интернаціональнаго бюро мѣръ и вѣсовъ Ch. Éd. Guillaume для опредѣленія редукии на горизонтъ хорды проволоки изобрѣлъ приборъ (Lunette de nivellement, описаніе котораго имѣется въ книгѣ: „La mesure rapide des bases Géodésiques“ 5-ое изд.), который опредѣляетъ непосредственно тангенсъ угла наклона хорды, т. е. угла  $\alpha$  (черт. 2).

Для случая пользованія этимъ приборомъ, разность  $x_2 - x_1$  необходимо сдѣлать функцией  $tg \alpha$ . Изъ черт. 2 мы уже видѣли, что

$$x_2 - x_1 = l \sqrt{1 - \frac{h^2}{l^2}} = l - \frac{h^2}{2l} - \frac{h^4}{8l^3},$$

съ другой стороны

$$x_2 - x_1 = l \cos \alpha = l \left( 1 - 2sn^2 \frac{\alpha}{2} \right),$$

а такъ какъ

$$sn^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{4} tg^2 \alpha - \frac{3}{16} tg^4 \alpha + \frac{5}{32} tg^6 \alpha,$$

то

$$x_2 - x_1 = l - \frac{l}{2} \left( tg^2 \alpha - \frac{3}{4} tg^4 \alpha + \frac{5}{8} tg^6 \alpha \dots \right) \quad (25)$$

по этой формулѣ вычислимъ редукию на горизонтъ.

Преобразуемъ теперь формулу для относительной поправки за деформацию цѣпной линіи, т. е. членъ  $0,000006 h^2$ .

Мы можемъ написать



$$\frac{h^4}{2l} + \frac{h^4}{2l^3} = \frac{1}{2} l \operatorname{tg}^2 \alpha - \frac{3}{8} l \operatorname{tg}^4 \alpha$$

откуда

$$h^2 = l^2 \operatorname{tg}^2 \alpha - \frac{3}{4} l^2 \operatorname{tg}^4 \alpha - \frac{1}{4} \frac{h^4}{l^2}.$$

Въ послѣдній членъ подставимъ приближительное значеніе

$$h^2 = l^2 \operatorname{tg}^2 \alpha$$

получимъ

$$h^2 = l^2 \operatorname{tg}^2 \alpha - l^2 \operatorname{tg}^4 \alpha.$$

Для  $l = 24$  метра

$$0,000006 h^2 = 0,003456 (\operatorname{tg}^2 \alpha - \operatorname{tg}^4 \alpha). \quad (26)$$

Для высотъ не превышающихъ 1 метръ, что будетъ соотвѣтствовать  $\operatorname{tg} \alpha = 0,0417$ , вполне достаточно пользоваться только первымъ членомъ

$$0,0035 \operatorname{tg}^2 \alpha.$$

Относительная поправка за деформацию цѣпной линіи становится дѣйствительной только при сравнительно большихъ высотахъ, но все же при большой длинѣ базиса эта поправка можетъ накопиться въ ощутительное число, такъ какъ она имѣетъ всегда одинъ и тотъ же знакъ, именно +.



А. А. Нилусъ.

## НАУКА И ЕЯ ПРИМѢНЕНІЕ ВЪ ВОЕННОМЪ ДѢЛѢ.

I. Вмѣсто предисловія. Одинъ изъ извѣстныхъ нашихъ военныхъ писателей, ген. Штейфонъ, въ одной изъ своихъ статей, вспомнилъ старый афоризмъ: „Прусская война была выиграна нѣмецкимъ школьнымъ учителемъ“ и прибавилъ къ этому свое заключеніе: „грядущія — будутъ выигрывать профессоръ“!

Мысль совершенно правильная, конечно, но пожалуй нѣсколько обидная для профессора, котораго замѣтили только теперь, тогда какъ не въ Прусскую только и грядущія, но всегда, во всѣхъ минувшихъ войнахъ, начиная съ древнѣйшихъ, съ тѣхъ поръ какъ зародилась военная наука и особенно когда она осложнилась употребленіемъ огнестрѣльнаго оружія, ученые всего міра помогали выигрывать войны, и не по ихъ винѣ онѣ часто проигрывались!

Подтвердить эту мысль — составляетъ одну изъ цѣлей настоящей статьи.

Но вмѣстѣ съ тѣмъ мнѣ хотѣлось бы: показать, что мощь гражданской профессуры военной наукѣ не была до сихъ поръ достаточно систематичной и организованной; попытаться привлечь и ближе приобщить ее къ военному дѣлу; указать на то важное значеніе, которое нельзя не придавать болѣе широкому участію въ немъ гражданскихъ научныхъ силъ; ближе ознакомить ихъ съ тѣми надеждами, которыя на нихъ возлагаются теперь, съ тѣмъ широкимъ полемъ ихъ возможной дѣятельности и примѣненія ихъ знанія, на которомъ они способны принести огромную пользу, незамѣнимую помощь; по возможности ослабить то слегка презрительное отношеніе, которое, что грѣха таить, проявлялось всюду, вездѣ и особенно у насъ въ Россіи, въ періоды политическихъ землетрясеній, и къ военной наукѣ, и къ военнымъ людямъ вообще, что конечно вредно отражалось на ихъ прогрессѣ, и одновременно отъ души привѣтствовать то, состоявшееся теперь объединеніе гражданскихъ и военныхъ ученыхъ въ нашемъ Научномъ Институтѣ, въ Бѣлградѣ, кото-



раго нельзя не считать дѣломъ, давно назрѣвшимъ, крайне важнымъ, интереснымъ и полезнымъ, и теперь, въ бѣженствѣ, и особенно въ будущей оскудѣвшей силами Россіи, гдѣ недостатокъ въ немъ ощущался и проявлялся всегда особенно сильно и имѣлъ своимъ естественнымъ послѣдствіемъ, если не отсталость, то нѣсколько медленное движеніе впередъ и въ военной наукѣ, и особенно въ военной техникѣ, столь тѣсно связанныхъ съ успѣхами техники вообще и съ развитіемъ всѣхъ чистыхъ и прикладныхъ наукъ.

Мы часто отставали, всегда быстро догоняли, правда, но рѣдко шли впереди другихъ!

Можетъ быть многіе съ этимъ не согласятся, обвинять меня въ недостаткѣ патриотизма (теперь принято у насъ все хвалить), поэтому для подкрѣпленія моего мнѣнія я приведу здѣсь лишь одинъ характерный историческій фактъ, на который, можетъ быть, недостаточно обращалось вниманіе.

Во всѣхъ войнахъ, веденныхъ нами съ тѣхъ поръ какъ техника начала оказывать на нихъ свое вліяніе, мы принимали участіе одновременно съ перевооруженіемъ, т. е. не будучи къ войнѣ готовыми! Перевооруженіе артиллеріею графа Шувалова въ горячій періодъ 70-хъ годовъ XVIII ст.; перевооруженіе Петровской артиллеріи по образцу Шведской („ибо артиллерію нашу непріятель назавтріе нашель“. Петръ. Нарва). Аракчеевскую — въ началѣ XIX вѣка (по образцу Грибовалая). Нарѣзнымъ ручнымъ оружіемъ и гладкостѣнными, легкими полевыми орудіями въ Севастопольскую кампанію, когда противники уже стрѣляли и изъ нарѣзныхъ ружей, и изъ нарѣзныхъ орудій. Системою 67 г. — во время Австро-Прусской войны, въ которой готовились принять участіе. Системою 77 г. — въ Турецкую войну. Системою 1900 г., едва поспѣвшею въ 1905, во время Японской войны, когда совершенно новая по принципамъ употребленія и конструкціи матеріальная часть доставлялась прямо на боевыя позиціи, и, наконецъ, — самыми разно- и много-образными иностранными системами — въ минувшую міровую войну!

Кто въ этомъ виноватъ? Несчастное ли стеченіе обстоятельствъ (слишкомъ продолжительно!); дипломатія ли, увлекающаяся преслѣдованіемъ своихъ цѣлей, не считающаяся съ состояніемъ вооруженія, которое учитывалъ однако непріятель; военные ли агенты, консула, посланники и шпіоны, которые старались всегда быть болѣе галантными, чѣмъ прозорливыми и зѣвали, какъ прозѣвали французскіе — германскую подготовку въ минувшую войну, въ чемъ французы открыто сознаются, говоря о такъ неожиданно быстро падавшихъ бельгійскихъ крѣпостяхъ, — отсутствіе ли должнаго единенія, связи и сотрудничества между гражданской и военной профессурою, гражданской и военной наукою и техни-



кою? Вѣроятно вліяло все вмѣстѣ; но намъ важно здѣсь отмѣтить, что не безъ вліянія было и послѣднее.

Попутно сдѣлаемъ изъ этого и еще одинъ выводъ, который намъ будетъ нуженъ дальше: достойно удивленія, что несмотря на вышеуказанныя неблагопріятныя условія, дѣйствія русской артиллеріи всегда были на должной высотѣ и заслуживали похвалы и удивленія (для многихъ — неожиданно) не только со стороны нашихъ профессоровъ артиллеріи (изъ патріотизма?) и нашихъ пріятелей союзниковъ (изъ вѣжливости?), но и нашихъ враговъ (несомнѣнно по опыту!), какъ въ минувшую войну — со стороны нѣмцевъ и австрійцевъ. Это какъ бы указываетъ на то, что внизу у насъ было все въ порядкѣ (училища), а что-то страдало вверху (Академія), и въ этомъ нельзя не видѣть еще одного довода въ пользу сохраненія Научнаго Института, какъ постоянного учрежденія въ будущемъ, и болѣе тѣснаго общенія гражданской и военной профессуры, особенно важной для артиллерійской науки и для артиллерійской техники, а значитъ — и практики. Поддерживающая ихъ наша „Alma mater“, Мих. Арт. Академія, была и раньше и будетъ въ грядущемъ — въ особенно затруднительномъ положеніи по отношенію къ своимъ питомцамъ.

Съ одной стороны она должна давать имъ высшее военно- и техническо-артиллерійское образованіе, содержаніе котораго и программы непрерывно растутъ и пухнутъ, и могутъ въ настоящее время, благодаря изумительнымъ успѣхамъ техники, достигнуть такихъ размѣровъ, съ которыми врядъ ли можно будетъ справиться въ прежніе 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> года и очень будетъ трудно справиться вообще.

Съ другой же стороны, Академія всегда стремилась готовить и собственныхъ своихъ будущихъ профессоровъ, специалистовъ не только по военнымъ, но даже и по чистымъ наукамъ, — задача доступная лишь для избранныхъ натуръ учащихя, а не для ихъ общей массы.

Вслѣдствіе этихъ условій, съ одной стороны, Академіи никогда не хватало своихъ военныхъ профессоровъ для чтенія лекцій и ей приходилось въ широкихъ размѣрахъ обращаться къ помощи гражданскихъ. Съ другой — послѣдніе, не будучи знакомы съ военнымъ дѣломъ и спеціальною военною техникою, хотя и приносили своимъ участіемъ несомнѣнную и неоцѣнимую пользу, но все же естественно, за отсутствіемъ военной подготовки, не могли вполнѣ согласовать содержаніе своихъ лекцій съ военными потребностями и придавать имъ необходимый спеціальныи, специфическій характеръ и колоритъ. Этого бы не было, если бы г. г. гражданскіе профессора (специалисты по математикѣ, механикѣ — практической и прикладной, — физикѣ, химіи и даже по гума-



нитарнымъ наукамъ, вродѣ психологіи...) стояли ближе съ военному, артиллерійскому дѣлу, ея наукѣ и ея техникѣ, и принимали въ ней болѣе активное участіе. Военная наука, больше чѣмъ другія, должна помнить прошлое, знать настоящее и предвидѣть будущее!

Все это имѣло свои естественныя послѣдствія и вредно отражалось на всей военно-артиллерійской подготовкѣ. Перегруженность Академіи заставляла ее перекладывать часть своихъ задачъ на Артил. Училища, особенно, на примѣръ, по отношенію къ высшей математикѣ, которая для заурядныхъ артил. строевыхъ офицеровъ должна была служить лишь общеобразовательнымъ цѣлямъ и для умственного развитія учащихся, а въ сущности служила подготовкою къ Академіи, въ которую между тѣмъ поступало едва лишь 10% училищныхъ комплексовъ (то же и по нѣкоторымъ отдѣламъ другихъ чистыхъ наукъ). Перегруженность училищъ въ свою очередь заставляла ихъ оказывать аналогичное давленіе на корпуса, которые тоже на это жаловались, хотя и уступали.

Не останавливаясь здѣсь болѣе на этомъ немаловажномъ вопросѣ, подробно изложенномъ въ моемъ трудѣ („О военномъ образованіи въ нашихъ Военно-учебныхъ заведеніяхъ“, представленномъ предсѣдателемъ Военно-Учебнаго Объединенія въ Бѣлградѣ, ген. Забѣлинымъ Е. И. В. покойному В. К. Николаю Николаевичу), такъ какъ выводы изъ сказаннаго ясны сами по себѣ, я добавлю еще только, что нельзя на малочисленныхъ военныхъ профессоровъ возлагать одновременно такія двѣ крупныя задачи, какъ профессура и участіе въ прогрессѣ техники и технического производства, каждая изъ которыхъ отдѣльно можетъ поглотить все ихъ свободное время, и обращаюсь къ основному содержанію этой статьи, въ которой разберу только одинъ отдѣлъ военной науки, наиболѣе близкой къ чистымъ, наиболѣе теоретичной и потому наиболѣе требующей помощи спеціалистовъ — а именно Балистику и при томъ только Внѣшнюю (наука о движеніи снарядовъ въ средѣ).

На этомъ примѣрѣ „pro domo sua“, надѣюсь, достаточно выяснится то, чего мы ожидаемъ и во всѣхъ другихъ многочисленныхъ отдѣлахъ общей Арт. науки и чего мы ожидаемъ вообще въ отношеніи достиженія поставленныхъ нами выше цѣлей, причѣмъ буду держаться метода историческаго, какъ наиболѣе удобнаго для рѣшенія нашей основной задачи — ознакомленія г. г. гражданскихъ профессоровъ съ нашимъ прежнимъ и настоящимъ положеніемъ дѣла, привлеченія ихъ на нашу сторону и можетъ быть возбужденія къ намъ большихъ симпатій.

2. XIII—XVI вѣка. — Источникъ и основное начало огнестрѣльнаго дѣйствія — порохъ, появившійся въ XIII в.,



не былъ изобрѣтеніемъ ни военнымъ, ни духовнымъ, какъ это многіе считаютъ и теперь, такъ какъ извѣстный монахъ, Бертольдъ Шварцъ, былъ лицомъ миѳическимъ (въ отношеніи изобрѣтенія пороха по крайней мѣрѣ, которое произошло раньше), ни Европейскимъ. Онъ былъ найденъ китайскими пастухами, разводившими свои костры на обширныхъ поляхъ Китая, изобилующихъ селитрою, выщелачивающею послѣ дождей и покрывающею землю какъ снѣгомъ.

Мирные китайцы использовали порохъ для потѣшныхъ огней; стрѣляли ли они — въ точности неизвѣстно. Повидимому, первыми это сдѣлали Арабы, народъ въ то время наиболѣе энергичный и образованный (знавшій уже, на примѣръ, телескопъ). Они первые ввезли огнестрѣльные орудія въ Европу, черезъ Испанію, и первое „научное“ извѣстіе объ этомъ имѣло, по лѣтописямъ, такую редакцію:

„При осадѣ Алжезираса (1341) — осаждающіе употребляли какія-то особыя машины, изрыгавшія огромное пламя и дымъ и производившія такой громъ, что всѣ беременныя женщины въ окрестныхъ селеніяхъ преждевременно разрѣшались отъ бремени!„

Первыя орудія, появившіяся несомнѣнно въ XIV вѣкѣ, имѣли настолько примитивную конструкцію (желѣзныя полосы, перетянутыя такими же обручами и перевитыя канатомъ), что угрожали больше стрѣляющимъ, чѣмъ обстрѣливаемымъ. Не даромъ передъ каждымъ выстрѣломъ изъ большихъ орудій осѣняли крестомъ ихъ дула, молились св. Варварѣ, покровительницѣ артиллеріи, и прятались въ вырытыя около орудій ямы.

Орудія приняла приличный видъ, когда ученые открыли литье изъ бронзы, а снаряды, грубо вытесываемые изъ камня, — когда они же открыли чугунное литье (XV в.). Никакой артил. науки конечно не существовало, пока не усвоилось книгопечатаніе. Наиболѣе учеными артиллеристами были литейщики, владѣвшіе своимъ секретомъ и передававшіе его какъ семейную тайну изъ рода въ родъ.

Вся балистика (это названіе тогда еще не было извѣстно) заключалась въ томъ, что заряженныя орудія (пушки, процессъ заряжанія которыхъ длился добрый часъ!) направлялись на непріятеля „отъ руки“ и „на глазъ“; выстрѣленное ядро летѣло, падало на землю, отскакивало, опять ударялось — это называлось „рикошетнымъ выстрѣломъ“ — потомъ катилось въ произвольномъ направленіи и, наконецъ, находило иногда своего случайнаго виновнаго (въ неосмотрительности). Наблюдавшій за заряжаніемъ непріятель, ложился на землю, когда оно приходило къ концу, выжидая выстрѣла, и затѣмъ уже спокойно шелъ на батарею, вполне беззащитную и часто переходившую поэтому изъ рукъ въ руки.



Мортиры требовали большаго искусства и свѣдѣній: ими стрѣляли навѣсно, по опредѣленной цѣли, но цѣли были велики, а дальности стрѣльбы ничтожны, такъ что никакого особеннаго прицѣливанія или какихъ бы то ни было таблицъ стрѣльбы (собрание необходимыхъ баллистическихъ данныхъ для направленія траекторіи снаряда въ опредѣленную точку) не требовалось.

Сама траекторія, еще до начала XVI в. представлялась состоящею изъ двухъ прямыхъ линій: первая, наклонная прямая, составляющая продолженіе оси канала орудія, т. е. идущая подъ угломъ возвышенія; по ней снарядъ движется такъ называемымъ: „насилъственнымъ движеніемъ“ („*motus violentus*“). Въ нѣкоторой точкѣ этой прямой снарядъ теряетъ свою скорость, она становится равной нулю (чего въ дѣйствительности никогда не бываетъ, за исключеніемъ случая стрѣльбы по вертикали вверхъ), и тогда снарядъ падаетъ внизъ по второй, уже вертикальной прямой, „движеніемъ естественнымъ“ („*motus naturalis*“)!...

3. Николай Тарталья (XVI в.). — Не можемъ не упомянуть вкратцѣ объ этомъ первомъ ученомъ математикѣ изъ Брешии (былъ бы профессоромъ, если бы тогда таковыя существовали), обратившемъ вниманіе на немочи артил. науки и искусства, попытавшемся внести въ нихъ научныя основанія и несомнѣнно положившемъ начало „новой науки“ — баллистики, какъ это ясно видно изъ оставленныхъ имъ двухъ трудовъ: „*De la nuova scienza*“ (1532) и „*Quesiti et invenzioni diversi*“ (1546).

При оцѣнкѣ дѣятельности Тартальи нельзя упускать изъ вида того, что высшимъ предѣломъ его знаній была геометрія Евклида.

Тарталья первый пришелъ къ заключенію, что скорость снаряда на полетѣ не можетъ стать нулемъ и потому ввелъ въ ея чертежъ третью среднюю часть — дугу круга, касательнаго къ вышеупомянутымъ двумъ прямымъ линіямъ, и движеніе по этой части траекторіи онъ назвалъ „*motus mixtus*“.

Только незадолго передъ своею смертью онъ пришелъ къ окончательному и правильному заключенію, что вся траекторія должна быть одною кривою линіею.

О свойствахъ этой кривой ему не было ничего извѣстно и рассчитать ея элементы онъ конечно не былъ въ состояніи. Тѣмъ не менѣе онъ сдѣлалъ попытки изслѣдовать полетъ снарядовъ, далъ объясненіе дѣйствія пороха, разобралъ и установилъ правила прицѣливанія, далъ понятіе объ устройствѣ и употребленіи квадранта — прибора, и до сихъ поръ существующаго въ болѣе совершенной конструкціи, конечно, и доказалъ (прекурьезно, но это дѣло не мѣняетъ), что наибольшая горизонтальная дальность получается при углѣ воз-



вышенія  $45^{\circ}$ , что совершенно точно для стрѣльбы въ безвоздушномъ пространствѣ и приблизительно точно для стрѣльбы въ воздухѣ (ближе къ  $43\frac{1}{2}^{\circ}$ ).

При этомъ Тарталья былъ настолько твердо убѣжденъ въ своихъ выводахъ, что принялъ вызовъ одного „старого артиллериста“, который утверждалъ, что наибольшая дальность получается при  $30^{\circ}$ ; держалъ пари и... чуть было его не проигралъ при испытаніи: снарядъ его орудія упалъ лишь немного далѣе снаряда старого артил. „потому что этотъ былъ болѣе искусенъ въ заряжаніи“.

Прообразъ того, что и въ наши дни бываетъ въ аналогичныхъ случаяхъ!

Не останавливаясь здѣсь подробно на всѣхъ его болѣе или менѣе правильныхъ заключеніяхъ и выводахъ, не можемъ не указать на его труды какъ на первый примѣръ не военного ученаго, занявшагося военною наукою и принесшаго несомнѣнную пользу артиллеріи его времени, несмотря на окружающую его темноту и предразсудки. И даже въ его собственной темнотѣ, можно часто усмотрѣть проблески истины.

Въ его книгѣ „Разные разговоры и изобрѣтенія“ встрѣчаются, на примѣръ, такіе эпизоды: какой снарядъ полетитъ далѣе, спрашиваетъ Тарталью другой артиллеристъ, первый или второй, выстрѣленный при одинаковыхъ условіяхъ? — Второй, не обинуясь отвѣчаетъ Т., потому что первому надо еще вытолкнуть воздухъ изъ канала и проложить путь въ воздухѣ для второго. Объясненіе комично, но отвѣтъ правильный (потому что первый выстрѣлъ нагрѣваетъ орудіе, что особенно замѣтно при бездымномъ порохѣ) и при томъ Т. уже придаетъ значеніе сопротивленію воздуха, дѣйствіемъ котораго пренебрегали не только при немъ, но и еще  $1\frac{1}{2}$  вѣка послѣ него. А третій? — продолжаетъ свой допросъ артиллеристъ. Третій упадетъ опять ближе, отвѣчаетъ Т., потому что орудіе при выстрѣлѣ получаетъ притягательную силу, которая задерживаетъ снарядъ; „ты въ этомъ легко можешь убѣдиться, если сейчасъ же послѣ выстрѣла прижмешься своимъ животомъ къ дулу орудія; тебя тогда — не оторвать“! Вѣроятно Т. ставилъ себѣ банки! Отвѣтъ вполне удовлетворилъ артиллериста: „Правда, разъ съ нами былъ такой случай: при выстрѣлѣ орудіе подпрыгнуло и перевернулось. Съ нами была маленькая собачка, любопытная; она подошла къ дулу лежащаго орудія, вѣроятно, чтобы понюхать дымокъ, и... на глазахъ нашихъ вдругъ исчезла!... Ее потомъ едва вытащили за хвостъ изъ канала“!

Приношу свои извиненія за эти не особенно научныя детали, но они характеризуютъ и ту обстановку, въ которой работалъ Тарталья и тотъ рѣзкій переходъ, который наступилъ уже въ слѣдующемъ вѣкѣ.



4. Галилей (XVII в.). — Отъ мрака къ свѣту. Въ своихъ извѣстныхъ „Разговорахъ“ (1638), Галилей уже открылъ законъ свободнаго паденія тѣлъ, изложилъ начала динамики и создалъ „параболическую теорію“ — законъ движенія снарядовъ въ безвоздушномъ пространствѣ, чѣмъ положилъ уже дѣйствительно научное основаніе баллистикѣ, сдѣлавшей огромный шагъ впередъ, не утратившій своего значенія и по настоящее время.

5. Торричелли — развилъ и приспособилъ параболическую теорію ко всеобщему употребленію (1641).

Этими блестящими именами — все сказано!

6. Параболическая теорія. — Она намъ будетъ нужна дальше и въ современномъ ея математическомъ видѣ состоитъ въ сущности въ слѣдующемъ:

При прямоугольныхъ координатахъ съ началомъ въ точкѣ вылета снаряда изъ дула орудія, при единственной силѣ тяжести, дѣйствующей на снарядъ, — имѣемъ дифференціальныя уравненія:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{d^2y}{dt^2} = -g;$$

Интегрируя дважды, получаемъ послѣдовательно

$$\frac{dx}{dt} = u = \text{const} = u_0 = V_0 \cos \varphi$$

(горизонтальная проекція начальной скорости снаряда  $V_0$  при углѣ возвышенія  $\varphi$  — величина постоянная).

$$\frac{dy}{dt} = -gt + \text{const} = -gt + \left(\frac{dy}{dt}\right)_0 = V_0 \sin \varphi - gt$$

( $V_0 \sin \varphi$  — вертик. проек. нач. скор. — постоянная).

$$x = V_0 t \cos \varphi; \quad y = -\frac{gt^2}{2} + V_0 t \sin \varphi.$$

Исключая отсюда время  $t$ , получаемъ уравненіе траекторіи:

$$y = x \operatorname{tg} \varphi - \frac{gx^2}{2V_0^2 \cos^2 \varphi}$$

гдѣ

$$\frac{gx^2}{2V_0^2 \cos^2 \varphi} = \frac{gt^2}{2}$$

есть пониженіе снаряда подъ продолженною осью канала орудія.



Всѣ задачи баллистики въ безвоздушномъ пространствѣ разрѣшаются такимъ образомъ изящно, просто и вполнѣ точно. Точно опредѣляются всѣ элементы траекторіи, всѣ данныя стрѣльбы и все необходимое для составленія таблицъ стрѣльбы, т. е. для разрѣшенія главной задачи баллистики, безъ какихъ бы то ни было допущеній, приближеній и гипотезъ, и если бы удалось достигнуть того же теперь, по отношенію къ дѣйствительнымъ условіямъ движенія снаряда въ воздухѣ, то намъ не оставалось бы желать ничего большаго. Къ сожалѣнію и теперь еще это далеко не такъ!

Параболическая теорія вполнѣ удовлетворила современныхъ артиллеристовъ, считавшихъ, что дѣйствіе не принятаго во вниманіе сопротивленія воздуха движенію снаряда ничтожно по сравненію съ его вѣсомъ.

Къ этому имѣлось достаточно основаній: при стрѣльбѣ изъ пушекъ, снаряды которыхъ, вслѣдствіе ихъ большой скорости и сравнительно малаго калибра, испытывали наиболѣе сильное сопротивленіе воздуха, — точность стрѣльбы (мѣткость) имѣла ничтожное значеніе, такъ какъ пушки продолжали еще стрѣлять рикошетами. При стрѣльбѣ же изъ мортиръ, которыя требовали большей точности прицѣливанія и таблицъ стрѣльбы, снаряды обладали очень малыми скоростями и большимъ вѣсомъ, т. е. летѣли при условіяхъ наиболѣе благопріятныхъ въ отношеніи дѣйствія сопротивленія воздуха, приближающихся къ движенію въ безвоздушномъ пространствѣ.

7. Ньютонъ. — Такъ продолжалось до Ньютона, впервые обратившаго вниманіе на дѣйствіе сопротивленія воздуха и не только показавшаго его истинное значеніе (*Philosophiae naturalis principia*. 1684), но доказавшаго его зависимость отъ нѣкоторой функціи скорости и вывелъ, что эта функція имѣетъ простое выраженіе:

$$j = f(v) = bv^2,$$

( $j$  — ускореніе сопротивленія воздуха,  $b$  — численный коэффициентъ), что онъ и подтвердилъ своими извѣстными опытами бросанія шаровъ съ высоты собора Апост. Петра въ Лондонѣ (1710).

Отмѣтимъ, что Ньютонъ тогда уже открылъ законъ тяготѣнія и всеобщій законъ дѣйствія массъ.

Такимъ образомъ Галилей, Торичелли и Ньютонъ, настоящіе творцы баллистики, поставили ея основной вопросъ на твердую почву дѣйствительности.

Оставалось только ввести новую силу — сопротивленіе воздуха  $R = mj = mbv^2$  — въ вышеприведенныя (§ 6) дифференціальныя уравненія движенія и ихъ проинтегрировать.



Это первоначально казалось дѣломъ совсѣмъ простымъ и его выполнилъ:

8. Ив. Бернулли (1719). — Онъ придалъ формулъ Ньютона общій видъ: сила сопротивленія воздуха

$$R = mf(v) = mbv^n \quad (m \text{ — масса снаряда}),$$

и предполагая, что сила сопротивленія воздуха всегда направлена по касательной, прямо противоположно движенію, т. е. тоже всегда составляетъ съ горизонтомъ переменный уголъ  $\Theta$ , вывелъ слѣдующія выраженія:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -R \cos \Theta \quad \text{и} \quad m \frac{d^2y}{dt^2} = -R \sin \Theta - p \quad (\text{см. § 6})$$

$p = mg$  — вѣсъ снаряда, слѣдовательно:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -j \cos \Theta \quad \text{и} \quad \frac{d^2y}{dt^2} = -j \sin \Theta - g.$$

Такъ какъ  $\frac{dx}{dt} = v \cos \Theta$  и  $\frac{dy}{dt} = v \sin \Theta$ , то равенства можемъ на-

писать такъ:

$$\frac{d(v \cos \Theta)}{dt} = -j \cos \Theta \quad (1)$$

и

$$\frac{d(v \sin \Theta)}{dt} = -j \sin \Theta - g \quad (2)$$

Имѣя въ виду, что радіусъ кривизны траекторіи есть:

$$\rho = \frac{ds}{d\Theta} = \frac{v^2}{g \cos \Theta} = -\frac{ds}{dt} \cdot \frac{dt}{d\Theta} = -v \frac{dt}{d\Theta}$$

( $s$  — элементъ дуги траекторіи), опредѣляя отсюда

$$dt = \frac{v}{g \cos \Theta} d\Theta$$

и подставляя въ равенство (1), получаемъ:

$$d(v \cos \Theta) = \frac{j \cdot v d\Theta}{g} = \frac{bv^n \cdot v d\Theta}{g}.$$

Наконецъ, полагая  $v \cos \Theta = u$  и подставляя, имѣемъ:

$$\frac{d\Theta}{\cos^{n+1} \Theta} = \frac{g}{b} \frac{du}{u^{n+1}}.$$



Это уравнение выражаетъ связь между отдѣленными переменными  $\Theta$  и  $u$  и представляетъ собою дифференціальное уравнение годографа (кривая, описанная концемъ вектора, проведеннаго черезъ начало координатъ и равнаго, и параллельнаго скорости  $v$ ). Оно играетъ большую роль въ баллистикѣ, какъ увидимъ, и въ случаѣ, который разсматривалъ Бернулли ( $R = mbv^n$ ), интегрируется легко, просто и точно, рѣшая вопросъ совершенно такъ же, какъ онъ былъ рѣшенъ выше въ параболической теоріи.

9. Положеніе вопроса въ XVIII в. — Вскорѣ послѣ Бернулли, Д'Аламберъ (1744) показалъ, что годографъ также интегрируется при выраженіяхъ:

$$f(v) = a + bv^n \quad \text{и} \quad f(v) = a + b \lg v.$$

Борда (1769), Ламберъ (1767), Лежандръ (1782), Франсе и мн. др. проинтегрировали годографъ въ предположеніи, что  $f(v)$  пропорціональна квадрату скорости (по Ньютону), но съ умноженіемъ ея на разныя выраженія, вро-

дѣ:  $\alpha \cos \Theta$ ;  $\cos \Theta (1 + \alpha \operatorname{tg}^2 \Theta)$ ;  $\cos \Theta \frac{1 + b \operatorname{tg}^2 \Theta}{\sqrt{1 + c \operatorname{tg}^2 \Theta}}$  и т. д., при

чемъ Ламберъ и Ломбаръ (1796), впервые прибѣгли при этомъ къ помощи развертыванія въ строки (методъ, къ которому и теперь еще прибѣгаютъ многіе баллистики, наприм., Шарбоніе, Батайль и др.).

Лагранжъ пошелъ нѣсколько другимъ путемъ: исходя изъ уравненія траекторіи онъ подыскивалъ функцію  $f(v)$ , поддающуюся интегрированію.

Чтобы покончить здѣсь съ этимъ вопросомъ, упомянемъ, что еще въ XIX вѣкѣ занимался имъ извѣстный итальянскій артиллеристъ, графъ С. Роберто и наши извѣстные русскіе ученые, профессора Эйлеръ и Остроградскій.

Долго казалось, что этими міровыми именами вопросъ исчерпанъ и основная задача баллистики рѣшена. Но когда былъ изобрѣтенъ баллистическій маятникъ (1740), давшій возможность съ достаточнымъ приближеніемъ измѣрять скорость ( $v$ ) снаряда и опытнымъ путемъ опредѣлять  $f(v)$ , оказалось, что всѣ вышеприведенныя работы, чрезвычайно интересны и теоретически и исторически, помимо огромной въ большинствѣ случаевъ сложности вычисленій, недопустимой на практикѣ, не привели къ желаемымъ результатамъ, такъ какъ  $f(v)$ , отвѣчающая дѣйствительнымъ условіямъ движенія снаряда въ воздухѣ, имѣетъ иное выраженіе, отличающееся отъ предполагававшихся вышеназванными учеными.



Оказалось, что изъ всѣхъ вышеприведенныхъ работъ наиболѣе приѣмлемые результаты даетъ только первая, Ив. Бернулли, и то лишь въ частныхъ случаяхъ практики (навѣсная стрѣльба съ малыми скоростями, приближающимися къ Ньютоновскимъ), въ узкихъ границахъ, съ далеко недостаточной точностью.

Въ такомъ положеніи этотъ основной вопросъ баллистики остается и понынѣ: и при современныхъ свѣдѣніяхъ по высшему анализу, нѣтъ возможности точно интегрировать годографъ при томъ общемъ выраженіи  $f(v)$ , которое она имѣетъ въ дѣйствительности, а это ея выраженіе — переменнѣнно и до сихъ поръ въ точности неизвѣстно.

*Такимъ образомъ, и въ настоящее время не существуетъ еще общаго и точнаго рѣшенія основной задачи баллистики; оно ждетъ дальнѣйшаго прогресса математическаго анализа, дальнѣйшихъ усилій ученыхъ и дальнѣйшихъ точныхъ экспериментальныхъ данныхъ!*

А между тѣмъ такое рѣшеніе чрезвычайно важно и для артиллерійской науки и для артиллерійской практики. Приходится поэтому, въ ожиданіи прогресса теоріи, отказавшись пока отъ математической точности рѣшенія и основной задачи и баллистическихъ вычисленій вообще, базироваться на эмпирическихъ, приближенныхъ формулахъ, предположеніяхъ и гипотезахъ, составляемыхъ „à priori“ и подтверждаемыхъ затѣмъ опытнымъ путемъ, т. е. довольствоваться для практики приближеніями.

10. XIX вѣкъ. — Предоставленная этому вѣку задача распалась на двѣ: 1) по возможности точно опредѣлить законъ сопротивленія воздуха ( $f(v)$ ), благо появились болѣе точные приборы для измѣренія скоростей снаряда (хронографъ Лебулланже, Бреже, Шварца, Марсель-Депре и др.), и 2) разработать методъ приближеннаго интегрированія годографа съ постановкою въ него наиболѣе отвѣчающихъ требованіямъ практики, опытомъ найденныхъ выраженій для  $f(v)$ .

Началось съ провѣрки результатовъ опытовъ, произведенныхъ ранѣе, еще при употребленіи баллистическаго маятника, и другихъ простыхъ и неточныхъ методовъ опредѣленія скоростей — Робинсъ (1742), Хюттонъ (1778), Борда, Гревеницъ (1764), Эйлеръ (1753) и др., затѣмъ перешли къ самостоятельнымъ работамъ, практическимъ и теоретическимъ. Весь этотъ вѣкъ былъ заполненъ грандіозными испытаніями и стрѣльбами на спеціальныхъ полигонахъ различныхъ государствъ Европы, преимущественно въ Германіи (Круппъ), Франціи (въ Калъ и Гаврѣ), Италиі, Англии и отчасти въ Россіи (на Волковомъ полѣ близъ Петербурга). Результаты этихъ опытовъ обрабатывались крупными и



общеизвестными учеными; назовемъ хотя бы: Дидіона, Отто, С. Роберто, Пуассона, Башфорта, Сіаччи, Хели, Хоіела и изъ нашихъ — Маевскаго. Большинство изъ нихъ — профессора...

Хотя на встрѣчу этимъ лицамъ шли всѣ Европейскія правительства и всѣ крупнѣйшіе частные и государственные заводы, хотя на это было израсходовано много труда, времени и средствъ; хотя при этомъ былъ сдѣланъ конечно крупный шагъ впередъ и достигнуты результаты, которыми мы пользуемся и по настоящее время, все же мы не можемъ далеко еще ими удовольствоваться, ни признать ихъ законченными, исчерпывающими и достаточно точными для теоретическаго рѣшенія всѣхъ баллистическихъ вопросовъ и *составленія таблицъ стрѣльбы безъ провѣрки вычисленій опытомъ стрѣльбы, безъ практическаго опредѣленія многихъ коэффициентовъ и нѣкоторыхъ основныхъ данныхъ и безъ употребленія эмпирическихъ формулъ.* Все это дѣло требуетъ еще дальнѣйшей разработки въ различныхъ направленіяхъ, какъ это мы увидимъ сейчасъ.

11. Законъ сопротивленія воздуха. — Въ этомъ отношеніи всѣ пришли уже къ единодушному заключенію, что ускореніе сопротивленія воздуха должно имѣть общее выраженіе:

$$j = C(fv),$$

гдѣ  $C$  — это такъ называемый баллистическій коэффициентъ, зависящій исключительно отъ вѣса снаряда ( $p$ ) и его калибра ( $d$ ); отъ нѣкотораго постояннаго коэффициента ( $i$ ), характеризующаго форму снаряда и отъ плотности воздуха ( $\delta$ ) — переменнѣйшей, зависящей отъ высоты подъема снаряда при полетѣ. Баллистическій коэффициентъ  $C$  считается прямо пропорціональнымъ вѣсу снаряда и обратно пропорціональнымъ квадрату калибра и остальнымъ множителямъ, т. е.

$$C = \frac{p}{d^2 \cdot i \cdot \delta}.$$

Выраженіе чисто эмпирическое, никакими теоретическими выводами еще не доказанное (простая пропорціональность?) и довольно неопредѣленное по отношенію къ множителю  $i$  (характеристика формы снаряда не поддается точному опредѣленію ни теоретическому, ни опытному, хотя и имѣются эмпирическія формулы и для того и для другого) и  $\delta$  — плотность воздуха на различныхъ высотахъ — величина проблематическая, всегда переменная и не во время опредѣляемая, не говоря уже о тѣхъ пертурбаціяхъ, которыя вносятъ



вѣтеръ, различный по силѣ и направленію на разныхъ альтитудахъ одновременно и потому разсматриваемый отдѣльно.

Далѣе мы покажемъ, что сюда слѣдовало бы ввести и вліяніе особаго явленія, сопровождающаго полетъ снарядовъ, выпущенныхъ изъ нарѣзныхъ орудій, а именно — колебательнаго, коническаго движенія ихъ оси фигуры около касательной къ траекторіи, вызывающаго такъ называемую дериивацію — отклоненіе снаряда отъ плоскости стрѣлбы въ сторону своего вращенія.

Вліяніе этого явленія, еще недостаточно изученнаго и довольно иногда значительно и различно вліяющаго на форму снаряда ( $i$ ), т. е. на поверхность, подставляемую имъ дѣйствію силы сопротивленія воздуха, а также — и на положеніе „центра сопротивленія“ (точки приложенія этой силы), въ баллистическій коэффициентъ не вводится: этимъ просто пренебрегаютъ, а опредѣляютъ этотъ коэффициентъ опытнымъ путемъ.

Все это, вмѣстѣ взятое, даетъ поводъ и право говорить, какъ это слышится не рѣдко, что баллистическій коэффициентъ есть въ сущности — коэффициентъ нашего невѣжества!

Чтобы выйти изъ положенія и покрывать часто замѣчающіеся недочеты, пришлось ввести въ баллистическій коэффициентъ еще одинъ поправочный множитель  $\beta$ , величина котораго точно не опредѣлена (выводится изъ опыта и бываетъ то  $>$  то  $<$  1) и имѣетъ переменное значеніе.

Такимъ образомъ законъ сопротивленія воздуха выражается окончательно формулою:

$$j = \frac{p}{d^2 i \delta \beta} f(v).$$

12. Функція  $f(v)$ . — Въ отношеніи къ ней дѣло обстоитъ не лучше, если не хуже! Прежде всего съ несомнѣнностью выяснилось, что эта функція — переменная на всемъ протяженіи траекторіи снаряда и зависитъ не только отъ его скорости  $v$  и переменной  $\Theta$ , но еще и отъ многихъ другихъ величинъ, частью входящихъ въ баллистическій коэффициентъ: отъ начальной скорости  $V_0$ , калибра  $d$ , плотности воздуха  $\delta$  и коэффициента  $i$ :

$$j = C f(v, V_0, d, \delta, i),$$

гдѣ  $v$  есть  $\phi(\Theta)$ .

Такимъ образомъ баллистическій коэффициентъ по существу не можетъ разсматриваться какъ нѣкоторая обособленная постоянная величина, а на него надо смотрѣть какъ на параметръ.



На практикѣ однако закрываютъ на это глаза; считаютъ баллистическій коэффициентъ постояннымъ, въ нѣкоторыхъ границахъ по крайней мѣрѣ, а въ видѣ  $f(v)$  вводятъ только это  $v$ !

Простѣйшимъ выраженіемъ  $f(v)$  служитъ до сихъ поръ избранное Ив. Бернуллі  $f(v) = bv^n$ , главнымъ образомъ потому что оно даетъ возможность простѣйшимъ образомъ интегрировать годографъ. При этомъ: Эйлеръ, а за нимъ Отто и др., по примѣру Ньютона, Лежандра, Борда, Франсе и др. вышеупомянутыхъ, принимаютъ  $n = 2$  для рѣшенія вопросовъ навѣсной стрѣльбы съ малыми скоростями.

Башфортъ, по примѣру Гринхилла:  $n = 3$  — для той же цѣли.

Забудскій, по примѣру Де-Спарра:  $n = 4$  — для навѣсной стрѣльбы съ большими скоростями.

Насколько все это точно и опредѣленно видно уже изъ сказаннаго выше: интегрируется годографъ легко и точно, но результаты получаются тѣмъ менѣе подходящими къ дѣйствительности, чѣмъ  $n$  больше. Но лучшихъ путей для навѣсной стрѣльбы пока нѣтъ и ими довольствуются и теперь.

Изъ множества самыхъ разнообразныхъ другихъ эмпирическихъ формулъ для  $f(v)$  при прицѣльной стрѣльбѣ приведемъ здѣсь для контраста двѣ:

Формула Шапеля для скоростей снаряда въ очень широкихъ предѣлахъ (отъ 300 до 1200 м/ск):

$$f(v) = 0,363 (v - 260).$$

По заявленію французскихъ авторовъ, эта очень простая формула даетъ большую точность (0,3%); многіе, однако, съ этимъ не согласны и этой формулы не употребляютъ.

Другая, тоже французская, именуемая Гаврской (члена испытательной комиссіи въ Калэ-Демога):

$$\lg \frac{f(v)}{v^2} = \lg \left[ 0,2550 + \frac{\sqrt[4]{1 + 0,0392 \left( \frac{v'}{10} \right)^8}}{27226 + 494 v^2} \cdot \operatorname{arctg} v' \right],$$

гдѣ  $\operatorname{arctg} v'$  выражено въ  $\frac{1}{16}$  доляхъ минуты, а  $v' = \frac{v - 330}{550}$ !

Можетъ быть эта формула и очень точна (по словамъ французовъ, для ихъ снарядовъ — 1%), но извольте вставить это выраженіе въ годографъ и его проинтегрировать! При



этомъ такія формулы приводятся обыкновенно — „на вѣру“, а соображенія, на которыхъ онѣ основаны, остлуются въ головахъ ихъ авторовъ.

13. Приближенное интегрированіе —  $\alpha$  Дидіона. — Съ принятіемъ общаго выраженія  $j = Cf(v)$  (§ 11) и введеніемъ его въ голографъ, получаемъ слѣдующій видъ послѣдняго:

$$d(v \cos \Theta) = \frac{C}{g} v f(v) d\Theta \quad (\S 8).$$

Вопросъ въ томъ, какъ отдѣлить переменныя  $v$  и  $\Theta$ ?

Положимъ, какъ и раньше (§ 8):  $v \cos \Theta = u$  и  $v = \frac{u}{\cos \Theta}$

и вставимъ въ голографъ:

$$du = \frac{C}{g} u f(v) \frac{d\Theta}{\cos \Theta} \quad \text{и} \quad \frac{d\Theta}{\cos \Theta} = \frac{g}{C} \frac{du}{uf\left(\frac{u}{\cos \Theta}\right)}.$$

Переменныя были бы отдѣлены, если бы во второй части уравненія не было  $\cos \Theta$ .

По мысли Безу, для устраненія этого препятствія, Дидіонъ предложилъ разсматривать всю траекторію какъ настолько отлогую (т. е. приближающуюся къ прямой линіи), что уголъ  $\Theta$  касательной къ горизонту, мало измѣняющійся, можетъ быть принятъ за нѣкоторую постоянную величину, выбранную въ предѣлахъ крайнихъ величинъ  $\Theta$ , что конечно, болѣе всего допустимо при прицѣльной стрѣльбѣ съ большими скоростями и малыми углами вызвышенія ( $15^\circ$  и не больше  $20^\circ$ ) и паденія (не больше  $25^\circ$ ).

Въ такомъ случаѣ множитель  $\frac{1}{\cos \Theta}$  въ  $f\left(\frac{u}{\cos \Theta}\right)$ , мало измѣняющійся въ предѣлахъ интегрированія, можно замѣнить нѣкоторымъ постояннымъ множителемъ  $\alpha$ ; это и есть  $\alpha$  — Дидіона.

Тогда голографъ принимаетъ видъ:

$$\frac{d\Theta}{\cos \Theta} = \frac{g}{C} \frac{du}{uf(\alpha u)}.$$

$\cos \Theta$  спрятался во второй части какъ страусъ и думаетъ, что его не видно! Для большей простоты можно еще помножить  $f(\alpha u)$  на множитель  $\frac{1}{\alpha \cos \Theta}$  такъ какъ для  $\alpha = \frac{1}{\cos \Theta}$  этотъ множитель равенъ 1. Это уже совсѣмъ безобидно. Тогда голографъ принимаетъ видъ:



$$\frac{d\Theta}{\cos^2 \Theta} = \frac{\alpha g}{C} \frac{du}{uf(\alpha u)},$$

или полагая  $\alpha u = w$ :

$$\frac{d\Theta}{\cos^2 \Theta} = \frac{\alpha g}{C} \frac{dw}{wf(w)}.$$

Переменные отдѣлены и задача приведена къ квадратурамъ. Интегрируя въ предѣлахъ отъ  $\varphi$  до  $\Theta$ , получаемъ:

$$\operatorname{tg} \Theta - \operatorname{tg} \varphi = \frac{\alpha g}{C} \int_{\varphi}^{\Theta} \frac{dw}{wf(w)}.$$

Дальше все идетъ уже просто и всѣ элементы траекторіи опредѣляются уже строго математически. Математики довольны; они перехитрили, но практики — не совсѣмъ, такъ какъ точность получаемыхъ результатовъ лежитъ въ предѣлахъ сдѣланныхъ допущеній ( $\alpha = \text{const}$ ), въ границахъ точности баллистическаго коэффиціента  $C$  (§ 11) и въ зависимости отъ соотвѣтствія выраженія  $f(w)$  съ дѣйствительностью (§ 12), т. е. въ концѣ концовъ — не точно!

14. Методъ Сіаччи. — Сіаччи поступилъ нѣсколько иначе; вмѣсто одного параметра  $\alpha$ , онъ вводитъ два:  $\lambda$  и  $\mu$  и полагаетъ  $\frac{u}{\mu} = \frac{v \cos \Theta}{\mu} = w$ , тогда уравненіе годографа принимаетъ видъ:

$$\operatorname{tg} \Theta - \operatorname{tg} \varphi = \frac{g}{c\lambda} \int_{w_0}^w \frac{dw}{wf(w)}.$$

$\lambda$  даетъ большую гибкость въ примѣненіяхъ къ практикѣ и результаты получаются какъ будто нѣсколько болѣе точными.

Эти  $\lambda$  и  $\mu$  Сіаччи породили затѣмъ цѣлую вакханалію, каждому захотѣлось придать имъ особое значеніе и дать свой методъ вычисленій: самъ Сіаччи, на примѣръ, полагаетъ: то  $\lambda = \mu^2 = \cos^2 \varphi$ ; то  $\lambda = \mu = \cos \varphi$ . Шарбоніе считаетъ  $\lambda = \mu = 1$ ; другіе:  $\lambda = \mu = \cos \omega$  ( $\cos$  угла паденія), иные:  $\lambda = \frac{\Delta y}{\Delta_0}$  и  $\mu = 1$  ( $\Delta y$  вѣсь куб. метра воздуха на высотѣ  $y$ ;  $\Delta_0$  — тоже на горизонтѣ) и т. д....

Все это представляетъ извѣстный математическій интересъ, но практики далеко еще не удовлетворены, такъ какъ



результатъ вычисленій все еще не совѣмъ согласуется съ опытными; результаты получаются тѣмъ худшіе, чѣмъ больше уголъ возвышенія и дальности; иногда получаются аномалии, а изслѣдованія Эмери показали, что при иныхъ принятыхъ  $\lambda$  и  $\mu$ , на примѣръ, у Сіаччи при  $\lambda = \mu = \cos \varphi$ , вычисленная траекторія получается минимальной и идетъ ниже дѣйствительной, а у Шарбоніе, она получается, напротивъ, максимальной и идетъ выше...

При такихъ условіяхъ положиться на точность результатовъ вычисленій и ими ограничиться — никогда нельзя, поэтому рекомендуется всегда провѣрять вычисленія опытными стрѣльбами, производимыми съ доступной для практики точностью (чему мѣшаетъ до сихъ поръ еще отсутствіе достаточно совершенныхъ приборовъ), исправлять баллистическій коэффициентъ ( $\beta$ ), строить графическія кривыя полученныхъ данныхъ и т. д. Въ результатѣ получается смѣшанный методъ, полу-теоретическій, полу-практический!

15. Разбиваніе траекторіи на части. — Недостатки метода Дидіона и своего собственнаго созналъ и самъ Сіаччи. При углахъ возвышенія  $15-20^\circ$  уже никакъ нельзя считать  $\alpha$  Дидіона  $\left(\frac{1}{\cos \Theta}\right)$  постоянной, такъ какъ уголъ  $\Theta$ , при углѣ возвышенія  $15^\circ$  мѣняется въ предѣлахъ отъ  $15^\circ$  въ началѣ до  $0$  въ вершинѣ траекторіи и до  $20^\circ$  и больше — въ точкѣ паденія снаряда. Цѣлую траекторію, даже и очень отлогую при прицѣльной стрѣльбѣ нельзя принимать за прямую.

Поэтому Сіаччи предложилъ свой методъ съ тѣми же допущеніями относительно  $\lambda$  и  $\mu$ , но съ разбиваніемъ траекторіи на части: по тѣмъ же формуламъ вычисляются меньшіе элементы траекторіи отъ  $\Theta_0 = \varphi$ , до  $\Theta_1 = \varphi - 2^\circ$ , на примѣръ; потомъ, отъ  $\Theta_1 = \varphi - 2^\circ$  до  $\Theta_2 = \varphi - 4^\circ$  и т. д.

Конечно, принять меньшую часть отлогой траекторіи за прямую линію, точнѣе, чѣмъ считать таковою всю траекторію, и тѣмъ точнѣе, чѣмъ взятая часть, т. е. разница между  $\Theta_1$  и  $\Theta_2$ , меньше. Но, во-первыхъ, остальные грѣхи сохраняютъ и здѣсь свое значеніе, а, во-вторыхъ, это приводитъ къ очень кропотливой работѣ и продолжительнымъ однообразнымъ и монотоннымъ вычисленіямъ, требующимъ большаго вниманія и самоконтролированія. Въ предѣлахъ траекторіи при  $\varphi = 20^\circ$ , при разницѣ  $\Theta_1 - \Theta = 2^\circ$ , на примѣръ, надо вычислить  $\frac{20}{2} = 10$  частей траекторіи до вершины и еще около  $\frac{30}{2} = 15$  частей для нисходящей ея вѣтви; всего 25 довольно продолжительныхъ вычисленій лишь для одной траекторіи.



т. е. одной дальности, а для составленія таблицъ стрѣльбы надо вычислить 6—8 и больше такихъ траекторій.

Все же надо сказать, что этотъ методъ Сіаччи является пока самымъ надежнымъ и точнымъ. Имѣются и другіе подобныя же методы, обладающіе тѣми же достоинствами и недостатками, наприм., методы Кранца и Зейдлица въ Германіи. Н. Г. М. (Haag, Garnier et Marcus — профессора) и Гаврскій — во Франціи; въ послѣднемъ опять функція  $f(v)$  придается простѣйшій видъ:

$$f(v) = bv^2 \text{ и т. д.}$$

16. Итоги. — Подводя итоги всему, вышесказанному о вычисленіи траекторій въ XIX вѣкѣ можно указать на слѣдующіе общіе недостатки, подлежащіе еще исправленію въ будущемъ.

1. Функція  $f(v)$ , неточно еще опредѣляемая сама по себѣ съ неточнымъ баллистическимъ коэффициентомъ  $C$ , вводится въ уравненіе движенія въ предположеніи, что дѣйствіе сопротивленія воздуха и его ускореніе  $j$  — направлены по касательной, прямо противоположно движенію снаряда въ каждой точкѣ, чего въ дѣйствительности никогда не бываетъ. Ось фигуры снаряда всегда составляетъ съ горизонтомъ большій уголъ, чѣмъ касательная  $(\Theta)$ , а направленіе ускоренія сопр. возд. всегда лежитъ между этими углами, т. е. съ касательною не совпадаетъ, кромѣ, конечно, случаевъ стрѣльбы по вертикали вверхъ, прежде никогда не производившейся, или внизъ, никогда не бывающей.

2. Вслѣдствіе предыдущаго допущенія, всѣ силы, дѣйствующія на снарядъ во время полета, рассматриваются какъ лежащія въ плоскости стрѣльбы, а между тѣмъ всѣмъ извѣстно явленіе дериваціи, которая не вводится въ уравненія, а вычисляется дополнительно, отдѣльно, выводитъ траекторію изъ этой плоскости и дѣлаетъ ее кривою двойной кривизны, отклоняя ее въ сторону вращенія снаряда. Такимъ образомъ: а) всѣ существующіе методы вычисленія траекторіи и до сихъ поръ въ сущности относятся не къ дѣйствительной траекторіи, а лишь къ ея проекціи на вертикальную плоскость стрѣльбы, что совсѣмъ не одно и то же и не можетъ не отзываться вредно на точности вычисленій, особенно въ виду современнаго и предстоящаго еще въ будущемъ значительнаго увеличенія начальныхъ скоростей снарядовъ и ихъ дальностей, и б) вызывающее деривацію коническое движеніе оси фигуры снаряда мѣняетъ видъ поверхности его, подставляемой дѣйствию сопротивленія воздуха, а слѣдовательно какъ-то мѣняетъ и баллистическій коэффициентъ и самую  $f(v)$ , что еще пока совсѣмъ



не изслѣдовано и о чемъ мы поэтому скажемъ еще нѣсколько словъ дальше.

3. Методы вычисленія траекторіи при прицѣльной стрѣльбѣ основаны на допущеніи, сдѣланномъ еще графомъ С. Роберто, независимости величины пониженія снарядовъ подъ продолженною осью канала орудія отъ угловъ возвышенія и мѣстности, иначе говоря о неизмѣнности формы траекторій („rigidité des trajectoires“) по крайней мѣрѣ въ предѣлахъ угловъ возвышенія  $15-20^{\circ}$ . Предполагается другими словами, что при обращеніи данной траекторіи около ея начальной точки (приподниманіе ея конца кверху) траекторія не мѣняетъ своего вида, формы и данныхъ, что теоретически неправильно, а практически — примѣнимо тѣмъ меньше, чѣмъ углы больше.

4. Вслѣдствіе этого — примѣнять существующіе методы для вычисленія прицѣльныхъ траекторій при углахъ большихъ  $20^{\circ}$  уже невозможно. Такимъ образомъ въ предѣлахъ угловъ отъ  $20$  до  $45^{\circ}$  оказывается пробѣлъ, и по сіе время еще не заполненный: ни методы разбиванія траекторіи на части, самые точные, ни методъ Забудскаго, для навѣсной стрѣльбы при такъ называемыхъ большихъ скоростяхъ (§ 12) не примѣнимы. А между тѣмъ въ настоящее время начальныя скорости снаряда возросли до предѣловъ ( $1000-1500$  м/сек) приблизительно вдвое большихъ, чѣмъ принятые проф. Забудскимъ; углы возвышенія — до  $40-45^{\circ}$  (прицѣльная стрѣльба естественно переходитъ въ навѣсную) дальности — до  $75$  клм. и больше — у береговыхъ орудій и до  $120$  клм. и больше — у дальнострѣльныхъ орудій типа нѣмецкихъ длинныхъ Бертъ, обстрѣливавшихъ Парижъ и стрѣлявшихъ подъ угломъ возвышенія  $55^{\circ}$ , вопреки выводамъ Тарталья, Галилея и позднѣйшихъ изслѣдователей (это дѣлалось для того, чтобы снарядъ поскорѣе вышелъ изъ тропосферы — на высотѣ около  $12$  клм. — и вошелъ въ стратосферу, т. е. почти въ безвоздушное пространство, и при входѣ въ него имѣлъ традиціонный уголъ возвышенія  $45^{\circ}$  — уголъ наибольшей дальности). Наконецъ, высота подъема снарядовъ достигла  $40$  клм. и больше. Всѣ эти пробѣлы очень желательно было бы заполнить въ ожиданіи грядущаго!

5. Указанное значительное увеличеніе дальностей и высотъ полетовъ снаряда приводитъ къ необходимости принять во вниманіе: а) вліяніе вращенія поверхности земного шара, которое пока учитывается иногда отдѣльно и въ общія формулы, конечно, не вводится (а безъ этого не попадешь даже и въ такую большую цѣль какъ Парижъ!); б) вліяніе измѣненія величины ускоренія  $g$  силы тяжести, пока совершенно игнорируемаго, но могущаго оказать свое вліяніе при нынѣшнихъ огромныхъ альтитудахъ полета снарядовъ; с) вліяніе



измѣненія плотности воздуха, которое учитывается пока только въ методахъ разбиванія траекторіи на части, но еще по старымъ формуламъ (у Сіаччи:  $\delta = 1 - 0,00008y$ , на основаніи изслѣдованій Лапласа).

За это теперь уже принялись (изслѣдованія Гамба, Бразіе, Сюго, Дюфренуа и Лоста и др), но ни расчеты, ни опыты не привели еще къ окончательнымъ прочнымъ результатамъ, затрудняемымъ еще и тѣмъ, что приходится принимать во вниманіе и вліяніе температуры, доходящей до  $-60^{\circ}$  Ц. на высотѣ 12000 клм. и остающейся затѣмъ постоянной (?) по Лапласу, и вліяніе влажности воздуха.

Много еще работы впереди и г.г. профессора не могутъ сказать, что ихъ беспокоятъ напрасно!

Прежде чѣмъ перейти къ ХХ вѣку, наконецъ, рассмотримъ еще здѣсь вопросъ о дериваціи, разрѣшаемый пока только эмпирически и дающій обильную пищу для дальнѣйшихъ теоретическихъ и практическихъ изслѣдованій.

17. Деривація. — Извѣстно, что продолговатые снаряды (подобно волчкамъ), подъ дѣйствіемъ нарѣзовъ орудія получаютъ быстрое вращеніе\*) около своей оси фигуры, придаваемое еще для того, чтобы такъ сказать усилить его инерцію и заставить его летѣть головою впередъ, не смотря на дѣйствіе пары сопротивленія воздуха, отклоняющей его отъ касательной къ траекторіи. Эта пара соотвѣтствуетъ парѣ вѣса у волчка и у жироскопа. Подъ дѣйствіемъ вращенія и пары ось фигуры снаряда совершаетъ свое коническое движеніе (вращеніе) около касательной къ траекторіи, какъ ось фигуры волчка — около постоянной вертикальной оси, проходящей черезъ его центръ тяжести.

Уголь растворенія конуса, вообще довольно незначительный при прицѣльной стрѣльбѣ съ большими начальными скоростями и малыми углами возвышенія (если соблюдены необходимыя условія соотвѣтствія длины снаряда съ длиною хода нарѣзовъ, т. е. ихъ крутизны) могутъ достигнуть большихъ размѣровъ при большихъ углахъ возвышенія, если, на примѣръ, скорость вращенія снаряда слишкомъ велика или обратно — слишкомъ мала. Въ такихъ случаяхъ снарядъ можетъ упасть или попасть въ цѣль не вершиною своею, какъ нужно, а бокомъ и даже дномъ.

Эти, правда рѣдкіе на практикѣ, исключительные случаи и заставляютъ заключить, какъ мы сказали выше, что коническое движеніе снаряда не можетъ не вліять на выраженіе  $Sf(v)$  и должно быть принято во вниманіе въ теоріи.

\*) Угловая скорость вращенія, измѣняющаяся отъ 100 до 500 оборотовъ въ ск. (въ круглыхъ числахъ) въ орудіяхъ, достигаетъ величины 3500 и больше — въ ружьяхъ.



Коническое движение оси фигуры снаряда и вызываетъ деривацію, до сихъ поръ еще недостаточно объясненную ни строго теоретически, ни элементарно.

Первоначально это явление пытались объяснить непосредственнымъ дѣйствіемъ сопротивленія воздуха (Магнусъ, въ отношеніи отклоненія еще сферическихъ снарядовъ; Пуассонъ — продолговатыхъ).

Первое математическое изслѣдованіе произвелъ С. Роберто <sup>1)</sup>, пользуясь уже дифференціальными уравненіями движенія Эйлера. Тоже сдѣлалъ у насъ проф. Маевскій <sup>2)</sup>, но къ сожалѣнію, они не довели дѣло до конца, не сдѣлали свою теорію приложимой для практики, а потому и до сихъ поръ для опредѣленія дериваціи приходится пользоваться эмпирическими формулами, на примѣръ:

Формула „Нélie“: деривація  $z = A v_0^2 \sin^2 \varphi$ ,

гдѣ:  $A = 551 \frac{a^3}{p} \cdot \operatorname{tg} \Delta_1 \cdot \sin \gamma$ ;  $\Delta_1$  — уголъ наклона нарезовъ у дула,  $\gamma$  — половина угла у вершины снаряда.

Формула Кранца: деривація  $z = \lambda \frac{v_0 \operatorname{tg} \Delta_1}{l} (\varphi + \omega) t$ ,

гдѣ:  $\lambda$  ок. 0,01;  $l$  — длина снаряда въ калибрахъ;  $\omega$  — уголъ паденія и  $t$  — время полета снаряда.

Формула Бертраньо: деривація  $z = \operatorname{const} x \sin \varphi$ ,

гдѣ  $\operatorname{const}$  долженъ быть опредѣленъ изъ опыта стрѣльбы,  $x$  — горизонтальная дальность.

Формула Шарбоніе: деривація  $z = \operatorname{const} \varphi t$ ,

гдѣ  $\operatorname{const}$  долженъ быть опредѣленъ изъ опыта стрѣльбы;  $x$  — горизонтальная дальность.

Конечно эти формулы не могутъ быть точными и на нихъ нельзя положиться безъ провѣрки опытомъ, но, въ ожиданіи лучшаго, практику онѣ удовлетворяютъ, главнымъ образомъ потому, что при малыхъ дальностяхъ деривація вообще не велика, такъ что конструкторы считаютъ ее часто пропорціональною дальностямъ и устраиваютъ наклонные прямые прицѣлы. Но при большихъ дальностяхъ въ будущемъ — принимать горизонтальную проекцію траекторіи за прямую никакъ уже нельзя и придется прибѣгать къ инымъ формуламъ и инымъ методамъ вычисленій, опять — дѣло будущаго!

18. Причина дериваціи. — Ни въ одномъ изъ существующихъ пока трудовъ по баллистикѣ, высшей или элементарной (въ послѣднихъ этотъ вопросъ особенно запутанъ

1) См. его „Etudes sur la trajectoire des projectiles oblongs“ (1830).

2) См. его „Баллистику“ 1880.



и освѣщенъ неправильно) эта причина не разъяснена еще достаточно понятно и опредѣленно, кромѣ развѣ русскихъ<sup>1)</sup>.

Я излагаю этотъ вопросъ въ другомъ мѣстѣ болѣе подробно<sup>2)</sup>, здѣсь же упомяну только объ одномъ приѣмѣ этого изложенія, который возбудилъ много споровъ въ Россіи между профессорами, не разрѣшившихся окончательно, благодаря наступившимъ извѣстнымъ событіямъ: это вопросъ о возможности въ этомъ случаѣ сложенія дѣйствительныхъ угловыхъ скоростей съ относительными.

Изъ математическихъ изслѣдованій проф. Маевского вытекаетъ, что причиною дериваціи является — пониженіе касательной къ траекторіи, служащей одновременно и осью конического вращенія снарядовъ.

Ось конического движенія волчка и снаряда жироскопа остается всегда вертикальной, почему ни тотъ, ни другой, стремленія къ дериваціи не проявляютъ. Ось же этого движенія у снаряда — касательная къ траекторіи — сама вращается: въ началѣ она направлена кверху подъ угломъ возвышенія  $\varphi$ ; потомъ ея уголъ наклона  $\Theta$  постоянно уменьшается, т. е. касательная поворачивается переднимъ своимъ концомъ книзу; въ вершинѣ она горизонтальна ( $\Theta = 0$ ) и далѣе уголъ  $\Theta$  все время увеличивается въ отрицательную сторону и достигаетъ максимума своей абсолютной величины, въ точкѣ паденія, гдѣ  $\Theta = \Omega$  и касательная уже направлена подъ горизонтъ! въ предѣлѣ подъ горизонтомъ  $\Theta$  стремится къ  $-90^\circ$ .

Ось фигуры снаряда въ своемъ коническомъ движеніи стремится вращаться около касательной, а послѣдняя отъ нея отворачивается, поворачиваясь слѣва на право (если смотрѣть на траекторію сбоку, съ правой стороны) съ нѣкоторою угловою скоростью  $\omega$ . Это дѣйствительное вращеніе касательной относительно оси фигуры снаряда можно разсматривать какъ обратное относительное вращеніе оси фигуры относительно касательной съ тою же угловою скоростью —  $\omega$ .

Такимъ образомъ, въ то время какъ ось фигуры тѣла вращенія въ волчкѣ и жироскопѣ имѣетъ только одну дѣйствительную угловую скорость  $\nu$  конического движенія около вертикальной оси, не мѣняющей своего положенія, не вращающейся, ось фигуры снаряда имѣетъ двѣ угловыя скорости вращенія: дѣйствительную  $\nu$ , вокругъ касательной при

1) См., напримѣръ, „Курсъ баллистики“ ген. проф. Маевского и элементарную баллистику ген. Маркевича и проф. Нилуса.

2) См. статью мою о „Составляяну таблица гаѣања“ въ № 13 Сербскаго Артил. Гласника, куда и отсылаю интересующихся.



коническомъ движеніи, и относительную  $\omega$ , вслѣдствіе удаленія отъ касательной, въ сторону обратную пониженію послѣдней, т. е. справа, вверхъ на лѣво, если смотрѣть оттуда же (справа).

И вотъ если сложить эти двѣ угловыя скорости и разсматривать получающуюся равнодѣйствующую, то все явленіе разъясняется.

Угловая скорость вообще обозначается, какъ извѣстно стрѣлкою соотвѣтствующей величины, перпендикулярной къ плоскости вращенія и идущей въ такомъ направленіи, чтобы, ставъ вдоль нея, наблюдатель видѣлъ всегда вращеніе происходящимъ въ одну и ту же сторону, на примѣръ, справа на лѣво. Эта стрѣлка представляетъ собою одновременно: и величину угловой скорости, и направленіе ея, и ось вращенія.

При такомъ условіи дѣйствительная угловая скорость  $v$  конического вращенія оси фигуры снаряда изобразится, слѣдовательно, стрѣлкою, приложенною къ центру тяжести снаряда и идущею впередъ, такъ какъ наблюдатель, расположенный вдоль этой стрѣлки, головою впередъ, будетъ тогда видѣть вращеніе идущимъ по условію справа на лѣво (если смотрѣть сзади, снарядъ вращается обратно, слѣва на право).

Относительная же угловая скорость  $\omega$  отъ пониженія касательной идетъ всегда слѣва на право (если смотрѣть справа), такъ какъ траекторія всегда направлена своею выпуклостью кверху. Слѣдовательно стрѣлка, изображающая относительную скорость вращенія оси фигуры снаряда относительно той же касательной должна всегда идти слѣва на право (обратно скорости касательной).

Діагональ получающагося такимъ образомъ параллелограмма, при сложеніи скоростей  $v$  и  $-\omega$ , направляется вправо; эта же діагональ служитъ и осью равнодѣйствующаго конического вращенія. Слѣдовательно снарядъ летитъ, уклоняясь всегда своею вершиною вправо, подставляя дѣйствию сопротивленія воздуха свой лѣвый бокъ, а соотвѣтств. слагающая дѣйствія сопротивленія воздуха отклоняетъ снарядъ вправо и образуетъ деривацію.

Этимъ объясняются всѣ явленія дериваціи и между прочимъ наблюдающаяся иногда (при стрѣльбѣ изъ мортиръ съ очень малыми нач. скоростями) аномалія — перемѣна знака дериваціи (идетъ все время вправо, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ, при большихъ углахъ возвышенія въ  $70^\circ$ — $80^\circ$ , мѣняется направленіе и идетъ влѣво); это происходитъ потому, что центръ сопротивленія воздуха (точка его приложенія), расположенный обыкновенно между вершиною и центр. тяжести снаряда, перемѣщается книзу и располагается между центромъ тяжести и дномъ снаряда. Тогда коническое дви-



женіе начинаетъ идти въ обратномъ направленіи; мѣняетъ свое направленіе и стрѣлка, ее изображающая; діагональ параллелограмма идетъ влѣво — и деривація влѣво...

Теоретически всѣ эти вопросы далеко еще не разработаны окончательно, а должны бы были быть разработаны по крайней мѣрѣ такъ же, какъ и выше разсмотрѣнный вопросъ о поступательномъ движеніи; кромѣ того, желательно бы было и установить связь между колебательными движеніями снаряда и баллистическимъ коэффициентомъ, чтобы умѣть рассчитывать дѣйствительную траекторію, а не только ея вертикальную проекцію, хотя бы съ достаточною для практики точностью.

Это дѣло чисто практическое и — дѣло будущаго \*).

19. ХХ. вѣкъ. — Минувшая война, выдвинувшая множество новыхъ важнѣйшихъ для военнаго дѣла вопросовъ, относящихся ко всѣмъ отраслямъ чистыхъ и прикладныхъ наукъ (газы, техническія артил. средства, самодвижущіеся и управляемые издали аппараты, военныя примѣненія радіо и пр. и пр., о чемъ я здѣсь и не упоминаю), положила между прочимъ основаніе и новому отдѣлу баллистики, — стрѣльбѣ по воздушнымъ цѣлямъ, впервые на этой войнѣ появившимся.

Все старое оказалось при этомъ въ баллистическомъ отношеніи мало пригоднымъ, а появившееся новое — далеко неудовлетворительнымъ.

Мы изложимъ здѣсь положеніе этого новаго вопроса такъ же кратко, какъ и предыдущихъ, съ цѣлью выясненія того, что уже сдѣлано, чего недостаетъ и что еще нужно, чтобы ознакомить съ этимъ и, если можно заинтересовать г. г. спеціалистовъ, поневолѣ непосвященныхъ въ артиллерійскія тайны, въ ожиданіи ихъ помощи.

Вынужденъ сдѣлать небольшое отступленіе въ область артил. номенклатуры, безъ чего дальнѣйшее изложеніе было бы слишкомъ затруднено и для гражданскихъ лицъ несомнѣнно понятно.

Въ процессѣ стрѣльбы по воздушнымъ цѣлямъ играютъ главную роль три прямыхъ линіи и три угла: 1) линія продолженной оси канала орудія, прицѣленнаго, т. е. направленного такъ, чтобы расположенная надъ этой осью траекторія проходила черезъ цѣль, находящуюся гдѣ нибудь на высотѣ, или въ воздухѣ, или на возвышеніи, 2) линія направленная на цѣль, обезпечивающая должное положеніе оси

\*) Въ № 7 извѣстнаго итальянскаго журнала „Rivista di Artiglieria e Genio“ за 1929 годъ, появилась статья: „О вычисленіи дериваціи“. Къ сожалѣнію, у меня нѣтъ ея подъ рукою и я ничего о ней сказать не могу. Видно однако, что изслѣдованія продолжаются.



канала орудія и называемая „линією прицѣливанія“ и 3) линія горизонта.

Уголъ между первыми двумя прямыми (продолжен. ось канала и линія прицѣливанія), называется „угломъ прицѣливанія“ ( $\varphi$ ). Уголъ между линією прицѣливанія (2) и горизонтомъ (3) называется „угломъ мѣстности“ (или — угломъ цѣли) —  $S_1$ , а весь уголъ между направлениемъ оси канала (1) и горизонтомъ, равный суммѣ двухъ предыдущихъ угловъ, называется „угломъ возвышенія“ ( $\alpha$ ).

$$\alpha = \varphi + S.$$

Если цѣль расположена на горизонтѣ (на оси абсциссъ), то линія прицѣливанія (2) и горизонтъ (3) — совпадаютъ. Уголъ мѣстности отсутствуетъ:  $S = 0$  и уголъ прицѣливанія ( $\varphi_0$ ) равенъ углу возвышенія:

$$\alpha = \varphi_0.$$

Если цѣль расположена въ зенитѣ орудія (на оси ординатъ), то линія прицѣливанія (2) совпадаетъ съ осью канала (1); уголъ прицѣливанія  $\varphi = 0$ , а уголъ возвышенія  $\alpha =$  углу мѣстности  $S$  и оба равны  $90^\circ$ ;

$$\varphi = 0 \quad \text{и} \quad S = \alpha = 90^\circ.$$

Предположимъ теперь, что цѣль, на примѣръ, аэропланъ, поднявшись съ земли на разстояніи  $A$  отъ орудія (горизонтальная дальность), летитъ вверхъ по окружности круга, діаметръ котораго постоянно равенъ горизонтальной дальности  $A$ . Если бы цѣль оставалась на землѣ, то мы имѣли бы: уголъ прицѣливанія  $\varphi = \varphi_0 = \alpha$  и  $S = 0$ . По мѣрѣ подъема цѣли послѣ взлета образуется и все время увеличивается уголъ мѣстности  $S$  отъ 0 до  $90^\circ$ . При этомъ долженъ какъ-то измѣняться и уголъ прицѣливанія  $\varphi$ , несмотря на то, что разстояніе до цѣли (дальность  $A$ ) не измѣняется. Повидимому уголъ прицѣливанія  $\varphi$  долженъ при этомъ все время уменьшаться, такъ какъ первоначальная его величина;  $\varphi = \varphi_0 > 0$  ( $\varphi_0$  — уголъ прицѣливанія, отвѣчающій горизонтальной дальности  $A$ , когда  $S = 0$ ), а конечная:  $\varphi = 0$  (уголъ прицѣливанія, отвѣчающій вертикальной дальности  $A$ , когда  $S = 90^\circ$ ). Это тѣмъ болѣе вѣроятно, что при такомъ движеніи цѣли по кругу, траекторія снарядовъ, выпущенныхъ по цѣли въ разныхъ ея положеніяхъ, все время должны выпрямляться, т. е. становиться все болѣе и болѣе отлогими — приближаться къ прямой линіи, въ которую траекторія и обрѣщается, когда уголъ достигаетъ зенита орудія ( $S = 90^\circ$ ), а чѣмъ кривизна траекторіи больше (наибольшая, когда цѣль



на горизонтѣ), тѣмъ большимъ долженъ быть уголъ прицѣливанія  $\varphi$  (наибольшій  $= \varphi = \varphi_0$ ). Отсюда вытекаетъ главная особенность воздушной стрѣльбы: при одномъ и томъ же разстояніи цѣли отъ орудія (одной и той же дальности) — одному и тому же орудію приходится придавать разные углы прицѣливанія, въ предѣлахъ отъ  $\varphi_0$  до 0, въ зависимости отъ соответствующаго угла мѣстности  $S$ . Нужна новая формула для опредѣленія этого угла  $\varphi$ , въ которой раньше не было надобности.

Соответственно углу прицѣливанія  $\varphi$ , при одной и той же дальности, долженъ измѣняться и „уголъ паденія“ или „уголъ попаданія“ (уголъ между касательной къ траекторіи въ точкѣ паденія или попаданія, и линіею прицѣливанія). Это, впрочемъ, для практики уже не имѣетъ большого значенія, такъ какъ, для увеличенія вѣроятности попаданія, по воздушнымъ цѣлямъ стрѣляютъ „дистанціонными“ снарядами, т. е. снарядами, разрывающимися передъ цѣлью на большое число осколковъ.

Гораздо большее значеніе имѣетъ измѣненіе соответствующаго времени полета снаряда  $t$  до цѣли, такъ какъ за это время цѣль продолжаетъ перемѣщаться и въ моментъ разрыва снаряда будетъ уже въ другомъ мѣстѣ, что необходимо точно учитывать (если, напр., время полета снаряда  $t = 20$  ск.; а скорость аэроплана 50 м/ск., то за время  $t$  аэропланъ успѣетъ удалиться отъ точки прицѣливанія на  $50 \times 20 = 1000$  мтр.!). Опять нужна новая формула для  $t$ .

Казалось бы, что такъ какъ траекторія, по мѣрѣ подъема цѣли выпрямляется, т. е. укорачивается, время полета  $t$  при одинаковыхъ дальностяхъ  $A$  должно уменьшаться вмѣстѣ съ угломъ прицѣливанія  $\varphi$ . Но и опытъ, и приближенная теорія, и особенно — параболическая теорія (Галилея), показываютъ обратное, по крайней мѣрѣ въ послѣднемъ періодѣ приближенія цѣли къ зениту орудія: время полета  $t$  увеличивается съ увеличеніемъ угла мѣстности  $S$ , хотя дальность остается прежнею. Это происходитъ потому, что соответствующая слагающая дѣйствія силы тяжести на снарядъ, направленная прямо противоположно направленію движенія, при подъемѣ цѣли (увеличеніи  $S$ ), все время увеличивается и очевидно преобладаетъ надъ вліяніемъ укорачиванія траекторіи. Какъ идетъ это измѣненіе въ дѣйствительности, во всѣхъ фазахъ движенія цѣли, еще окончательно не выяснено и вызываетъ разногласія, еще не разрѣшенныя.

Еще сложнѣе идетъ явленіе по отношенію къ такъ называемой „дистанціонной трубкѣ“, которою снабжается снарядъ, для того чтобы онъ разорвался непосредственно передъ цѣлью. Трубка эта имѣетъ впесованный въ ея кольцевомъ



каналъ пороховой составъ, который горитъ большее или меньшее время въ зависимости отъ установки трубки соответственно требуемой дистанціи (дальности до цѣли).

Чѣмъ больше дистанція, тѣмъ должна быть больше и установка трубки и время горѣнія кольцевого состава отъ начала (моментъ вылета снаряда изъ канала орудія, когда этотъ составъ загорается) до момента разрыва (когда пламя кольцевого состава передается внутрь снаряда, его разрывному заряду).

При стрѣльбѣ по воздушнымъ цѣлямъ этотъ процессъ значительно осложняется тѣмъ, что, съ одной стороны, по мѣрѣ подъема цѣли время полета снаряда  $t$  увеличивается и соответственно должна увеличиваться и установка трубки, а съ другой — снарядъ при подъемѣ вступаетъ все въ болѣе и болѣе разрѣженную атмосферу, а извѣстно, что пороховой составъ горитъ тѣмъ медленнѣе, чѣмъ атмосферное давленіе (или всякое другое, напр., газовое) меньше и обратно, такъ что это явленіе идетъ въ обратномъ направленіи: чѣмъ больше альтитуда снаряда, тѣмъ составъ горитъ медленнѣе, и тѣмъ установка трубки для той же дистанціи должна быть меньше.

Слѣдовательно, при этомъ надо учитывать: и время  $t$  полета снаряда и альтитуду цѣли и специфическія свойства кольцевого состава трубки \*).

На этомъ пути пока еще очень мало сдѣлано теоретически; вопросъ рѣшаетъ опытъ, который вообще, по прежнему, остается наиболѣе вѣрнымъ контролирующимъ средствомъ и безъ котораго пока обойтись нельзя.

Такъ же трудно учитывать и деривацію. Если дѣйствительно, какъ мы сказали выше, деривація зависитъ отъ угловой скорости  $\omega$  — пониженія касательной, то при стрѣльбѣ по вертикали вверхъ („зенитная стрѣльба“), когда траекторія правращается въ прямую линію, пониженія (вращенія) касательной не существуетъ,  $\omega = 0$ , причина дериваціи не существуетъ и она должна исчезнуть.

Отсюда слѣдуетъ, что по мѣрѣ подъема цѣли вообще и деривація  $z$  должна какъ-то измѣняться въ предѣлахъ отъ  $z_0$ , когда цѣль на горизонтѣ и деривація имѣетъ нормальную величину, указанную въ прежнихъ таблицахъ стрѣльбы, до  $z = 0$ . Это еще вопросъ тоже совершенно не обслѣдованный, соответствующихъ общеустановленныхъ формулъ нѣтъ, ни теоретическихъ, ни даже эмпирическихъ! Дериваціею просто пренебрегаютъ, такъ какъ она имѣетъ небольшую величину,

\*) Существуютъ (пока, сколько извѣстно, только въ Америкѣ) такъ наз. механическія трубки, дѣйствующія безъ порохового состава, помощью механизма, подобнаго часовому. Онѣ устраняютъ сказанныя неудобства: ихъ установка всегда прямо пропорціональна времени  $t$  полета снаряда и не зависитъ отъ альтитуды.



дальности стрѣльбы сравнительно не велики и сама стрѣльба не можетъ быть точной и мѣткой. Но это, конечно, не есть рѣшеніе вопроса, тѣмъ болѣе, что высота полета воздушныхъ цѣлей („плафонъ“) увеличилась теперь уже до 11 км. и больше, а при такихъ высотахъ и дальностяхъ пренебрегаютъ деривациею уже невозможно.

Такъ же неизвѣстенъ и характеръ измѣненія мѣткости орудія, т. е. разсѣиванія его снарядовъ, но это уже вопросъ чисто теоретическій, большого практическаго значенія неимѣющій. Онъ мало разработанъ вообще \*) и ждетъ своей очереди.

Помимо вышеуказанныхъ чисто баллистическихъ вопросовъ, имѣется еще и много другихъ, привходящихъ, практическихъ, основанныхъ однако на баллистическихъ выводахъ и требующихъ быстрыхъ рѣшеній.

Надо начинать съ точныхъ измѣреній элементовъ полета цѣли: ея скорости, направленія, альтитуды, дальности (такъ называемой „исходной“), для того чтобы знать, когда начинать стрѣльбу и какія выбрать установки.

Цѣль всегда видна и прицѣливаніе орудія производится обыкновенно по самой цѣли, но при этомъ надо рассчитать и выбрать указанная установки (уголъ прицѣливанія, трубку, отклоненіе, поправки и пр.) такъ, что бы при прицѣливаніи въ одну точку  $A_0$ , выстрѣленные снаряды летѣли совсѣмъ къ другой  $A$ , гдѣ долженъ быть аэропланъ по прошествіи времени полета  $t$ . На охотѣ это дѣлается на глазъ: когда стрѣляютъ „въ летъ“ направляютъ ружья нѣсколько выше, или ниже, впередъ цѣли, нѣсколько правѣе или лѣвѣе, въ зависимости отъ направленія полета.

При стрѣльбѣ изъ орудій, имъ надо придать требуемое возвышеніе и направленіе, и соотвѣтствующія поправки для перехода отъ одной точки ( $A_0$ ) къ другой ( $A$ ). Вычислять эти элементы на батарее нѣтъ времени, онѣ должны быть рассчитаны заранее и помѣщены или въ спеціальныхъ таблицахъ стрѣльбы или на спеціальныхъ механическихъ приборахъ, которыми теперь и увлекаются множество изобрѣтателей, стремясь по возможности замѣнить человека — машиной! Это отчасти и удалось уже сдѣлать: приборы много облегчаютъ и ускоряютъ стрѣльбу; но и эти сложные механизмы не исключаютъ необходимости соотвѣтствующихъ предварительныхъ баллистическихъ вычисленій для составленія соотвѣтствующихъ діаграммъ, обакъ и таблицъ стрѣльбы, необходимыхъ какъ для нанесенія дѣленій на приборахъ, такъ и для замѣны послѣднихъ въ случаѣ ихъ порчи, вслѣдствіе

\*) Попытки полк. Трофимова не привели къ общепризнаннымъ результатамъ.



чего дальнѣйшія баллистическія изслѣдованія приобрѣтають очень важное значеніе.

20. Теорія воздушной баллистики. — По вышеуказаннымъ причинамъ — значительнаго вліянія угла мѣстности, зависящаго отъ высоты и дальности полета цѣли, на всѣ элементы стрѣльбы, ни одинъ изъ приведенныхъ методовъ вычисленій не оказался годнымъ. Появился цѣлый рядъ новыхъ, увы, до сихъ поръ еще не вполне удовлетворительныхъ. Приводимъ здѣсь одинъ изъ нихъ для иллюстраціи настоящаго положенія вопроса.

Началось опять съ той же  $\alpha$  — Дидіона и коэффициентовъ  $\lambda$  и  $\mu$  Сіаччи.

Такъ какъ траекторіи снарядовъ очень отлоги (противуаэропланныя орудія имѣють большую начальную скорость какъ для увеличенія плафона, такъ особенно и для уменьшенія времени  $t$  полета снарядовъ до цѣли), приближаются къ прямой линіи и обращаются въ нее на предѣлѣ, при стрѣльбѣ по вертикали вверхъ, то уголъ  $\Theta$  наклона касательной къ горизонту мало отличается отъ угла мѣстности  $S$ , который въ прежнихъ методахъ не игралъ особенной роли, а теперь приобрѣлъ первенствующее значеніе.

Основываясь на этомъ, извѣстный артиллеристъ Gazot предложилъ замѣнить  $\lambda$  черезъ  $\frac{\cos^2 \varphi}{\cos S}$ ;  $\mu$  оставилъ прежнимъ:  $\mu = \cos \varphi$  (при этихъ допущеніяхъ  $\alpha$  Дидіона превращается въ:  $\alpha = \frac{\cos S}{\cos^2 \varphi}$ ).

Такимъ образомъ тотъ же годографъ Сіаччи (§ 13 и 14):

$$\frac{d\Theta}{\cos^2 \Theta} = \frac{\alpha g}{C} \frac{dw}{wf(w)},$$

гдѣ

$$w = \frac{u}{\mu} = \frac{v \cos \Theta}{\cos \varphi},$$

принимаетъ видъ:

$$\frac{d\Theta}{\cos^2 \Theta} = \frac{g \cos S}{C \cos^2 \varphi} \cdot \frac{dw}{wf(w)} = d \operatorname{tg} \Theta.$$

$$d \operatorname{tg} \Theta = \frac{g \cos S}{C \cos^2 \varphi} \cdot \frac{dw}{wf(w)}.$$

$$\int_{\varphi}^{\Theta} d \operatorname{tg} \Theta = \frac{g \cos S}{C \cos^2 \varphi} \int_{V_0}^w \frac{dw}{wf(w)},$$



$$\operatorname{tg} \Theta - \operatorname{tg} \varphi = \frac{\cos S}{C \cos^2 \varphi} \cdot I - I_0 \text{ и т. д.}$$

Интегралы  $I$  и  $I_0$  вычислены въ заранѣ составленныхъ баллистическихъ таблицахъ для данной  $f(v)$ , какъ и ранѣ у Сіаччи, при чемъ всюду теперь фигурируетъ  $\cos S$ , вліяніе котораго и выявляется <sup>1)</sup>.

Пренебрегая измѣненіемъ плотности воздуха въ зависимости отъ альтитуды и считая баллистическій коэффициентъ  $C$  постояннымъ для одной и той же дальности, независимо отъ угла мѣстности — допущенія совершенно невѣрныя и теоретически недопустимыя, какъ мы видѣли, Газо послѣ довольно простыхъ выкладокъ, получаетъ слѣдующую формулу для главной данной — угла прицѣливанія  $\varphi$ :

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \varphi_0 \cos S.$$

Здѣсь  $\varphi_0$  — уголъ прицѣливанія для данной горизонтальной дальности  $X_0$ , когда уголъ  $S_0 = 0$ , есть величина постоянная (берется изъ обыкновенныхъ таблицъ) пока не мѣняется  $X$ . Слѣдовательно, при вышеупомянутомъ движеніи цѣли по кругу,  $\operatorname{tg} \varphi$  оказывается пропорціональнымъ  $\cos S$ , т. е. съ увеличеніемъ угла мѣстности уголъ прицѣливанія  $\varphi$  постоянно убываетъ и при  $S = 90^\circ$  превращается въ нуль, что и наблюдается въ дѣйствительности.

Хотя эта краткая и простая формула именуется французами „классической формулой Газо“ и даетъ на практикѣ довольно удовлетворительные результаты, тѣмъ не менѣе, съ теоретической точки зрѣнія она не можетъ считаться даже удовлетворительной, вслѣдствіе вывода ея при вышеуказанныхъ невозможныхъ допущеніяхъ и не устраняетъ необходимости провѣрки результатовъ вычисленій опытными данными. Она годится для безвоздушнаго пространства, гдѣ нѣтъ ни  $C$ , ни  $\delta$ , такъ какъ совершенно тѣми же приемами, что и у Газо, легко выводится при помощи параболической теоріи, что я и показываю въ другомъ мѣстѣ <sup>2)</sup>.

1) Напримѣръ: у Сіаччи: время  $t = \frac{C \cdot \phi(v)}{\cos \varphi}$ ;

$$x = C F(v);$$

у Газо

$$t = \frac{\cos S \cdot C \cdot \phi(v)}{\cos \varphi};$$

$$x = C \cdot \cos S \cdot F(v) \text{ и т. д.}$$

2) См. „Артил. Гласник“ № 13.



Объ остальныхъ формулахъ Газо можно сказать то же, что и о формулахъ Сіаччи: это далеко еще не есть окончательное рѣшеніе вопроса.

Аналогичными недугами страдаютъ и довольно многочисленныя уже методы, предложенныя съ тою же цѣлью другими авторами французскими (Sugot и G. H. M.), итальянскими (Bianchi), нѣмецкими (Кранцъ, Зейдлицъ и др.).

Изъ нихъ отмѣтимъ здѣсь лишь методъ G. H. M. по двумъ причинамъ:

1) Онъ интересенъ тѣмъ, что не только даетъ возможность приближеннаго интегрированія требуемыхъ функцій, но и позволяетъ опредѣлить границы точности произведенныхъ вычисленій, что уже даетъ нѣкоторую гарантію, но зато приводитъ къ очень кропотливой и продолжительной работѣ, и

2) онъ разработанъ коллективно: инженеромъ морской артил. „Garnier“, профессоромъ въ Клермонѣ „Naag“ и профессоромъ въ Парижѣ „Marcus“, и представляетъ собою такимъ образомъ рѣдкій примѣръ весьма желательнаго и искомаго здѣсь сотрудничества военныхъ научныхъ силъ съ гражданскими.

По существу методъ G. H. M. есть варіація метода Сіаччи съ тою разницею, что здѣсь, разбивая траекторію на части, въ предѣлахъ нѣкоторыхъ  $\Theta_1$  и  $\Theta_2$  (§ 15), авторы въ каждомъ элементѣ считаютъ постоянною не  $\alpha$  Дидіона, а самую функцію  $Cf(v)$  съ ея баллистическимъ коэффициентомъ (равна нѣкоторому среднему въ данномъ элементѣ значенію  $K$  этой функціи). Тогда изъ годографа:

$$d(v \cos \Theta) = \frac{C}{g} v f(v) d\Theta$$

получаются:

$$du = ku \frac{d\Theta}{\cos \Theta}; \quad \frac{du}{u} = k \frac{d\Theta}{\cos \Theta}$$

и

$$\log \frac{u_1}{u_0} = k \cdot \log \frac{\operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\Theta_2}{2} \right)}{\operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\Theta_1}{2} \right)} \text{ и т. д.}$$

и кромѣ того, аналогично Газо, сюда еще надо ввести и вывить вліяніе угла мѣстности ( $\cos S$ ), что еще не сдѣлано.

Но считать  $Cf(v)$  постоянной, когда  $v$  мѣняется въ каждой точкѣ и особенно сильно въ началѣ траекторіи, теоретически, конечно, нельзя, а практически — возможно лишь



въ очень узкихъ предѣлахъ, что приводитъ къ необходимости разбивать траекторію на еще болѣе мелкія части, чѣмъ въ методахъ Сіаччи и Кранца.

Такимъ образомъ пока — „возъ стоитъ и понынѣ тамъ“! Точное выраженіе  $f(v)$  неизвѣстно; точное интегрированіе годографа съ предлагаемымъ  $f(v)$  невозможно; безъ приближеній и допущеній обойтись нельзя и въ концѣ концовъ вопросъ рѣшается практическимъ путемъ — полученіемъ необходимыхъ данныхъ стрѣльбою и фотограмметриєю безъ чего нельзя точно вычислить баллистическій коэффициентъ  $S$ . Главнѣйшая основная задача баллистики еще не разрѣшена!

21. Заключение. — Для господъ профессоровъ по чистымъ и прикладнымъ наукамъ остается еще широкое поле дѣятельности, и надо надѣяться, что они не сочтутъ униженіемъ своего достоинства присоединить свои имена къ названнымъ выше. Это очень важно было всегда, важно теперь и особенно нужно для Россіи въ будущемъ, гдѣ старые наши мастера (проф. Забудскій, Петровичъ, Трофимовъ, Маркевичъ и др.) погибли\*), а на новыхъ молодыхъ — надежды мало!

Въ прошломъ гражданская профессура не удѣляла достаточно большого вниманія военному дѣлу. Кромѣ выше-названныхъ (Эйлера и Остроградскаго) мы можемъ привести еще лишь нѣсколько крупныхъ русскихъ именъ: Вышнеградскаго (механика), Чебышева (теорія вѣроятностей), Менделѣева (химія), Чернова (сталь) и этимъ исчерпывается почти все. Надо надѣяться, что въ будущемъ этотъ краткій перечень значительно расширится, тѣмъ болѣе, что грядущія войны будутъ народными, а это должно увеличить не только научный интересъ, но и заботы о самосохраненіи, общественной безопасности и самооборонѣ.

Въ минувшую войну Франція показала блестящей примѣръ такого сотрудничества: она организовала во время самой войны постоянную комиссію, въ которой участвовало много профессоровъ специалистовъ (и между ними вышеназванные проф. „Нааг“ и „Магсис“, уже оставившіе свой слѣдъ!), замѣнившихъ военныхъ. Эта комиссія была раздѣлена на двѣ части, изъ которыхъ каждая рѣшала задаваемые задачи самостоятельно, безъ сношенія съ другою, а затѣмъ результаты вычисленій сравнивались и свѣрялись. Этимъ путемъ было рѣшено много выдвигавшихся войною важныхъ вопросовъ,

\*) Помянемъ ихъ хоть здѣсь: Забудскій застрѣленъ на Александровскомъ мосту въ Петроградѣ; Петровичъ и Маркевичъ — умерли ускоренною большевиками смертью; Трофимовъ бросился съ того же моста въ Неву. Миръ ихъ праху!



составлено множество необходимыхъ таблицъ, выиграно много времени и освобождено много военныхъ силъ отъ кабинетной работы.

Французы по справедливости придають такой комиссiи огромное значенiе, признають заслуживающею благодарности за принесенную ею большую пользу и, конечно, не преминутьъ использовать ее и въ будущемъ, и въ военное, и въ мирное время.

Январь 1930 г.  
Ерцег-Нови.



Л. В. Черносветовъ.

## РЕЗОРБЦІЯ МУЖСКИХЪ ПОЛОВЫХЪ ПРОДУКТОВЪ И ЕЯ ЗНАЧЕНІЕ ДЛЯ ОРГАНИЗМА.

Мужскіе половые продукты у всѣхъ многоклеточныхъ животныхъ всегда вырабатываются въ количествѣ далеко превосходящемъ то, которое идетъ на оплодотвореніе яицъ. Процессъ оплодотворенія и связанныя съ нимъ измѣненія сперматозоидовъ были разработаны уже давно, но вопросъ о судьбѣ сперматозоидовъ не участвующихъ въ немъ долго оставался нетронутымъ. Являются ли они лишь продуктами абортивными, устраняемыми въ концѣ концовъ изъ организма, или на нихъ лежатъ какія нибудь другія физиологическія задачи? Я, конечно, далекъ отъ мысли дать здѣсь разрѣшеніе этой сложной проблемы и хочу лишь подвести нѣкоторые итоги имѣющимся даннымъ. Экспериментальныя изслѣдованія въ этой области почти совершенно отсутствуютъ въ настоящее время, почему намъ приходится быть очень осторожными въ окончательныхъ заключеніяхъ.

Одной изъ первыхъ работъ, затрагивающихъ интересующую насъ тему, была работа А. Schneider'a (1880) „Über die Auflösung der Eier und Spermatozoen in den Geschlechtsorganen“, гдѣ авторъ описываетъ поглощеніе амебоидными клетками мужскихъ и женскихъ половыхъ продуктовъ у пиявокъ *Nepheleis*, *Aulostomum* и *Hirudo*. Въ послѣдующее время резорбція мужскихъ половыхъ продуктовъ, какъ въ женскомъ, такъ и мужскомъ организмѣ, была наблюдаема цѣлымъ рядомъ изслѣдователей у представителей большинства группъ животнаго царства. Весьма цѣнную сводку данныхъ по этому вопросу мы находимъ въ работахъ L. Cognetti de Martiis „Ricerche sulla distruzione fisiologica dei prodotti sessuali maschili“ (1910) и „Contributo alla conoscenza della distruzione fisiologica dei prodotti sessuali maschili“ (1930), гдѣ авторъ вкратцѣ излагаетъ наблюденія различныхъ изслѣдователей, уклоняясь, однако, отъ обобщающихъ заключеній.

Имѣющіяся данныя говорятъ въ пользу того, что это явленіе есть общее для всѣхъ животныхъ и если оно не



было наблюдаемо въ нѣкоторыхъ группахъ, то только лишь благодаря неполности нашихъ свѣдѣній, основанныхъ большею частью на отрывочныхъ наблюденіяхъ. Предпринятая мною изслѣдованія въ этомъ направленіи надъ червями отрядовъ *Oligochaeta* (1930) и *Turbellaria* (1931), въ которыхъ я ставилъ своей задачей прослѣдить какъ различные пути резорбціи спермы, такъ и изслѣдовать въ этомъ отношеніи по возможности большее количество видовъ, привели меня къ заключенію, что это явленіе должно быть общимъ для всѣхъ представителей этихъ отрядовъ и на извѣстныхъ стадіяхъ развитія можетъ быть наблюдаемо у каждой отдѣльной особи. Дальнѣйшія изслѣдованія, вѣроятно, намъ покажутъ, что и въ другихъ группахъ мы встрѣтимся съ аналогичнымъ явленіемъ. Я не буду здѣсь подробно останавливаться на результатахъ моихъ наблюденій, а хочу болѣе широко затронуть вопросъ вообще о судьбѣ мужскихъ половыхъ продуктовъ въ животномъ царствѣ, имѣющемъ, можетъ быть, болѣе важное значеніе, чѣмъ намъ представляется въ настоящее время.

Если мы прослѣдимъ процессъ оплодотворенія въ животномъ царствѣ, то увидимъ, что лишь въ сравнительно рѣдкихъ случаяхъ сперматозоиды, не пошедшіе на оплодотвореніе яицъ, удаляются изъ организма и являются такимъ образомъ для него потерянными. Съ этимъ мы встрѣчаемся прежде всего при наружномъ оплодотвореніи, наблюдаемомъ у иглокожихъ, амфибій, рыбъ и другихъ. Въ большинствѣ случаевъ, однако, избытки сперматозоидовъ какъ въ мужскомъ организмѣ, такъ и послѣ копуляціи въ женскомъ организмѣ или проникаютъ въ ткани различныхъ органовъ, кишечный каналъ или поглощаются лимфоцитами, и въ томъ или иномъ видѣ усваиваются организмомъ. Въ связи съ этимъ встаетъ передъ нами рядъ вопросовъ: должны ли мы видѣть въ процессѣ резорбціи сперматозоидовъ лишь механическое удаленіе избытковъ мужскихъ половыхъ продуктовъ, не пошедшихъ на оплодотвореніе, или это явленіе есть процессъ физиологической, долженствующій играть опредѣленную роль въ жизни организма и въ этомъ случаѣ какое именно вліяніе на него можетъ оказывать огромное количество усваиваемыхъ сперматозоидовъ?

Чтобы дать бол. или мен. полную картину судьбы мужскихъ половыхъ продуктовъ, я хочу прослѣдить ихъ развитіе, начиная съ самыхъ раннихъ стадій, отмѣчая тѣ случаи, когда отклоненіе отъ нормальнаго развитія приводитъ ихъ къ гибели или преобразованію въ вспомогательные органы, исполняющіе функціи питанія или играющіе роль опорныхъ элементовъ при развитіи другой ихъ части въ герминативныя клѣтки.



Дегенерація и распаденіе части половыхъ клѣтокъ на раннихъ стадіяхъ ихъ развитія есть широко распространенное явленіе, наиболѣе хорошо изученное у позвоночныхъ животныхъ благодаря работамъ Ebner (1871), Sertoli (1877), Sabatier (1882), Prenant (1887), Herman (1889), D'Anna (1893), Regaud (1900, 1901), Champy (1908), Schneider (1908), Hargitt (1925) и многихъ другихъ. Regaud (1900) на основаніи своихъ наблюденій приходитъ, на примѣръ, къ заключенію, что: „la dégénérescence d'un certain nombre de cellules séminales est un phénomène constant dans le testicule normal“. Эти дегенерирующія половыя клѣтки бываютъ или поглощаются лейкоцитами, какъ это наблюдалъ Tettenhamer (1893) у амфибій, или питающимися клѣтками, что описываетъ Grünberg (1903) у насѣкомыхъ, Cognetti de Martiis (1910) у *Mollusca*, Regaud у млекопитающихъ и мною было наблюдаемо у *Oligochaeta* (1930) и *Turbellaria* (1931). Въ этомъ случаѣ продукты распада половыхъ клѣтокъ, слѣдовательно, непосредственно поглощаются клѣтками, ролью которыхъ является питаніе развивающихся на нихъ сперматозоидовъ (клѣтки Сертолли, клѣтки Rachis у *Nematoda*, „Nährzellen“ различныхъ группъ беспозвоночныхъ животныхъ).

Съ подобнымъ же явленіемъ мы также часто встрѣчаемся въ случаяхъ патологическихъ — при крипторхизмѣ и различныхъ заболѣваніяхъ, а также при сенильныхъ измѣненіяхъ сѣмянниковъ, что было наблюдаемо у человека уже Leydig'омъ (1866), Dieu (1867) и другими.

Подобная же дегенерація части половыхъ клѣтокъ или уже зрѣлыхъ сперматозоидовъ можетъ быть вызвана дѣйствіемъ рентгеновскихъ лучей (см. Regaud 1900), въ опытахъ Moore и Joung'a (1927) повышенной температуры, а также являются результатомъ авитаминоза. Такъ, на примѣръ, Mason (1926) кормленіемъ самцовъ крысъ очищенной пищей въ определенныхъ количествахъ, вызывалъ сильныя патологическія измѣненія сѣмянниковъ. Въ началѣ этого процесса происходитъ дегенерація сперматозоидовъ, а потомъ и сперматидъ, сопровождающаяся пикнозой и образованіемъ многоядерныхъ гигантскихъ клѣтокъ, въ концѣ концовъ также попадающихъ въ полость канала. Позже подвергаются дегенераціи сперматогоніи и сперматоциты, въ результатѣ чего остается только синцитій клѣтокъ Сертолли. Подобныя же патологическія измѣненія сѣмянниковъ у мышей вызывалъ Hirabayashi (1924) кормленіемъ животныхъ пищей, въ которой отсутствовали нѣкоторыя соли. При чемъ было замѣчено, что отсутствіе солей кальція, магнія и различныхъ фосфатовъ вызываетъ наибольшія измѣненія, въ то время какъ отсутствіе поваренной соли не оказываетъ почти никакого вліянія на сперматогенезъ.



Однако, не только явленія патологическаго характера приводятъ къ тому, что первичныя половыя клѣтки не даютъ сперматозоидовъ, предназначенныхъ къ оплодотворенію. Съ этимъ мы встрѣчаемся также въ случаяхъ весьма широко распространенныхъ среди животныхъ, когда часть половыхъ клѣтокъ даетъ возникновеніе различнымъ вспомогательнымъ образованіямъ, чаще всего питающимъ другую ихъ часть, развивающуюся въ сперматозоиды. Такъ, на примѣръ, по наблюденіямъ Grünberg (1903) первичныя половыя клѣтки въ сѣмянникахъ бабочекъ даютъ возникновеніе апикальнымъ и зародышевымъ клѣткамъ (сперматогоніямъ), а эти послѣднія въ свою очередь опять даютъ клѣтки цистъ и сперматоциты. Цитофоры головоногихъ моллюсковъ *Cephalopoda* возникаютъ изъ распадающихся сѣмянныхъ клѣтокъ, въ чемъ нельзя видѣть процессъ патологическій. По мнѣнію Thesing (1904): „Es scheint nicht zu hoch gegriffen, wenn man sagt, dass bei *Rossia* etwa ein Zehntel aller Samenbildungszellen zu Nährzellen verbraucht werden“. Съ подобнымъ же явленіемъ, по наблюденіямъ нѣкоторыхъ авторовъ (Jansen, 1883, Hatai 1900, Cognetti de Martiis 1925 и др.), мы встрѣчаемся и у *Oligochaeta*, хотя другіе считаютъ, что цитофоры у этихъ червей возникаютъ или изъ такъ называемыхъ „интерстиціальныхъ“ клѣтокъ сѣмянниковъ или слияніемъ плазматической массы отдѣльныхъ сперматогоній (Derdolla, 1906). Эти образованія по словамъ Vignion и Попова (1905) служатъ „en même temps à porter les spermatides et à les nourrir“ и слѣдовательно продукты распада сѣмянныхъ клѣтокъ идутъ на питаніе развивающихся сперматозоидовъ. Съ подобнымъ же явленіемъ мы встрѣчаемся также у многихъ другихъ животныхъ, такъ, на примѣръ, по наблюденіямъ Tönniges (1903), подтвержденнымъ Bouin (1903), у *Lithobius forficatus* сѣмянныя клѣтки: „werden vielfach als Nährmaterial verbraucht, so dass wir in den Nährzellen des *Lithobius*-Hodens echte abortive Keimzellen vor uns haben“.

Если мы обратимся теперь къ другой части герминативныхъ клѣтокъ, то увидимъ опять, что не все ихъ количество даетъ способные къ оплодотворенію сперматозоиды. По мѣрѣ созрѣванія половыхъ продуктовъ, часть изъ нихъ также подвергается дегенерации или резорбируется въ различныхъ органахъ. Въ первую очередь надо упомянуть объ атипичныхъ сперматозоидахъ, присутствіе которыхъ было наблюдаемо у многихъ животныхъ и которые, на примѣръ, по Broman (1902) также: „in kleinerer Zahl bei Mensch physiologisch vorkommen“. Ихъ возникновеніе, въ большинствѣ случаевъ, надо поставить въ связь съ многочисленными аномаліями, наблюдаемыми при развитіи половыхъ клѣтокъ и Ballowitz считаетъ, что они: „wohl nur Monstrosität darstellen“. Многие авторы, исходя изъ



предположенія, что эти атипическіе сперматозоиды способны къ оплодотворенію, все же придаютъ имъ большое значеніе въ образованіи близнецовъ, двойниковъ и различныхъ уродствъ. Если мы и допустимъ подобную возможность, то должны все же признать, что многіе изъ нихъ лишены этой способности, такъ какъ между атипическими сперматозоидами встрѣчаются такіе, у которыхъ отсутствуютъ весьма важныя части ихъ тѣла, безъ которыхъ мы не можемъ мыслить возможность оплодотворенія. Въ этомъ насъ убѣждаетъ хотя бы разсмотрѣніе многочисленныхъ рисунковъ, которыми снабжена работа Brogan'a (1902) „Über atypische Spermien (speziell beim Mensch) und ihre mögliche Bedeutung“. Мы должны слѣдовательно признать, что значительная часть такихъ сперматозоидовъ или подвергается дегенерации или судьба ихъ бываетъ такой же какъ и большинства нормальныхъ сперматозоидовъ, на чемъ я останавлиюсь ниже.

Отъ этихъ атипическихъ сперматозоидовъ должны быть различаемы диморфные сперматозоиды гетерозиготныхъ самцовъ многихъ животныхъ, играющихъ роль въ опредѣленіи пола, на которыхъ я не буду здѣсь останавливаться. Съ другой стороны, отъ этихъ послѣднихъ въ свою очередь должны быть различаемы, также извѣстные подъ именемъ „атипичныхъ“ или „диморфныхъ“, сперматозоиды *Mollusca*, *Lepidoptera* и *Oligochaeta*, открытые впервые Siebold'омъ (1836 у *Paludina*). Позднѣйшіе изслѣдователи (Brunn 1884 и др.) считали ихъ за нефункционирующіе abortивные продукты, хотя Brock и Auerbach (1896) все же полагали, благодаря ихъ вполнѣ правильному развитію въ большихъ массахъ, что они должны играть какую нибудь опредѣленную роль. Meves (1903), изслѣдовавшій ихъ развитіе у *Mollusca* и *Lepidoptera*, благодаря небольшому содержанію хроматина въ олигопиренныхъ сперматозоидахъ *Prosobranchia* и полному его отсутствію въ апиренныхъ сперматозоидахъ *Lepidoptera*, не могъ приписать имъ какой либо опредѣленной функции, хотя все же считаетъ возможнымъ, что участвуя въ оплодотвореніи они могутъ возбуждать яйцо къ развитію. Позднѣйшими изслѣдователями этого участія, однако, наблюдаемо не было. По повъ (1902) находилъ олигопиренные сперматозоиды въ овидуктахъ *Paludina*, гдѣ они, однако, подвергаются дегенерации, подобно тому какъ это наблюдалъ Reinke (1914) у *Strombus*, у котораго они никогда не достигаютъ до *Receptacula seminis*. По моимъ наблюденіямъ (1930) у *Oligochaeta (Ilyogenia santixavieri)* при конуляціи они также не попадаютъ въ *Receptacula seminis* и слѣдовательно никогда не приходятъ въ соприкосновеніе съ яйцомъ. Только въ одномъ случаѣ Кушакевичъ (1910) нашелъ ихъ наряду съ нормальными сперматозоидами въ яйцѣ *Aporrhais (Prosobranchia)*, но самъ пытается объяснить это чисто механическими причинами.



Опыты Hertwig (1912), пытавшіеся доказать, что атипичные сперматозоиды *Lepidoptera* играютъ роль въ опредѣленіи пола, не дали положительныхъ результатовъ. Goldschmidt (1910) также старался поставить ихъ существованіе въ связь съ этимъ процессомъ, но позднѣе призналъ эти попытки несостоятельными (1921). Къ подобнымъ же результатамъ пришелъ также Kemnitz (1914), хотя интересно отмѣтить, что у гермафродитной *Valvata (Prosobranchia)* ему не удалось обнаружить присутствія олигопиренныхъ сперматозоидовъ. Опыты Goldschmidt'a (1921) съ интерсексами бабочекъ приводятъ его къ заключенію, что „die atypische Spermien weder befruchtend noch entwicklungserregend wirken können“ и онъ считаетъ ихъ за „funktionslose abortive Degenerationsprodukte“. Авторъ высказывается также противъ предположенія Reinke, не основаннаго, правда, на какихъ-либо фактическихъ данныхъ, что атипичные сперматозоиды служатъ питательнымъ матерьяломъ для нормальныхъ сперматозоидовъ, хотя Derdolla (1928) не исключаетъ такую возможность. По мнѣнію Ankel (1926), они не играютъ никакой особенной роли и ихъ возникновеніе можетъ быть объяснено только филлогенетическимъ путемъ.

Существованіе диморфныхъ сперматозоидовъ, на которыхъ мы останавливались выше, показываетъ намъ, что не все количество сѣмянныхъ клѣтокъ можетъ развиваться въ сперматозоиды, предназначенные для оплодотворенія яицъ. Часть изъ нихъ, претерпѣвая извѣстныя измѣненія въ своемъ развитіи, подвергается въ концѣ концовъ дегенерации и распаденію и въ большинствѣ случаевъ усваивается организмомъ. Если мы не можемъ указать на какое-либо специфическое дѣйствіе этихъ сперматозоидовъ или продуктовъ ихъ распада, то все же должны признать за ними хотя бы чисто трофическую роль.

Весьма широко распространеннымъ явленіемъ среди всѣхъ животныхъ является поглощеніе уже вполне сформировавшихся сперматозоидовъ, что было наблюдаемо у представителей большинства группъ животнаго царства (см. Cognetti de Martiis 1910 и 1930). Во многихъ случаяхъ на резорбируемыхъ сперматозоидахъ не могутъ быть отмѣчены какія-либо измѣненія, предшествующія ихъ поглощенію. Regaud (1901), наблюдавшій это явленіе въ сѣмянникахъ крысы, все же считаетъ, что: „ces spermatozoïdes, en apparence normaux, étaient un peu en retard sur leurs congénères, quant à leur développement“ и думаетъ, что: „les spermatozoïdes incomplètement mûrs ont été détachés avec les autres; mais ils ont été ensuite rétracés comme des produits imparfaits, avec les corps résiduels“.

Рядъ другихъ изслѣдователей склоняется, однако, къ мнѣнію, что поглощенію различными тканями подвергаются



часто вполнѣ нормальные сперматозоиды и этому процессу въ сѣмянникахъ нѣкоторые изъ нихъ приписываютъ весьма важное значеніе, на чемъ я останавлиюсь ниже. Это явленіе фагоцитоза спермы въ Rete testis и въ полости придатка сѣмянника, которое было наблюдаемо у морской свинки, крысы, косули, *Vesperugo serotinus* и др., Wegelin (1921) назвалъ „сперміофагіей“. Въ этомъ процессѣ принимаютъ участіе „сперматофаги“ — большія одно- или много-ядерныя клѣтки, являющіяся измѣненными клѣтками Сертолли, къ которымъ, по наблюденіямъ Lehner (1924), также иногда могутъ присоединяться блуждающія клѣтки. Они поглощаютъ не только сперматозоиды и базальныя клѣтки, но также (Stieve, 1928) и всѣ формы сѣмянныхъ клѣтокъ, попадающихъ въ каналы. Въ противоположность другимъ изслѣдователямъ, Stieve приходитъ, однако, къ заключенію, что въ данномъ случаѣ мы имѣемъ дѣло не со „сперміофагіей“, а съ агглютинаціей спермы. Распаденіе сперматозоидовъ и ихъ поглощеніе различными тканями можетъ протекать и въ другихъ частяхъ полового аппарата. Такъ, на примѣръ, Königstein (1906) описываетъ это явленіе въ vesicula seminalis у человека, гдѣ продукты дегенерации сперматозоидовъ поглощаются эпителиальными клѣтками.

Съ аналогичнымъ явленіемъ поглощенія части сперматозоидовъ въ половыхъ железахъ или мужскихъ половыхъ органахъ мы встрѣчаемся также у многихъ беспозвоночныхъ животныхъ. Какъ я уже упомянулъ, впервые это наблюдалъ А. Schneider (1880) у *Hirudinea*, у которыхъ какъ сперматозоиды, такъ и яйца поглощаются амебоидными клѣтками, что потомъ было подтверждено другими изслѣдователями (Ковалевскій, 1900, 1901, Brumpt, 1900, Schubert и Kunze 1906). Позднѣе Siedlecki (1903) описалъ поглощеніе сперматозоидовъ амебоидными клѣтками у *Polymnia nebulosa* (*Polychaeta*), а Caulery и Siedlecki (1903) у *Echinocardium cordatum*, у котораго, послѣ окончанія періода половой зрѣлости, происходитъ полное уничтоженіе остатковъ какъ мужскихъ, такъ и женскихъ половыхъ продуктовъ фагоцитами. Съ подобнымъ явленіемъ мы встрѣчаемся у животныхъ съ сезонной или періодической половой зрѣлостью, какими, на примѣръ, являются *Oligochoeta*. У нихъ поглощеніе сперматозоидовъ амебоидными клѣтками было наблюдаемо Vejdovsky (1904), Brasil (1905), Hesse (1909), Cognetti de Martiis (1910) и др. и по моимъ наблюденіямъ (1928, 1930) должно быть присуще всѣмъ представителямъ этого отряда. Кромѣ этого резорбція сперматозоидовъ была описана также Dehorn (1923) въ такъ называемыхъ „интерстиціальныхъ“ клѣткахъ гонадъ у *Stylaria* и *Lumbricus*, а мною (1930) въ цитофорахъ, перитонеумѣ стѣнокъ тѣла и диссепиментовъ и нефридіяхъ. Во всѣхъ



приведенныхъ выше случаяхъ на сперматозоидахъ не могутъ быть наблюдаемы какія либо измѣненія, предшествующія ихъ поглощенію, почему мы не имѣемъ здѣсь дѣла съ устраненіемъ части дегенерировавшихъ или абнормальныхъ сперматозоидовъ, не способныхъ къ оплодотворенію.

По моимъ наблюденіямъ (1931) поглощеніе сперматозоидовъ въ мужскихъ частяхъ полового аппарата есть явленіе широко распространенное также среди *Turbellaria*. Кромѣ дегенерации сперматозоидовъ на раннихъ стадіяхъ развитія и часто наблюдаемой у *Triclada* дегенерации вполне нормальныхъ зрѣлыхъ сперматозоидовъ, происходитъ ихъ резорбція въ эпителиальныхъ клѣткахъ мужскихъ выводныхъ путей (*vesicula seminalis* и сѣмяпроводовъ), а также проникновеніе черезъ ихъ стѣнки и внѣдреніе въ клѣтки другихъ органовъ (паренхима, кишечный эпителий и др.), гдѣ происходитъ послѣдующій распадъ сперматозоидовъ, которые, такимъ образомъ, въ концѣ концовъ усваиваются организмомъ.

У гермафродитныхъ животныхъ иногда наблюдается проникновеніе сперматозоидовъ изъ женскихъ частей полового аппарата въ различныя ткани организма или наоборотъ на ихъ пути къ *uterus* или *resertaculum seminis*, когда отсутствуютъ наружныя части полового аппарата. Въ этихъ случаяхъ мы будемъ имѣть существенное отличіе отъ описанныхъ выше, такъ какъ здѣсь происходитъ резорбція чужихъ сперматозоидовъ, поступившихъ въ организмъ послѣ копуляціи, хотя процессъ этотъ и протекаетъ вполне аналогично съ наблюдаемымъ въ другихъ случаяхъ. Такъ, напримеръ, Ковалевскій (1900, 1901) описалъ у нѣкоторыхъ *Hirudinea* поглощеніе фагоцитарными органами и проникновеніе въ нефридіальныя капсулы сперматозоидовъ, которые послѣ распада сперматофоровъ устремляются черезъ ткани тѣла къ *uterus* и яичникамъ, а Nierstrasz (1903) у *Solenogaster* наблюдалъ проникновеніе сперматозоидовъ изъ *resertaculum seminis* въ клѣтки, окружающія эти органы, а также въ перикардіумъ и стѣнки атріума. Подобное же проникновеніе сперматозоидовъ изъ сѣмяприемниковъ описываетъ Cognetti de Martiis (1906, 1910) у *Pareudrilus pallidus*, которые поглощаются фагоцитами или особыми железистыми клѣтками въ полости тѣла, съ чѣмъ, по моимъ наблюденіямъ, мы встрѣчаемся и у нѣкоторыхъ другихъ *Oligochaeta*.

Во всѣхъ приведенныхъ выше случаяхъ мы рассматривали поглощеніе мужскихъ половыхъ продуктовъ въ мужскомъ организмѣ, но если мы теперь обратимся къ ихъ судьбѣ въ женскомъ организмѣ, то увидимъ, что и здѣсь значительная ихъ часть усваивается имъ. Это явленіе столь же широко распространено среди животнаго царства, какъ и по-



глощеніе части половыхъ продуктовъ въ мужскомъ организмѣ и, возможно, что дальнѣйшія изслѣдованія намъ покажутъ, что оно является общимъ для всѣхъ животныхъ. Въ настоящее время у насъ отсутствуютъ данныя о нѣкоторыхъ группахъ, но имѣющіяся свѣдѣнія позволяютъ намъ составить довольно полную картину теченія этого процесса. Въ обоихъ случаяхъ, мы имѣемъ дѣло съ аналогичными физиологическими процессами, служащими, вѣроятно, не только лишь простому механическому удаленію избытковъ мужскихъ половыхъ продуктовъ, но имѣющими болѣе глубокое значеніе.

Впервые Rossi (1890) у мыши, а потомъ Sobotta (1895, 1911, 1920), Königstein (1908), Grosse (1918) и Pora и Marza (1929) у другихъ млекопитающихъ наблюдали поглощеніе сперматозоидовъ лимфоцитами, проникающими въ половые органы самки. Нѣкоторые изъ нихъ исключительно въ этомъ процессѣ видятъ способъ удаленія избытковъ половыхъ продуктовъ, но Sobotta считаетъ, что главную роль играетъ агглютинація сперматозоидовъ, образующихъ у крысъ, такъ называемую, вагинальную пробку, удаляемую потомъ изъ тѣла. Рѣзкую критику со стороны Sobotta вызвали также наблюденія Kohlbrugge (1910, 1913), который описалъ у цѣлаго ряда позвоночныхъ (*Xantharpya amplexicaudata*, *Erinaceus*, *Talpa*, *Sorex*, *Cercocebus*, кролика, мыши, курицы, *Hylobates* и *Scylium*) проникновеніе сперматозоидовъ въ клѣтки мукозы матки и ея роговъ, а иногда въ соединительную ткань между железистыми трубками. Въ большинствѣ случаевъ, авторъ не могъ прослѣдить дальнѣйшія измѣненія, претерпѣваемыя сперматозоидами, но у кролика и летучей мыши *Pterogites stenopterus* имъ было наблюдаемо ихъ дальнѣйшее преобразование въ ядра, лежащія возлѣ ядеръ мукозы. О роли этихъ сперматозоидовъ авторъ высказываетъ предположеніе, не основанное, правда, на какихъ-либо фактическихъ данныхъ, что: „Es kann sein, dass die Spermien hierdurch mitwirken, um die Mucosa für die Rolle vorzubereiten, welche sie später bei der Ernährung des Eies spielen muss. Oder sie spenden der Mucosa Energie, lösen den Reiz aus, dem diese zur gewaltigen, erforderlichen Grössenzunahme nötig hat“ (1913 стр. 187).

Подобное проникновеніе сперматозоидовъ въ самотическія клѣтки женскаго организма категорически отрицается Sobotta, но наблюденія Grosse (1918) и Pora и Marza (1929) все же заставляютъ насъ признать его существованіе. Участіе своеобразнаго „Pseudopodienepithel“, окружающаго полость яичника, въ поглощеніи сперматозоидовъ, было также наблюдаемо Philippi (1909) у живородящей рыбы *Glaridichthys decem-maculatus*. Въ этомъ случаѣ сперматозоиды, захваченныя плазматическими отростками эпителиальныхъ клѣтокъ,



подвергаются, однако, дальнѣйшему разрушенію и продукты ихъ дегенерации, благодаря разрыву клѣтки, освобождаются потомъ въ полость яичника. Съ подобной же резорбціей сперматозоидовъ встрѣчался Kohlbrugge (1913) у *Scilium*, и Štěpanek (1928) въ оваріумахъ у *Lebistes reticulatus*. Мы можемъ предполагать, что это явленіе вообще широко распространено среди живородящихъ рыбъ, несмотря на то, что ихъ сперматозоиды, сохраняясь въ половыхъ органахъ самки, очень долгое время не теряютъ способности оплодотворенія. Такъ, на примѣръ, въ опытахъ Philippi, самки *Glaridichthys* черезъ 5 мѣсяцевъ, а самки *Lebistes*, по даннымъ Štěpanek, черезъ 9 мѣсяцевъ послѣ копуляціи, могли еще воспроизводить потомство.

Въ послѣднее время, на сѣздѣ „Deutsche Vereinigung für Mikrobiologie“ въ Вѣнѣ былъ прочитанъ докладъ Axelrad'a (1927) объ экспериментальномъ полученіи туморовъ у крысъ подъ вліяніемъ сперматозоидовъ, вводимыхъ въ организмъ. Наблюденія автора и заключенія, къ которымъ онъ приходитъ, требуютъ къ себѣ, однако, большой осторожности. Авторъ считаетъ, что опухоли возникаютъ какъ результатъ копуляціи сперматозоида съ соматической клѣткой, получившей такимъ образомъ импульсъ къ усиленному размноженію: „und die Zelle, mit der jeweils die Kopulation erfolgt, bestimmt den Charakter des Tumors, z. B. Kopulation eines Spermatozoons mit einer Bindegewebszelle ergibt ein Fibrom, mit einer Uterusmuskulzelle eine Myom usw“. Авторъ также отмѣчаетъ, что въ его опытахъ эти опухоли образовались исключительно у старыхъ самокъ и въ заключеніе приходитъ къ выводу, который врядъ-ли можетъ найти широкое признаніе, что: „jede Schwangerschaft nichts anderes als eine Zellneubildung ist — ein Tumor, jeder Tumor egal ob gut oder bösartig ist auch eine Zellneubildung — eine Schwangerschaft“.

Образованіе цистъ у крысъ, при подкожномъ впрыскиваніи сперматозоидовъ вблизи сѣмянниковъ, было также наблюдаемо Quick (1926), а Kohlbrugge (1910), наблюдавшій проникновеніе сперматозоидовъ въ эпителиальныя клѣтки матки у летучей мыши *Xantharpyia amplexicaudata* допускаетъ, что здѣсь происходитъ сліяніе ядеръ соматическихъ клѣтокъ со сперматозоидами, но не говоритъ о какихъ бы то ни было патологическихъ измѣненіяхъ. Эти наблюденія не позволяютъ все же дѣлать столь рискованныхъ заключеній, къ какимъ приходитъ Axelrad.

Подобная копуляція сперматозоидовъ съ соматическими клѣтками была еще ранѣе описана Berlese (1898) въ органѣ известномъ подъ именемъ „borsa di Berlese“ у *Acantia lectularia*, гдѣ слившіяся ядра превращаются потомъ въ каплю секрета, идущаго, вѣроятно, на питаніе сперматозоидовъ.



Позднѣ Carazzi (1902) высказалъ мнѣніе, что въ данномъ случаѣ происходитъ ихъ резорбція, что, однако, не нашло себѣ подтвержденія и Stagg (1920) считаетъ, что въ „borsa di Berlese“ у клопа ни копуляція сперматозоидовъ съ соматическими клѣтками, ни ихъ резорбція не имѣетъ мѣста.

Съ резорбціей сперматозоидовъ въ женскихъ частяхъ полового аппарата мы также встрѣчаемся у многихъ безпозвоночныхъ животныхъ, но не располагаемъ какими бы то ни было данными о той роли, какую этотъ процессъ играетъ въ ихъ жизни. Если въ немъ не усматривать только лишь механическое удаленіе избытковъ сперматозоидовъ, то съ физиологической точки зрѣнія мы должны различать резорбцію спермы въ женскомъ половомъ аппаратѣ у животныхъ гонохористическихъ и гермафродитическихъ. Въ послѣднемъ случаѣ этотъ процессъ, протекающій одновременно съ резорбціей сперматозоидовъ въ мужскихъ частяхъ полового аппарата, что мы наблюдаемъ, на примѣръ, у *Mollusca*, *Turbellaria* и *Oligochaeta*, будетъ лишь дополняющимъ, не имѣющимъ специфическаго значенія, въ то время какъ у животныхъ гонохористическихъ онъ долженъ играть самостоятельную роль, аналогичную процессу резорбції спермы въ мужскомъ организмѣ.

Среди животныхъ гонохористическихъ съ резорбціей спермы въ организмѣ самки, мы встрѣчаемся у круглыхъ червей, насѣкомыхъ и другихъ. Такъ, на примѣръ, по наблюденіямъ Mayer'a (1908), которыя были подтверждены Romieu (1911), различные типы сперматозоидовъ, находимые въ uterus *Ascaris megaloccephala* представляютъ не стадіи ихъ развитія, какъ думали раньше, а въ дѣйствительности являются стадіями ихъ дегенерации. Эти дегенерирующіе сперматозоиды потомъ поглощаются стѣнками uterus'a и усваиваются такимъ образомъ организмомъ. Подобную же дегенерацию части сперматозоидовъ Третьяковъ (1914) описываетъ и въ vesicula seminalis матки у этихъ червей. Въ послѣднее время Musso (1930), подтвердившій эти наблюденія, способность резорбирования сперматозоидовъ приписываетъ специальному отдѣлу матки, который онъ называетъ „фагоцитарной и секреторной зоной“, считая объ эти функціи чисто физиологическими процессами. По словамъ автора: „Es sind also physiologische Vorgänge — die phagocytäre Tätigkeit und die sekretorische Funktion, — welche Änderungen des Wandepithels bezeugen. Vorgänge, die am Uterusepithel beobachtet wurden (Romieu 1911, v. Kemnitz 1912, Romeis 1913) beginnen also bereits in der Samentasche, wo aber die phagocytäre Tätigkeit gegenüber der sekretorischen noch zurücktritt. Erst die nicht zur Befruchtung gelangten Spermatozoen verfallen ja der Phagocytose weiter unterhalb im Uterus“ (стр. 314—315). Мы видимъ такимъ



образомъ, что у *Ascaris* извѣстная часть матки, кромѣ другихъ функцій, беретъ на себя резорбированіе сперматозоидовъ. Это представляетъ для насъ большой интересъ въ связи съ тѣмъ, что у нѣкоторыхъ животныхъ были описаны органы, исполняющіе исключительно эту функцію.

У насѣкомыхъ Berlese (1899) описалъ распаденіе сперматозоидовъ въ особой „borsa“, окружающей „spermatheca vera“ у *Graphosoma lineatum*, органъ, который авторъ считаетъ специально служащимъ этой цѣли. Это явленіе, получившее впоследствии названіе „гипергамезиса“, было потомъ наблюдаемо у другихъ насѣкомыхъ. Zavattari (1922) наблюдалъ его у *Telmatoscopus (Diptera)* и считаетъ, что сперматозоиды, абсорбируемые стѣнками сѣмяприемника, утилизируются на питаніе яицъ, а Раевскій (1928) описываетъ его у клоповъ *Nabis ferus* и *N. rugorus*.

Вопросъ о существованіи специальныхъ органовъ, служащихъ для резорбціи сперматозоидовъ, представляетъ для насъ исключительный интересъ. Кромѣ *Graphosoma*, о которой я упомянулъ выше, подобные органы были описаны у паразитическихъ червей *Temnoscaphala*. Эти органы въ видѣ довольно большихъ мѣшковъ, лежащихъ въ эпителии кишки и филлогенетически, вѣроятно, возникшіе изъ сѣмяприемниковъ, по наблюденіямъ Haswell (1887) содержатъ только мертвые сперматозоиды. Merton (1913) предполагаетъ, что здѣсь происходитъ ихъ резорбція и, называя эти органы „vesicula resorbens“, считаетъ резорбирующую функцію ихъ главнымъ назначеніемъ, противъ чего, однако, позднѣе высказался Haswell (1924), который нашелъ у нѣкоторыхъ видовъ *canalis genito-intestinalis*, соединяющій эти органы съ кишкой, гдѣ, слѣдовательно, должно происходить поглощеніе сперматозоидовъ. Переходъ спермы въ кишку, по мнѣнію автора, можетъ совершаться также благодаря разрыву стѣнки органа. Въ послѣднее время Вагъ (1931) старается примирить оба взгляда, считая, что сначала въ этихъ органахъ происходитъ резорбція сперматозоидовъ, а послѣ ихъ переполненія и разрывъ стѣнки. Кромѣ *Temnoscaphala* съ аналогичными образованіями мы встрѣчаемся также у нѣкоторыхъ *Turbellaria*. Среди *Rhabdocoela* резорбирующую функцію приписываетъ Meixner (1924) концевой части женскаго генитальнаго канала *Phonohynchus helgolandicus*, а также *Polycistis tamertina* и представителей *Koinocystidini*, а въ послѣднее время Насоновъ (1930) описалъ у ряда представителей рода *Baicalia* особые фагоцитарные органы, являющіеся видоизмѣненными сѣмяприемниками, гдѣ также происходитъ резорбція спермы.

Съ этимъ же явленіемъ мы встрѣчаемся часто и въ тѣхъ случаяхъ, когда *reservoir seminis* не теряетъ своей



функції сѣмяприемника, играя такимъ образомъ двойную роль — сначала служа для сохраненія спермы, а подъ конецъ періода половой зрѣлости для ея уничтоженія. На это указываетъ часто наблюдаемая дегенерація спермы въ этихъ органахъ, описанная Findenegg (1930), мною (1931) и др., которая на позднихъ стадіяхъ должна быть считаема нормальнымъ явленіемъ. Есть указанія на то, что съ этимъ же процессомъ мы должны встрѣтиться и у *Mollusca*. Еще болѣе сложными являются отношенія у *Coelogynopora (Alloeocoela)*, у которой Steinböck (1924) подъ названіемъ bursa intestinalis описалъ своеобразный органъ, служащій въ различные періоды какъ bursa copulatrix, receptaculum seminis и, наконецъ, какъ резорбирующій органъ. Послѣднюю функцію у *Turbellaria* можетъ исполнять также и bursa copulatrix, гдѣ многими авторами у *Rhabdocoela* была наблюдаема дегенерація сперматозоидовъ, а мною ихъ проникновеніе и резорбція въ эпителиальныхъ клѣткахъ стѣнокъ этихъ органовъ у *Triclada*, что по всей вѣроятности наблюдалъ также Забусовъ (1911) у *Sorocoelis*.

Существованіе спеціальныхъ резорбирующихъ органовъ или хотя бы временное измѣненіе въ этомъ направленіи функції органовъ, ранѣе исполнявшихъ другую роль, указываетъ намъ, что процессу резорбції спермы не можетъ быть приписываемъ случайный характеръ и что онъ долженъ быть разсматриваемъ наряду съ другими процессами, сопровождающими періодъ размноженія. Это же заставляетъ насъ приписать ему въ жизни организма извѣстное физиологическое значеніе, о природѣ котораго, особенно у беспозвоночныхъ животныхъ, мы не можемъ, однако, съ увѣренностью высказаться въ настоящее время.

Среди животныхъ гермафродитическихъ съ резорбціей сперматозоидовъ въ женскихъ частяхъ половыхъ аппаратовъ мы встрѣчаемся у *Mollusca*, *Turbellaria*, *Oligochaeta* и др. Такъ, еще по наблюденіямъ Pérez (1868) у *Limax* и *Helix* происходитъ распадъ части сперматозоидовъ не пошедшихъ на оплодотвореніе въ такъ называемомъ „roche copulatrice“. Среди дождевыхъ червей Szüts (1913, 1927) описалъ проникновеніе сперматозоидовъ въ клѣтки эпителия сѣмяприемниковъ у *Eisenia rosea*, что было наблюдаемо мною у многихъ другихъ видовъ, относящихся почти ко всѣмъ родамъ этого семейства (1930). По моимъ наблюденіямъ, въ данномъ случаѣ, мы имѣемъ дѣло съ резорбціей сперматозоидовъ, которые, проникнувъ въ клѣтки эпителия, подвергаются въ нихъ дальнѣйшему разрушенію. Съ этимъ явленіемъ мы встрѣчаемся и у представителей другихъ семействъ, но все же его нельзя считать присущимъ всѣмъ видамъ отряда *Oligochaeta*. Сперматозоиды, проникаю-



шіе въ эпителиальныя клѣтки сѣмяприемниковъ, подвергаются въ нихъ разрушенію и никогда не преобразуются въ ядра, какъ это описываетъ Kohlbrugge у млекопитающихъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, какъ, напримѣръ, у *Lumbriculus variegatus*, эпителиальныя клѣтки сѣмяприемниковъ высылаютъ плазматическіе отростки, подобныя описаннымъ Philippi у рыбы *Glaridichthys*, помогающіе проникновенію сперматозоидовъ внутрь клѣтки; въ другомъ случаѣ, что было наблюдаемо мною только у *Branchiobdella parasita*, эпителиальныя клѣтки высылаютъ тонкіе длинные отростки, оплетающіе и разрушающіе сперматозоиды, лежащіе внутри ампулы сѣмяприемниковъ.

Наряду съ явленіемъ резорбціи спермы въ женскихъ частяхъ полового аппарата мы должны разсмотрѣть и ея поглощеніе въ кишечномъ каналѣ, что имѣетъ мѣсто въ тѣхъ случаяхъ, когда эти органы находятся съ нимъ въ непосредственномъ соединеніи. Съ этимъ мы встрѣчаемся у нѣкоторыхъ *Turbellaria*, *Trematoda* и *Oligochaeta*.

Среди червей отряда *Turbellaria* соединеніе кишки съ uterus'омъ впервые было найдено Graff'омъ (1899) у *Rhynchodemus terrestris* (Müll.) и получило названіе ductus genito-intestinalis (Bendl). Впослѣдствіи оно было обнаружено у *Rhabdocoela*, *Alloeocoela*, *Triclada* и нѣкоторыхъ *Polycladidae*, почему въ настоящее время эта особенность строенія полового аппарата, служащая для удаленія избытковъ спермы, не является рѣдкостью у *Turbellaria*.

У *Trematoda* ductus vitello-intestinalis, впервые открытый Zeller'омъ (1876) и исполняющій ту же функцію, что и у *Turbellaria*, позднѣе былъ описанъ Ijima (1884), Braun (1908) и др. у многихъ представителей этого класса, относящихся къ отряду *Monogenea*.

Среди *Oligochaeta* соединеніе сѣмяприемниковъ съ кишкой впервые было описано Michaelsen'омъ (1886) у нѣкоторыхъ *Enchytraeidae*. Позднѣе Beddard (1892) нашель его у *Sutroa* и высказалъ предположеніе что: „It is just possible that spermatozoa may be conveyed a short distance by the alimentary tract and than make they way out to fertilize the ova“ (p. 128). Противъ подобнаго предположенія высказался Mrázek (1900), обнаружившій соединеніе сѣмяприемниковъ съ кишкой у *Rhynchelmis limosella* Hoffm. и относительно его роли примкнулъ къ мнѣнію Michaelsen'а, который считаетъ его служащимъ для удаленія избытковъ спермы. Въ настоящее время оно извѣстно у большого числа видовъ, относящихся къ семействамъ *Tubificidae*, *Lumbriculidae*, *Euchytraeidae* и *Eudrilidae*.

У *Oligochaeta* переходъ сперматозоидовъ въ кишку и ихъ поглощеніе въ ней начинается совершаться, вѣроятно, очень скоро послѣ копуляціи. Мы не имѣемъ здѣсь только уничто-



женія массъ сперматозоидовъ, не пошедшихъ на оплодотвореніе, такъ какъ, на примѣръ, у экземпляровъ *Enchytraeus albidus* Henle, фиксированныхъ мною во время откладки коконовъ, мнѣ всегда удавалось обнаружить въ кишкѣ большое количество сперматозоидовъ. Это количество бываетъ иногда весьма значительнымъ: такъ у *Rhynchelmis limosella* Hoffm. я наблюдалъ сперматозоиды лежащія плотной массой въ кишкѣ вплоть до 24 сегмента, т. е. на протяженіи 16 сегментовъ, а у *Enchytraeus albidus* Henle Michaelsen (1886) находилъ ихъ на протяженіи 10 сегментовъ.

Если въ настоящее время мы не можемъ говорить о какой либо ферментативной роли сперматозоидовъ, поглощаемыхъ въ кишкѣ, то въ приведенныхъ случаяхъ должны признать хотя бы ихъ непосредственное трофическое значеніе для организма.

Мы разсмотрѣли усвоеніе части мужскихъ половыхъ продуктовъ тканями различныхъ органовъ самца и самки, чѣмъ, однако, этотъ процессъ не ограничивается въ животномъ царствѣ, такъ какъ сперматозоиды могутъ проникать также и въ ткани развивающагося зародыша или яйцо, гдѣ претерпѣваютъ аналогичныя измѣненія съ описанными въ нѣкоторыхъ другихъ случаяхъ. Если мы признаемъ извѣстное вліяніе резорбируемыхъ сперматозоидовъ на взрослый организмъ, то, естественно, должны допустить и ихъ вліяніе на развивающійся зародышъ. Въ чемъ можетъ выразиться подобное вліяніе, въ настоящее время сказать трудно и можетъ быть Kohlbrugge (1910 стр. 521) заходитъ слишкомъ далеко, допуская, что: „dann steht dem Vater allerdings noch andere Wege offen um das Kind zu beeinflussen ausser durch das eine des Ei befruchtende Spermatozoid“, но извѣстную роль они все же должны играть, хотя бы, на примѣръ, въ видѣ мероцитовъ, помогающихъ усваиванію желтка или сливающихся съ клѣтками развивающагося организма.

Прежде всего мы встрѣтимся съ этимъ при полисперміи, которая была наблюдаема у цѣлага ряда животныхъ и является явленіемъ вполне нормальнымъ. Подобно другимъ случаямъ судьба сперматозоидовъ при полисперміи можетъ быть двоякой: они могутъ или распадаться въ периферическихъ слояхъ плазмы яйца, какъ это, на примѣръ, описываетъ Henking (1892) у *Pieris brassicae*, *Pyrrhocoris* и *Lasius niger*, или преобразовываться въ ядра, которые не могутъ быть отличимы отъ мужского пронуклеуса. Такъ возникаютъ мероциты, описанные Rückert'омъ (1891—99) у *Selachia* и Orpel'емъ (1892) у нѣкоторыхъ пресмыкающихся.

По мнѣнію Ballowitz'a (1903), Dean (1906) и другихъ эти добавочныя ядра — Nebenkerne — или въ видѣ мероцитовъ служатъ для ассимиляціи желтка или принимаютъ непосред-



ственное участие въ образованіи зародыша, сливаясь съ его клѣтками.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ проникновеніе сперматозоидовъ можетъ продолжаться и послѣ начала дробленія яйца, сравнительно до позднихъ стадій развитія зародыша. Этотъ процессъ, непосредственно связанный съ полисперміей и являющійся ея дальнѣйшимъ развитіемъ, былъ наблюдаемъ въ настоящее время только у позвоночныхъ животныхъ, что, однако, не исключаетъ возможности его болѣе широкаго распространенія среди другихъ классовъ.

Впервые Bonnet (1899) черезъ 17 часовъ послѣ копуляціи наблюдалъ: „auf der Oberfläche einer Hundkeimblase, deren Embryonalschild schon eine Rückenfurche zeigte, unter dem Auflösung begriffenen Prochorion, in allen ihren Teilen vollkommen erhaltene Spermien“ (стр. 867). Позднѣ Kohlbrugge (1910, 1911, 1913) наблюдалъ проникновеніе иногда значительнаго количества сперматозоидовъ въ клѣтки уже развитой бластулы или трофобласта у летучей мыши *Xantharpya amplexicaudata* и кролика. Интересно отмѣтить, что у кролика, у котораго по наблюденіямъ автора полисперія является правиломъ, проникновеніе сперматозоидовъ черезъ zona pellucida въ развивающееся яйцо начинается только по достиженіи стадіи въ 4 или болѣе blastomerъ.

Сперматозоиды, проникающіе въ клѣтки развивающагося зародыша, подобно нѣкоторымъ указаннымъ выше случаямъ, по наблюденіямъ Kohlbrugge: „zu kleinen, länglichen, tonnenförmigen Gebilden anschwellen, die das Chromatin nur an dem einem Pol zeigen“, но не сливаются съ ядрами клѣтокъ зародыша. Относительно роли, какую могутъ играть эти сперматозоиды, авторъ высказываетъ мнѣніе, что: „die Spermatozoiden einerseits als Aktivitäts- oder Teilung anregen, andererseits nehme ich an, dass die Spermatozoiden dem Ei Nahrungsstoff zuführen, so lange dieses noch frei schwebt also noch nicht mit der Uteruswand verklebt ist. Legt sich das Ei aber an die Mukosa an, dann spielen die Spermien wieder eine Rolle bei dieser Verklebung oder Umwachsung (Einbettung), wie ich bei Fledermäusen gezeigt habe“ (1911 стр. 84). Къ этимъ заключеніямъ автора надо относиться, конечно, съ большою осторожностью, такъ какъ они не имѣютъ за собой неопровержимыхъ фактическихъ данныхъ или экспериментальныхъ изслѣдованій, и можетъ быть Kohlbrugge слишкомъ поспѣшно приписываетъ такое большое значеніе этимъ сперматозоидамъ, но самъ фактъ ихъ проникновенія въ клѣтки зародыша не теряетъ своего большого интереса и можетъ быть дальнѣйшія изслѣдованія намъ разъяснятъ ихъ роль.

Среди безпозвоночныхъ животныхъ, кромѣ многочисленныхъ случаевъ полисперміи, констатированной во многихъ



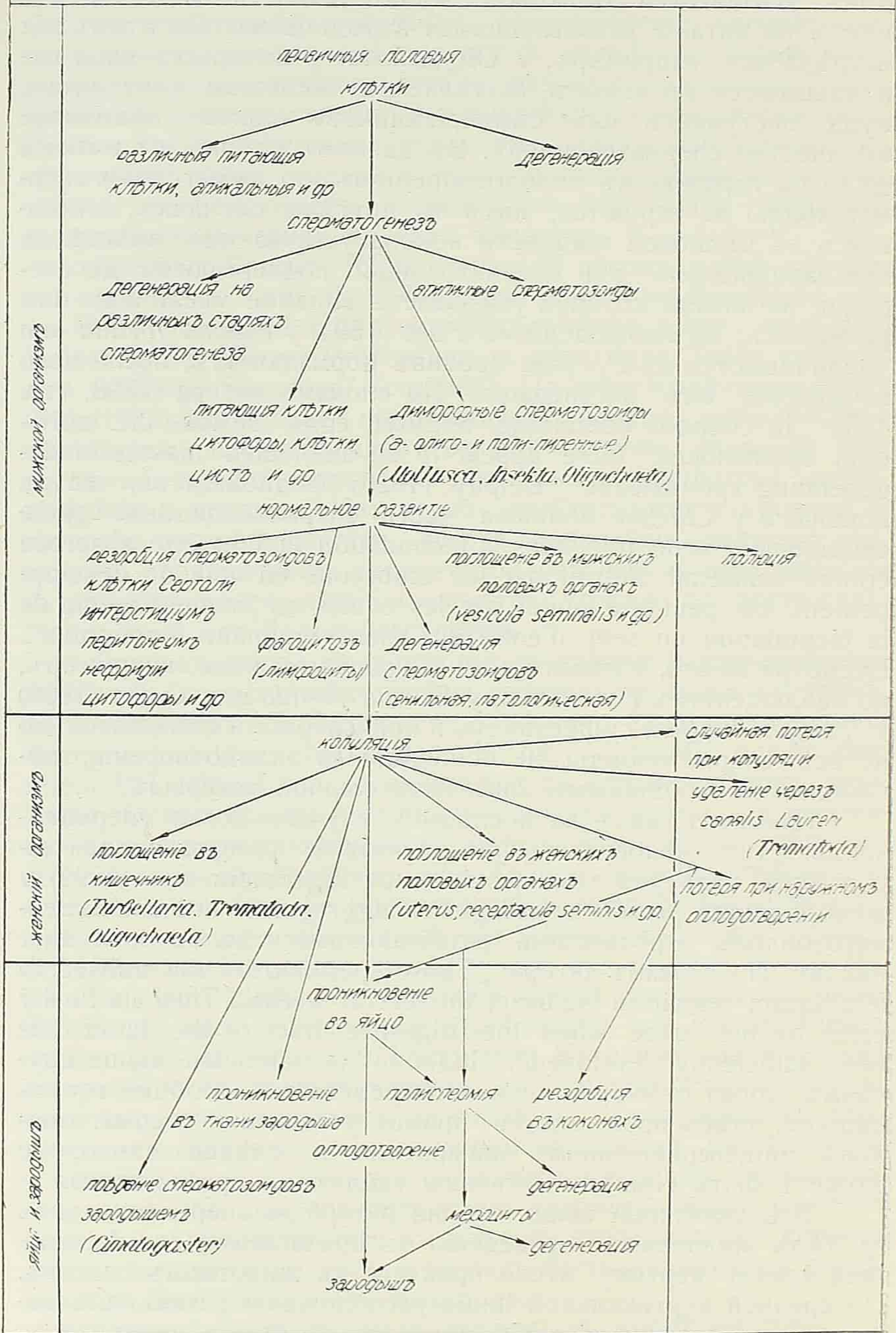
классамъ, у животныхъ несущихъ коконы, въ которыхъ происходитъ оплодотвореніе и развитіе яицъ, часть сперматозоидовъ усваивается бѣлковой жидкостью и вмѣстѣ съ ней идетъ на питаніе развивающимся зародышамъ. Съ этимъ мы встрѣчаемся, на примѣръ, у *Oligochaeta*, у которыхъ яйца откладываются въ коконъ, выдѣляемый железами клителлума, куда поступаетъ изъ сѣмяприемниковъ также нѣкоторое количество сперматозоидовъ. Въ данномъ случаѣ мы имѣемъ дѣло съ наружнымъ оплодотвореніемъ, но избыточные сперматозоиды не теряются, какъ въ другихъ случаяхъ, а оставаясь въ бѣлковой жидкости кокона усваиваются вмѣстѣ съ ней зародышами. Эти сперматозоиды подвергаются дегенерации, на начало которой указываетъ сильное увеличеніе ихъ размѣровъ; по наблюденіямъ Foot (1894) у *Eisenia foetida* они увеличиваются въ  $2\frac{1}{2}$  раза противъ нормальныхъ, послѣ чего начинается ихъ дегенерация. По словамъ автора (1898, стр. 495): „In cocoons containing fertilized eggs, besides the individual spermatozoa, there appear to be attenuated masses of degenerating spermatozoa“. Delphy (1920) предполагаетъ, что въ коконахъ у *Clitellio* большая часть сперматозоидовъ: „joue certainement acun rôle dans la fécondation et doit être absorbée comme matériel nutritif par les embryons en voie de développement, ou peut-être plutôt par les ovules au moment même de la fécondation un seul d'entre eux étant vraiment fonctionnel“. Несмотря на это, у нѣкоторыхъ *Oligochaeta*, какъ, на примѣръ, по наблюденіямъ Foot (1898) у *Eisenia foetida* или Gathy (1900) у *Tubifex tubifex*, существуетъ и полиспермия и слѣдовательно не всѣ сперматозоиды, не пошедшіе на оплодотвореніе, поглощаются зародышемъ какъ питательный матеріалъ.

Наконецъ, какъ на послѣдній случай, когда сперматозоиды идутъ непосредственно на питаніе развивающихся зародышей, надо указать на описанное Eigenmann'омъ (1892) у живородящей рыбы *Cumatogaster aggregatus* поѣданіе сперматозоидовъ зародышами, развивающимися въ полости яичниковъ. По словамъ автора: „Those spermatozoa not utilised in fertilization remain in the ovary for several weeks... They are finally eaten by the larvae when the digestive tract of the latter has been sufficiently developed“. Подобно указаннымъ выше случаямъ, когда сѣмяприемники непосредственно сообщаются съ кишкой, здѣсь происходитъ прямое усваиваніе сперматозоидовъ пищеварительнымъ аппаратомъ и, слѣдовательно, не можетъ быть сомнѣній объ ихъ утилизаціи организмомъ.

Всѣ указанные выше случаи резорбціи сперматозоидовъ въ тѣлѣ животныхъ приведены въ прилагаемой схемѣ, дающей яркую картину этого процесса въ животномъ царствѣ. По средней вертикальной линіи расположены главнѣйшіе моменты нормальнаго развитія мужскихъ половыхъ продуктовъ.



Судьба мужских половых продуктов в животном царстве





Верхняя часть схемы заключаетъ случаи резорбціи половыхъ продуктовъ въ мужскомъ организмѣ, средняя — въ женскомъ и нижняя — въ яйцѣ или развивающемся зародышѣ. Мы видимъ, что главнѣйшая масса мужскихъ половыхъ продуктовъ въ томъ или иномъ видѣ усваивается организмомъ и только въ рѣдкихъ случаяхъ, помѣщенныхъ за чертой съ правой стороны схемы, они бывають для него потерячными.

Эта потеря, во-первыхъ, происходитъ при поллюціи, явленіи, которое, если не съ біологической, то съ фізіологической точки зрѣнія, должно быть разсматриваемо какъ нормальное. Другой случай потери большого количества мужскихъ половыхъ продуктовъ наблюдается при наружномъ оплодотвореніи, извѣстномъ у ряда животныхъ; однако, здѣсь теряется не все количество спермы, не пошедшей на оплодотвореніе. Часть сперматозоидовъ проникаетъ въ яйцо при полисперміи или у животныхъ кладущихъ коконы резорбируется бѣлковой жидкостью и вмѣстѣ съ ней идетъ на питаніе зародышей. Совершенно особое мѣсто занимаетъ возможное удаленіе части сперматозоидовъ изъ тѣла у плоскихъ червей *Trematoda* черезъ *canalis Laureri*. Въ данномъ случаѣ мы имѣли бы единственное приспособленіе во всемъ животномъ царствѣ, служащее для удаленія избытковъ сперматозоидовъ изъ организма, что, однако, не было констатировано съ полной очевидностью и нѣкоторыми изслѣдователями; наоборотъ, высказывается предположеніе, что *canalis Laureri* при копуляціи играетъ роль вагины. Наконецъ, послѣдней возможностью является случайная потеря части мужскихъ половыхъ продуктовъ при копуляціи, возможная у всѣхъ животныхъ.

Разсматривая приводимую схему видимъ, что въ подавляющемъ числѣ случаевъ мы встрѣчаемся съ поглощеніемъ мужскихъ половыхъ продуктовъ, не пошедшихъ на оплодотвореніе яицъ, что заставляетъ насъ задуматься надъ той ролью, какую долженъ имѣть для организма этотъ процессъ.

Можно сказать съ увѣренностью, что явленіе резорбціи мужскихъ половыхъ продуктовъ въ томъ или иномъ видѣ присуще всему животному царству и если оно не было наблюдаемо у всѣхъ представителей, то только благодаря отсутствію въ этомъ направленіи систематическихъ изслѣдованій. Мы должны притти къ заключенію, что это явленіе есть нормальный фізіологическій процессъ, который не можетъ быть ограниченъ только патологическими случаями. Резорбція сперматозоидовъ должна явиться такимъ образомъ не простымъ механическимъ удаленіемъ избытковъ мужскихъ половыхъ продуктовъ, вырабатывающихся во



всемъ животномъ царствѣ въ количествѣ всегда далеко превосходящемъ то, которе идетъ на оплодотвореніе яицъ, но имѣть и прямое отношеніе къ организму.

На вопросъ, какую именно роль играютъ въ жизни организма резорбируемые сперматозоиды, мы сейчасъ не можемъ дать общаго отвѣта. Врядъ ли можетъ быть оспариваемо мнѣніе Königstein'a (1906), что сперматозоиды „haben in Form ihrer rezorbirten Abbauprodukte im Stoffwechsel noch eine Aufgabe zu erfüllen“, но должны ли мы ограничиться признаніемъ лишь чисто трофическаго ихъ значенія или можемъ приписывать имъ и значеніе ферментативное?

Въ этомъ отношеніи весьма интересна работа Cognetti de Martiis (1929): „Sugli ormoni sessuali e sulla derivazione germinale di quello testicolare“, въ которой авторъ, на основаніи изученія многочисленныхъ литературныхъ данныхъ, въ вопросѣ образованія гормоновъ сѣмянниковъ выдвигаетъ на первый планъ наблюдаемую въ нихъ резорбцію мужскихъ половыхъ продуктовъ, на которой мы останавливались выше. Если всецѣло стать на точку зрѣнія Cognetti de Martiis, то для насъ должны быть весьма убѣдительными опыты Nukaguya (1926), который „сперматозировалъ“ кастратовъ бѣлыхъ крысъ, вводя имъ въ тѣло свѣжій экстрактъ сѣмянниковъ и ихъ придатковъ, причемъ такіе „сперматозированные“ кастраты въ своемъ развитіи ничемъ не отличались отъ контрольныхъ нормальныхъ животныхъ.

Хотя въ настоящее время мы и не располагаемъ экспериментальными изслѣдованіями, ставившими себѣ задачей разрѣшеніе этихъ вопросовъ, но все же изъ имѣющихся данныхъ можно извлечь весьма цѣнные свѣдѣнія, освѣщающія нѣкоторые вопросы и могущія послужить толчкомъ къ новымъ изслѣдованіямъ.

Рядомъ изслѣдованій (Метальниковъ 1911 и др.) было показано, что введеніемъ въ кровь сперматозоидовъ можетъ быть достигнута извѣстная иммунизация организма. Въ этомъ отношеніи большой интересъ представляютъ опыты Найдиша (1927), который инъекціей сперматозоидовъ вызывалъ у самокъ кроликовъ временное безплодіе, причемъ остальные функціи женскаго организма, какъ на примѣръ овуляція, не были нарушены. Подобная стерилизация можетъ быть вызвана не только субкутанной, интерперитонеальной или интравенозной инъекціей живыхъ, но также и мертвыхъ сперматозоидовъ. По мнѣнію автора, вырабатывающіеся при подобной иммунизации сперматолизины или сперматоксины проникаютъ съ кровью во всѣ органы и въ частности въ половыхъ органахъ самки создаютъ условія, при которыхъ не можетъ наступить оплодотвореніе.

Насколько не заманчивы результаты этихъ опытовъ, вы-



зываемую стерилизацію нельзя все же съ полной увѣренностью отнести къ специфическому дѣйствию сперматоксиновъ. Такъ на примѣръ Bank (1928) у бѣлыхъ крысъ также получалъ до 75% стерильныхъ самокъ при подкожныхъ или интермускулярныхъ инъекціяхъ холестерина и лецитина, а Fellner (1927) при инъекціяхъ феминина. Въ этихъ опытахъ возможно, однако, что стерилизація возникаетъ благодаря дѣйствию указанныхъ веществъ или ихъ антитѣль на яйцо, а не на сперматозоиды, какъ предполагаетъ Найдисъ въ своихъ опытахъ. Въ пользу послѣдняго заключенія говоритъ то, что въ опытахъ автора продолжительность бесплодія стояла въ прямой зависимости отъ концентраціи сперматоксина въ серумѣ. Присутствіе сперматоксина, хотя бы и въ минимальныхъ дозахъ, можетъ быть, однако, обнаружено и въ нормальномъ серумѣ, а при повышенной концентраціи наступаетъ бесплодіе, какъ, на примѣръ, въ изслѣдованныхъ авторомъ двухъ случаяхъ бесплодія у женщинъ, серумъ которыхъ обладалъ исключительной способностью агглютинировать сперматозоиды. Здѣсь передъ нами встаетъ вопросъ — не является ли появленіе въ крови сперматоксина результатомъ резорбціи сперматозоидовъ, наблюдаемыхъ въ женскихъ половыхъ органахъ? Отвѣтъ на этотъ вопросъ значительно приблизилъ бы насъ къ разрѣшенію проблемы значенія резорбціи мужскихъ половыхъ продуктовъ для женскаго организма.

Съ изслѣдованіями Найдиса интересно сопоставить опытъ Quick'a (1926), который производилъ субкутанныя и интерперитонеальныя впрыскиванія сперматозоидовъ и тканей сѣмянниковъ самцамъ бѣлыхъ крысъ, что не вызывало никакихъ измѣненій въ сѣмянникахъ и какъ не вліяло на теченіе сперматогенеза, такъ и не отражалось на способности сперматозоидовъ къ оплодотворенію. Изъ этого слѣдовало бы заключить, что мужской и женскій организмы различно относятся къ сперматоксинамъ, находящимся въ крови, но опыты Метальникова (1911) показываютъ, что сѣмянники и его придатки обладаютъ способностью нейтрализовать цѣлый рядъ веществъ, вводимыхъ въ кровь, почему результаты опытовъ Quick'a можно было предсказать заранѣе.

Даннымъ Quick'a противорѣчатъ, однако, результаты опытовъ Guyer'a (1922) надъ кроличками и морскими свинками. Авторъ производилъ повторныя впрыскиванія сперматоксического серума самцамъ кроликовъ, что вызывало или инактивацию части сперматозоидовъ, или уменьшеніе ихъ числа, или полное исчезновеніе. При этомъ въ первомъ случаѣ достигалась частичная или временная стерилизація, а во второмъ полная, причемъ герминативный эпителий сохранялъ свой нормальный видъ. Въ третьемъ же случаѣ наблюдались ясныя



дегенеративныя измѣненія въ сѣмянникахъ, затрагивающія не только уже зрѣлые сперматозоиды, но и герминативный эпителий сѣмянныхъ канальцевъ.

Благодаря большому разнообразію путей, по которымъ идетъ резорбція мужскихъ половыхъ продуктовъ, было бы неправильнымъ искать одно общее объясненіе этого сложнаго процесса, приложимое ко всѣмъ случаямъ и во всѣхъ группахъ животнаго царства. Какъ мы видѣли, половыя клѣтки могутъ или давать въ началѣ своего развитія возникновеніе различнымъ вспомогательнымъ органамъ; или, уже въ видѣ сперматозоидовъ, проникать въ ткани организма и тамъ преобразовываться въ ядра; или распадаться въ полостяхъ различныхъ органовъ и усваиваться ихъ стѣнками; проникать въ различныя ткани и тамъ подвергаться разрушенію; или, наконецъ, поглощаться въ кишечномъ каналѣ. Естественно, что и роль этихъ сперматозоидовъ будетъ различной. Трофическое ихъ значеніе во многихъ случаяхъ для насъ вполне очевидно, но вопросъ возможности ихъ ферментативнаго вліянія является несравненно болѣе сложнымъ. Приблизить насъ къ разрѣшенію этого вопроса, имѣющаго, можетъ быть, болѣе важное значеніе, чѣмъ намъ представляется въ настоящее время, могутъ только экспериментальныя изслѣдованія и тѣ отрывочныя данныя, которыми мы располагаемъ въ настоящее время, указываютъ намъ пути, по которымъ мы должны идти.

Литература по затронутымъ здѣсь вопросамъ помѣщена въ слѣдующихъ работахъ:

- Cognetti de Martiis. L. (1910) Ricerche sulla distruzione fisiologica dei prodotti sessuali maschili.  
Mem. R. Acad. Sc. Torino, ser. 2. T. 61.
- Cognetti de Martiis. L. (1930). Contributo alla conoscenza della distruzione fisiologica dei prodotti sessuali maschili.  
Boll. Mus. Zool. e Anat. Comp. Genova, T. 8.
- Černosvitov. L. (1930) Studien über die Spermaresorption. I Teil. — Die Samenresorption bei den Oligochäten, II Teil — Die Samenresorption im tierischen Körper im allgemeinen.  
Zoolog. Jahrb. Abt. f. Anat. T. 52.
- Černosvitov L. (1931) III Teil. Die Samenresorption bei den Tricladen. IV Teil. Verbreitung d. Samenresorption bei d. Turbellarien.  
Zoolog. Jahrb. Abt. f. Anat. T. 53.



В. Мартино.

## ОБЪ ИЗМѢНЕНИИ ОКРАСКИ МѢХА У МЛЕКО- ПИТАЮЩИХЪ ЮГОСЛАВИИ.

Лѣтомъ 1930 года благодаря матеріальной поддержкѣ Русскаго Научнаго Института въ Бѣлградѣ мнѣ удалось сдѣлать нѣсколько экскурсій по Югославіи для изученія фауны млекопитающихъ и, между прочимъ, собрать новый матеріаль по интересовавшему меня вопросу о связи окраски мѣха съ экологическими условіями. Этотъ новый матеріаль вмѣстѣ съ наблюденіями прошлыхъ лѣтъ даетъ возможность сдѣлать нѣкоторыя обобщенія, которыя и изложены въ настоящей статьѣ. Въ литературѣ имѣются указанія на зависимость окраски мѣха: во-первыхъ, отъ непосредственнаго вліянія влажности; во-вторыхъ, отъ непосредственнаго вліянія температуры и, наконецъ, отъ вліянія доминирующихъ тоновъ среды, въ которой живетъ животное (покровительственная окраска). Задача статьи — прослѣдить какой изъ перечисленныхъ факторовъ ближе всего подходитъ для объясненія измѣнчивости окраски у различныхъ видовъ млекопитающихъ въ предѣлахъ Югославіи.

О непосредственномъ вліяніи влажности климата говоритъ извѣстный зоогеографъ R. Hesse \*): „Die Luftfeuchtigkeit scheint auch einen Einfluss auf die Färbung der Tiere zu haben, derart, dass bei höherem Feuchtigkeitsgehalt eine Dunkelfärbung auftritt“. Далѣе указанный авторъ добавляетъ, что соотвѣтствующія измѣненія чаще всего наблюдаются у млекопитающихъ: „weit verbreitet ist dies Verhalten bei Säugern“.

Относительно непосредственнаго вліянія температуры на цвѣтъ мѣха имѣется рядъ противорѣчивыхъ указаній зоогеографическаго характера. Въ послѣднее время появились и экспериментальныя изслѣдованія надъ млекопитающими, которыя, однако, еще требуютъ провѣрки.

1) R. H e s s e. Tiergeographie. Jena. 1924, p. 386.



Чаще всего принимаютъ, что у птицъ и млекопитающихъ холодъ понижаетъ развитіе темныхъ пигментовъ. Въ полномъ противорѣчій съ этимъ находится рядъ другихъ фактовъ, на примѣръ, почти черная окраска камчатскаго медвѣдя и свѣтло-бурая кавказскаго, или потемнѣніе зимняго мѣха по сравненію съ лѣтнимъ у очень многихъ насѣкомоядныхъ и грызуновъ.

Въ моей работѣ приведено очень мало случаевъ, въ которыхъ окраску мѣха можно поставить въ связь съ температурой. Когда же это можно сдѣлать, то оказывается, что болѣе темная пигментировка наблюдается при болѣе низкой температурѣ.

Измѣненіе окраски въ подражаніе цвѣту окружающей среды хорошо извѣстный фактъ. Нѣкоторыя явленія покровительственной окраски стали общимъ мѣстомъ въ учебникахъ зоологіи. Тѣмъ не менѣе многіе еще факты этого порядка ускользаютъ отъ наблюденія или подвергаются сомнѣнію. Такъ, на примѣръ, трижды, въ 1916<sup>2)</sup>, 1920<sup>3)</sup>, и 1924<sup>4)</sup> году нами указывалось на зависимость окраски у различныхъ видовъ сусликовъ отъ цвѣта почвы и растительнаго покрова и тѣмъ не менѣе для *Citellus pygmaeus* вопросъ этотъ остается еще открытымъ<sup>5)</sup>. Поэтому сообщать новые факты въ указанномъ направленіи не значитъ „ломиться въ открытую дверь“. Наоборотъ, покровительственной окраскѣ слѣдуетъ удѣлять особое вниманіе. Въ настоящей статьѣ цвѣтъ мѣха сопоставляется главнымъ образомъ съ окраской почвы, окраской опавшей листвы въ лѣсу, временемъ выгорания травянистой растительности и т. д. Возможное вліяніе инсоляціи во вниманіе не принято, т. к. большинство млекопитающихъ — ночныя животныя. Къ тому же въ предѣлахъ Югославіи районъ сильной инсоляціи, которая должна бы была вызывать „размытые“ тускло-желтые тона, совпадаетъ съ райономъ свѣтло окрашенныхъ почвъ и раннимъ выгораніемъ растительности. Эти послѣдніе экологическіе факторы требуютъ отъ покровительственной окраски тѣхъ же „размытыхъ“ желтовато-сѣрыхъ тоновъ. Благодаря указаннымъ особенностямъ установить вліяніе инсоляціи крайне затруднительно.

Матеріалы приведены только по тремъ отрядамъ: *Insecti-*

2) Мартино В. и Е. Ежегодникъ Зоологич. Музея Акад. Наукъ, т. XXI. 1916. р. 278—279.

3) Мартино В. и Е. Зап. Крым. Общ. Естеств. и Люб. Природы т. VII 1917. р. 1—7 (от.).

4) Мартино В. и Е. Ежегодникъ Зоол. Муз. Акад. Наукъ, т. XXIV р. 23—26.

5) Оболенскій С. И. Грызуны праваго берега нижнего Поволжья. Саратов. 1927. р. 4.



*vora*, *Carnivora* и *Rodentia*. Обиходъ летучихъ мышей слишкомъ своеобразенъ, чтобы ихъ можно было разсматривать наряду съ наземными звѣрьками, а по копытнымъ у насъ нѣтъ нужнаго матеріала.

**Talpa europaea** Hesse <sup>6)</sup> по даннымъ True <sup>7)</sup> указываетъ, что окраска американскихъ кротовъ (*Scapanus* и *Scalops*) зависитъ отъ влажности климата, вслѣдствіе чего въ богатой осадками Орегонѣ кроты почти черные (fast schwarz), въ сѣверной Калифорніи они коричневые (braun), а въ сухой южной Калифорніи — серебристые (silberig). Указанное измѣненіе окраски кротовъ особенно интересно для поднятаго въ этой статьѣ вопроса, такъ какъ законы покровительственной окраски (равно какъ и вліяніе инсоляціи) не должны распространяться на подземныхъ животныхъ. Въ этомъ случаѣ можно говорить о непосредственномъ вліяніи влажности. Къ сожалѣнію такой зависимости окраски отъ влажности климата для европейскихъ кротовъ не указывалось. Нельзя найти этой зависимости и на тщательно подобранной серіи обыкновенныхъ кротовъ изъ Югославіи. Интересно добавить, что имѣющійся въ нашей коллекціи кротъ изъ Британской Колумбіи, который по даннымъ True долженъ былъ бы быть особенно темнымъ, оказался значительно сѣрѣе самыхъ свѣтлыхъ европейскихъ.

Приблизительно въ тѣ же тона какъ и *Talpa europaea* окрашены и *Talpa coeca* съ адриатическаго побережья.

**Talpa romana**. Единственный извѣстный экземпляръ крота съ Перистера, который можетъ быть причисленъ къ виду *Talpa romana* <sup>8)</sup> окрашенъ свѣтлѣе и сѣрѣе, чѣмъ европейскій кротъ изъ болѣе сѣверныхъ и болѣе влажныхъ частей Югославіи, но возможно, что это только индивидуальная вариация.

**Neomys (fodiens и milleri)**. Оба вида найдены въ Югославіи. *N. fodiens* съ чернымъ или чернобурымъ мѣхомъ имѣетъ килевые волоски на хвостѣ; распространеніе этого вида неразрывно связано съ берегами рѣкъ и озеръ. *N. milleri* съ темнымъ пепельно сѣрымъ мѣхомъ не имѣетъ килевыхъ волосковъ и ведетъ болѣе сухопутный образъ жизни <sup>9)</sup>. Такимъ образомъ на югославянскихъ представителяхъ рода *Neomys* можно замѣтить, что удаленіе отъ воды и воднаго образа жизни совпадаетъ съ переходомъ окраски отъ чернаго

<sup>6)</sup> loc. cit. p. 387.

<sup>7)</sup> True, F. W. Proc. Un. St. Nat. Museum 1919, p. 16.

<sup>8)</sup> Martino, V. and E. Journal of Mammology. Baltimore. 1931 Vol. 12, № 1, p. 53.

<sup>9)</sup> Въ 1921 году, недалеко отъ Н.-Градишки въ Славоніи удалось поймать эту землеройку за три километра отъ ближайшаго ручья. Къ тому же въ это время стояла засуха.



и черно-бураго оттѣнка къ пепельно сѣрому, подобно тому, какъ это выше было отмѣчено для американскихъ кротовъ. Повидимому въ этомъ случаѣ мы имѣемъ дѣло съ непосредственнымъ вліяніемъ влажности, такъ какъ темно-сѣрый мѣхъ въ смыслѣ покровительственной окраски едва ли имѣетъ преимущества передъ черно-бурымъ. Нужно еще добавить, что описанный нами въ 1920 г. изъ Крыма подвидъ *N. fodiens tokrzeckii*<sup>10)</sup> тоже отличается пепельно-сѣрымъ мѣхомъ и не имѣетъ килевыхъ волосковъ; послѣднее обстоятельство (какъ и у *N. milleri*) указываетъ на меньшую связь этого подвида съ водой по сравненію съ настоящими водяными куторами *Neomys fodiens*.

**Sorex araneus.** Землеройки-бурозубки плохой матеріаль для выясненія связи окраски мѣха со средой, такъ какъ у нихъ окраска подвержена значительнымъ индивидуальнымъ вариациямъ и сезоннымъ измѣненіямъ. И та и другая измѣнчивость для большинства подвидовъ еще не изучена. Только для основного подвида *S. araneus araneus* L. установлена рѣзко выраженная сезонная измѣнчивость и опредѣлены предѣлы индивидуальныхъ цвѣтовыхъ вариаций: зимній мѣхъ у этого подвида черно-бурый, лѣтній свѣтло-бурый<sup>11)</sup>. Поэтому возможно предположеніе, что на цвѣтъ мѣха у бурозубокъ вліяетъ температура. И, дѣйствительно, распределеніе темныхъ и свѣтлыхъ подвидовъ часто совпадаетъ съ температурными данными. Такъ *S. araneus* изъ окрестностей Бѣлграда, гдѣ средняя годовая + 10, будетъ и самая свѣтлая. Наоборотъ, высокогорные подвиды бурозубокъ, гдѣ средняя годовая около 0, окрашены въ общемъ гораздо темнѣе (*S. araneus tetragonurus* Herm. и *S. araneus eleonoraе* Wettstein). Однако приписать измѣненіе окраски вліянію одной температуры нельзя, такъ какъ, во-первыхъ, темные подвиды встрѣчаются не только тамъ, гдѣ холоднѣе, но и тамъ, гдѣ выпадаетъ больше осадковъ, а, во-вторыхъ, оба типа окраски разграничены и другими экологическими условіями: землеройка изъ окрестностей Бѣлграда и Панчева живетъ въ рѣдкомъ лѣсу, у котораго почва покрыта рано выгорающей травой, а горные подвиды встрѣчаются въ еловыхъ лѣсахъ.

Однако, принимая во вниманіе вышеуказанную склонность землероекъ-бурозубокъ къ индивидуальной и сезонной измѣнчивости окраски мѣха и совпаденіе факторовъ внѣшнихъ воздѣйствій, не слѣдуетъ дѣлать на основаніи этого вида никакихъ заключеній. Приведенныя данныя пока интересны лишь тѣмъ, что они соотвѣтствуютъ въ общихъ

10) Мартино В. и Е. Зап. Крым. Общ. Естеств. и Люб. Природы. т. VII. Симферополь (1917—1920) р. 1 (оттискъ).

11) Огнев С. Ю. Ученые Зап. Сев.-Кавказ. Института Краеведения, т. I. Владикавказ, 1926, р. 41.



чертахъ болѣе опредѣленнымъ заключеніямъ, которыя можно сдѣлать на основаніи окраски и географическаго распространенія подвидовъ рода *Evotomys* и *Sylvaemus*.

**Crocidura (leucodon, mimula, russula).** Подвиды землекъ-бѣлозубокъ средиземно-морской подобласти часто отличаются своимъ болѣе свѣтлымъ мѣхомъ по сравненію съ сѣверными подвидами. Таковы, на примѣръ, *C. mimula cantabra* Сабтега, *C. russula pulchra* Сабтега изъ Испаніи и др. Подобныя же свѣтлыя отклоненія окраски мѣха у южныхъ формъ намѣчаются и у землероекъ-бѣлозубокъ въ предѣлахъ Югославіи. По крайней мѣрѣ матеріаль, которымъ мы располагаемъ, это подтверждаетъ. Такъ окраска мѣха *C. mimula suaveolens* Pall. изъ-подъ Куманова гораздо свѣтлѣе чѣмъ болѣе сѣверные представители *C. mimula mimula* Miller. Экземпляры *C. russula* изъ Кральева и Черногоріи ближе всего подходятъ по окраскѣ мѣха къ испанской *C. r. pulchra* Саб. и хотя землеройку этого вида изъ Югославіи еще нельзя описать, какъ подвидъ, все же на основаніи имѣющагося матеріала можно считать, что экземпляры изъ южной части Королевства свѣтлѣе окрашены, чѣмъ типичная форма. Наконецъ, единственная пока извѣстная шкурка сомнительнаго подвида изъ южной Герцеговины *C. leucodon parentae* Волка у тоже довольно свѣтло окрашена. Такимъ образомъ по извѣстнымъ пока экземплярамъ можно отмѣтить, что окраска мѣха у всѣхъ видовъ рода *Crocidura* въ предѣлахъ Югославіи становится къ югу свѣтлѣе и что это совпадаетъ, во-первыхъ, съ удлиненіемъ періода, когда травянистая растительность выгораетъ и имѣетъ свѣтлые желтоватые тона, а, во-вторыхъ, съ тѣми районами, гдѣ преобладаютъ свѣтло-окрашенныя почвы. Указанное посвѣтлѣніе намѣчается и на юго-западѣ въ горахъ вдоль адриатическаго побережья съ 2000—4000 мм. годовыхъ осадковъ и на юго-востокѣ, въ Вардарской Сербіи, гдѣ осадковъ выпадаетъ въ среднемъ 600 мм. Поэтому надо думать, что и здѣсь окраска мѣха носитъ покровительственный характеръ. Однако это явленіе у рода *Crocidura* едва уловимо и интересно только при сопоставленіи съ другими видами, у которыхъ связь окраски съ цвѣтомъ среды рѣзче выражена и изучена на большемъ матеріалѣ.

**Erinaceus roumanicus.** Этотъ видъ ежа, который кромѣ Югославіи занимаетъ и всю юго-восточную Европу, отличается тѣмъ, что у него задняя часть брюшка темно-бураго цвѣта, тогда какъ у обыкновеннаго ежа *E. europaeus* все брюшко окрашено въ грязный бѣловато-сѣрый цвѣтъ. Причина такой окраски мнѣ непонятна, тѣмъ не менѣе интересно отмѣтить, что потемнѣніе окраски наблюдается у ежа занимающаго районъ бѣдныхъ осадками (въ 1½—2 раза).



**Vulpes vulpes.** Изъ Испаніи описанъ подвида *Vulpes vulpes silacea* Miller. Этотъ подвида отличается отсутствіемъ яркихъ ржавыхъ и желтыхъ тоновъ, необыкновенно сильно развитіемъ бѣлыхъ пестринъ („сѣдина“) и часто совершеннымъ сѣрымъ хвостомъ.

Такою окраску можно считать покровительственной для звѣрей, живущихъ среди сѣрыхъ скалъ, гдѣ ярко рыжія животныя слишкомъ рѣзко бросались бы въ глаза. Поэтому большой интересъ приобрѣтаютъ лисицы изъ карстовой области Югославіи. Благодаря вниманію покойнаго Н. Н. Богданова я получилъ возможность просмотрѣть значительную серію лисьихъ шкуръ изъ Черногоріи, къ сожалѣнію безъ болѣе точнаго обозначенія мѣста.

Результаты этого просмотра можно свести въ табличку:

- |                |   |             |
|----------------|---|-------------|
| a.             | Основной цвѣтъ яркій, желтый или красноватый. |             |
| a <sub>1</sub> | На поясницѣ бѣлые волоски едва замѣтны —      | 3 экзempl.  |
| b <sub>1</sub> | На поясницѣ бѣлые волоски хорошо развиты —    | 16 экзempl. |

Всего яркихъ лисицъ 19 экзempl.

- |    |  |               |
|----|--|---------------|
| b. | Основной цвѣтъ тусклый безъ яркихъ ржавыхъ или желтыхъ тоновъ; на поясницѣ всегда сильно развиты бѣлые волоски; хвостъ часто сѣрый | — 17 экзempl. |
|----|--|---------------|

Такимъ образомъ немного болѣе половины (53%) исследованныхъ лисицъ сохраняютъ окраску средне-европейскаго подвида, а немного меньшая часть (47%) соответствуетъ типу испанской лисицы. Возможно, что первыя добыты въ сѣверной лѣсной части Черногоріи, а вторыя — въ безлѣсномъ карстѣ. По крайней мѣрѣ тѣ лисицы, которыя завѣдомо были убиты среди рѣдкаго карстоваго кустарника, подходили къ испанскому типу. Кромѣ того лисицы изъ карста имѣютъ и нѣкоторыя черепныя отличія, почему для нихъ слѣдовало бы возстановить старое названіе Fitzinger'а — *Vulpes vulpes meridionalis* <sup>12)</sup>.

Остальные хищники въ предѣлахъ Югославіи изучены еще недостаточно полно, чтобы говорить объ ихъ окраскѣ въ связи съ измѣненіями экологическихъ условій.

**Lepus europaeus.** Для обоихъ подвиговъ русаковъ, указанныхъ для Югославіи, характерно сильное развитіе свѣтлыхъ волосъ въ области поясницы, но общій тонъ окраски сѣвернаго *L. europaeus transsylvanicus* Matschie болѣе темный и коричневый, чѣмъ у средиземно-морскаго *L. europaeus me-*

<sup>12)</sup> Fitzinger.. Wissensch.-pop. Naturgesch. der Säugeth., I p. 194. 1861.



*ridiei* Hilzheimer. Первый живетъ въ области чернозема, гдѣ осадковъ выпадаетъ не болѣе 800 мм., а второй въ районѣ съ 1500—2000 мм. годовыхъ осадковъ, но съ рано выгорающей травой<sup>13)</sup> и съ желтовато-ржавыми тонами почвы (*terra rossa*). Такимъ образомъ по отношенію къ зайцамъ можно сказать, что болѣе свѣтлая покровительственная окраска появляется у нихъ вопреки вліянію влажности.

**Myoxidae.** Исключительно ночной образъ жизни сонъ, ихъ продолжительная зимняя спячка и жизнь на деревьяхъ очень затрудняютъ изученіе экологическаго значенія ихъ окраски. Можно только отмѣтить, что часто живущій между скалъ тирольскій подвидъ *Dyromys nitedula intermedius* Nehring лишенъ желтоватыхъ тоновъ, характерныхъ для основного подвида, который живетъ исключительно на деревьяхъ. Очень близко къ тирольскому окрашенъ и единственный экземпляръ нашей коллекціи съ Бѣлашницы изъ Босны (№ 603), тогда какъ экземпляръ съ Перистера (№ 523) окрашенъ, какъ типичный. Ограниченность матеріала не позволяетъ въ этомъ случаѣ дѣлать опредѣленныхъ заключеній.

Причина сильнаго развитія ржавыхъ и черно-бурыхъ тоновъ на хвостахъ у южныхъ представителей рода *Glis* остается для меня непонятной.

**Cricetus cricetus.** Хомякъ найденъ только въ сѣверной черноземной части Югославіи. Окраска его очень постоянна. При сравненіи съ хомяками изъ юго-восточной Россіи обращаетъ на себя вниманіе слабое развитіе ржавыхъ тоновъ. Эта окраска можетъ быть сопоставлена съ окраской живущаго въ томъ же районѣ европейскаго суслика *Citellus citellus* L. (см. ниже).

**Evotomys glareolus.** Какъ извѣстно, М. Hinton<sup>14)</sup> раздѣлилъ рыжихъ полевокъ на двѣ группы: *Evotomys nageri* и *Evotomys glareolus*. Къ первой относятся горные подвиды — большіе и темные, ко второй низменные — болѣе мелкіе и ярко окрашенные.

Самая крупная югославянская рыжая полевка (*Evotomys gorka* Mont.) не подходитъ по своей окраскѣ (*bright rufous*) къ типу *E. nageri*, но зато словенская *E. glareolus ruttneri* Wet. и еще неописанные экземпляры рыжихъ полевокъ изъ Босны окрашены темнѣе равнинныхъ изъ Славоніи. Просматривая распространеніе тѣхъ и другихъ, можно замѣтить, что

<sup>13)</sup> Раннее выгораніе растительности при огромномъ количествѣ осадковъ происходитъ вслѣдствіе „средиземно-морского“ характера распредѣленія осадковъ въ теченіе года: максимумъ приходится на осень и зиму, а лѣто обыкновенно страдаетъ отъ засухи. Вода отъ дождя очень скоро исчезаетъ въ карстовыхъ щеляхъ и тонкій слой почвы быстро пересыхаетъ.

<sup>14)</sup> Hinton M. Monograph of voles and Lemmings. London. 1926, p. 226.



темныя формы въ общемъ встрѣчаются въ мѣстахъ съ болѣе суровымъ климатомъ и большимъ количествомъ осадковъ (исключеніе представляетъ *Evotomys gorka*). При просмотрѣ большого количества рыжихъ полевокъ изъ Босны пришлось обратить вниманіе еще на одно совпаденіе: рыжія полевки изъ буковаго лѣса Малаго Игмана оказались нѣсколько болѣе рыжія и яркія, чѣмъ экземпляры изъ еловаго лѣса Большого Игмана. Въ бассейнѣ Дуная, тамъ гдѣ распространена самая яркая форма *E. glareolus isticus* Miller, нѣтъ еловыхъ лѣсовъ, а главнымъ образомъ буковые, рѣже дубовые и сосновые. Опавшая буковая листва ярче и „рыжѣ“, чѣмъ опавшая еловая хвоя. Къ тому же почва еловаго лѣса болѣе затемнена. Къ сожалѣнію мысль сопоставить окраску мѣха съ цвѣтомъ опавшей листвы пришла мнѣ въ голову послѣ того, какъ мы потеряли возможность коллектировать рыжихъ полевокъ. Поэтому, пока отмѣченное соотношеніе окраски и опавшей листвы не будетъ провѣрено на большихъ серіяхъ, нельзя считать для этого вида вопросъ уже рѣшеннымъ, тѣмъ болѣе, что измѣненія окраски совпадаютъ въ общихъ чертахъ и съ измѣненіями климата. Надо еще отмѣтить, что многіе авторы не принимаютъ во вниманіе при описаніи подвидовъ рыжихъ полевокъ сезоннаго измѣненія ихъ мѣха. Такимъ образомъ, на примѣръ, Montegu описалъ *E. g. isticus* Miller изъ Нова-Градишки, какъ новую форму *E. g. sobrus* Mont. <sup>15)</sup>.

**Dolomys bogdanovi** обладаетъ своеобразной пепельно-сѣрой окраской сходной съ окраской каменистыхъ розсыпей холокарста <sup>16)</sup>. Эта окраска безъ всякаго сомнѣнія можетъ рассматриваться, какъ покровительственная. По нашимъ, пока еще непровѣреннымъ наблюденіямъ, тотъ подвидъ, который встрѣчается среди кустарниковъ (*D. bogdanovi bogdanovi* Martino) отличается буроватымъ оттѣнкомъ мѣха. У другого подвида (*D. bogdanovi marakovići* Volkay), извѣстнаго пока изъ карстовыхъ ямъ безлѣсныхъ вершинъ, преобладаетъ голубовато-сѣрый оттѣнокъ.

**Arvicola terrestris.** Всѣ представители этого вида изъ Югославіи свѣтлѣе и рыжѣе болѣе сѣверныхъ подвиговъ изъ Западной Европы (напр. Фено-скандіи), но темнѣе, чѣмъ подвиды изъ юго-восточной Россіи. Принимая во вниманіе, что ржавые тона для этого вида не являются покровительственной окраской, надо думать, что появленіе ихъ вызвано климатическими условіями. Возможно, что на югѣ, гдѣ водные бассейны часто пересыхаютъ, этотъ звѣрекъ ведетъ болѣе сухопутный образъ жизни.

<sup>15)</sup> Montegu I. Proc. Zool. Soc. of London. 1924., p. 867.

<sup>16)</sup> Холокарстомъ называется область, гдѣ карстовыя явленія выражены особенно рѣзко, а растительность чрезвычайно бѣдна.



**Microtus arvalis.** Житники въ предѣлахъ Югославіи имѣютъ два типа окраски. Сѣверные подвиды *M. arvalis arvalis* Pall. и *M. arvalis levis* Miller отличаются темнымъ тономъ съ желтоватыми пестринками; мѣхъ ихъ составляется изъ смѣси коричневыхъ и желтоватыхъ волосковъ съ сильнымъ преобладаніемъ первыхъ. Такая окраска встрѣчается у полевокъ, живущихъ на темныхъ, сильно гумифицированныхъ почвахъ, особенно на степномъ черноземѣ.

Второй типъ окраски характеризуется преобладаніемъ желтыхъ тоновъ. Сюда принадлежатъ *M. arvalis brauneri* Mart. и *M. arvalis hartingi* Thom., которыя встрѣчаются преимущественно на мало гумифицированныхъ желтоватыхъ почвахъ Вардарской Сербіи или на terra rossa.

На основаніи такого распредѣленія можно считать, что окраска мѣха житниковъ носить въ предѣлахъ Югославіи покровительственный характеръ.

**Chionomys nivalis.** Одинъ подвидъ снѣжной полевки описанъ С. Болкаемъ съ Прени и такимъ образомъ этотъ альпійскій видъ вошелъ въ списокъ млекопитающихъ Югославіи. Въ Словеніи снѣжной полевки пока не нашли, но зато близкіе виды извѣстны изъ Пиренеевъ, Альпъ, Малой Азіи и Ливана (*Ch. pontius* Miller и *Ch. hermonis* Miller). Такимъ образомъ можно считать снѣжную полевку типичнымъ представителемъ горъ средиземно-морскаго пояса. Мѣхъ этихъ звѣрковъ своимъ пепельно-сѣрымъ тономъ очень напоминаетъ мѣхъ *Dolomys*. Экологическія данныя районовъ ихъ распространенія очень схожи, почему цвѣтъ ихъ мѣха тоже можно разсматривать, какъ покровительственную окраску звѣрковъ изъ каменистыхъ районовъ карста.

**Pitymys.** Представители этого рода ведутъ по преимуществу подземный образъ жизни и потому мало измѣнчивы въ окраскѣ мѣха. Самый южный югославянскій видъ *P. thomasi* Bag. Nat. принадлежитъ къ темно-окрашеннымъ видамъ.

**Sylvaemus mystacinus epimelas** Nehg. Распространеніе этого малоазіатскаго вида въ предѣлахъ Югославіи совпадаетъ съ райономъ гранитныхъ скалъ или карстовыхъ розсыпей. Онъ всюду избѣгаетъ густыхъ зарослей. Поэтому пепельно-сѣрую окраску его мѣха можно считать покровительственной, какъ у *Dolomys* и *Chionomys*.

**Sylvaemus flavicollis.** Настоящіе ярко-ржавые представители этого вида встрѣчаются только въ сплошныхъ букowychъ лѣсахъ съ ярко-ржаво-бурымъ ковромъ опавшихъ листьевъ. Ихъ можно ловить въ Славоніи, а особенно они бросаются въ глаза при коллектированіи въ буковомъ лѣсу, между Доньимъ-Милановцемъ и Майданъ-Пекомъ. (Ср. съ *E. glareolus*). Въ островныхъ довольно рѣдкихъ дубовыхъ лѣ-



сахъ, почва которыхъ поросла къ тому же травой, встрѣчается болѣе тусклый подвида *S. flavicollis brauneri* Mart. Огромный матеріалъ, прошедшій черезъ мои руки, убѣждаетъ меня, что окраска мѣха *S. flavicollis* въ значительной мѣрѣ опредѣляется цвѣтомъ опавшей листьвы господствующаго въ данной мѣстности насажденія. Повидимому признакъ этотъ довольно константный, такъ какъ сохраняется и тамъ, гдѣ буковые лѣса вырублены. Тусклая окраска сопровождается обыкновенно и меньшими размѣрами, на основаніи чего нами была выдѣлена форма *S. f. brauneri*. Однако таксономическое значеніе этой формы для меня не ясно до сихъ поръ. Возможно, что это не подвида, а только *natio* <sup>17)</sup>.

**Sylvaemus sylvaticus.** Сѣверный лѣсной подвида *S. sylvaticus sylvaticus* L. ярко и „густо“ окрашенъ. Средиземноморскій подвида кромѣ своей большей величины отличается и очень свѣтлой размытой окраской. Районъ его обитанія — кустарники на terra rossa. Однако этотъ же крупный подвида, подымаясь въ горы до высоты буковыхъ лѣсовъ, пріобрѣтаетъ яркую ржавую окраску. Такихъ ярко окрашенныхъ звѣрьковъ надо разсматривать, какъ morph'у. Весьма вѣроятно, что такую же morph'у представляетъ и испанскій подвида *S. s. callipides* Cabrega.

Еще замѣчательнѣе соотношеніе окраски и растительнаго покрова, которое удалось наблюдать въ этомъ году въ долину Вардара, за Демиръ-Капіей. *S. s. dichrurus* Raf., которые въ изобиліи ловились на выжженныхъ холмахъ, поражали необыкновенно свѣтлымъ почти песочнымъ цвѣтомъ мѣха. Наоборотъ, представители колоніи изъ густой уремы Вардара отличались, хотя и не яркимъ, но очень темнымъ мѣхомъ. Правда въ этомъ случаѣ возможно и непосредственное вліяніе микроклимата, такъ какъ въ уремѣ влажно, а на холмахъ сухо, однако я больше склоненъ и здѣсь объяснять посвѣтлѣніе цвѣта мѣха покровительственной окраской, такъ какъ и въ сухихъ густыхъ заросляхъ эти мыши темнѣе окрашены.

**Mus musculus.** Въ Югославіи было отмѣчено три подвида домашней мыши: *Mus musculus azoricus* Schinze, *M. musculus hortulanus* Nord. и *Mus spicilegus spicilegus* Pet. Взаимоотношеніе двухъ послѣднихъ формъ не ясно и вѣроятнѣе всего они тождественны. Различіе между ними заключается только въ своеобразномъ біологическомъ признакѣ: *M. m. hortulanus* Nord. строить своеобразные курганчики, которыми покрываетъ зимніе запасы. По цвѣту мѣха эти формы совершенно сходны между собой. Во время поѣздки этого года,

17) Семеновъ - Тянь - Шанскій. Таксономическія границы вида. Петербургъ, 1910.



въ окрестностяхъ Джебджелии удалось обнаружить новую для Югославіи четвертую форму домашней мыши. Эти мыши отличаются очень свѣтлымъ коричневато-желтымъ оттѣнкомъ мѣха, который съ одной стороны встрѣчается у *M. musculus wagneri* Everst. изъ юго-восточной (полупустынной) части степной полосы Россіи, а съ другой у пиренейской *Mus spicilegus hispanicus* Miller. Принимая во вниманіе неоднократно отмѣчаемый параллелизмъ въ образованіи югославянскихъ и пиренейскихъ формъ, можно сохранить за новой формой изъ Македоніи испанское названіе, хотя врядъ ли правильно соединять подъ общимъ подвиновымъ именемъ сходныя формы, получившіяся въ различныхъ мѣстахъ при совпаденіи экологическихъ условій.

**Sciurus vulgaris.** Всѣ подвиды югославянскихъ бѣлокъ отличаются своимъ черноватымъ мѣхомъ и почти полнымъ отсутствіемъ рыжей фазы. Вполнѣ монохроматична самая южная бѣлка *S. v. lilaeus* Miller; у двухъ другихъ подвиновъ: *S. v. fuscoater* Altum и *S. v. croaticus* Wet. рыжая фаза въ предѣлахъ Югославіи встрѣчается, какъ исключеніе.

Черноватая окраска мѣха наблюдается при самыхъ разнообразныхъ экологическихъ условіяхъ. Въ нашей коллекціи есть бѣлки: изъ Словеніи, Славоніи, Босны, сѣв. Далмаціи, сѣв. Сербіи, Вардарской Сербіи и изъ Греціи<sup>18)</sup>. Всѣ онѣ окрашены въ одинъ и тотъ же черно-бурый цвѣтъ. Подвиды бѣлокъ изъ Скандинавіи и Великобританіи наоборотъ отличаются отсутствіемъ темныхъ фазъ, а у подвиновъ изъ средней Европы, хотя и встрѣчаются темныя фазы, но рыжія значительно преобладаютъ.

Такое несоотвѣтствіе окраски съ современными экологическими условіями заставляетъ предположить, что этотъ типъ окраски выработался раньше при другихъ условіяхъ. Такое же абсолютное преобладаніе черноватой окраски наблюдается у дальневосточныхъ подвиновъ.

**Citellus citellus.** Желтые размытые тона описаннаго нами изъ Македоніи *C. c. gradojevići* Martin о являются хорошимъ примѣромъ покровительственной окраски. Сѣверная форма *C. c. citellus* L, живущая на черноземѣ, отличается наоборотъ сѣроватыми тонами и болѣе ясной крапчатостью.

Просмотровый систематическій матеріалъ позволяетъ сдѣлать нѣсколько болѣе или менѣ обоснованныхъ предположеній:

<sup>18)</sup> Бѣлки изъ Греціи (съ Олимпа) получены благодаря любезности братьевъ О. и И. Гребенщиковыхъ, которыхъ прошу принять искреннюю признательность.



1. На югѣ Королевства наблюдается общее посвѣтлѣніе мѣха и преобладаніе свѣтлыхъ ржаво-желтыхъ размытыхъ тоновъ (*Crocidura leucodon parentae* Volk., *C. mimula suaveolens* Pall., *C. russula* sp., *Lepus europaeus meridiei* Hilzh., *Microtus arvalis brauneri* Martino, *M. a. hartingi* Bar.-Ham., *Sylvaemus silvaticus dichrurus* Raf., *Mus musculus hispanicus* Miller, *Citellus citellus gradojevići* Martino). Это явленіе легче всего объяснить покровительственной окраской, такъ какъ распространеніе свѣтлыхъ подвидовъ совпадаетъ со свѣтлой окраской почвы и раннимъ выгораніемъ растительности, независимо отъ количества выпадающихъ осадковъ и отъ температуры. Наоборотъ, болѣе темный фонъ, ярче испещренный свѣтлыми пестринами, встрѣчается чаще всего въ черноземномъ районѣ и вообще на темно-окрашенныхъ почвахъ. Влажность климата въ этихъ случаяхъ, повидимому, не играетъ замѣтной роли, такъ какъ размытые ржавые тона въ одинаковой мѣрѣ наблюдаются и при 2000 и при 600 миллиметрахъ осадковъ, если при этомъ совпадаетъ цвѣтъ почвы или раннее выгораніе травы. Если же цвѣтъ почвы темный, то болѣе темная окраска наблюдается и при маломъ количествѣ осадковъ. Точно также не играетъ рѣшающей роли и температура, такъ какъ на безлѣсномъ верху Бѣлашницы (ср. год. около 0°) встрѣчается та же *S. s. dichrurus* Raf., что и на побережьѣ.

2. Въ образованіи этихъ свѣтлыхъ цвѣтовыхъ отклоненій намѣчается параллелизмъ съ тѣмъ же явленіемъ на пиренейскомъ полуостровѣ (*Sylvaemus s. dichrurus* Raf., *M. m. hispanicus* Mil. и др.).

3. Мелкія млекопитающія, живущія въ сплошныхъ буковыхъ лѣсахъ, пріобрѣтаютъ и яркіе ржаво-рыжие оттѣнки покровительственнаго характера, сообразно съ цвѣтомъ опавшей буковой листвы. (*Sylvaemus f. flavicollis* Melchior, *Evothomys g. isticus* Miller).

4. Пепельно-сѣрые оттѣнки въ окраскѣ карстовыхъ формъ носятъ несомнѣнно покровительственный характеръ и совершенно не связаны съ климатомъ. (*Vulpes vulpes meridionalis* Fitz., *Dyromys nitedula intermedius* Nehr., *Dolomys bogdanovi* Martino и *D. b. marakovići* Volkay, *Chionomys nivalis malyi* Volk., *Sylvaemus mystacinus epimelas* Nehr). Эта окраска является типичной для животныхъ средиземно-морского излома подобно тому, какъ песочно-желтая окраска характеризуетъ пустынныхъ звѣрковъ и пустынную под-область.

5. Прямая зависимость окраски отъ влажности климата безъ совпаденія съ покровительственной окраской встрѣчается въ предѣлахъ Югославіи во всякомъ случаѣ очень рѣдко и можетъ быть вполне установлена только для одного звѣрка: *Neomys milleri*.



6. Прямой зависимости окраски отъ температуры безъ совпаденія съ покровительственной окраской не замѣчено. Въ двухъ случаяхъ потребности покровительственной окраски и возможное вліяніе температуры совпадаютъ: у *Sorex araneus* и *Evotomys glareolus*.

7. Особнякомъ стоитъ окраска бѣлокъ, которая не можетъ быть связана съ прямымъ или косвеннымъ вліяніемъ современныхъ климатическихъ условій. Возможно, что указанное преобладаніе темно-бурой фазы выработалось во время ледника или раньше, почему балканская бѣлка можетъ быть отнесена даже къ элементамъ такъ называемой ангарской фауны. Какъ извѣстно, реликтовые представители этой фауны указывались неоднократно различными авторами для полосы средиземно-морскихъ горъ.

Такимъ образомъ, даже такой сравнительно мимолетный и поверхностный признакъ, какъ окраска мѣха, даетъ нѣкоторый матеріалъ для выявленія характерныхъ зоогеографическихъ особенностей средиземно-морскихъ горъ, которыя удобнѣе всего разсматривать, какъ зональную подобласть Палеарктики.

Сдѣланныя выше заключенія стоятъ въ нѣкоторомъ противорѣчій съ современнымъ направлениемъ экологическихъ работъ, такъ какъ они, вопреки этому направлению, выдвигаютъ на первое мѣсто значеніе покровительственной окраски и только для немногихъ случаевъ признаютъ непосредственное вліяніе влажности. Что же касается вліянія температуры, то амплитуда ея въ предѣлахъ Югославіи, видимо, настолько незначительна, что не даетъ мѣста примѣненію т. наз. закона Gloger'a<sup>19)</sup>, по которому пониженіе температуры задерживаетъ развитіе эумеланиновыхъ темныхъ пигментовъ. Здѣсь, въ Югославіи, наблюдается даже обратное явленіе, выражающееся въ томъ, что темные пигменты сильнѣе развиваются на высокихъ горахъ при болѣе низкой температурѣ.

<sup>19)</sup> Serebrovsky, P. The influence of climate on the evolution of birds. C. R. de l'Acad. des Sc. de l'USSR, 1925 pp. 65—68.



V. Martino.

**On the colour of the pelage of jugoslavian mammals.**

(Résumé).

Article dedicated to the explanation of the value of factors, having an influence on the change of colouring of mammals in Yougoslavia.

The conclusions made in this article are somewhat in contradiction with the modern direction of ecological works, as, in spite of this direction they put forth on the first plan the protecting colouring, and in some cases only admit the direct influence of dampness on the colour. As to the influence of temperature, its amplitude in the confines of Yougoslavia is, as it seems, too insignificant to allow the application of the so called Gloger's law, by which the development of eumelanine dark pigments would be stopped by the lowering of temperature. Here, in Yougoslavia, even a contrary fact can be noticed: i. e. that the dark pigments on high mountains develop better by a lower temperature.

---



Проф. Н. В. Краинскій.

## ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКІЯ ИЗСЛѢДОВАНІЯ И ИХЪ ПРИМѢНЕНІЕ КЪ БІОЛОГІИ.

1. Необходимость пересмотра основныхъ явленій электричества.

Полтора вѣка тому назадъ Гальвани открылъ реакцію сокращенія нервно-мускульнаго препарата, введеннаго въ замкнутую цѣпь проводниковъ, причемъ одинъ изъ двухъ соприкасающихся металовъ находился въ контактѣ съ нервомъ, а другой съ мускуломъ. Въ поискахъ силы природы, на которую реагируетъ н.-м. препаратъ Вольта открылъ міръ гальваническихъ явленій. Съ тѣхъ поръ все вниманіе электрофизики было обращено на гальванизмъ. Но именно гальванической токъ въ замкнутой цѣпи не даетъ реакціи Гальвани. Мускульное сокращеніе появляется лишь въ моменты замыканія, размыканія или измѣненія силы тока, т. е. тогда, когда гальванической токъ въ цѣпи еще не появился, уже исчезъ или измѣняется. Уже этотъ фактъ говоритъ за то, что та сила природы, на которую реагируетъ н.-м. препаратъ, не есть гальванической токъ, хотя и есть форма энергіи возникающая въ гальванической цѣпи. Гальвани и его послѣдователями была установлена реакція мускульнаго сокращенія въ электрическомъ полѣ, т. е. тамъ, гдѣ гальваническаго тока вовсе нѣтъ.

Электростатическія явленія были оставлены безъ должнаго вниманія. Токъ порождаемый инфл. машиною былъ ошибочно отождествленъ съ гальваническимъ, а іонная теорія получила черезмѣрно широкое значеніе, замѣнивъ явленія природы воображаемыми моделями.

Электростатическихъ явленій въ настоящемъ смыслѣ слова не существуетъ, ибо они развертываются во времени и не бываютъ „стоячими“. Даже электрической зарядъ представляетъ собою въ лучшемъ случаѣ состояніе динамическаго равновѣсія, обычно же онъ со временемъ излучается и заряженное тѣло разряжается.



Электростатическія явленія совершенно отличны отъ гальваническихъ, хотя оба типа явленій представляютъ собою проявленіе двухъ разныхъ видовъ энергіи, одинаково подчиненныхъ законамъ энергетики.

Гальваническая энергія извѣстна намъ въ формѣ гальваническаго тока, возникающаго въ замкнутой цѣпи. Рассматриваютъ „электрической“ токъ, какъ движеніе заряда, забывая, что невозможно „двигать“ зарядъ независимо отъ матеріальнаго тѣла, являющагося его носителемъ.

Существуетъ два различныхъ вида энергіи: энергія гальваническаго тока и энергія чисто электрическая, неправильно называемая электростатическою. Реакція мускульнаго сокращенія специфична для послѣдней.

Я утверждаю, что гальваническихъ явленій въ живомъ организмѣ быть не можетъ, ибо въ немъ нѣтъ ни замкнутыхъ цѣпей, ни соприкосновенія металловъ съ электролитами, ни магнитныхъ полей съ движущимися въ нихъ проводниками. Я думаю, что модели коллоидной химіи, воображающей себѣ геометрическія частицы, взвѣшенные въ проводящей средѣ электролита и несущія на себѣ электростатическіе заряды, не имѣетъ твердаго основанія, ибо въ средѣ проводника заряды были бы мгновенно „сняты“. Я полагаю, что электростатическія явленія должны быть заново пересмотрѣны, а математическая формулировка ихъ должна быть полностью отвергнута, какъ ошибочно выведенная изъ геометрической символизаціи воображаемыхъ экспериментовъ. Критика этихъ формулъ приведена въ моей книгѣ „Математическія основы естествознанія“. Въ конечномъ результатѣ эти изслѣдованія приводятъ къ отождествленію нервнаго прецесса съ электрическимъ, который приходится признать совершенно отличнымъ отъ явленій гальваническихъ.

2. Электрическая энергія и ея проявленія.

Электрическія свойства тѣлъ возникаютъ въ результатѣ сообщенія имъ опредѣленнаго количества энергіи. Исчезая, электрическія свойства и явленія проявляются также въ энергетическихъ реакціяхъ. Отсюда заключаемъ, что электричество есть особая форма энергіи, которая возникаетъ путемъ эквивалентнаго превращенія въ нее другихъ видовъ энергіи и, исчезая, обратно превращается въ другія формы энергіи. Электрическая энергія должна быть подчинена закону сохранения и эквивалентныхъ превращеній. Она проявляется въ трехъ видахъ: 1) заряда, возникающаго на наэлектризованномъ тѣлѣ, 2) поля, возникающаго въ пространствѣ окружающемъ тѣло несущее на себѣ зарядъ и заполненномъ діэлектрикомъ и 3) въ формѣ тока, возникающаго въ проводникахъ, соединяющихъ заряженные тѣла между собою или съ землею, при-



чемъ одна и та же энергія во времени можетъ появиться во всѣхъ трехъ видахъ. Условимся употреблять терминъ „электрическіе“ зарядъ, поле и токъ вмѣсто термина „электростатическіе“.

Зарядъ есть опредѣленное количество электрической энергіи, возникшей на поверхности или въ нѣкоторомъ объемѣ матеріальнаго тѣла. Зарядъ возникаетъ на мѣстѣ соприкосновенія или тренія тѣлъ, или сообщается тѣлу путемъ излученія (эмиссии) потока электрической энергіи отъ источника, т. е. путемъ индукціи. Отъ мѣста возникновенія энергія заряда либо распространяется съ большою скоростью по всей поверхности тѣла, либо остается на мѣстѣ своего возникновенія, оказываясь связанною не только съ поверхностью, но и съ ограничевною частью объема матеріальнаго тѣла.

Въ первомъ случаѣ тѣло называется проводникомъ, во второмъ случаѣ изоляторомъ или діэлектрикомъ. Существуетъ третья группа тѣлъ по своимъ свойствамъ являющихся полуизоляторами или полупроводниками.

Неизвѣстно, въ какой формѣ связана энергія заряда съ поверхностью или съ объемомъ матеріальнаго тѣла, ибо видимыхъ морфологическихъ или химическихъ измѣненій зарядъ обыкновенно не вызываетъ. На поверхности проводника зарядъ удерживается лишь въ томъ случаѣ, если онъ со всѣхъ сторонъ окруженъ діэлектрикомъ. Но зарядъ можетъ быть локализованъ на поверхности или въ объемѣ прилежащемъ къ поверхности раздѣла двухъ діэлектриковъ. На діэлектрикѣ зарядъ удерживается болѣе прочно чѣмъ на проводникѣ, не распространяется, или медленно распространяется по всему его объему и не уходитъ сразу, какъ съ проводника, при соединеніи какой-либо его точки съ землею.

Энергія заряда можетъ нѣкоторое время удерживаться на изолированномъ тѣлѣ. Въ этомъ смыслѣ, какъ независимая до нѣкоторой степени отъ времени, ее можно было бы разсматривать какъ находящуюся въ потенциальномъ состояніи. Однако съ теченіемъ времени всякій зарядъ убываетъ и уничтожается, такъ какъ энергія его непрерывно излучается въ окружающій діэлектрикъ. Это излученіе слѣдуетъ закону экспоненціальной функціи по аргументу времени, т. е. зарядъ убываетъ какъ рядъ членовъ геометрической прогрессіи. Если вновь пополнять энергію заряда по мѣрѣ ея излученія, то получается состояніе динамическаго равновѣсія: напр., сколько энергіи получаетъ кондукторъ въ единицу времени, столько ея и излучаетъ, количество же энергіи, остающееся на немъ въ формѣ заряда, постоянно.

Каждый проводникъ можетъ воспринять въ себя лишь опредѣленное количество энергіи заряда. Это количество



тѣмъ больше, чѣмъ больше поверхность проводника. Но одна и та же поверхность или единица ея можетъ вмѣстить въ себя большее или меньшее количество энергіи и тогда говорятъ о напряженіи или потенциалѣ заряда. По существу напряженіе есть отношеніе количества энергіи къ координатнымъ величинамъ пространства, времени и вещества, т. е. напряженіе электрической энергіи есть ея количество, связанное съ единицей поверхности или объема.

Электрической зарядъ неотдѣлимъ отъ матеріальнаго носителя. Нельзя „взять“ зарядъ и „двигать“ его независимо отъ тѣла, являющагося его носителемъ, какъ объ этомъ пишутъ учебники. Не имѣетъ смысла говорить о „работѣ“ передвиженія заряда въ электрическомъ полѣ отъ одной поверхности уровня до другой. Не имѣетъ основанія опредѣлять потенциалъ, какъ „работу потребную для передвиженія единицы заряда изъ безконечности (!?) къ поверхности даннаго уровня“, ибо подобный воображаемый экспериментъ неосуществимъ.

Обнаруженіе заряда обыкновенно происходитъ посредственно, въ формѣ поля или тока. Однако въ нѣкоторыхъ случаяхъ зарядъ вызываетъ деформацію заряженныхъ проводниковъ и въ такой формѣ его обнаруживаетъ капиллярный электрометръ и струнный гальванометръ.

Самымъ чувствительнымъ приборомъ для констатированія заряда на поверхности тѣла является телефонъ, который обнаруживаетъ зарядъ въ формѣ электрическаго тока проходящаго по проводу, въ который включенъ телефонъ.

Опытъ № 1. Телефонную слушавлицу радіо-аппарата съ сопротивленіемъ въ 4000 омъ однимъ электродомъ соединяемъ съ землею, а второй проводъ снабжаемъ такъ называемымъ пробнымъ электродомъ, состоящимъ изъ металлическаго стержня въ изолированной оправѣ, снабженнымъ платиновымъ наконечникомъ. При касаніи электродомъ заряженнаго тѣла въ телефонѣ слышенъ щелчокъ.

Классическимъ приборомъ для обнаруженія заряда является электроскопъ съ алюминіевыми листочками, которые расходятся подъ угломъ, когда зарядъ перейдетъ на шарикъ электроскопа. Листочковый электроскопъ обнаруживаетъ не самый зарядъ, а окружающее его поле, въ которое излучается энергія заряда.

Слѣдующимъ, весьма чувствительнымъ приборомъ для обнаруженія заряда является капилл. электрометръ, который обнаруживаетъ зарядъ въ формѣ тока, но который будучи униполярно соединенъ однимъ клеммомъ съ заряженнымъ тѣломъ, при второмъ свободномъ клеммѣ, обнаруживаетъ зарядъ и непосредственно въ формѣ стойкаго отклоненія мениска, продолжающагося до тѣхъ поръ пока не замкнемъ электрометръ на самого себя.



Опытъ № 2. Одинъ клеммъ хорошо изолированнаго, установленнаго на эбонитовой подкладкѣ кап. электрометра, соединяемъ съ пробнымъ электродомъ. Второй клеммъ соединяемъ съ землею. При каждомъ касаніи пробнымъ электродомъ заряженнаго тѣла замѣчаемъ толчкообразное передвиженіе мениска электрода вверхъ или внизъ въ зависимости отъ знака заряда. Въ случаѣ изслѣдованія статическаго заряда это отклоненіе остается стойкимъ и послѣ разъединенія электрода съ заряженнымъ тѣломъ, ибо электрометръ стойко удерживаетъ зарядъ. Для уничтоженія его надо на короткое время замкнуть электрометръ на самого себя. Въ употребленія слѣдуетъ держать электрометръ замкнутымъ для уничтоженія на немъ заряда. При сильномъ зарядѣ или при прохожденіи черезъ него сильнаго электрическаго тока, менискъ уходитъ изъ поля зрѣнія, столбикъ разрывается у поверхности ртутнаго мениска и образуются пузырьки газа. Для ихъ уничтоженія и для возвращенія мениска къ нулю, замыкаемъ электрометръ на себя и осторожнымъ наклономъ образуемъ новый менискъ. Кап. электрометръ представляетъ собою очень чувствительный приборъ. Онъ обнаруживаетъ сотысячныя доли вольта, но онъ приблизительно въ тысячу разъ менѣе чувствителенъ чѣмъ телефонъ.

Уничтоженіе и снятіе заряда. Энергія заряда не можетъ превратиться въ ничто. Зарядъ исчезаетъ при соединеніи заряженнаго тѣла съ землею, причемъ говорятъ, что „электричество уходитъ въ землю“. Совершенно не выясненъ механизмъ „снятія заряда“ проведеніемъ заряженнаго тѣла черезъ пламя стеариновой свѣчи, которая представляетъ собою діэлектрикъ. Также снимается зарядъ дѣйствіемъ лучей Рентгена и радія. Говорятъ, что воздухъ въ этомъ случаѣ „іонизируется“, но этотъ терминъ ничего не говоритъ о сущности процесса.

Электрическое поле возникаетъ въ діэлектрической средѣ окружающей заряженное тѣло, или въ самомъ объемѣ діэлектрика, если онъ электризуется. Это есть поле динамическое. Его содержаніемъ являются потоки энергіи, излучаемые заряженнымъ тѣломъ, а геометрическая структура его опредѣляется линіями-трубками силъ и эквипотенціальными поверхностями. Электрическое поле охватываетъ все пространство, въ которомъ наблюдаются специфическія энергетическія реакціи типа тропизма (расположеніе тѣлъ по направленію линій силъ) и таксиса (движенія тѣлъ по направленію потока, т. е. линій силъ поля). Источникомъ поля является заряженное тѣло, которое излучаетъ свою энергію въ поле. Одна и та же энергія сначала является въ формѣ заряда, а затѣмъ поля. Потоки электрической энергіи заполняютъ его сплошь. Они имѣютъ своимъ началомъ поверх-



ность заряженного тѣла, а свободными концами трубки силъ уходятъ въ безконечность, если поле неограничено. Если на пути своемъ потокъ энергіи встрѣчаетъ поверхность проводника, на ней возникаетъ индуктированный зарядъ, а если проводникъ соединенъ съ землею, въ соединительномъ проводѣ возникаетъ электрическій токъ, въ формѣ котораго энергія заряженного тѣла уходитъ въ землю.

Электрическое поле можетъ возникнуть только въ діэлектрикѣ. Невозможно возникновеніе его въ средѣ проводника, ибо въ немъ электрическая энергія появляется только въ формѣ электрическаго тока или заряда.

Основнымъ методомъ обнаруженія электрическаго поля является примѣненіе листочковаго электроскопа, дающаго при приближеніи или соприкосновеніи его шарика съ заряженнымъ тѣломъ расхожденіе листочковъ.

Опытъ № 3. Заряженное тѣло приближаемъ къ шарiku пробнаго электроскопа съ листочками. Уже на нѣкоторомъ разстояніи листочки расходятся на опредѣленный уголъ, который возрастаетъ съ приближеніемъ заряженного тѣла. По удаленіи тѣла листочки электроскопа спадаются. При соприкосновеніи заряженного тѣла съ шарикомъ электроскопа расхожденіе листочковъ получается максимальное и по удаленіи дѣйствующаго тѣла листочки уже больше не спадаются. Путемъ индукціи зарядъ слѣд. передавался электроскопу временно и по удаленіи электризующаго тѣла къ нему возвращался, при соприкосновеніи же заряженного тѣла съ шарикомъ электроскопа произошло стойкое перемѣщеніе энергіи заряда отъ одного тѣла къ другому. Если на заряженномъ тѣлѣ установимъ второй электроскопъ, то по мѣрѣ расхожденія листочковъ перваго электроскопа, его реакція будетъ уменьшаться и достигнетъ минимума послѣ касанія, т. е. дѣло происходитъ такъ, какъ будто бы энергія заряда сначала путемъ индукціи, а затѣмъ контакта переходитъ отъ заряженного тѣла къ электроскопу.

Реакція электроскопа обыкновенно объясняется тѣмъ, что одноименно заряженные листочки взаимно отталкиваются, я же полагаю, что это есть простая реакція тропизма въ электрическомъ полѣ. Вокругъ свободного конца проводника-стержня, образуется электрическое поле и листочки пассивно располагаются по линіямъ силъ. Въ этомъ насъ убѣждаетъ слѣдующій опытъ.

Опытъ № 4. Бумажную, шерстяную или шелковую кисточку насаживаемъ на свободный конецъ металлическаго стержня и соединяемъ послѣдній съ кондукторомъ инфл. машины. При работѣ машины стержень заряжается, а вокругъ него возникаетъ электрическое поле. Нити кисточки ощетииваются и получаютъ радіальное расположеніе. При-



близимъ къ свободному концу образовавшейся розетки проводникъ соединенный съ землею, напр. палецъ экспериментатора, который всегда является проводникомъ соединеннымъ съ землею. Такой проводникъ втягиваетъ въ себя линіи силъ, т. е. потоки энергіи электрическаго поля, которая по соединительному проводу уходитъ въ землею. Поле деформируется и нити, расположенныя по линіямъ силъ параболическимъ пучкомъ, вытягиваются своими свободными концами навстрѣчу проводнику. При соприкосновеніи съ нимъ они образуютъ мостъ, для разрыва котораго надо дать определенную нагрузку. Въ этомъ случаѣ никакого взаимнаго отталкиванія одноименно заряженныхъ нитей нѣтъ.

Геометрическая структура электрическаго поля получается методомъ спектра.

Опытъ № 5. Въ чашечку Петри наливаемъ слой взвѣси хинина въ парафиновомъ маслѣ и опускаемъ въ него два металлическихъ электрода соединенныхъ съ кондукторами инфл. машины. Образуется характерный спектръ по строенію тождественный со спектромъ поля прямого магнита. Структура и динамика магнитнаго спектра описана въ моей книгѣ „Мат. осн. естествознанія“. Во взвѣси наблюдается еще и сложнаго характера вращательное движеніе жидкой массы подлежащее детальному изученію.

Электрическое поле имѣетъ свою характерную структуру и динамику обнаруживаемую реакціями пробныхъ тѣлъ въ формѣ тропизма и таксиса. Діэлектрикъ поля труднѣеходимъ для потоковъ электрической энергіи, чѣмъ проводникъ и, какъ бы задерживая эти потоки, профильтровываетъ ихъ сквозь себя. Реакцію тропизма очень хорошо обнаруживаетъ бумажная компасная стрѣлка, которою можно обслѣдовать все поле.

Опытъ № 6. Строимъ бумажный компасъ по образцу магнитнаго. Приближая къ нему конецъ заряженной палочки, находимъ, что онъ реагируетъ подобно магнитной стрѣлкѣ при приближеніи магнитнаго стержня съ тою разницею, что онъ реагируетъ не полярно: оба конца стрѣлки равноправны и къ заряженному тѣлу притягивается ближайшій ея конецъ. Также неполярно и слабѣе реагируетъ въ электрическомъ полѣ магнитная стрѣлка и это объясняетъ реакцію гальванометра съ постояннымъ магнитомъ на униполярный электрическій токъ. Стрѣлка располагается по линіямъ силъ поля.

Къ реакціи тропизма сводится и принципъ устройства квадратныхъ электрометровъ Томсона-Долезалека. Главная группа явленій въ электрическомъ полѣ, доступныхъ опытному изслѣдованію, представляетъ собою реакціи механическаго типа таксиса, т. е. движенія матеріальныхъ тѣлъ по линіямъ силъ потоковъ поля. Эти реакціи обычно толкуютъ



какъ явленія притяженія. Таковы реакціи стрѣлки, притяженія заряженнымъ тѣломъ легкихъ тѣлъ, напр. бузиннаго шарика, нитей кисточки и проч. Въ электрическомъ полѣ приходится различать двѣ группы реакцій: 1) притягательныя и 2) полярныя. Установлено, что притягательныя дѣйствія обоихъ полюсовъ тождественны, тогда какъ полярныя реакціи у противоположныхъ полюсовъ различны. Это вводитъ насъ въ область очень сложныхъ проблемъ и въ первую очередь къ установленію въ электрическомъ полѣ двухъ видовъ энергіи, хотя и тѣсно между собою связанныхъ: энергіи электрической и тяготѣнія.

Механизмъ притяженія легкихъ тѣлъ наэлектризованнымъ тѣломъ сводится къ слѣдующему \*):

Опытъ № 7. Къ уравновѣшенной чашкѣ изолированныхъ химическихъ вѣсовъ приближаемъ сверху конецъ наэлектризованной палочки. Чашка вѣсовъ, притягиваясь, поднимается кверху. Это значитъ, что притягиваемое тѣло потеряло часть своего вѣса  $-\Delta p$ . Чтобы вернуть состояніе равновѣсія, надо положить на притянутую чашку вѣсовъ грузъ  $+\Delta p$ .

$$+\Delta p = -\Delta p \quad \Delta p - \Delta p = 0.$$

Тѣло притягивающее столько прибываетъ въ вѣсѣ ( $+\Delta p$ ), сколько тѣло притягиваемое теряетъ ( $-\Delta p$ ). Если поставимъ первые вѣсы на вторые, точно обнаружимъ это перераспредѣленіе грузовъ. Если приблизимъ притягивающее тѣло къ чашкѣ вѣсовъ снизу, она опустится, т. е. станетъ тяжелѣе будучи нагружена невидимымъ грузомъ  $+\Delta p$ , который она вбираетъ въ себя отъ наэлектризованнаго тѣла, которое стало легче на  $-\Delta p$ . Тѣло ниже лежащее теряетъ въ вѣсѣ столько, насколько тѣло выше расположенное прибываетъ. Если оба тѣла находятся на одномъ и томъ же горизонтальномъ уровнѣ, вѣсѣ ихъ не измѣняется.

Опытъ № 8. Подвѣшиваемъ на крючекъ одной изъ чашекъ изолированныхъ химич. вѣсовъ каучуковую не наэлектризованную палочку и приближаемъ къ ней проводникъ соединенный съ землею. Реакціи не получается. Но если наэлектризуемъ палочку, то получимъ описанное выше измѣненіе въ распредѣленіи вѣса.

Такимъ образомъ, если въ полѣ тяготѣнія возникаетъ электрическое (или магнитное) поле, то дѣйствіе силы тяжести на находящіяся въ немъ тѣла мѣняется. Тѣло находящееся внизу оказывается притягиваемымъ, а тѣло находящееся наверху притягивающимъ. Относительное движеніе тѣлъ другъ къ другу зависитъ отъ степени ихъ свободы.

\*) Подробное описаніе см. „Математ. осн. естествознанія“.



Опытъ № 9. Приблизимъ конецъ наэлектризованной эбонитовой палочки къ достаточно тяжелому тѣлу, покоящемуся на неподвижной опорѣ. Хотя оно и потеряетъ часть своего вѣса  $-\Delta p$ , опытъ ея не обнаружитъ. Если же тѣло легкое, напр. кусочекъ бумажки, то съ приближеніемъ палочки на опредѣленное разстояніе бумажка повернется и станетъ ребромъ навстрѣчу палочкѣ. Съ дальнѣйшимъ приближеніемъ притягиваемая бумажка потеряетъ весь свой вѣсъ ( $-\Delta p = p$ ), она сорвется со своей опоры и перелетитъ черезъ воздухъ, двигаясь ускорительно къ поверхности палочки. Бумажка прилипнетъ къ поверхности палочки, оставаясь съ нею въ соприкосновеніи пока палочка заряжена. Моя теорія притяженія опубликована въ книгѣ „Mat. осн. естествозн.“ и въ книгѣ „Energetik der mechanischen Erscheinungen“.

Опытъ № 10. Къ наэлектризованной каучуковой палочкѣ, къ которой прилипла притянутая ею бумажка, приближаемъ проводникъ соединенный съ землею, напр. палецъ экспериментатора. Бумажка свѣсится, оставаясь еще прилипшей къ палочкѣ ребромъ, а при дальнѣйшемъ приближеніи пальца отпадаетъ.

Опытъ № 11. Къ наэлектризованному проводнику приблизимъ полупроводникъ, напр. бузинный шарикъ или кусокъ бумажки. Эти легкія тѣла притянутся заряженнымъ проводникомъ до соприкосновенія и тотчасъ же отскочатъ, будучи имъ отброшены. При соприкосновеніи полупроводникъ электризуется и потому говорятъ, что одноименно заряженные тѣла взаимно отталкиваются. На дѣлѣ ихъ раздвигаютъ центростремительные потоки энергіи, своими гиперболическими линіями силъ упирающіеся въ полюса. Въ электрическомъ полѣ между двумя разноименными полюсами мы имѣемъ всегда періодическія, качательныя маятникообразныя движенія тѣлъ, но никогда не наблюдаемъ плавнаго движенія тѣлъ въ направленіи отъ одного полюса къ другому.

Трудно объяснить, почему нитчатая кисточка, будучи соединена съ каждымъ изъ кондукторовъ, ошетинивается. Оба полюса обладаютъ одинаковымъ притягательнымъ дѣйствіемъ, а потому нити должны были бы, казалось, спастись. Если же приблизимъ кисточку къ кондукторамъ съ нею не соединеннымъ, то нити ея вытягиваются по линіямъ силъ навстрѣчу кондуктору.

Вторую группу явленій въ электрическомъ полѣ составляютъ реакціи полярныя.

Электрическое поле при разъединеніи соприкоснувшихся или подвергнутыхъ взаимному тренію тѣлъ всегда получается биполярное. Такое же биполярное поле получаемъ между



кондукторами инфл. машины. Но удается получить и электрическое поле одного знака, а именно путем его разрыва. При трении двух тѣлъ другъ о друга всегда получаются парные заряды противоположныхъ знаковъ, но въ одинаковыхъ количествахъ. По разъединеніи трущихся тѣлъ въ раздѣляющемъ ихъ слоѣ діэлектрика возникаетъ электрическое поле, въ которомъ параболическія линіи силъ соединяютъ оба заряда противоположныхъ знаковъ. Удаляя другъ отъ друга разъединенныя тѣла, мы разрываемъ трубки силъ, которыя теперь своими свободными концами или уходятъ въ безконечность, или, встрѣчая на своемъ пути проводники соединенные съ землею, втягиваются ими и воспринятая ими энергія въ формѣ электрическаго тока уходитъ въ землю. На оторванныхъ такимъ образомъ другъ отъ друга тѣлахъ заряды сохраняются совершенно самостоятельно, независимо отъ судьбы парнаго заряда, но они вновь не образуются и не нарастаютъ. Одно изъ тѣлъ можно разрядить, соединивъ его съ землею, а на второмъ зарядъ можетъ сохраниться. Такъ получается отрицательный зарядъ на натертой шерстью эбонитовой палочкѣ.

Для опредѣленія знака заряда черезъ посредство поля въ школьныхъ опытахъ пользуются слѣдующимъ способомъ:

Опытъ № 12. Къ шарикѣ электроскопа, несущему на себѣ зарядъ опредѣленнаго знака, приближаемъ заряженное тѣло, знакъ заряда котораго надо опредѣлить. Если зарядъ одноименный, расхожденіе листочковъ электроскопа увеличивается. Если зарядъ разноименный, листочки электроскопа сближаются.

Взаимное уничтоженіе противоположныхъ зарядовъ и полей противоположныхъ знаковъ есть фактъ, механизмъ котораго еще не извѣстенъ. Самая реакція называется разрядомъ и происходитъ либо въ формѣ искрового взрыва, либо въ формѣ тихаго разряда съ несомнѣннымъ, по крайней мѣрѣ частичнымъ, превращеніемъ энергіи въ другія формы. Если сблизимъ два противоположно заряженныхъ тѣла, то въ діэлектрикѣ между ними возникаетъ взрывъ и появляется искра, причѣмъ оба тѣла разряжаются. Но искровой разрядъ получается и въ одностороннемъ, т. е. однозначномъ полѣ, когда къ заряженному тѣлу приблизимъ проводникъ соединенный съ землею.

Искровой разрядъ всегда происходитъ въ электрическомъ полѣ и есть реакція на зарядъ, во время котораго происходитъ частичное превращеніе электрической энергіи въ другія формы.

Полярныя свойства электричества и парность зарядовъ дали основаніе говорить о двухъ родахъ электричества, что съ точки зрѣнія энергетики не имѣетъ никакого основанія.



Электрическая энергія существуетъ одна и ея количество всегда есть величина положительная. Полярныя же свойства всецѣло опредѣляются направлениемъ потоковъ электрической энергіи въ полѣ діэлектрика и въ проводникахъ. Существуетъ много методовъ опредѣленія знака поля, а слѣдовательно и заряда являющагося его источникомъ. Сюда относятся:

1) Пламя свѣчи. Положительный полюсъ отталкиваетъ, а отрицательный притягиваетъ пламя. Это есть реакція тропизма и таксиса.

2) Осязаніе пальцемъ даетъ полярное осязательное ощущение. При приближеніи пальца къ положительному полюсу поля инфл. машины, вблизи поверхности диска, между пальцемъ и поверхностью диска проскакиваютъ искры. Палецъ испытываетъ покалываніе и слышенъ легкій трескъ. При приближеніи пальца къ отрицательному полюсу, ощущение покалыванія мягче, трескъ ровнѣе и слабѣе. Между поверхностью диска и концомъ пальца въ точкѣ отрицательнаго полюса образуется свѣтящаяся въ темнотѣ кисточка, раструбомъ обращенная къ поверхности диска, а основаниемъ исходящая изъ вершины пальца или острія ногтя, причемъ испытывается ощущение вѣтра.

3) Очень характерно опредѣляетъ знакъ полюса телефонъ, одинъ электродъ котораго приближенъ къ полюсу инфл. машины или введенъ въ униполярный проводъ отъ кондуктора къ землѣ. Положительный и отрицательный тоны совершенно различны и легко отличимы.

4) Гейслерова трубка свѣтится въ полѣ инфл. машины уже безъ соединенія ея периферическаго конца съ землею, но свѣченіе рѣзко усиливается, если соединить периферическій конецъ съ землею. Свѣченіе минимально при поперечномъ положеніи трубки въ полѣ и максимально при ея продольномъ положеніи. Оно рѣзко возрастаетъ при приближеніи свободнаго конца къ поверхности диска машины. Поставленная свободнымъ концомъ нормально къ положительному полюсу трубка даетъ у своего конца свѣтовую точку, а приближенная къ отрицательному полюсу она даетъ свѣтовую кисточку, раструбомъ обращенную къ полюсу.

5) Н.-м. препаратъ, введенный въ электрическое поле, даетъ реакцію въ зависимости отъ своего расположенія въ полѣ. Какъ и въ гейслеровой трубкѣ реакція максимальна при продольномъ и минимальна при поперечномъ положеніи и также увеличивается при соединеніи его съ землею.

Н.-м. препаратъ представляетъ собою весьма чувствительный электроскопъ, реагирующій не на гальванической токъ, а на электрической при прохожденіи его черезъ мѣсто соединенія нерва съ мускуломъ. Поэтому н.-м. реагируетъ и



на электрическое поле, когда въ немъ движутся потоки электрической энергии. Слѣдующій опытъ даетъ реакцію Гальвани, т. е. сокращеніе мускула въ условіяхъ, гдѣ совершенно нѣтъ гальваническаго тока. Это есть чистый видъ „сокращенія безъ металовъ“, или реакція н.-м. препарата въ электрическомъ полѣ, хорошо изученная Данилевскимъ.

Опытъ № 13. На изолирующемъ эбонитовомъ столикѣ располагаемъ н.-м. препаратъ такъ, чтобы отпрепарированная лапка лежала горизонтально на поверхности эбонита, а нервъ свободно свѣшивался вертикально внизъ черезъ край столика.

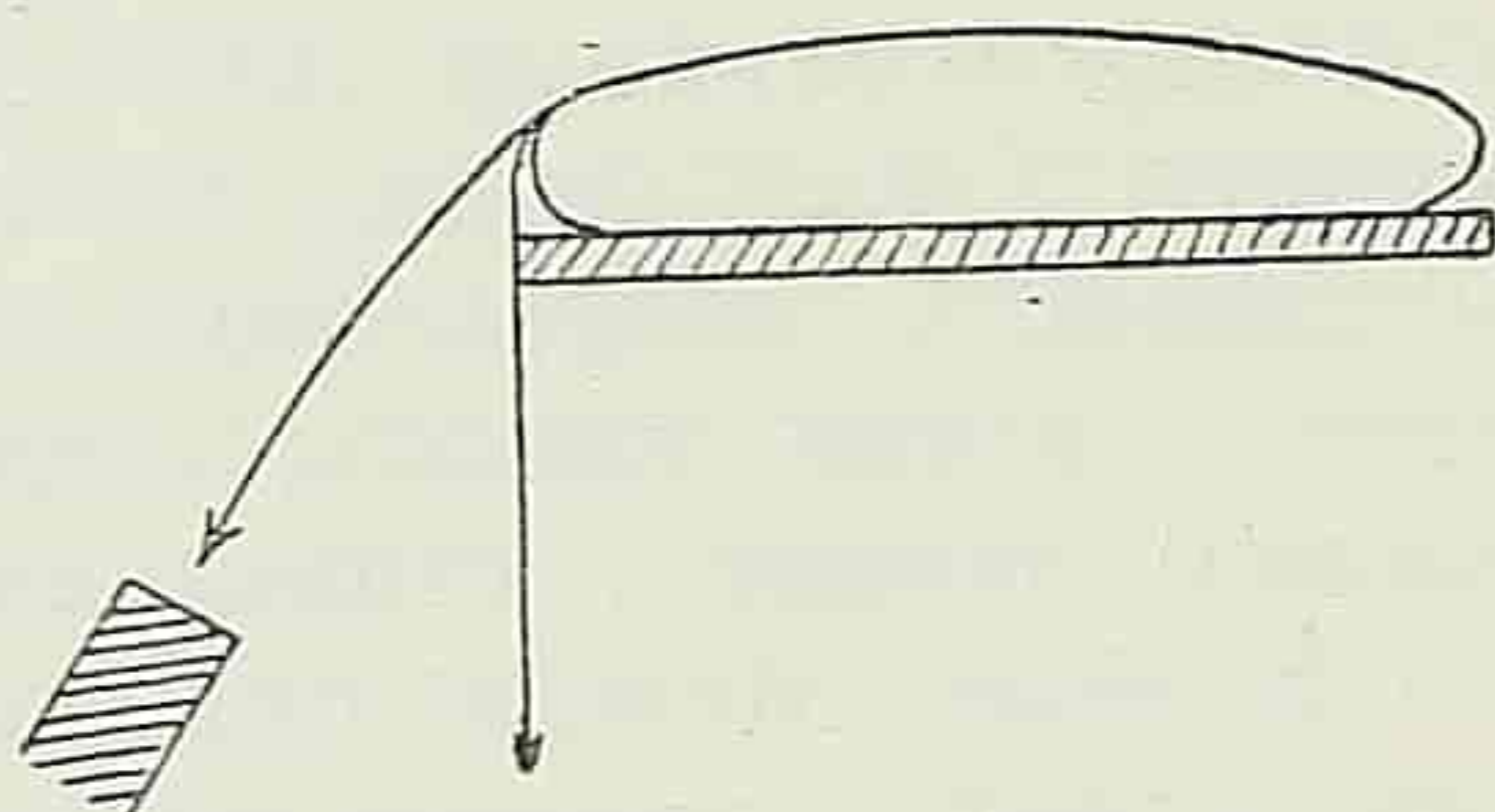


Рис. 1.

Къ концу свѣшивающагося нерва приближаемъ конецъ наэлектризованной эбонитовой палочки. Вмѣстѣ съ палочкою движется и окружающее ее электрическое поле. Свѣшивающійся нервъ притягивается палочкою и вытягивается навстрѣчу ея концу по линіи силъ. При достаточно быстромъ движеніи палочки наступа-

етъ сокращеніе мускула, рѣдко повторяющееся при второмъ приближеніи палочки, но безъ ея прикосновенія. Дальнѣйшее повторное приближеніе однако реакціи сокращенія мускула не даетъ, потому что изолированный препаратъ заряжается до насыщенія и слѣдовательно дальнѣйшаго теченія электрической энергии черезъ мѣсто соединенія нерва съ мускуломъ не происходитъ. Но, если снимемъ съ препарата зарядъ, коснувшись его пальцемъ, то новое приближеніе палочки опять вызываетъ сокращеніе. Реакція получается и тогда, когда къ свисающему нерву мы быстро поднесемъ металлическій проводникъ соединенный съ землею, напр. ножницы или пинцетъ и щелкнемъ ими. Тогда препаратъ разряжается: зарядъ обратно проходитъ изъ мускула въ нервъ и мускулъ сокращается.

Оставивъ нервъ въ соединеніи съ заряженнымъ источникомъ, напр., положивъ его на заряженную желатиновую поверхность, станемъ касаться концомъ платиноваго электрода, соединеннаго съ землею, различныхъ мускуловъ лягушечьей лапки. Получимъ точно локализованныя сокращенія избранныхъ мускуловъ, ибо черезъ нихъ только пройдетъ электрической токъ въ землю.

Электрическое поле обнаруживается далѣе въ формѣ тока телефономъ, кап. электрометромъ, а также и н.-м. препаратомъ, введенными въ униполярный земной проводъ, соединяющій съ землею пробный электродъ, введенный въ электрическое поле. Такую же реакцію при очень сильномъ поле даетъ и гальванометръ съ постояннымъ магнитомъ.



Электрический токъ возникаетъ въ проводѣ, соединяющемъ заряженное тѣло съ землею или съ другими незаряженными тѣлами. Въ формѣ тока электрическая энергія также распространяется отъ мѣста электризаціи по всей поверхности проводника и его слѣпыхъ отростковъ. Если тѣло разряжается черезъ проводникъ въ землю, то въ проводѣ появляется мгновенный электрический токъ въ формѣ толчка. Электрический токъ возникаетъ длительно въ проводахъ соединяющихъ кондукторы инфл. машины между собою или съ землею. Электрический токъ въ проводѣ совершенно отличенъ отъ тока гальваническаго. Онъ не подчиненъ законамъ Ома и Кирхгофа, онъ существуетъ униполярно въ разомкнутой цѣли. Въ пространствѣ, окружающемъ проводъ, не существуетъ магнитнаго поля и онъ мгновенно уничтожается въ цѣляхъ замкнутыхъ. Онъ проходитъ въ формѣ потоковъ электрическаго поля сквозь діэлектрикъ и на границѣ проводника и діэлектрика образуетъ зарядъ. Электрическое поле вокругъ заряженнаго тѣла мгновенно исчезаетъ при соединеніи тѣла съ землею, ибо энергія, раньше излучавшаяся въ поле, теперь въ формѣ тока уходитъ въ землю по соединительному проводу.

Если соединить съ землею кондукторъ инфл. машины, то вся возникающая на немъ энергія будетъ уходить по проводу въ землю и поля вокругъ него не будетъ. Но если введемъ въ поле кондуктора, не соприкасаясь съ нимъ, проводникъ соединенный съ землею, то послѣдній восприметъ въ себя лишь часть энергіи электрическаго поля, которое соотвѣтствующимъ образомъ деформируется.

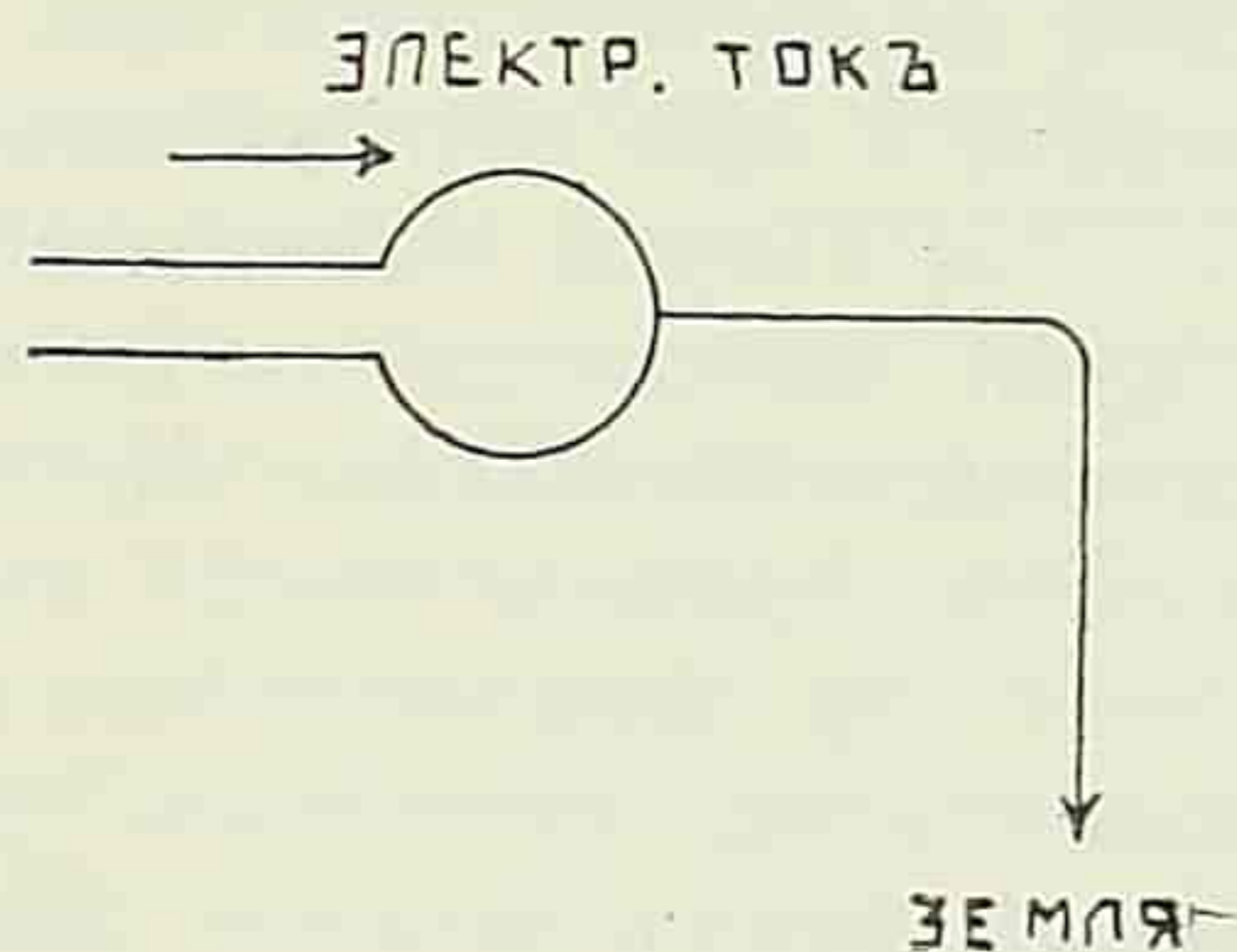


Рис. 2.

По униполярному проводу, соединяющему заряженное

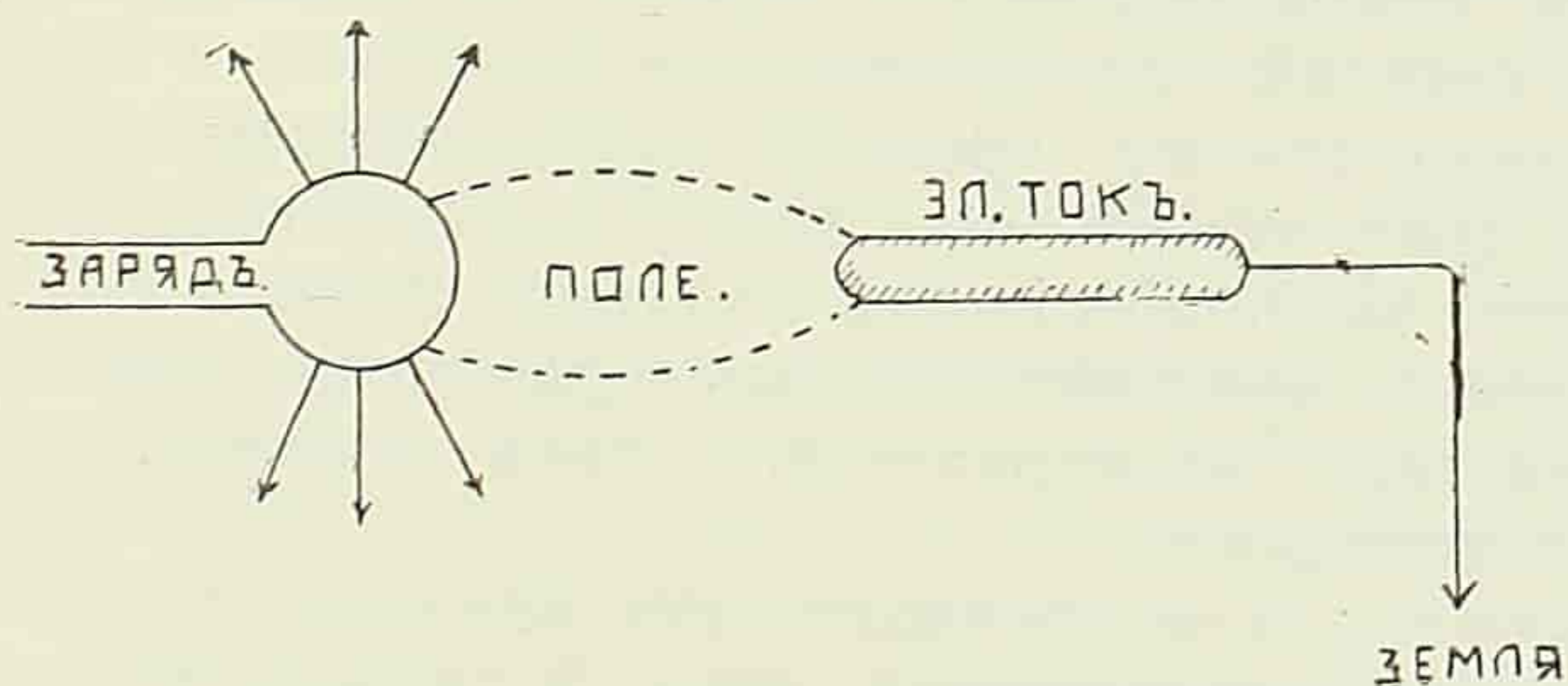


Рис. 3.

тѣло съ землею, токъ въ зависимости отъ знака течетъ въ двухъ взаимно обратныхъ направленіяхъ: отъ положительно



заряженного къ землѣ, въ проводѣ же, соединяющемъ съ землею отрицательно заряженное тѣло, — отъ земли къ тѣлу. Направленіе и сила электрическаго тока въ проводѣ обнаруживаются слѣдующими методами:

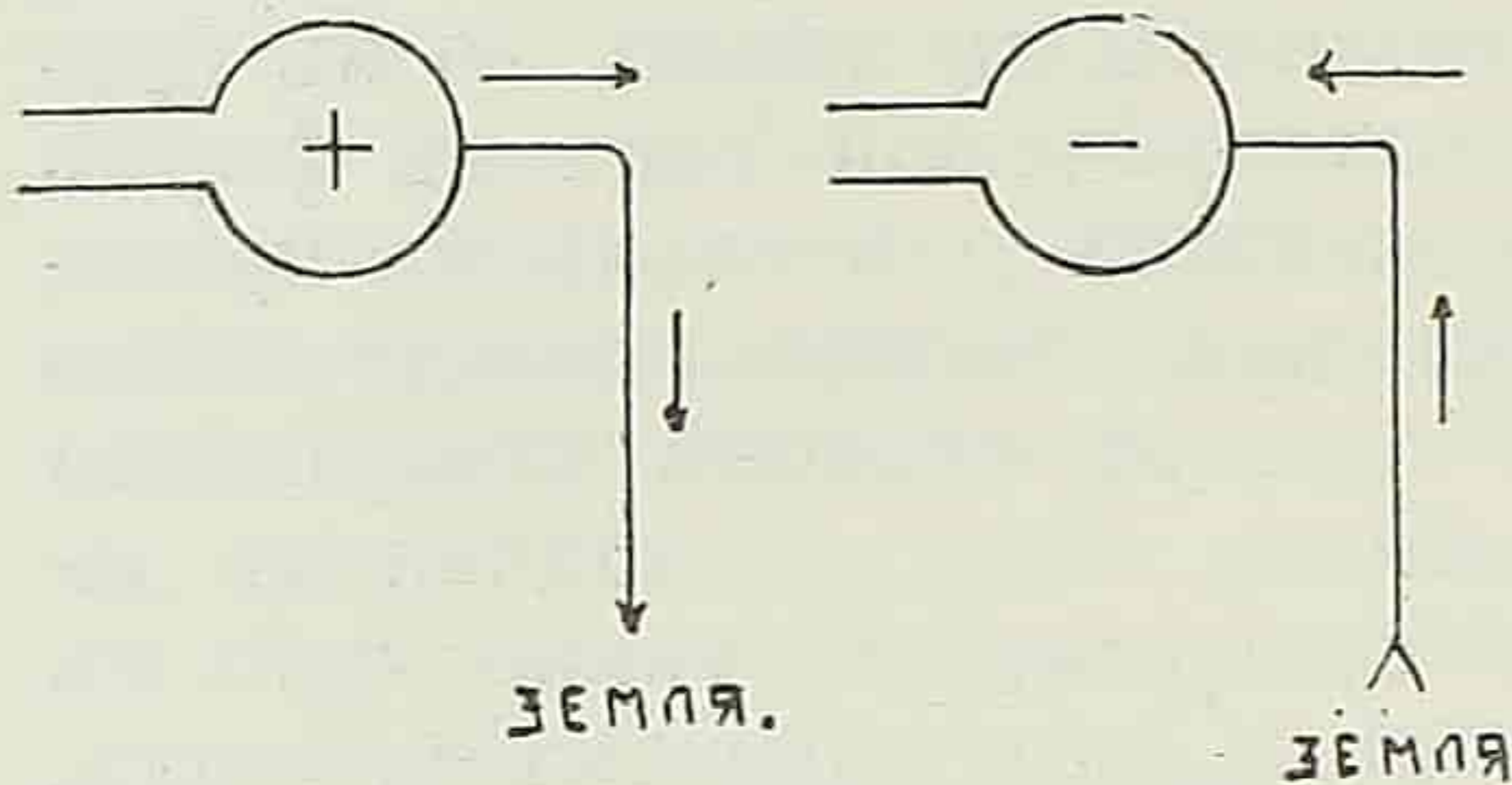


Рис. 4.

дахъ, въ которые введенъ гальванометръ, его стрѣлка отклоняется во взаимно обратныхъ направленихъ.

2) Очень и даже слишкомъ чувствительнымъ для такихъ источниковъ какъ инфл. машина является кап. электрометръ. При соединеніи ртути съ пробнымъ электродомъ, касающимся заряженного тѣла или введеннымъ въ электрическое поле, менискъ при положительномъ токъ передвигается внизъ, а при отрицательномъ вверхъ.

3) Почти одинаково чувствителенъ н.-м. препаратъ, который вводится въ проводъ при посредствѣ моей системы неполяризуемыхъ мѣдно-желатиновыхъ электродовъ, которые построены такъ: въ парафиновой пластинкѣ вырѣзываются два параллельныхъ углубленія, заполняемые желатинированнымъ студнемъ рингеровскаго раствора. На одномъ концѣ этихъ полосъ располагается поперечно н.-м. препаратъ, а на другомъ концѣ полосокъ спаиваются въ желатину двѣ вертикально поставленныя стеклянныя трубочки, въ которыя поверхъ слоя желатины наливается 5% растворъ  $CuSO_4$  и опускаются мѣдные электроды. Такимъ образомъ устраняется соприкосновеніе тканей съ металлами и возникновеніе въ системѣ гальваническаго тока \*).

По униполярному проводу, соединяющему кондукторъ съ землею, токъ течетъ по одному направленію. Этотъ проводъ можетъ быть пресѣченъ конденсаторами.

4) Самымъ чувствительнымъ приборомъ для обнаруженія прерывистаго электрическаго тока является введенный въ проводъ телефонъ.

Телефонъ и н.-м. препаратъ реагируютъ на прерывистый и переменный электрическій токъ, а гальванометръ и кап. электрометръ и на непрерывный токъ. Притомъ телефонъ,

\*) Краинскій. „Энергетика нервнаго процесса“ Москва. 1914.

1) Наиболее слабо реагируетъ гальванометръ съ постояннымъ магнитомъ типа Дебре Д'Арсонваля. Онъ реагируетъ даже въ униполярныхъ проводахъ отъ кондуктора инфл. машины къ землѣ, гдѣ гальваническаго тока вовсе нѣтъ. Въ положительномъ и отрицательномъ прово-



кап. электрометръ и н.-м. препаратъ всегда даютъ реакцію совмѣстно.

Гальваническія явленія — созданіе генія человѣчества. Въ природѣ самостоятельно они встрѣчаются весьма рѣдко. Въ отличіе отъ нихъ явленія чисто электрическія широко распространены въ природѣ и прежде всего проявляются въ грозѣ. Но мы встрѣчаемъ ихъ и въ біологіи, въ разрядахъ электрическаго ската и въ нервной системѣ. Въ лабораторіи они получаютъ треніемъ, соприкосновеніемъ тѣлъ и дѣйствіемъ электрическихъ машинъ, инфл. машиной, индукторомъ Румкорфа и трансформаторами. Въ послѣднихъ двухъ случаяхъ электрическая энергія получается изъ энергіи гальваническаго тока. Наконецъ электрическая энергія получаетъ громадное примѣненіе въ радіотехникѣ.

3. Инфлюенцъ-машина, какъ источникъ электрической энергіи, весьма плохо изучена. Она даетъ электрическую энергію во всѣхъ ея трехъ видахъ: заряда, поля и тока.

Два эбонитовыхъ диска насажены на общую ось на близкомъ разстояніи другъ отъ друга и при помощи ременного привода вращаются, если смотрѣть спереди, въ обратныхъ направленіяхъ: передній по часовой стрѣлкѣ, задній противъ нея. По наружной поверхности дисковъ, ближе къ периферіи, занимая больше половины длины радіуса, прерывисто наклеены на равныхъ другъ отъ друга разстояніяхъ станиолевые полоски, чередующіяся съ прослойками эбонитовой поверхности дисковъ. Впереди вращающихся дисковъ на металлическую ось перекрестно насажены два металлическихкіе діаметральные стержня, называемые кондукторами выравниванія зарядовъ (Ausgleichkonduktoren), несущіе на своихъ концахъ мишурныя кисточки, слегка касающіяся поверхности дисковъ. Эти діаметральные стержни расположены относительно горизонтальной оси дисковъ подъ угломъ  $60^\circ$  такъ что образуется перекрестно двѣ пары секторовъ: два горизонтальныхъ съ раструбомъ въ  $120^\circ$  каждый, и два вертикальныхъ съ раструбами въ  $60^\circ$ . Этимъ и исчерпываются существенныя части машины.

Опытъ № 14. Удаляемъ гребни-кондукторы и лейденскія банки и приводимъ машину въ дѣйствіе. Послѣ нѣсколькихъ оборотовъ рукоятки вращающей диски замѣчаемъ, что машина сразу начинаетъ дѣйствовать, причѣмъ рука чувствуетъ увеличеніе сопротивленія движенію. Машина начинаетъ вырабатывать электрическую энергію за счетъ превращенія въ нее энергіи движенія ей сообщаемой. Появляется характерный трескъ; между кисточками и поверхностью дисковъ начинаютъ проскакивать искры; появляется запахъ озона и вокругъ дисковъ возникаетъ электрическое поле своеобразной



структуры и динамики. Условіемъ возникновенія электрической энергіи является треніе діэлектрика-эбонита о діэлектрикъ-воздухъ. Необходимымъ условіемъ дѣйствія машины является присутствіе на опредѣленныхъ мѣстахъ мишурныхъ кисточекъ, роль которыхъ однако далеко не выяснена. Оба стержня, несущіе на себѣ кисточки, соединены между собою черезъ металлическую ось и вся система ихъ представляетъ собою проводникъ лишь рыхло соприкасающійся со станиолевыми наклейками на поверхности дисковъ.

Убѣдившись телефономъ въ отсутствіи зарядовъ на частяхъ машины, отклоняемъ мишурныя кисточки на 1 см. отъ поверхности дисковъ такъ, что никакого тренія не происходитъ, и приводимъ машину въ дѣйствіе. Появляется электрическое поле. Видоизмѣняемъ опытъ такъ, что сначала приводимъ кисточки въ легкое соприкосновеніе съ дисками, а затѣмъ на ходу машины отклоняемъ ихъ отъ дисковъ на разстояніе до 5 см. Снимаемъ кисточки со стержней и держимъ ихъ въ рукахъ на 5 см. противъ дисковъ. Машина продолжаетъ работать. Она перестаетъ дѣйствовать когда удалимъ кисточки на разстояніе свыше 8 см. Но если предварительно значительно отклонить кисточки отъ дисковъ и затѣмъ пустить машину въ ходъ, она будетъ работать въ холостую.

Если кисточки сдѣланы изъ мишуры, то не требуется предварительнаго заряженія дисковъ машины, если же имѣются станиолевыя кисточки, то приходится зарядить предварительно машину приблизивъ къ дискамъ или дотронувшись до нихъ заряженной эбонитовою палочкой.

Мишурныя кисточки находятся на линіи раздѣла вертикальныхъ и горизонтальныхъ секторовъ. Станемъ отклонять ихъ въ стороны. Это отклоненіе въ стороны возможно до опредѣленныхъ предѣловъ.

Удалимъ сначала одинъ, а потомъ и оба діаметральныхъ стержня и будемъ держать кисточки въ рукахъ двухъ экспериментаторовъ. Машина будетъ работать, хотя и слабѣе, даже въ томъ случаѣ, если экспериментаторы изолированы отъ земли. Такимъ образомъ соединительныя стержни не нужны и каждая изъ кисточекъ можетъ быть поставлена на независимую опору. Далѣе: замѣняемъ кисточки пальцами чловѣка, который стоитъ, какъ и машина, на изолирующей подкладкѣ. Оставимъ передъ заднимъ дискомъ на своихъ мѣстахъ кисточки, а передъ переднимъ пусть два разныхъ чловѣка держатъ пальцы, слегка касаясь ими поверхности диска. Получаются искры обжигающія пальцы. Одинъ изъ экспериментаторовъ передвигаетъ палецъ по всей полуокружности ограниченной заднимъ діаметральнымъ стержнемъ: машина работаетъ пока палецъ не перейдетъ границъ полуокружности. Можно двигать оба пальца взаимно: электризація



изчезнетъ лишь при нахожденіи пальцевъ вблизи задняго діаметрального стержня. Можно двигать оба пальца навстрѣчу другъ другу: максимумъ электризаціи получится при расположеніи пальцевъ по концамъ мѣстонахожденія передняго діаметрального стержня. Въ этихъ діаметральныхъ стержняхъ, несущихъ на своихъ концахъ мишурныя кисточки, повидимому происходитъ взаимное уничтоженіе противоположныхъ зарядовъ на соответствующихъ станиолевыхъ полоскахъ. У верхней передней кисточки № 1 возникаетъ, напр. положительный зарядъ, а у нижней передней № 3 отрицательный. Телефонъ и кап. электрометръ показываютъ во время хода машины токъ въ этихъ соединительныхъ стержняхъ.

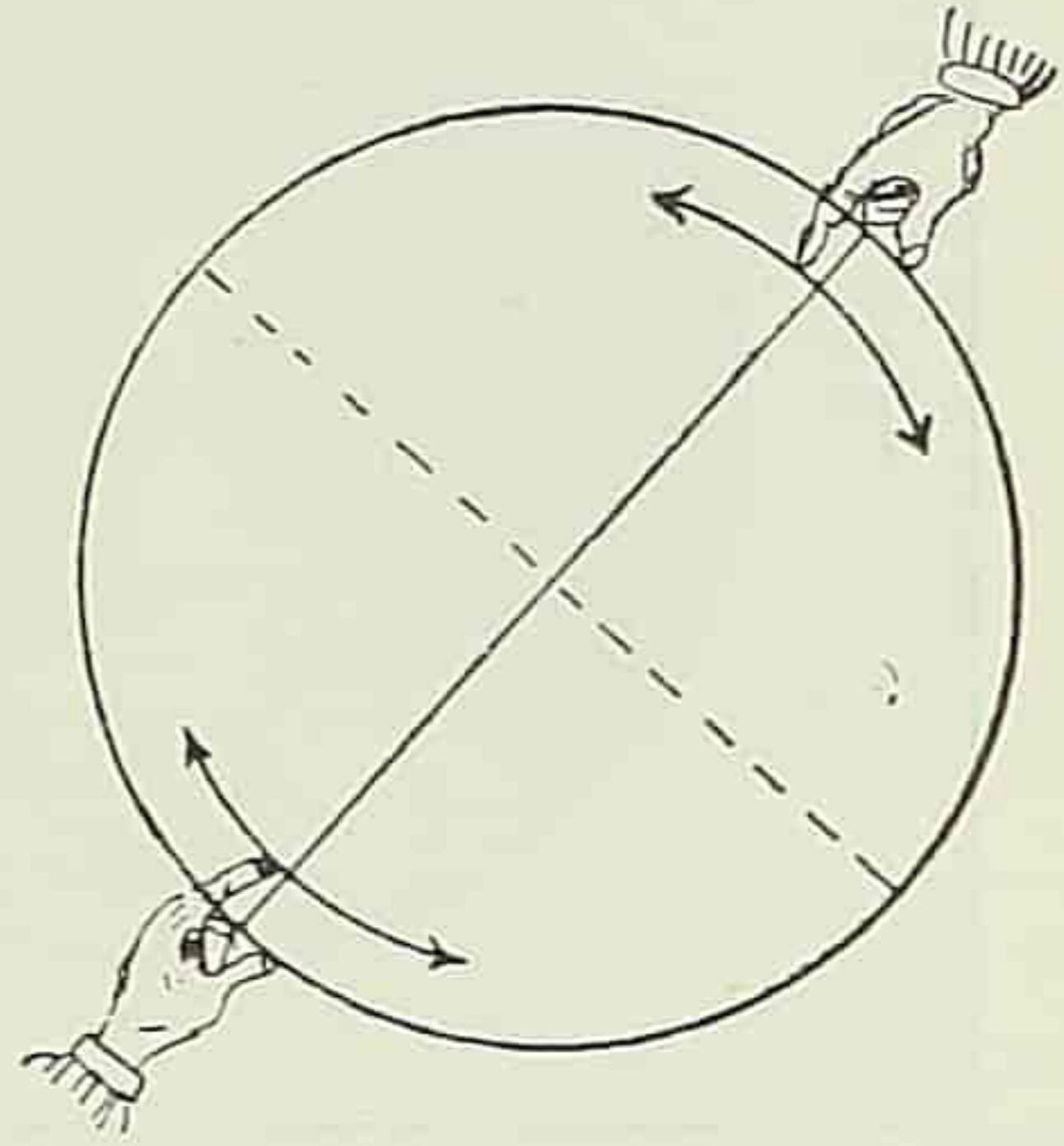


Рис. 5.

Если остановить машину и обследовать пробнымъ электродомъ всѣ станиолевыя полоски, окажется, что одна половина диска, отграниченная діаметральнымъ стержнемъ, заряжена положительно, а другая отрицательно. При касаніи же пробнымъ электродомъ полосокъ, находящихся въ соприкосновеніи съ кисточками, или соединительныхъ стержней, кап. электрометръ реакціи не даетъ.

Если остановить машину, работающую безъ соприкосновенія кисточекъ съ дисками, и вновь ее пустить, она будетъ дѣйствовать, если зарядъ съ поверхности дисковъ не снятъ.

Но стоитъ во время остановки машины коснуться пальцемъ станиолевыхъ полосокъ, а затѣмъ пустить машину, она будетъ работать въ холостую. Если же коснуться пальцемъ диска во время хода машины, — диски не разряжаются.

Поле инфл. машины обнаруживается всѣми описанными выше методами. Въ вертикальномъ разрѣзѣ оно имѣетъ секторную структуру, въ горизонтальномъ — структуру тождественную съ полемъ прямого магнита.

При вращеніи передняго диска по направленію часовой стрѣлки электрическое поле получается только въ области горизонтальныхъ секторовъ, которые такимъ образомъ являются активными. Въ области вертикальныхъ секторовъ поля нѣтъ, т. е. они пассивны. При вращеніи же передняго диска противъ часовой стрѣлки активными оказываются вертикальные секторы, въ горизонтальныхъ же поле исчезаетъ. При переměнѣ направленія движенія дисковъ все поле поворачивается на  $90^\circ$ , переходя изъ горизонтальнаго въ вертикальное положеніе.

Въ активныхъ секторахъ напряженіе электрической энер-



гій неодинаково: оно максимально по середньому діаметру сектора и быстро уменьшается, сходя на нѣтъ на крайнихъ

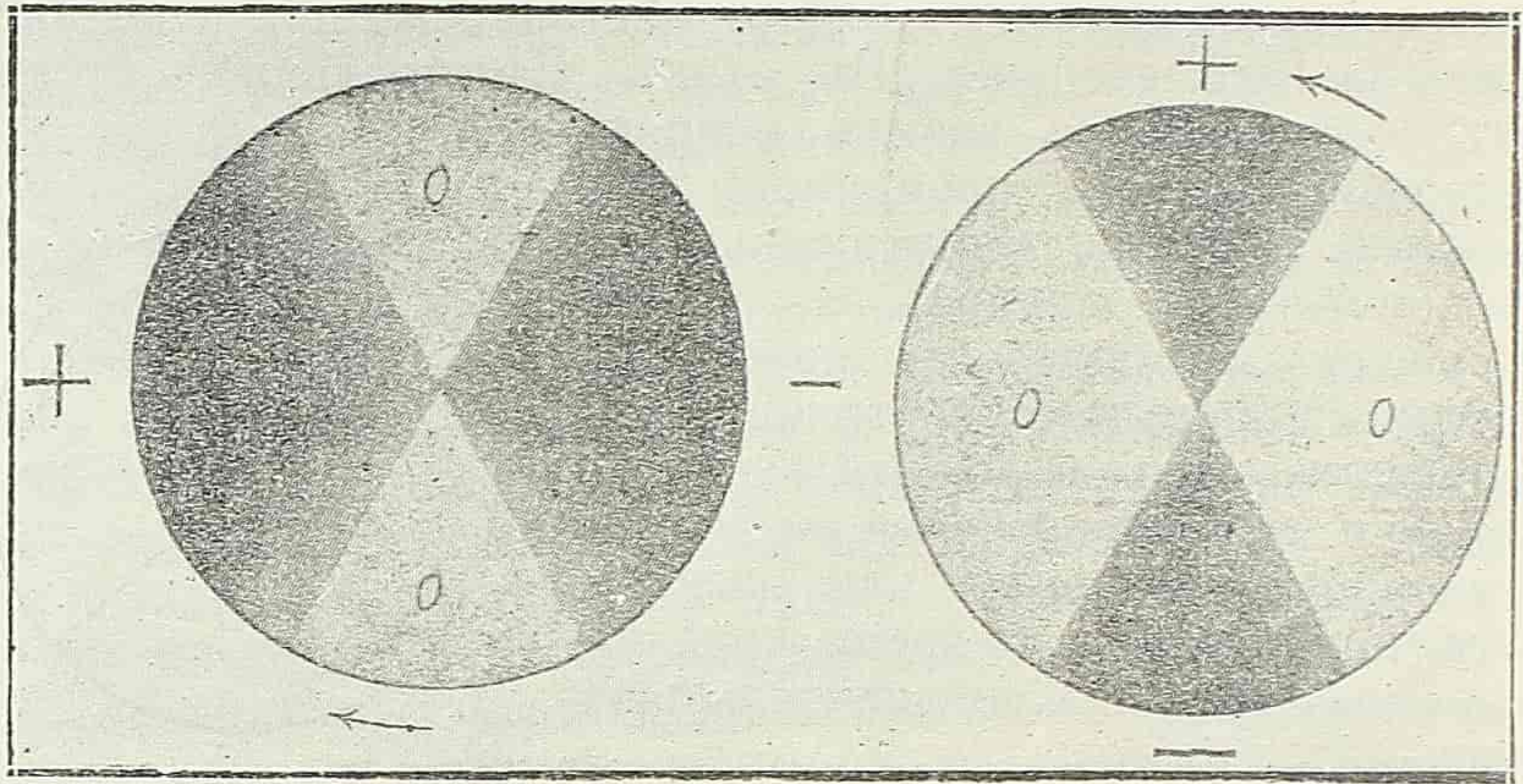


Рис. 6. Геометрическая структура поля инфлюэнцъ-машины, лишенной гребней и кондукторовъ.

радіусахъ секторовъ. Въ горизонтальномъ діаметральномъ сѣченіи поля внутренняя его часть имѣетъ параболическую, а периферическія экстраполярныя части радіальную структуру. Точки полюсовъ расположены по горизонтальному діаметру на  $\frac{1}{3}$  длины радіуса отъ краевъ окружности дисковъ. При перемѣщеніи бумажной стрѣлки отъ одного полюса къ другому она поворачивается на  $180^\circ$ , но не обнаруживаетъ

Рис. 7 и 8. Электрическое поле, деформированное системою кондукторовъ.

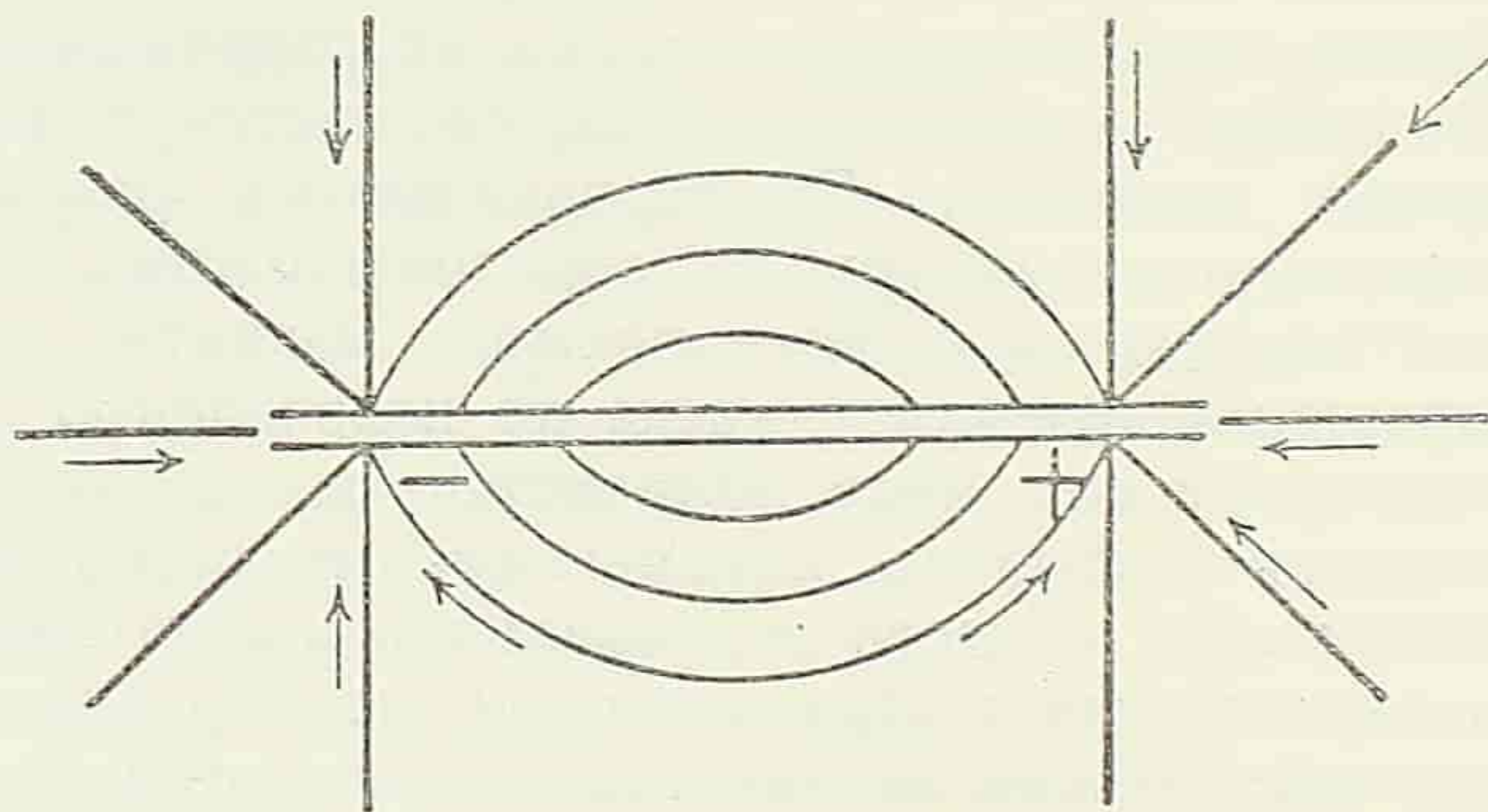


Рис. 7.

полярности. Магнитная стрѣлка реагируетъ слабѣе и также неполярно.



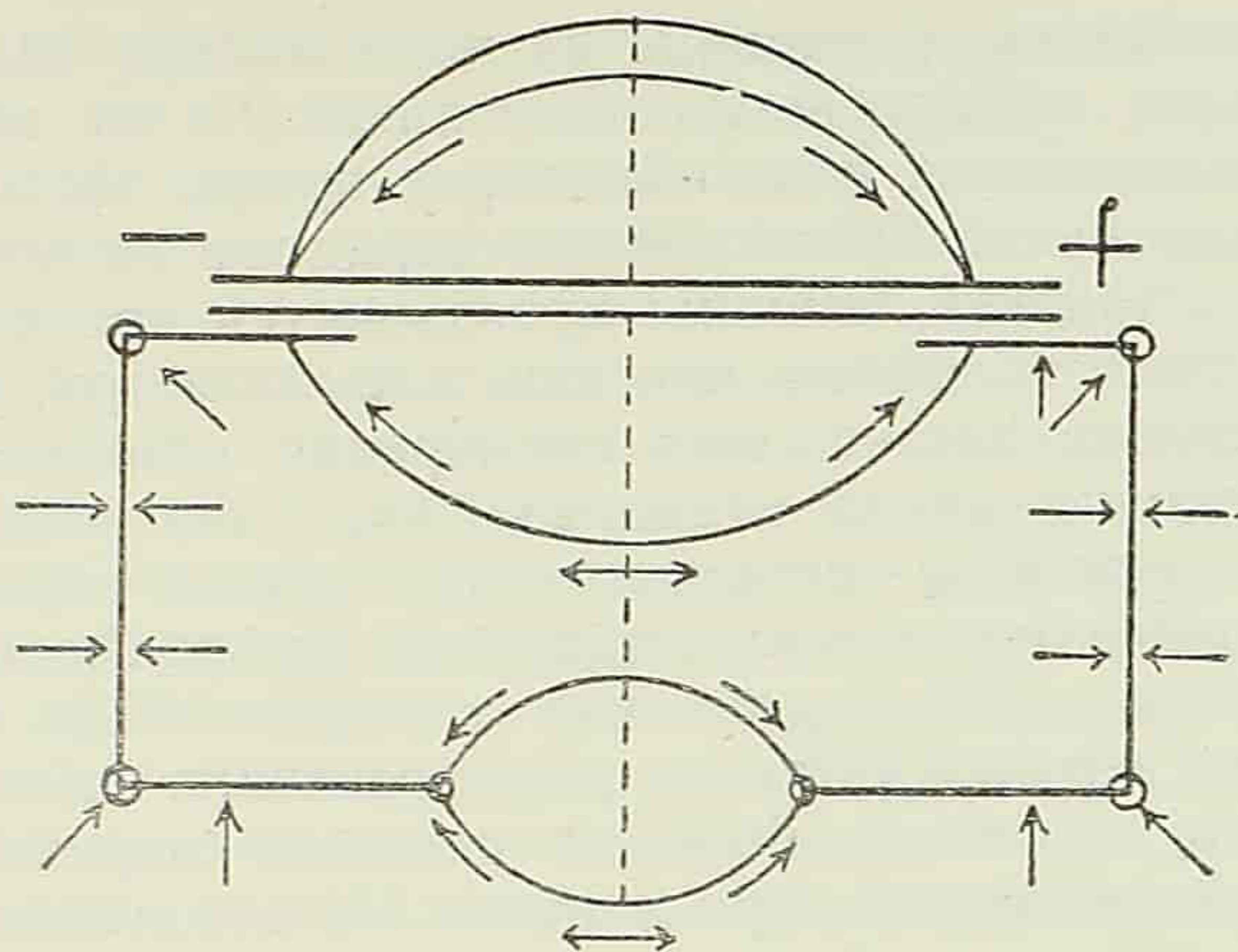


Рис. 8.

Переэлектризація полюсовъ происходитъ, если нѣкоторое время вращать диски машины въ обратную сторону. Когда, послѣ этого, снова начнемъ вращать диски въ прежнемъ направленіи полюсъ, бывшій раньше положительнымъ, оказывается отрицательнымъ и обратно.

Гребни-кондукторы играютъ лишь роль проводниковъ введенныхъ въ электрическое поле и соотвѣтственно деформируютъ его (см. рис. 8).

Роль лейденскихъ банокъ униполярно соединенныхъ съ системой гребней-кондукторовъ сводится къ увеличенію емкости этихъ проводниковъ, на которыхъ накапливается съ увеличеніемъ поверхности больше энергии заряда. Частота искровыхъ разрядовъ между кондукторами машины зависитъ отъ емкости проводниковъ. Безъ присоединенія банокъ машина даетъ частыя, слабыя искры фіолетоваго цвѣта. Съ присоединеніемъ одной банки искры бѣлѣютъ, становятся сильнѣе и рѣже, а съ присоединеніемъ обѣихъ банокъ искры становятся еще рѣже, сильнѣе и получаютъ серебристо-бѣлый цвѣтъ. Количество энергии вырабатываемое машиной остается прежнее, мѣняется лишь ея распредѣленіе во времени, выражающееся періодическими разрядами.

Между сдвинутыми навстрѣчу другъ другу кондукторами образуется параболическое биполярное поле. Выше и ниже горизонтальнаго діаметральнаго сѣченія это поле ослабѣваетъ.

При соединеніи одного кондуктора съ землею исчезаетъ соотвѣтствующая половина поля, причемъ энергія его превращается въ электрической токъ, по проводу уходящій въ землю. Каждый полюсъ функционируетъ такимъ образомъ независимо отъ другого.



Послѣ остановки машины ея поле быстро ослабляется, но заряды на станиолевыхъ пластинкахъ и на эбонитовой поверхности остаются еще нѣкоторое время, постепенно излучаясь въ воздухъ. Обслѣдованіе зарядовъ на поверхности дисковъ по остановкѣ машины производится пробнымъ электродомъ, черезъ телефонъ или кап. электрометръ, соединеннымъ съ землею. Касаясь имъ поочередно станиолевыхъ полосокъ передняго диска находимъ, что одна половина площади диска заряжена положительно, другая отрицательно. Заряды неодинаковы и количественное распределеніе ихъ на станиолевыхъ полоскахъ довольно сложное. Если слѣдовать отъ передней верхней кисточки по направленію часовой стрѣлки, находимъ, что на станиолевой полоскѣ соприкасающейся съ мишурной кисточкой заряда нѣтъ. На слѣдующей вправо имѣется положительный зарядъ, который имѣется и на слѣдующихъ полоскахъ, расположенныхъ въ области пассивнаго вертикальнаго сектора, въ которомъ поля нѣтъ. Заряды возрастаютъ на слѣдующихъ пластинкахъ и достигаютъ максимума въ области горизонтальнаго діаметра. Затѣмъ они довольно быстро уменьшаются и на ближайшей къ нижней кисточкѣ заряда нѣтъ. Нѣтъ его и на полоскѣ соприкасающейся съ нижней передней кисточкой. На слѣдующей за нею полоскѣ снова появляется зарядъ, но уже отрицательный и измѣняется въ своей силѣ въ той же послѣдовательности. На станиолевыхъ пластинкахъ зарядъ сохраняется дольше, чѣмъ на поверхности эбонита.

Кап. электрометръ показываетъ, что на кондукторахъ зарядъ много больше чѣмъ на станиолевыхъ полоскахъ. На кондукторахъ зарядъ накапливается соотвѣтственно ихъ емкости до тѣхъ поръ, пока напряженіе энергіи на нихъ не сравняется съ напряженіемъ на пластинкахъ.

Секторное строеніе электрическаго поля инфл. машины объясняется слѣдующимъ образомъ. Раздѣлимъ передній дискъ, вращающійся по направленію часовой стрѣлки, на четыре сектора. Переднюю лѣвую, верхнюю кисточку обозначимъ № 1, нижнюю переднюю, правую обозначимъ № 3. Кисточки задняго диска обозначимъ — верхнюю, заднюю правую № 2, а нижнюю, лѣвую, заднюю № 4. По прохожденіи станиолевой пластинки мимо кисточки № 1 она сразу получаетъ положительный зарядъ, который несетъ до соприкосновенія съ кисточкой № 3. На пути

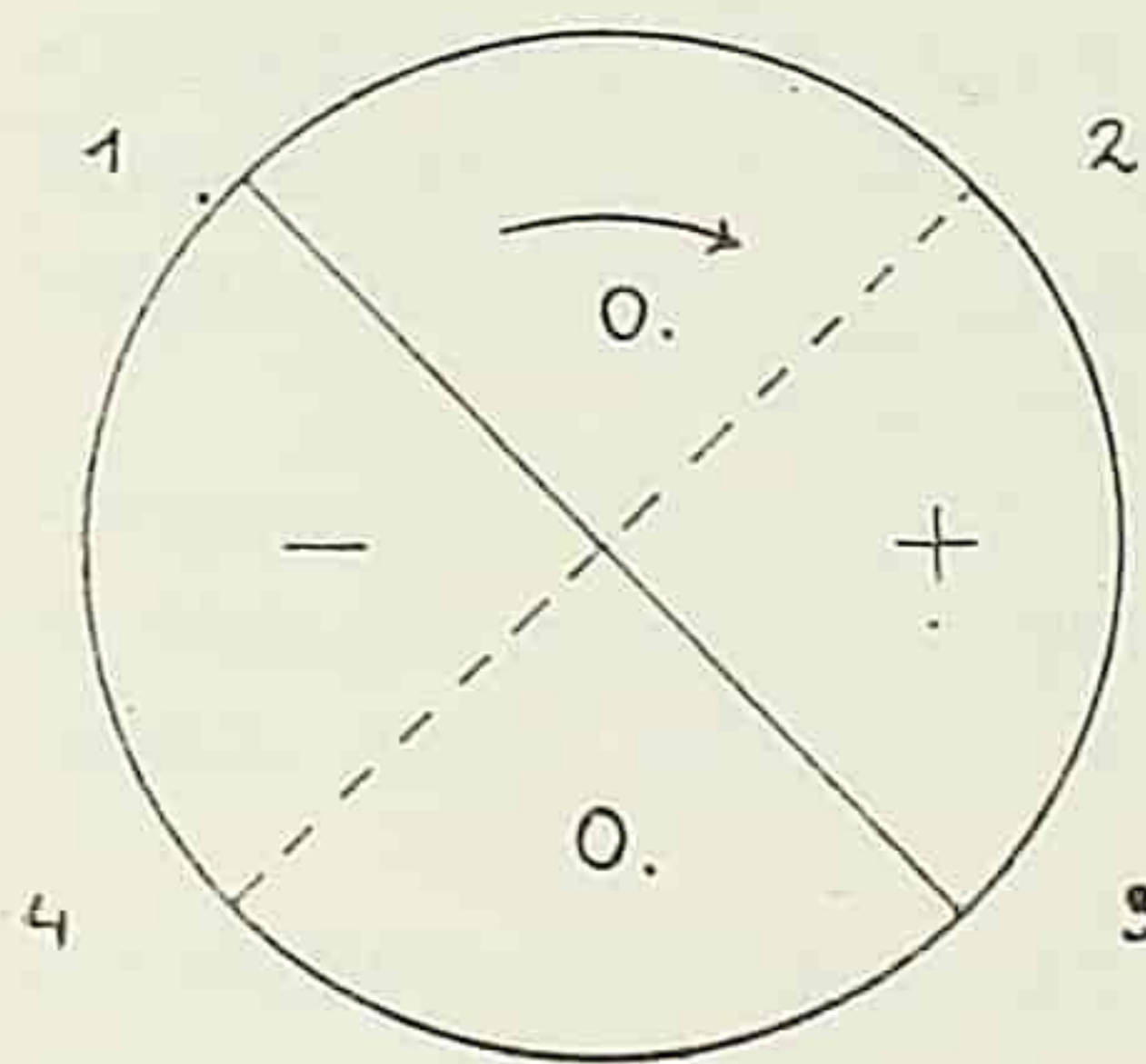


Рис. 9.

этотъ зарядъ смывается, излучаясь въ окружающее диски электрическое поле. Неся зарядъ станиолевая пластинка про-



ходитъ вертикальный, пассивный секторъ въ  $60^\circ$ , въ которомъ поля нѣтъ. Но въ это же время навстрѣчу переднему движется задній дискъ, на задней своей поверхности несущій также заряженные станиолевые пластинки. У кисточки № 2 станиолевая пластинка задняго диска получаетъ отрицательный зарядъ, который также частично смывается въ поле. Оба поля обратныхъ знаковъ взаимно уничтожаются и поле въ вертикальномъ секторѣ такимъ образомъ исчезаетъ.

Однако зарядъ на пластинкахъ не успѣваетъ излучиться во время ея движенія въ области пассивнаго сектора и она еще несетъ на себѣ положительный зарядъ. Передвигаясь по часовой стрѣлкѣ передняя пластинка продолжаетъ встрѣчать заднія пластинки, заряженные однако положительно, ибо онѣ получили свой положительный зарядъ у кисточки № 4. Подвигаясь все дальше передняя пластинка встрѣчаетъ заднія, все сильнѣе и сильнѣе заряженные положительно. Излучая свои заряды, они даютъ положительное поле, которое суммируется съ заднимъ. Такимъ образомъ въ активныхъ горизонтальныхъ секторахъ образуется положительное, неравномѣрно сначала возрастающее, получающее максимумъ на горизонтальномъ діаметрѣ, а затѣмъ убывающее поле, которое въ нижнемъ пассивномъ секторѣ вновь уничтожается.

Это неравномѣрное распредѣленіе напряженія энергіи въ полѣ активныхъ секторовъ указываетъ на то, что заряды на станиолевыхъ полоскахъ, смываясь, убываютъ не линейно, а какъ рядъ членовъ геометрической прогрессіи. Если бы зарядъ убывалъ линейно, мы имѣли бы въ активныхъ секторахъ равномѣрное напряженіе энергіи выражающееся символически суммою ординатъ соотвѣтствующихъ кривыхъ. Если утерянное количество слѣдуетъ закону экспоненціальной функціи и каждый членъ есть  $e^{kt}$ , то остающійся на пластинкѣ зарядъ есть  $1 - e^{kt}$ . Взаимодѣйствіе встрѣчныхъ зарядовъ и полей даетъ типичную кривую, очерчивающую вершины суммъ ординатъ встрѣчныхъ кривыхъ. Причудливое строеніе поля инфл. машины въ вертикальномъ размѣрѣ объясняется алгебраическимъ сложеніемъ электрическихъ полей возникающихъ по обѣ стороны дисковъ.

Для дѣйствія машины необходима періодическая наклейка станиолевыхъ полосъ. Если замѣнить ихъ сплошнымъ наклееннымъ круговымъ станиолевымъ кольцомъ, машина не будетъ работать.

Условіемъ работы машины является смѣщеніе фазъ, опредѣляемое положеніемъ мишурныхъ кисточекъ. Снявъ ихъ со стержней и удаливъ послѣдніе, станемъ перемѣщать ихъ передъ поверхностью дисковъ. Условіемъ дѣйствія машины является перекрестное положеніе діаметровъ, на концахъ которыхъ расположены кисточки. Наибольше выгоднымъ явля-



ется положеніе діаметровъ, несущихъ кисточки подъ угломъ  $60^\circ$  относительно горизонтальнаго діаметра дисковъ. Поставивъ передній и задній стержни параллельно установимъ, что машина перестанетъ работать.

Каждый изъ противолежащихъ секторовъ имѣетъ поле противоположнаго знака.

Въ проводахъ соединяющихъ между собою кондукторы инфл. машины и въ проводахъ соединяющихъ кондукторы съ землею энергія вырабатываемая инфл. машиной получаетъ форму электрическаго тока.

Неподчиненіе электрическаго тока закону Ома уже отмѣчено въ радіотехникѣ. Омическое сопротивленіе въ нѣсколько мегаомовъ на электрическій токъ не дѣйствуетъ, а тамъ, гдѣ это дѣйствіе замѣчается, оно не слѣдуетъ линейной функціи. Конденсаторъ, введенный въ проводъ, по которому течетъ электрическій токъ, играетъ роль сопротивленія, но и здѣсь линейный характеръ функцій не установленъ.

Опытъ № 15. Въ униполярный проводъ, исходящій отъ кондуктора инфл. машины къ землѣ, вставляемъ раздвижной конденсаторъ типа Кольрауша съ двумя параллельными пластинками. Между периферическою пластинкою и землею вводимъ кап. электрометръ. При одинаковой быстротѣ вращенія дисковъ, по удаленіи периферической пластинки отъ центральной уменьшается отклоненіе мениска электрометра.

Униполярное распространеніе электрическаго тока по слѣпымъ отросткамъ проводниковъ показываетъ, что онъ не подчиненъ закону Кирхгофа.

Инфл. машина вырабатываетъ энергію электрическаго поля окружающаго диски. Гребни-кондукторы воспринимаютъ эту энергію и передаютъ ее въ формѣ тока проводамъ. Но гребни, въ зависимости отъ своей формы и установки могутъ воспринимать энергію неодинаково. Поэтому часто электрическій токъ въ проводахъ отъ обоихъ кондукторовъ бываетъ неодинаковъ.

Опытъ № 16. Поочередно соединяемъ униполярно каждый изъ кондукторовъ черезъ гальванометръ проводомъ съ землею. Стрѣлка гальванометра отклоняется въ ту или другую сторону въ зависимости отъ того, соединенъ ли съ землею положительный или отрицательный кондукторъ. Судя по реакціи таксиса (пламя, кап. электрометръ) надо думать, что по положительному проводу токъ течетъ отъ кондуктора къ землѣ, а по отрицательному отъ земли къ кондуктору. Обыкновенно оба униполярные токи отъ обоихъ кондукторовъ оказываются неодинаковыми, причемъ разность въ отклоненіи стрѣлокъ бываетъ очень значительна.

Соединивъ затѣмъ черезъ тотъ же гальванометръ про-



водомъ оба кондуктора, найдемъ, что токъ въ соединительномъ проводѣ сильно уменьшился. Часто онъ приближается по силѣ къ разности униполярныхъ токовъ, а иногда къ половинѣ ихъ значенія. Количественное отношеніе биполярнаго тока къ униполярнымъ должно быть выяснено очень тщательными опытами, которые удаются не легко. Пока ограничимся лишь констатированіемъ факта, что биполярный токъ много слабѣе униполярныхъ и при идеальной установкѣ машины можетъ приближаться къ нулю. Тотъ же результатъ получается, если оба кондуктора соединимъ съ землею, т. е. замкнемъ полу-цѣпь инфл. машины черезъ землю. Замѣтимъ, что цѣпь машины всегда есть цѣпь разомкнутая у гребней, а потому правильнѣе говорить о полу-цѣпи.

Если положительный униполярный токъ сильнѣе отрицательнаго, то при биполярной работѣ машины полу-цѣпь оказывается заряженною положительно, поле же вблизи отрицательнаго кондуктора остается отрицательнымъ.

Если замкнутая биполярно черезъ гальванометръ полу-цѣпь даетъ отклоненіе стрѣлки въ 30 дѣленій, то при размыканіи стрѣлка рѣзко, иногда вдвое, отклоняется въ ту же сторону. Когда полу-цѣпь машины замкнута непосредственно или черезъ землю, поле вокругъ кондукторовъ и проводовъ исчезаетъ. Оно моментально появляется, какъ только разомкнемъ цѣпь.

Притягательныя дѣйствія электрическаго тока легко обнаруживаются опытомъ съ вѣсами:

Опытъ № 17. Чашку изолированныхъ химическихъ вѣсовъ соединяемъ съ землею. Надъ нею устанавливаемъ параллельно пластинку соединенную съ кондукторомъ машины. Имѣемъ такимъ образомъ конденсаторъ, пресѣкающій проводъ. Чашка притягивается къ пластинкѣ и такимъ образомъ можно взвѣсить зарядъ, какъ это дѣлалъ Томсонъ въ своемъ абсолютномъ электрометрѣ. Притягательное дѣйствіе независимо отъ знака заряда.

Весьма слабымъ мѣстомъ электрофизики является утвержденіе о паденіи потенціала въ гальванической цѣпи. Любопытно, что основной опытъ, на которомъ основано это утвержденіе заимствованъ изъ электростатики и опытъ этотъ неправильно толкуется. Критика этого утвержденія приведена въ моей книгѣ „Мат. осн. ест.“. Здѣсь ограничусь утвержденіемъ, что потенціалъ или напряженіе реально есть количество энергіи отнесенное къ координатнымъ величинамъ пространства, времени и вещества, а потому имѣетъ наименованіе количества энергіи и не есть особая величина *sui generis*. Пространственное напряженіе энергіи и паденіе пространственнаго потенціала возможно лишь въ электрическомъ полѣ, гдѣ энергія распространяется во всѣ стороны



сплошными потоками. Въ проводахъ по отношенію къ гальваническому и электрическому току пространственное напряженіе имѣется только въ формѣ плотности тока, т. е. количества энергіи, приходящейся на единицу сѣченія провода. Никакого другого пространственнаго напряженія и паденія потенціала въ проводѣ, по которому протекаетъ гальванической или электрической токъ, нѣтъ. Для тока существуетъ лишь напряженіе по времени: это есть количество энергіи въ единицу времени, протекающее черезъ сѣченіе проводника. Оно одинаково по всей длинѣ провода и называется силою тока. Формулу же

$$V_2 - V_1 = IR$$

я считаю фантастическою (см. „Мат. осн. ест.“).

Опытъ № 18. Одинъ кондукторъ машины соединимъ

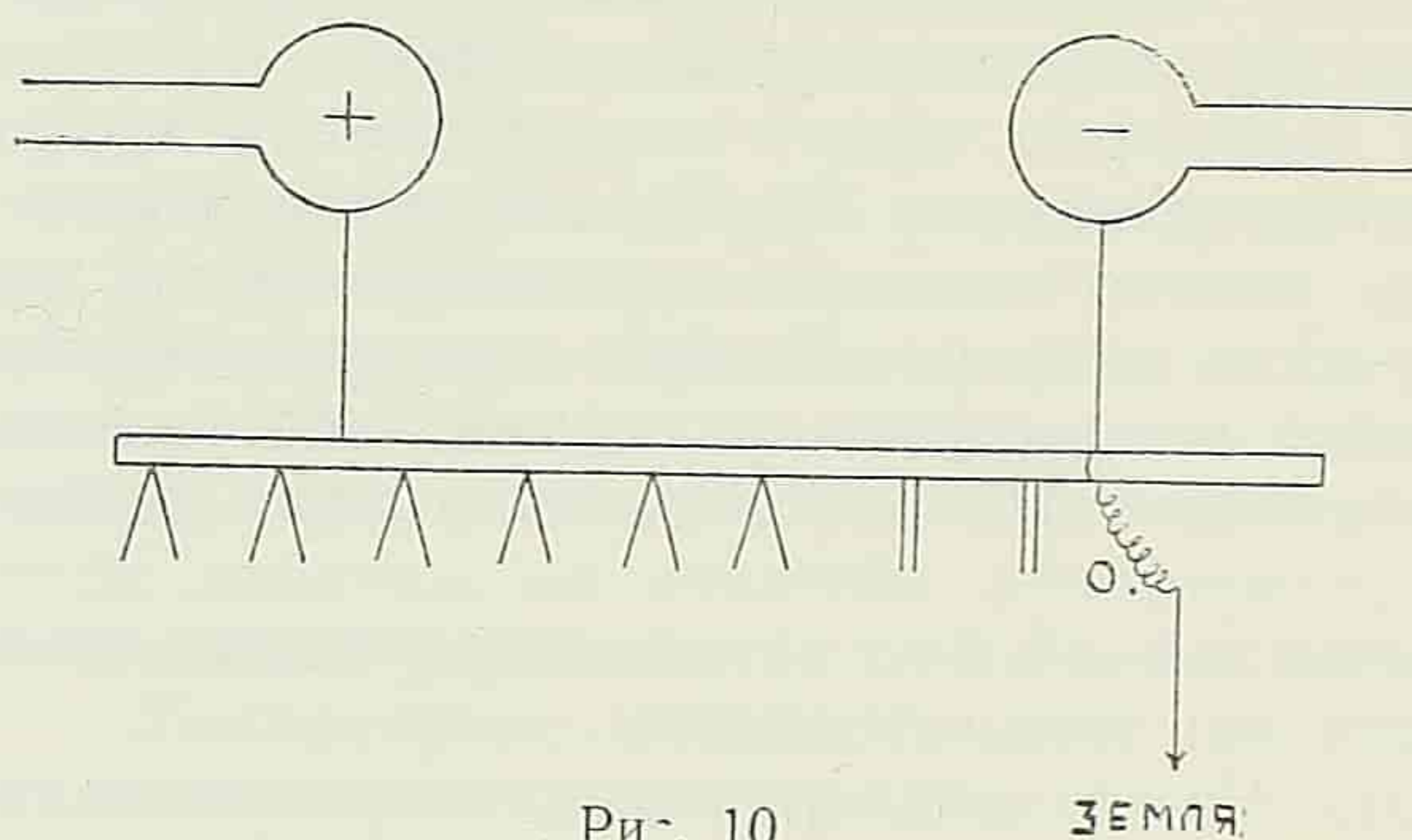


Рис. 10

съ землею, другой оставимъ свободнымъ: вокругъ перваго поле исчезнетъ, а въ земномъ проводѣ появится токъ. Вокругъ свободного кондуктора возникнетъ электрическое поле. Къ обоимъ кондукторамъ присоединимъ кольцевыя оправы

и просунемъ въ кольцевыя отверстія деревянный стержень съ подвѣшенными къ нему бумажными электроскопами. Потокъ электрической энергіи, который раньше распространялся радіально по діэлектрику отъ свободного кондуктора, теперь частично распространится по деревянному стержню, представляющему собою полупроводникъ. Такъ какъ онъ плохо проводитъ электрическую энергію, она по пути будетъ излучаться въ окружающее пространство, образуя вокругъ стержня поле съ послѣдовательно убывающимъ напряженіемъ. Листочки электроскоповъ, реагирующіе на поле, сильнѣе всего разойдутся у начальнаго кольца, а затѣмъ, по мѣрѣ отдаленія отъ него, расхожденіе листочковъ будетъ уменьшаться и на мѣстѣ соединенія втораго кольца съ землею будетъ равно нулю. Въ полѣ окружающемъ стержень слѣд. дѣйствительно происходитъ паденіе пространственнаго потенціала, т. е. напряженія энергіи. Замѣнимъ деревянный стержень металлическимъ: поле вокругъ стержня исчезнетъ и листочки подвѣшенныхъ къ нему электроскоповъ не разойдутся.



Разъединимъ кондукторъ съ землею и вставимъ опять въ кольцевые просвѣты деревянный стержень соединяющій такимъ образомъ оба кондуктора.

Расхождение листочковъ измѣнится: оно будетъ максимально вблизи колецъ, будетъ уменьшаться къ срединѣ стержня, гдѣ оно будетъ = 0. Если любую точку стержня соединимъ съ землею, расхождение листочковъ

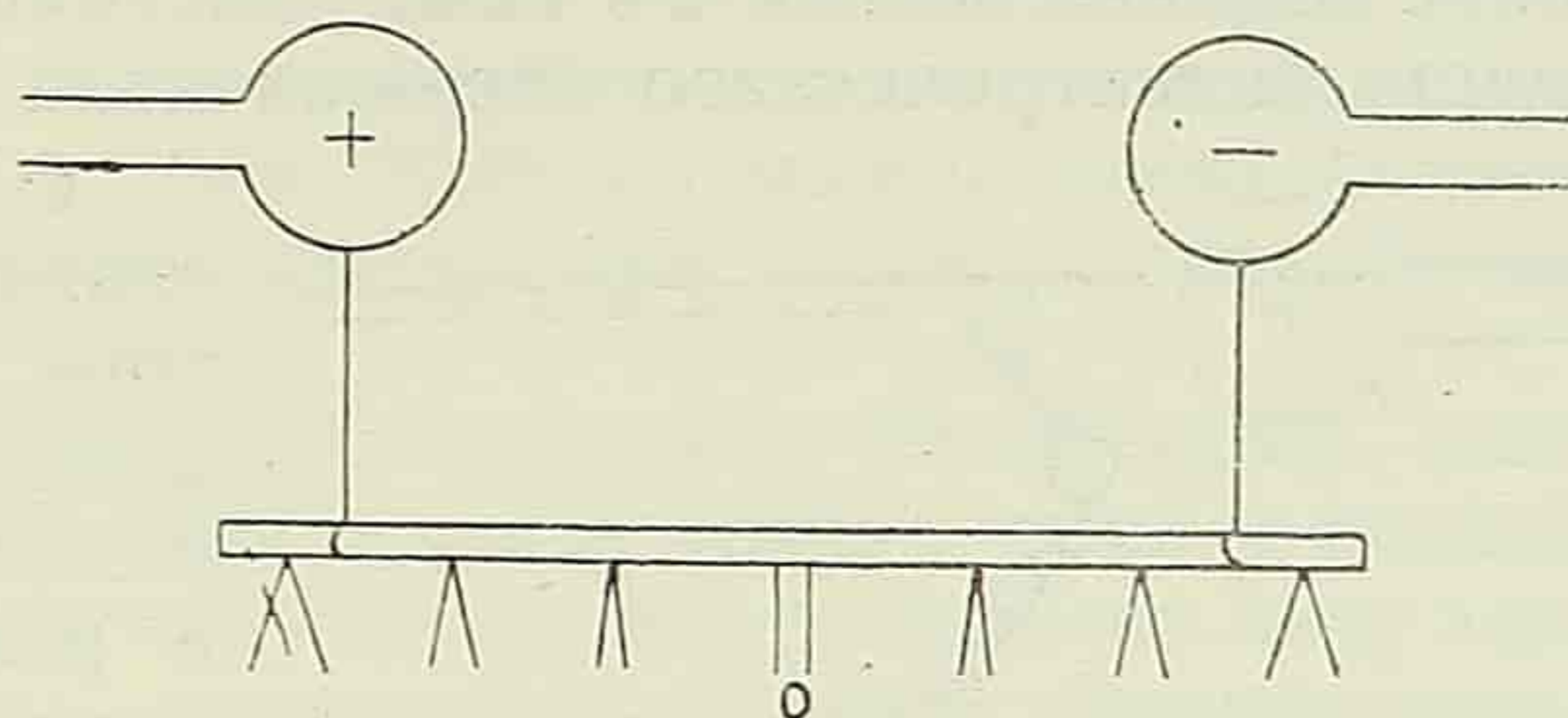


Рис. 11.

электроскопа въ ней будетъ = 0. Это значитъ, что энергія, распространявшаяся по стержню до этого мѣста, „уходитъ въ землю“ и поле въ этомъ мѣстѣ исчезаетъ. Болѣе точные результаты получаются обслѣдованіемъ стержня пробнымъ электродомъ соединеннымъ съ кап. электрометромъ. Если соединить съ землею оба кондуктора, то тока въ деревянномъ соединительномъ стержнѣ не обнаруживается.

Изъ этихъ опытовъ видимъ, что паденіе потенциала можетъ быть только въ электрическомъ полѣ, но не въ проводникахъ.

Электрофизика утверждаетъ, что паденіе потенциала вдоль проводника, униполярно соединеннаго съ кондукторомъ машины, есть линейная функція разстоянія. Это невѣрно. Опытъ измѣренія помощью кап. электрометра показываетъ, что функція эта экспоненціальная, т. е. энергія убываетъ какъ рядъ членовъ геометрической прогрессіи.

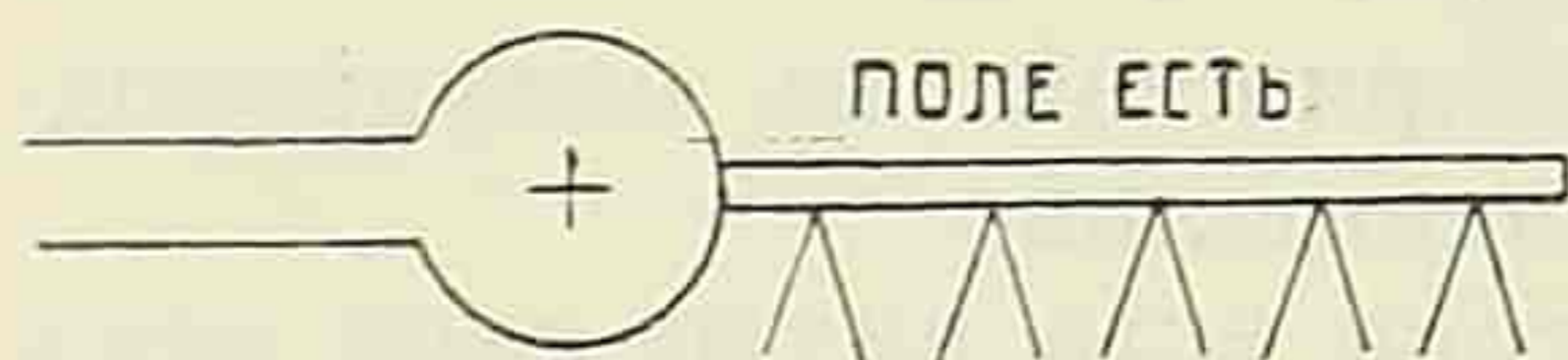


Рис. 12.

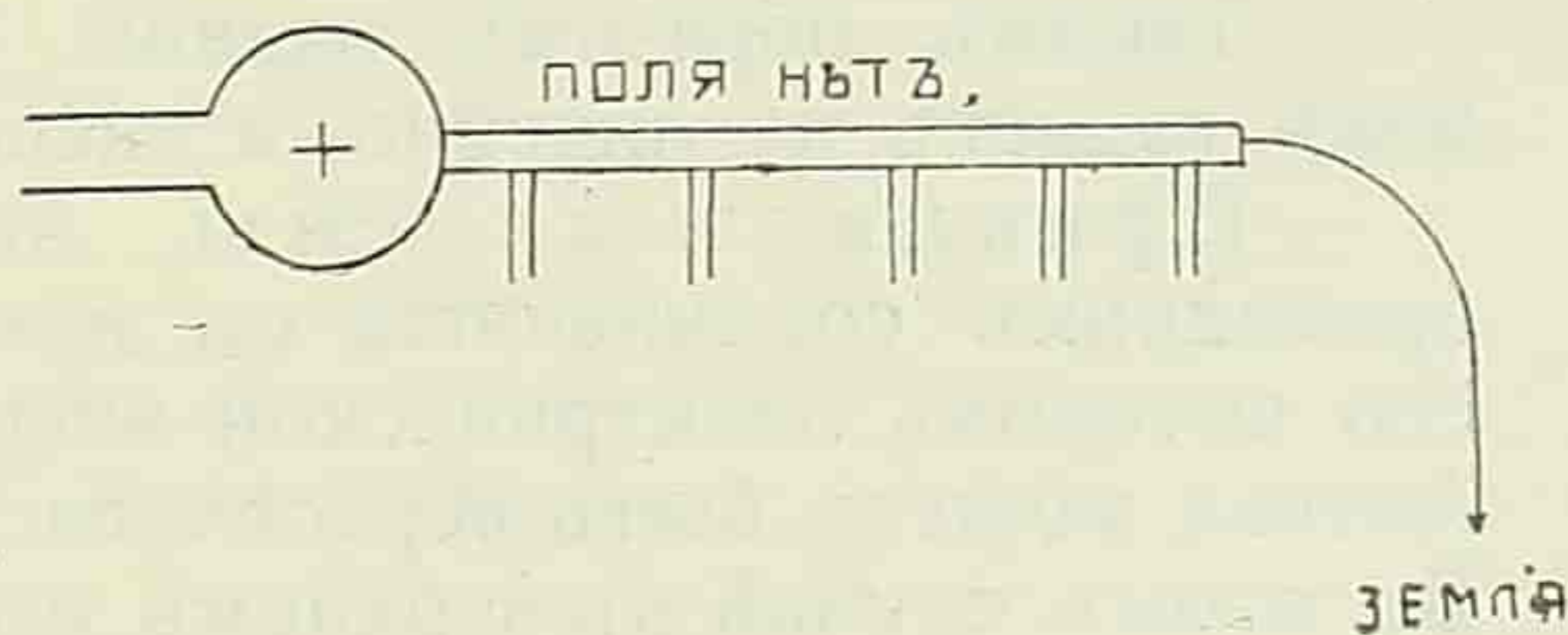


Рис. 13.

Опытъ № 19. Къ кондуктору машины униполярно присоединяемъ металлическій стержень. Листочки электроскоповъ къ нему прикрѣпленныхъ разойдутся. Соединимъ теперь свободный конецъ стержня съ землею. Поле исчезнетъ и листочки электроскоповъ спадутся.

Замѣнивъ металлическій стержень деревяннымъ, найдемъ, что въ обоихъ случаяхъ листочки электроскоповъ ра-



зойдутся, приче́мъ уго́лъ расхо́женія́ бу́детъ у́меньша́ться отъ кондуктора́ къ периферіи. При соединеніи свободнаго конца деревяннаго стержня съ землею расхо́женіе́ листочковъ́ бу́детъ́ менше́. Діэлектрическій стержень никакаго расхо́женія́ подвѣшенныхъ къ нему́ листочковъ́ не дае́тъ, ибо во́кругъ діэлектрическаго стержня́ поля́ нѣтъ.

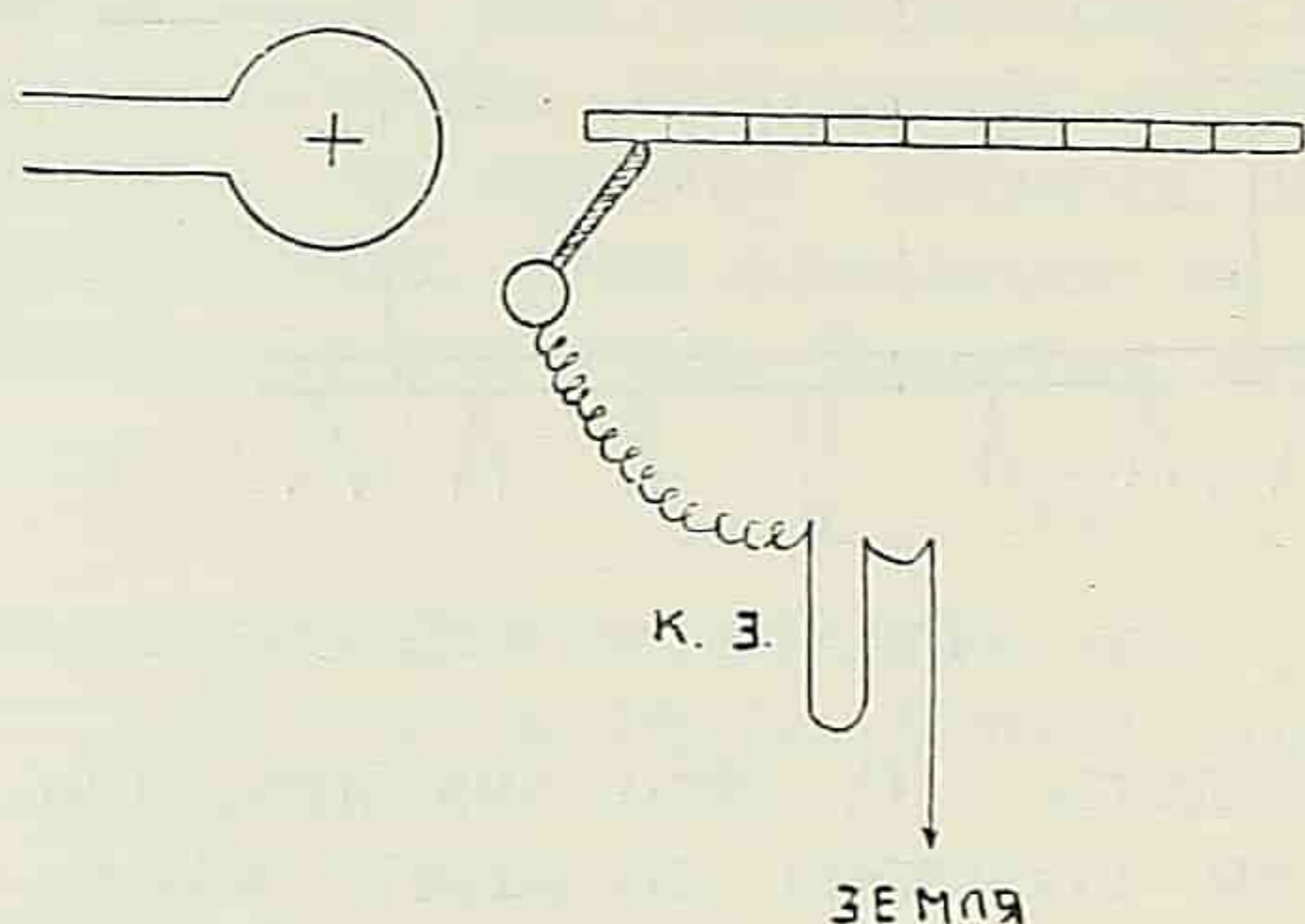


Рис. 14.

Опытъ № 20. На расстояніи 2 см. отъ кондуктора устанавливаемъ по радиусу деревянный стержень и дѣлимъ его по длинѣ на 8 равныхъ частей. Приводимъ машину въ дѣйствіе и поочередно касаемся пробнымъ электродомъ сдѣланныхъ помѣтокъ. Для того, чтобы сдѣлать кап. электрометръ менѣе чувствительнымъ, вставляемъ между

электродомъ и кап. электрометромъ силптовый реостатъ въ 2 мегаома сопротивленія. Каждое касаніе пробнаго электрода длится одну секунду.

Разстояніе: 1 2 3 4 5 6 7 8

Дѣленія электр.: 65 40 28 20 16 13 8 7.

Видимъ, что рядъ показаній электрометра близокъ къ ряду геометрической прогрессіи съ показателемъ 0,7

64 44,8 30,3 21,2 14,8 10,5 7,3 5,1.

Если соединимъ периферическій конецъ стержня съ землею, проводимость стержня увеличится и показанія электрометра соотвѣтственно уменьшатся:

43 32 20 15 12 7 4 2.

Такимъ образомъ паденіе напряженія въ полупроводникѣ падаетъ не линейно, а экспоненціально.

Принципъ антенны. Антенна есть ничто иное какъ проводникъ соединенный съ землею, воспринимающій эмиссію потоковъ электрической энергіи въ электрическомъ полѣ. Антенна можетъ быть пересѣчена діэлектрикомъ конденсатора. Въ этомъ случаѣ въ верхнемъ отрѣзкѣ антенны часть воспринимаемой ею энергіи задерживается на поверхности проводника въ формѣ заряда. Въ зависимости отъ пропускной способности конденсатора это количество можетъ быть то больше, то меньше и то, что регулируется въ радіо-антеннѣ есть вовсе не емкость, а пропускная способность антенны. Задержанная въ антеннѣ энергія заряда индуктируется на сосѣдніе проводники.

Инфл. машина функционируетъ какъ эмиссионная радіо-



станція. Эту эмиссію воспринимаетъ черезъ детекторъ радіо-пріемникъ, телефонъ и кап. электрометръ. Мой кап. электрометръ, будучи вставленъ въ детекторъ вмѣсто телефона, отлично воспринималъ эмиссію радіо-станціи на разстояніи 20 километровъ. Какъ только начиналась эмиссія, менискъ отклонялся до 15 дѣлений и съ прекращеніемъ эмиссіи возвращался къ нѣрмѣ. Регулируя конденсаторомъ можно было устанавливать оптимумъ пріемки, совпадающій съ телефоннымъ максимумомъ.

Обслѣдованіе поля инфл. машины телефономъ даетъ совершенно различный характеръ и тембръ тона у положительнаго и отрицательнаго полюса. Разъ услышавъ ихъ, легко телефономъ опредѣлить положительный или отрицательный полюсъ. То же получается и при введеніи телефона въ положительный или отрицательный проводъ отъ инфл. машины къ землѣ.

Изслѣдуя пробнымъ электродомъ поле между кондукторами инфл. машины, находимъ, что кап. электрометръ даетъ рѣзкія отклоненія мениска въ обратныя стороны, когда электродъ находится вблизи кондукторовъ, на уровнѣ же средней линіи между кондукторами пробный электродъ реакцію электрометра не даетъ. Если между кондукторами про-

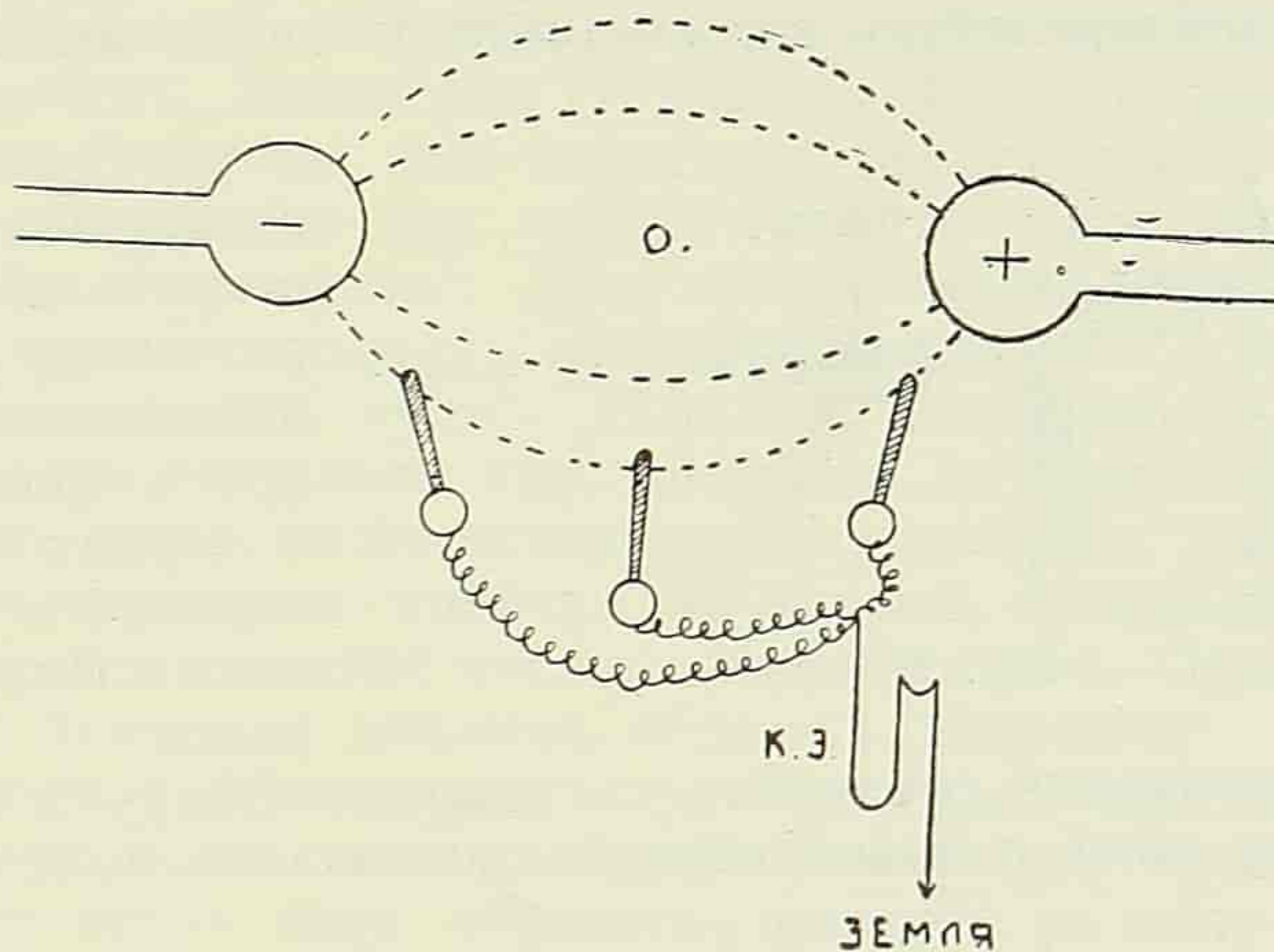


Рис. 15.

скакиваетъ искра, менискъ электрометра рѣзкимъ толчкомъ передвигается въ томъ же направленіи, что и безъ искры. Слѣдовательно при искровомъ разрядѣ не вся энергія поля переходитъ въ другія формы.

Возникаетъ вопросъ, что происходитъ съ электрической энергіей въ серединѣ биполярнаго электрическаго поля?



Можно замѣнить пробный электродъ передвижной пластинкой, поставленной между двумя пластинками, соединенными съ кондукторами машины: поставленная по средней линіи,

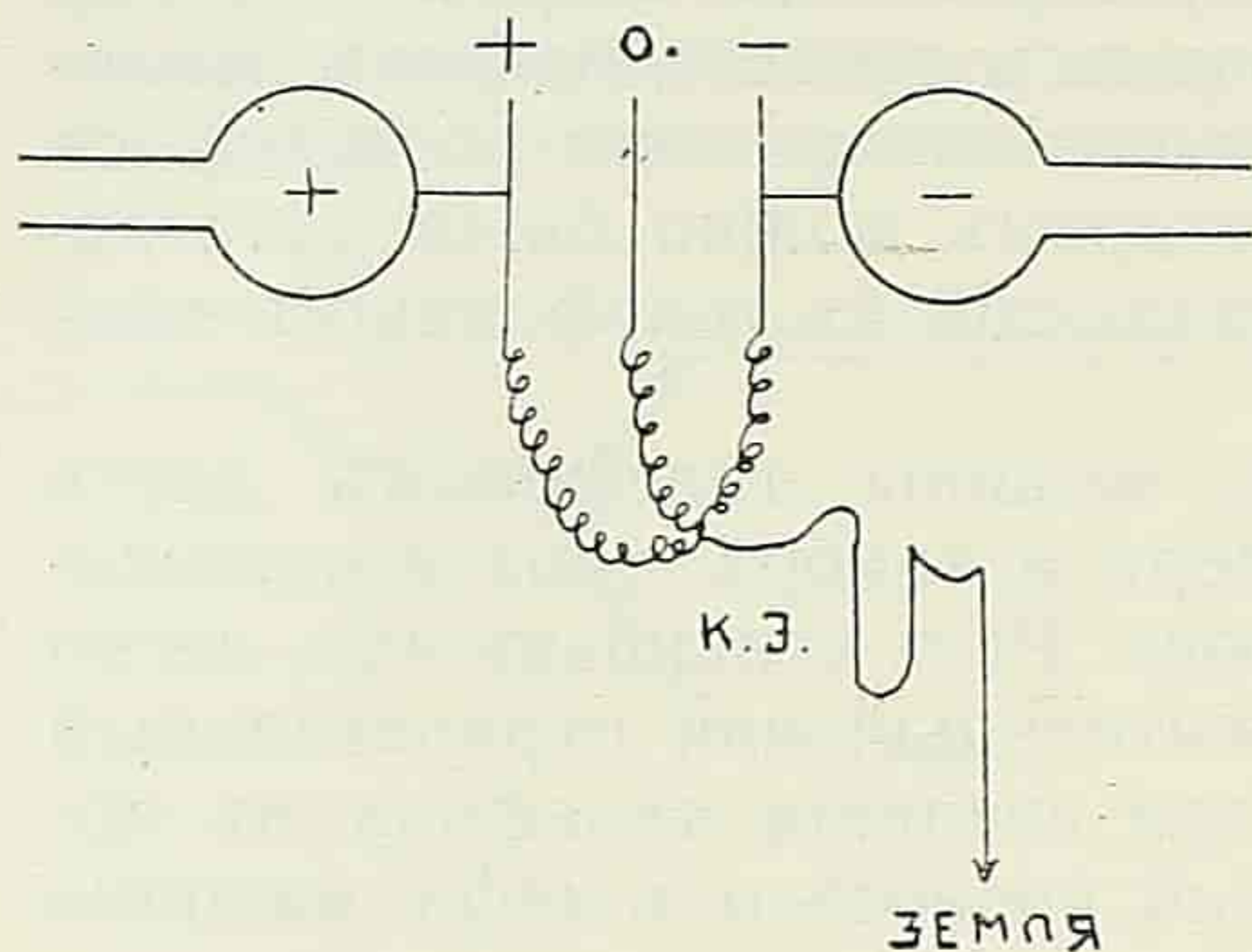


Рис. 16.

она энергии не поглощаетъ. Получается парадоксальный выводъ, что по средней линіи поля въ немъ электрической энергии нѣтъ. Такое взаимное уничтоженіе потоковъ энергии противоположныхъ направленій было бы понятно, если бы оба кондуктора излучали потоки энергии центробѣжно. Но реакція таксиса пламени показываетъ отталкиваніе его положительнымъ и притягиваніе отрицательнымъ по-

люсомъ. На средней линіи между кондукторами пламя свѣчи стоитъ вертикально. Одно изъ двухъ: или по средней линіи поля нѣтъ, или параболически разсѣившееся поле слишкомъ слабо, чтобы на него могло реагировать пламя.

Обслѣдуя поле и заряды вокругъ кондуктора и на проводникѣ, приближенномъ къ кондуктору инфл. машины, находимъ:

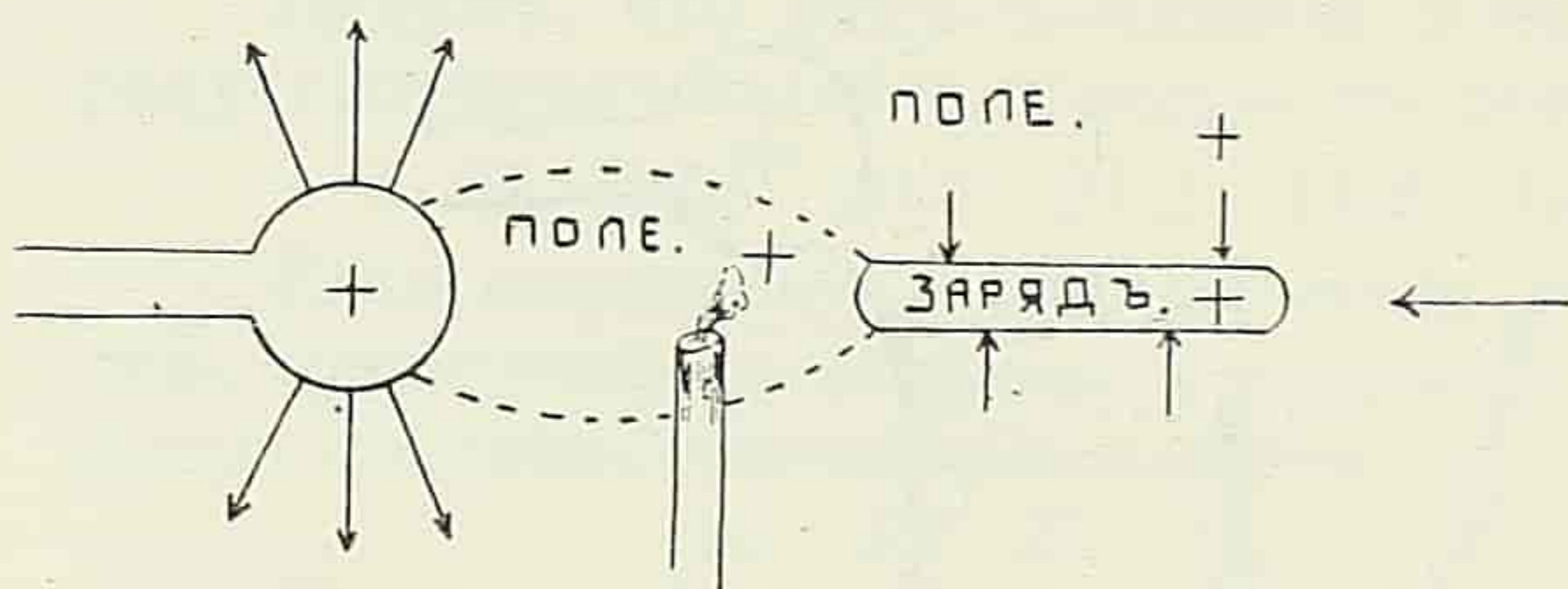


Рис. 17.

1) Проводникъ изолированъ. Поле вокругъ кондуктора, между нимъ и проводникомъ, вокругъ проводника, и зарядъ на поверхности проводника всюду одного знака.

2) Проводникъ соединенъ съ землею. Вокругъ кондуктора, между нимъ и проводникомъ возникаетъ поле одного

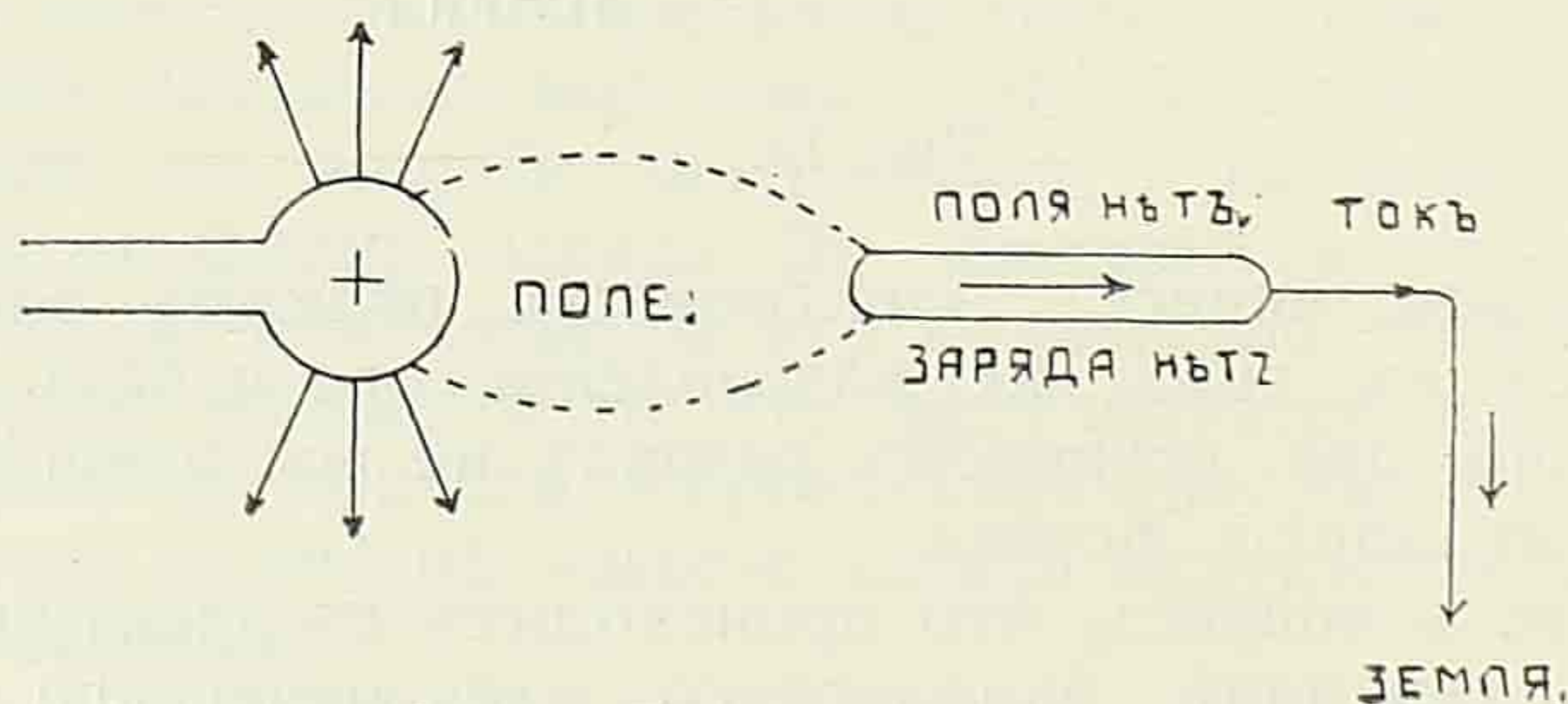


Рис. 18.



знака съ источникомъ. Но на проводникѣ заряда нѣтъ, а въ земномъ проводѣ имѣется токъ того же знака. Явленіе независимо отъ мѣста соединенія цилиндра съ землею.

3) Соединимъ проводникомъ оба кондуктора: поля вокругъ проводника нѣтъ. Заряда нѣтъ также ни на проводникѣ, ни на кондукторахъ. Поле появляется тотчасъ какъ только цѣпь разомкнемъ.

Безъ должнаго вниманія оставлено одно явленіе въ электрическомъ полѣ между кондукторами машины. Діэлектрикъ, введенный въ такое поле, стягиваетъ къ себѣ линіи силъ и деформируетъ поле. Но кромѣ этого наблюдается слѣдующее: введемъ въ такое поле кусокъ эбонита или парафина. При искровыхъ разрядахъ искра будетъ сильнѣе и будетъ обтекать и огибать сильный діэлектрикъ, а рука, держащая кусокъ парафина, будетъ испытывать рѣзкое покалываніе. Это показываетъ, что діэлектрикъ съ одной стороны поглощаетъ энергію поля, а съ другой служитъ и препятствіемъ, оказывая сопротивленіе ея прохожденію во время разряда.

4. Возникновеніе электрической энергіи при сопротивленіи и треніи тѣлъ представляетъ собою одинъ изъ труднѣйшихъ вопросовъ электрофизики. Всѣ основныя руководства констатируютъ, что этотъ отдѣлъ слабо изученъ. Хвольсонъ (т. IV, стр. 141) по этому вопросу говоритъ: „если мы еще сократимъ предстоящее изложеніе и даже совершенно его пропустимъ, то нашъ читатель потерялъ бы очень мало“. „Результаты безчисленнаго множества экспериментальныхъ изслѣдователей мало и даже вовсе не отличаются отъ нуля“. „Большое число работъ, которыя еще недавно считались классическими, не представляютъ въ настоящее время даже историческаго интереса“ (стр. 180).

Эти трудности, конечно, не удалось преодолѣть и мнѣ, несмотря на громадное число экспериментовъ. Однако на нѣкоторые пункты я долженъ обратить вниманіе.

Всюду, гдѣ возникаетъ электрической зарядъ, надо искать землю какъ источникъ или условіе его возникновенія, и прежде всего надо обратить вниманіе на полу-цѣпь проводниковъ своими концами упирающуюся въ двѣ разныя точки земли. Даже два человѣка, пожимающіе другъ другу руку, уже образуютъ такую полу-цѣпь. Обыкновенно такая цѣпь получается путемъ заземленія ея концовъ, причемъ металлическая доска зарывается въ землю до глубины ея влажныхъ слоевъ. Мѣсто соприкосновенія метала съ влагою земли является источникомъ возникновенія электровозбудительной силы, этого гипотетическаго фактора, вызывающаго электрическаго явленія. Если соединить два такихъ поставленныхъ навстрѣчу другъ другу элемента, мы должны по-



лучить токъ обусловленный разностью напряженія на источникахъ. Поэтому не исключается возможность полученія въ такой полу-цѣпи замкнутой черезъ землю гальваническаго тока.

Опытъ № 21. На разстояніи 10 метровъ другъ отъ друга заземляемъ *lege artis* два провода и соединяемъ ихъ другъ съ другомъ черезъ ключъ и телефонъ. При каждомъ замыканіи полу-цѣпи въ телефонъ слышенъ щелчокъ. Эти опыты много лучше удаются въ деревенской лабораторіи, гдѣ не мѣшаютъ посторонніе токи. Въ городской лабораторіи, во все время пока полу-цѣпь замкнута, въ телефонъ слышенъ прерывистый тонъ работающаго вблизи мотора. Въ этой же полу-цѣпи даютъ реакціи кап. электрометръ, н.-м. препаратъ и чувствительный гальванометръ. Вводимъ въ полу-цѣпь сопротивленія. Звукъ въ телефонъ затихаетъ при сопротивленіи отъ 300000 омъ до 1 мегаома. Въмѣсто сопротивленія вводимъ переменные конденсаторы емкостью до 1000 см. звукъ въ телефонъ затихаетъ лишь при поворотѣ ротора конденсатора на  $\frac{3}{4}$ . Введеніе большихъ омическихъ сопротивленій замедляетъ движеніе мениска кап. электрометра, который однако еще при сопротивленіи въ 300000 омъ уходитъ изъ поля зрѣнія. Если соединимъ одинъ мѣдножелатиновый электродъ съ землею и будемъ касаться поверхности желатины свѣшивающимся нервомъ н.-м. препарата, который экспериментаторъ держитъ въ рукѣ, при каждомъ прикосновеніи будемъ получать сокращенія. Этотъ опытъ лучше удается въ деревенской лабораторіи и полъ лабораторіи не долженъ быть навощенъ.

Соотвѣтствующіе опыты детально описаны въ моей книгѣ „Мат. осн. ест.“. Явленія, происходящія въ этой полу-цѣпи, надо имѣть въ виду при опытномъ изслѣдованіи электризаціи тѣлъ при соприкосновеніи, а особенно въ физиологіи, гдѣ на изоляцію н.-м. препарата отъ земли не обращается должнаго вниманія.

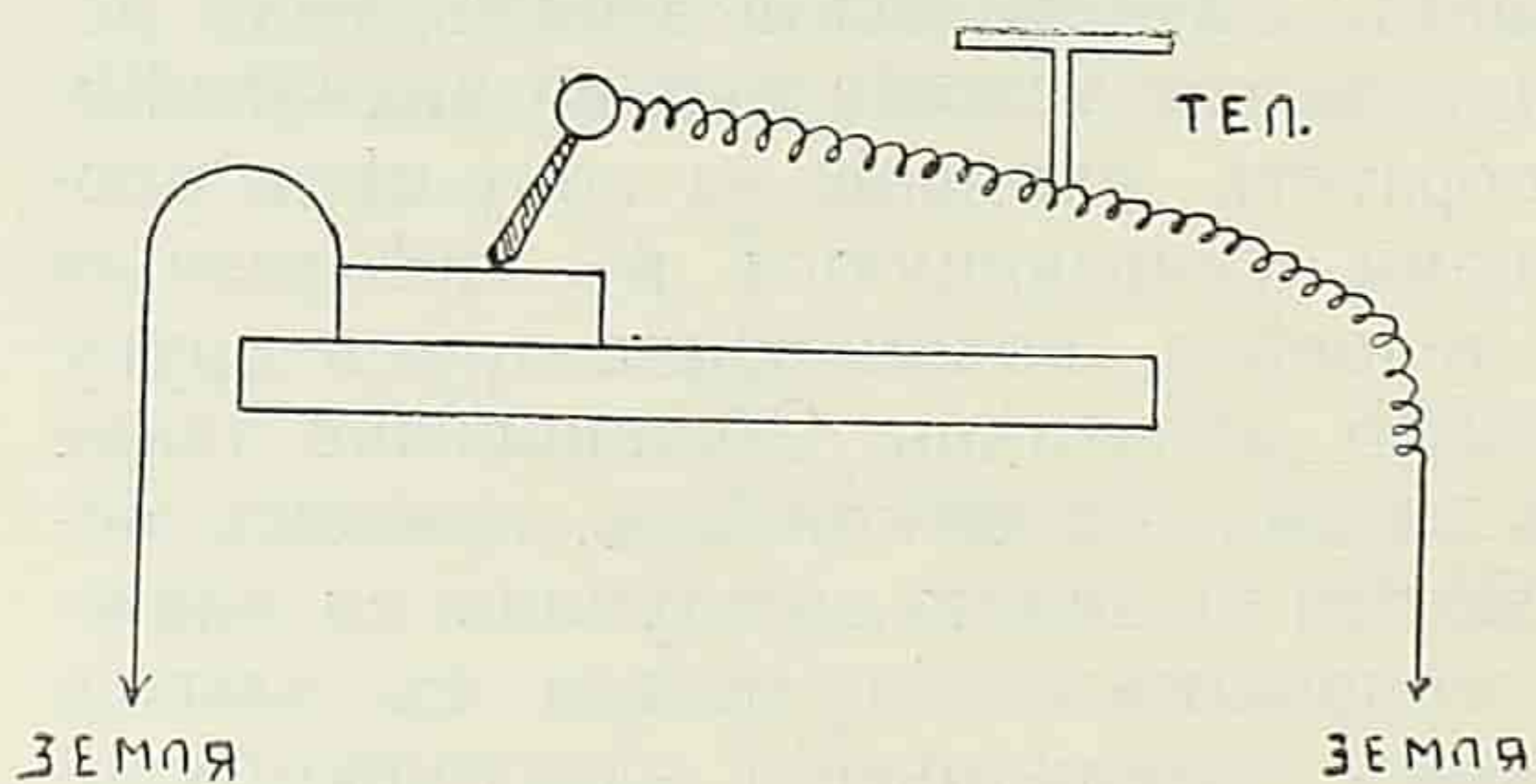


Рис. 19.

Опытъ № 22. Укрѣпимъ на столѣ эбонитовую пластинку, на верхнюю поверхность которой привинтимъ металлическую пластинку такъ, чтобы она покрывала часть эбонитовой поверхности, и соединимъ металлическую пластинку съ землею. Станемъ затѣмъ касаться поверхности пластинки



пробнымъ электродомъ, соединеннымъ съ землею черезъ телефонъ или кап. электрометръ, замыкая такимъ образомъ полу-цѣпь черезъ землю. При каждомъ касаніи получаемъ реакцію телефона и кап. электрометра. При каждомъ прикосновеніи пальцемъ или ударѣ металлическимъ предметомъ получимъ реакцію, если введемъ измѣрительный приборъ въ земной проводъ идущій отъ пластинки. Надавимъ пальцемъ на пластинку: отклоненіе мениска электрометра увеличится. Минуя пластинку сожмемъ изолированный шелковою обмоткою проводъ и станемъ его сдавливать и сгибать: электрометръ дастъ реакцію. Соединимъ проводъ съ чашкой пружинныхъ вѣсовъ и, нажимая пальцемъ на поверхности вѣсовъ, станемъ сжимать и разжимать пружину: электрометръ будетъ реагировать. Наконецъ возьмемъ рукою молотокъ за деревянную ручку и станемъ имъ ударять по металлической пластинкѣ соединенной съ землею: получимъ реакціи телефона, кап. электрометра и н.-м. препарата. Введеніе значительныхъ сопротивленій и конденсатора не устраняетъ реакціи.

Всѣ эти реакціи въ полу-цѣпи своими концами упирающейся въ землю исчезаютъ какъ только экспериментаторъ прерветъ свое сообщеніе съ землею, надѣвъ резиновыя галоши или перчатки. Если будемъ касаться пластинки діэлектрикомъ, реакціи не получимъ. Всѣ эти опыты хорошо удаются въ деревнѣ, въ комнатахъ съ простыми полами и не удаются въ лабораторіяхъ, гдѣ полы и мебель лакированы, т. е. требуется хорошее соединеніе съ землею.

Токъ, который проходитъ черезъ полу-проводники: черезъ кирпичныя стѣны, деревянную ручку молотка, тѣло человѣка, кожанныя подошвы и черезъ конденсаторъ, конечно не есть гальванической токъ и потому заключаемъ, что въ полу-цѣпи, упирающейся своими концами въ землю, возникаетъ электрической токъ, источникомъ котораго является земля.

Всякіе два проводника порознь соединенные съ разными точками земли, при соприкосновеніи даютъ электризацію, а при длительномъ ихъ соединеніи въ земной полу-цѣпи получается электрической токъ. Введеніе громадныхъ омическихъ сопротивленій однако вліяетъ на такой токъ.

Опытъ № 23. Введемъ въ земную полу-цѣпь сопротивление въ 2 мегаома. Если безъ реостата менискъ капил. электрометра уходитъ изъ поля зрѣнія въ 2 секунды, то съ введеніемъ сопротивленія онъ уйдетъ въ 76 секундъ, т. е. въ 38 разъ медленнѣе.

Слѣдующая группа опытовъ показываетъ, что два діэлектрика при треніи между собою электризуются въ одинаковой степени, но противоположно по знаку. Эти явленія хорошо изучены.



Не обращено вниманія на способность металлической пластинки, наложенной на заряженный діэлектрикъ, вбирать въ себя энергію заряда.

Опытъ № 24. Убѣдившись телефономъ, что ни на эбонитовой, ни на наложенной на нее металлической пластинкѣ не имѣется зарядовъ, натремъ шерстью поверхность эбонита. Удаливъ шерсть и обслѣдуя пробнымъ электродомъ телефона поверхность эбонита, съ трудомъ обнаружимъ на ней зарядъ, тогда какъ коснувшись пробнымъ электродомъ металлической пластинки обнаружимъ рѣзкую реакцію. Металлическая пластинка слѣдовательно впитала въ себя энергію заряда, сообщенную путемъ тренія эбониту. Этотъ опытъ объясняетъ намъ механизмъ заряженія станиолевыхъ пластинокъ на дискахъ инф. машины: заряжается эбонитовый дискъ треніемъ о воздухъ, а станиолевые пластинки вбираютъ въ себя возникшую въ эбонитѣ электрическую энергію.

Электризація происходитъ при ударѣ — соприкосновеніи изолированнаго проводника съ діэлектрикомъ. Я не буду приводить здѣсь многочисленныхъ сдѣланныхъ мною опытовъ, ибо они показываютъ, что вся эта область явленій должна быть изучена заново. Играетъ роль природа метала. Соприкосновеніе даетъ немногимъ болѣе слабую реакцію, чѣмъ треніе. Очень сложенъ вопросъ о знакѣ, но повидимому вся теорія электрофора должна быть совершенно переработана.

Опытъ № 25. Алюминіевой пластинкой съ изолирующей эбонитовой ручкой станемъ ударять и тереть ею объ эбонитовую пластинку, а затѣмъ, разъединивъ ее съ поверхностью каучука, коснемся пробнымъ электродомъ:

а) Въ отдѣльности верхней и нижней поверхности аллюминіевой пластинки. Въ обоихъ случаяхъ получимъ щелчки въ телефонѣ — при касаніи къ нижней поверхности сильнѣе, при касаніи къ верхней — слабѣе.

б) Коснемся сначала верхней, а потомъ нижней поверхности — въ обоихъ случаяхъ получимъ щелчки.

с) Коснемся сначала нижней, а потомъ верхней поверхности — щелчокъ получимъ только при касаніи нижней поверхности.

Кап. электрометръ даетъ эти реакціи очень слабо, а потому знаки зарядовъ опредѣляются съ большимъ трудомъ.

Алюминій и латунь даютъ эти реакціи, желѣзо и цинкъ — не даютъ.

Интересенъ опытъ показывающій передачу заряда черезъ землю.

Опытъ № 26. Два металлическихъ стержня вкопаны своими концами на разстояніи 10 метровъ другъ отъ друга въ землю. Къ верхнему концу одного изъ нихъ укрѣпленъ



пробный электродъ, соединенный съ нимъ черезъ капиллярный электрометръ, а къ верхнему концу другого электродъ

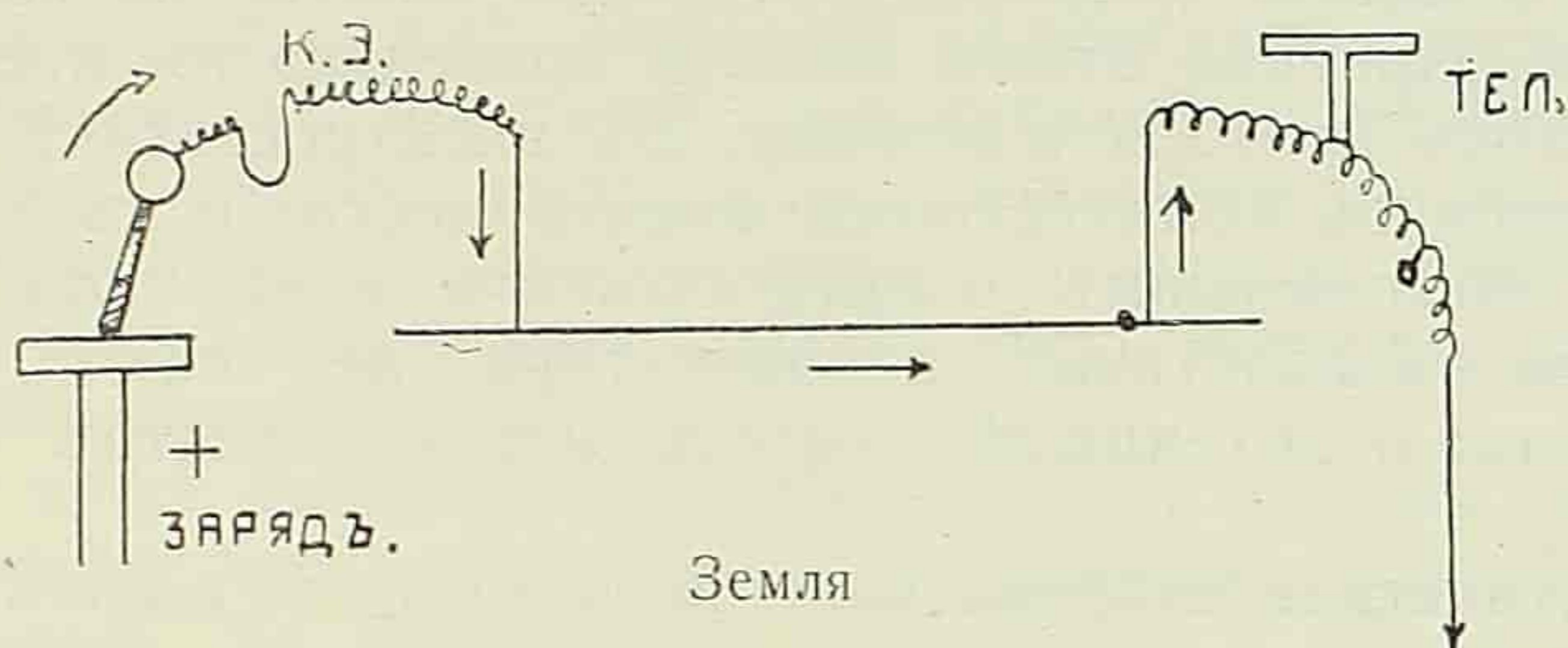


Рис. 20.

телефона, второй конецъ котораго свободно свѣшивается въ воздухъ. Касаясь заряженною ударомъ объ эбонитъ алюминиевою пластинкою пробнаго электрода, слышимъ въ телефонѣ щелчокъ. Зарядъ слѣдовательно передается черезъ землю слѣпому отростку провода соединеннаго съ телефономъ. Введение въ земную полу-цѣпь конденсатора и детектора не измѣняетъ реакцій телефона, кап. электрометра и н.-м. препарата.

5. Индукція, емкость и теорія конденсатора. По существу индукція есть распространение потока электрической энергии черезъ діэлектрикъ электрическаго поля отъ одного заряженнаго тѣла къ другому незаряженному, на которомъ либо возникаетъ индуктированный зарядъ если проводникъ изолированъ, либо воспринимаемая имъ энергія уходитъ въ землю, если онъ соединенъ съ землею. Индукція происходитъ черезъ діэлектрикъ и опредѣляется двумя свойствами діэлектриковъ: способностью поглощать въ себя опредѣленное количество энергии или электро-емкостью, и способностью пропускать сквозь себя энергию или электро-проводностью. Эти свойства совершенно аналогичны тепло-емкости и тепло-проводности, по отношенію къ тепловой энергіи.

Вся бѣда въ томъ, что основныя опредѣленія, условія, величины и ихъ алгебраическая символизация въ электрофизикѣ совершенно произвольны и лишены конкретнаго содержанія. Основное понятіе „количество электричества“ совершенно фиктивно, на что указано многими авторитетными авторами, какъ Оствальдомъ, Экснеромъ и др. Совершенно не выдерживаетъ критики мифическій потенциалъ, который окончательно запутываютъ фантастическими опредѣленіями. Экснеръ въ своихъ лекціяхъ достаточно ясно оттънилъ произвольность этой функціи. Наконецъ Хвольсонъ въ послѣднемъ изданіи своего курса констатируетъ, что въ понятіи



емкости есть много неопредѣленнаго. Зарядъ тѣла смѣшивается съ потенциаломъ, измѣряемымъ листочковымъ электроскопомъ, и многіе электростатическіе опыты не поддаются пониманію. Критика этихъ понятій приведена въ моей книгѣ и я ее здѣсь повторять не буду. Въ электростатикѣ емкость смѣшивается съ количествомъ электричества и съ зарядомъ, а когда листочковымъ электроскопомъ измѣряютъ паденіе потенциала въ пластинкѣ конденсатора, не знаютъ о чемъ идетъ рѣчь: о потенциалѣ, зарядѣ или количествѣ электричества.

Фактическая сторона явленія основана на опытѣ съ электроскопами:

Опытъ № 27. На проводникѣ сложной формы съ остріями, углубленіями и выпуклостями энергія заряда распределяется неравномѣрно. Если снабдимъ его мѣстными листочковыми электроскопами, они покажутъ различное расхожденіе. Извѣстно, что съ острія происходитъ истеченіе электричества, а слѣдовательно и постоянное перемѣщеніе энергіи заряда. Если соединить длинною тонкою проволокою заряженное тѣло съ электроскопомъ, онъ дастъ опредѣленное расхожденіе листочковъ, которое считается выраженіемъ его потенциала. По отношенію къ данному тѣлу добросовѣстный читатель всегда будетъ недоумѣвать, почему расхожденіе листочковъ электроскопа является мѣрой потенциала, а не энергіи заряда на данномъ тѣлѣ.

На остріяхъ электричество, стремящееся излучиться въ окружающій діэлектрикъ, скопляется такъ, какъ толпа людей, стремящаяся уйти изъ комнаты, скопляется у пріоткрытыхъ дверей. Этотъ опытъ находитъ примѣненіе при дѣйствіи конденсатора.

Опытъ № 28. Возьмемъ плоскій конденсаторъ типа Кольрауша, состоящій изъ двухъ встрѣчныхъ параллельныхъ и изолированныхъ деревянной и эбонитовой оправой пластинокъ, раздвигающихся другъ отъ друга на салазкахъ. Удаливъ периферическую пластинку, соединимъ центральную съ кондукторомъ машины, или будемъ ее заряжать электрофоромъ. Ее же соединимъ длиннымъ проводомъ съ листочковымъ электроскопомъ, листочки котораго при заряденіи пластинки разойдутся на опредѣленный уголъ, который по моему утверженію, покажетъ не потенциалъ, а зарядъ на пластинкѣ, ибо для даннаго тѣла напряженіе энергіи есть ея количество связанное съ координатой, въ данномъ случаѣ съ поверхностью пластинки. Станемъ затѣмъ приближать периферическую пластинку соединенную съ землею. Поле силъ центральной пластинки измѣнится: лініи силъ параболически стянутся къ встрѣчной пластинкѣ и упрутся своими концами въ поверхность периферической пластинки конденсатора. Утверждаютъ,



что распределение заряда на центральной пластинкѣ измѣнится и что значительная часть электричества, „перейдя въ связанное (!?) состояніе“, окажется на передней поверхности, стоящей лицомъ къ пластинкѣ соединенной съ землею. Расхождение листочковъ электроскопа уменьшается, и это уменьшение расхожденія толкуютъ какъ показатель уменьшенія потенциала, при неизмѣнномъ зарядѣ, часть котораго перешла въ связанное состояніе.

Я не вижу никакой обязательности въ такомъ толкованіи. Я полагаю, что электроскопъ въ данномъ случаѣ показываетъ вовсе не мифическій потенциалъ, а среднее напряженіе энергіи заряда на проводникѣ. Разъ его показанія уменьшились, это значитъ, что зарядъ на проводникѣ уменьшился, а такъ какъ исчезнуть онъ не можетъ, то заключаю, что съ приближеніемъ пластинки соединенной съ землею энергія заряда впиталась веществомъ діэлектрика, который поглощаетъ электрическую энергію такъ же, какъ тепло-емкія вещества поглощаютъ тепловую энергію. Ясно, что теперь центральная пластинка можетъ поглотить еще значительное количество энергіи заряда, чтобы довести показанія электроскопа до прежняго значенія. Но для этого надо насытить діэлектрикъ конденсатора, который прочно удерживаетъ эту энергію и обнаруживаетъ въ послѣдствіи остаточный зарядъ.

Если послѣ этого удалимъ периферическую пластинку, энергія заряда по правилу индукціи обратно втянется въ пластинку и листочки электроскопа разойдутся больше.

Эти явленія объясняются увеличеніемъ емкости проводника при приближеніи къ нему проводника соединеннаго съ землею. Понимать это увеличеніе емкости по моему мнѣнію надо какъ увеличенное поглощеніе электрической энергіи діэлектрикомъ конденсатора при соединеніи его периферической пластинки съ землею.

Изолирующія свойства діэлектрика объясняются его электро-емкостью. Чѣмъ большею поглощающею способностью обладаетъ діэлектрикъ, тѣмъ лучше онъ изолируетъ проводникъ совершенно такъ же, какъ тепловая изоляція достигается наиболѣе тепло-емкими и менѣе тепло-проводными проводниками.

Опытъ № 29. Между пластинками конденсатора, находящимися на опредѣленномъ разстояніи, причемъ центральная соединена съ кондукторомъ машины, а периферическая съ землею, введемъ діэлектрическую пластинку такъ, чтобы она не касалась металлическихъ поверхностей конденсатора. Расхождение листочковъ конденсатора, соединеннаго съ центральною пластинкою, уменьшится и для полученія прежняго расхожденія листочковъ надо сообщить конденсатору добавочное количество электрической энергіи.



Число, показывающее, во сколько разъ поглощающая способность (емкость) конденсатора съ даннымъ діэлектрикомъ увеличилась по сравненію съ воздушнымъ, называется діэлектрическою постоянною. Для парафина она  $= 2$ , для твердаго каучука 3, сѣры 4, слюды 4—8, стекла 5—10. Поглощающая способность каучуковаго конденсатора слѣдовательно въ 3 раза больше воздушнаго.

Но центральная пластинка излучаетъ электрическую энергію, которая проходитъ черезъ діэлектрикъ и, впитываясь периферическою пластинкою, уходитъ въ землю не задерживаясь на ней въ формѣ заряда. Слѣдовательно въ одностороннемъ конденсаторѣ заряжена только центральная пластинка.

Діэлектрикъ по отношенію къ электрической энергіи, благодаря своей поглощающей способности, является аккумуляторомъ, что мы и констатируемъ какъ въ конденсаторѣ, такъ и въ электрофорѣ. Но рядомъ съ поглощающею способностью приходится признать и пропускную способность діэлектрика, или его электро-проводность, вполне аналогичную тепло-проводности.

Можно было бы указать на совершенную несостоятельность математической формулировки ученія о емкости, что частью мною уже сдѣлано. Укажу только на то, что здѣсь смѣшиваются и включаются въ одинъ алгебраическій символъ электро-емкость и электро-проводность. На практикѣ въ радіо-техникѣ и физиологіи именно больше приходится считаться съ послѣднею величиною.

Діэлектрики вообще обладаютъ большею электро-емкостью и малою электро-проводностью, причемъ эта электро-проводность совершенно отлична отъ гальванической электро-проводности. Металлы, обладающіе большою электро-проводностью, но весьма малою тепло-емкостью относятся аналогично и къ электрической энергіи.

Пропускная способность односторонняго конденсатора тѣмъ больше, чѣмъ меньше его емкость, т. е. діэлектрическая постоянная.

Въ одностороннемъ конденсаторѣ, центральная пластинка котораго соединена съ кондукторомъ, а периферическая съ землею, имѣемъ:

1) Количество электрической энергіи  $Q_1$  въ единицу времени отдаваемое кондукторомъ и поглощаемое центральною пластинкою. Эта величина неизвѣстна и не поддается измѣренію.

2) Изъ этого количества остается на центральной пластинкѣ количество  $Q_2$ , которое находится въ состояніи динамическаго равновѣсія. О ней мы судимъ по показанію электроскопа.



3) Количество  $Q_1 - Q_2 = Q_3$  излучается центральной пластинкою во всѣ стороны. Она не поддается учету.

4) Изъ этого количества часть  $Q_4 < Q_3$  переходитъ на діэлектрикъ раздѣляющій обѣ пластинки конденсатора. Эта энергія поглощается веществомъ діэлектрика до насыщенія и медленно проводится по направленію къ периферической пластинкѣ. Количество  $Q_4$  слѣдовательно раздѣляется на двѣ части:  $Q_4 = Q_5 + Q_6$ . Часть  $Q_4$  остается въ діэлектрикѣ, меньшая же часть  $Q_6$  поглощается периферическою пластинкою и уходитъ черезъ соединительный проводъ въ землю. Такимъ образомъ

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad \text{и} \quad Q_4 = Q_5 + Q_6.$$

Учебная физика представляетъ себѣ, что на тѣлѣ, на которомъ индуцируется зарядъ, „нейтральное“ электричество разлагается на положительное и отрицательное. Разноименное электричество притягивается зарядомъ индуцирующаго тѣла и называется по Ries'у индуцированнымъ электричествомъ перваго рода. Одноименное же отталкивается на периферической концѣ проводника и называется электричествомъ второго рода. Если соединить на мгновение периферической концѣ проводника съ землею, то одноименное электричество второго рода уйдетъ въ землю и проводникъ останется заряженнымъ разноименно. Всѣ эти утвержденія представляются мнѣ сомнительными.

Пропускную способность діэлектрика конденсатора изслѣдуемъ, вводя въ земной проводъ отъ периферической пластинки кап. электрометръ. Раздвигая пластинки, или вставляя между ними болѣе сильный діэлектрикъ, находимъ уменьшеніе отклоненія мениска. Но эта реакція не показываетъ, чтобы пропускная способность, т. е. электро-проводность была линейная функція разстоянія или діэлектрической постоянной. Ея характеръ долженъ быть изслѣдованъ тщательными опытами и измѣреніями. Возможно, что и здѣсь мы имѣемъ экспоненціальную функцію.

Слѣдующій опытъ показываетъ отношеніе поглощающей и проводящей способности конденсатора.

Опытъ № 30. Между кондукторомъ и центральной пластинкою конденсатора, при второмъ кондукторѣ свободномъ, вводимъ въ проводъ гальванометръ. При постоянной скорости вращенія дисковъ стрѣлка отклоняется на определенное число дѣленій, напр. на 10. При приближеніи периферической пластинки соединенной съ землею или при введеніи между пластинками болѣе сильнаго діэлектрика, отклоненіе стрѣлки значительно увеличивается. Это показываетъ, что изъ того же источника въ единицу времени теперь притекаетъ больше электрической энергіи. Что она поглощается



діелектрикомъ, показываеь вторая половина опыта съ введеніемъ между пластинками болѣе сильнаго діелектрика.

Тогда гальванометръ введенный въ земной проводъ отъ периферической пластинки, показываеь уменьшеніе отклоненія стрѣлки. Пришло электрической энергіи въ единицу времени больше, ушло въ землю меньше, откуда слѣдуетъ, что она задержалась въ поглотившемъ ее діелектрикѣ.

Односторонность электрическаго тока въ проводникѣ. Въ проводѣ соединяющемъ заряженное тѣло

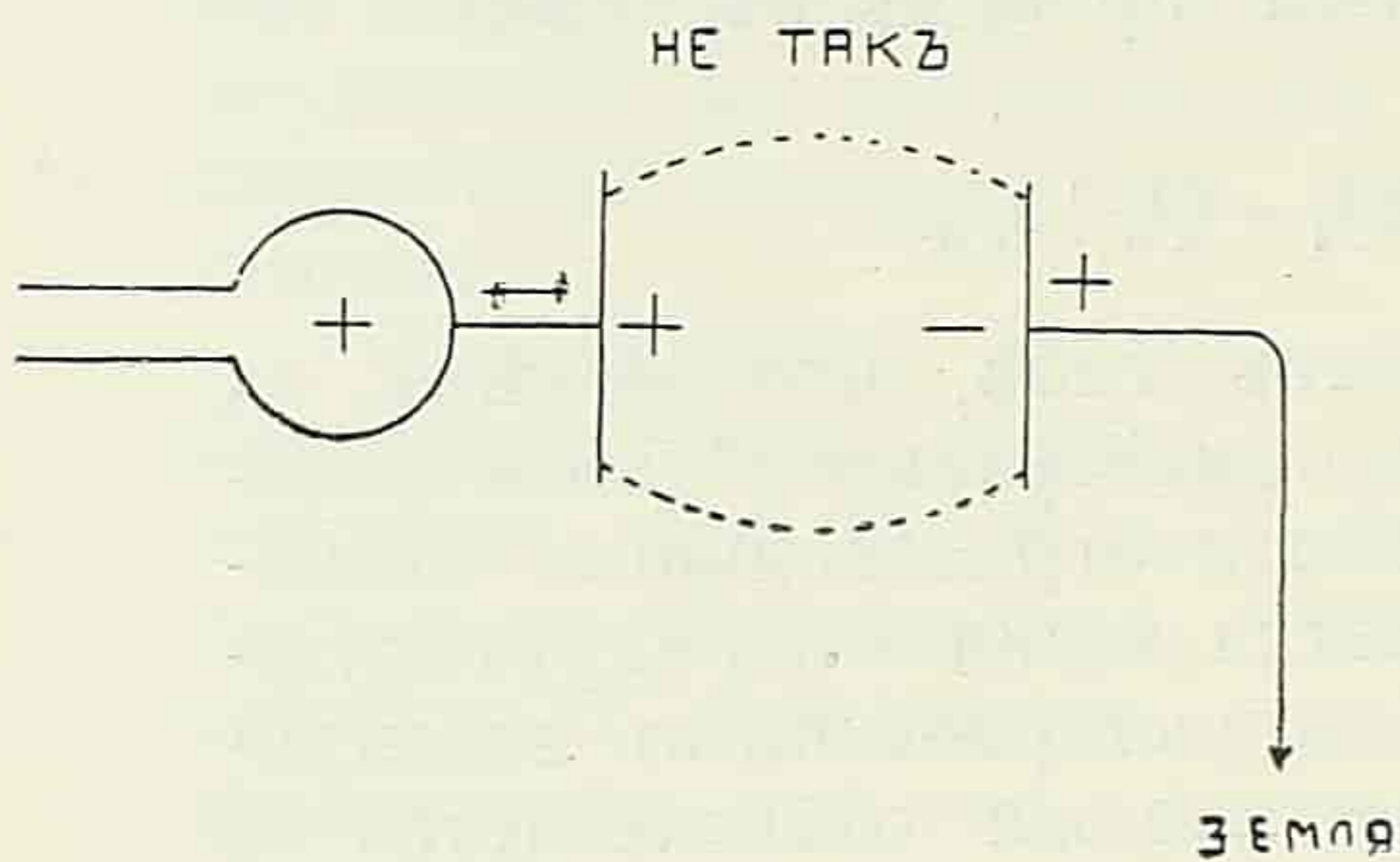


Рис. 21.

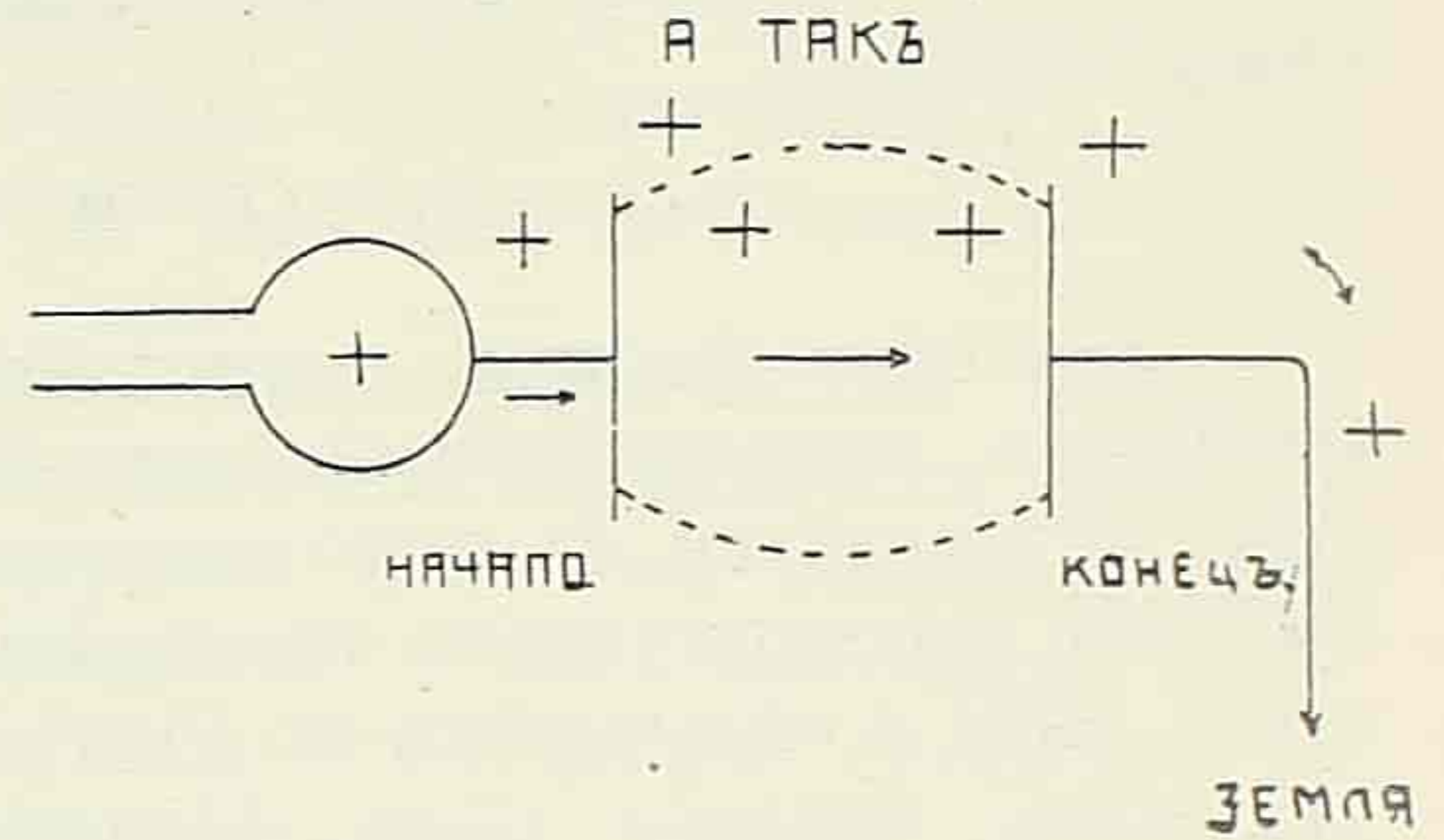


Рис. 22.

съ землею, положительный токъ течетъ къ землѣ, а отрицательный отъ земли. Направленіе не мѣняется, если проводникъ пересѣченъ конденсаторомъ, который для электрическаго тока проходимъ. Въ каждомъ перерывѣ въ проводѣ нѣтъ на концахъ различныхъ знаковъ заряда, а есть лишь начальная и конечная точка, причемъ вообще на периферическомъ концѣ проводника, соединенномъ съ землею, заряда вовсе нѣтъ.

Въ униполярномъ проводѣ и заряды и токи одного знака, которымъ опредѣляется направленіе тока.

Опытъ № 31. Центральная пластинка односторонняго конденсатора соединена съ землею кондукторомъ машины,

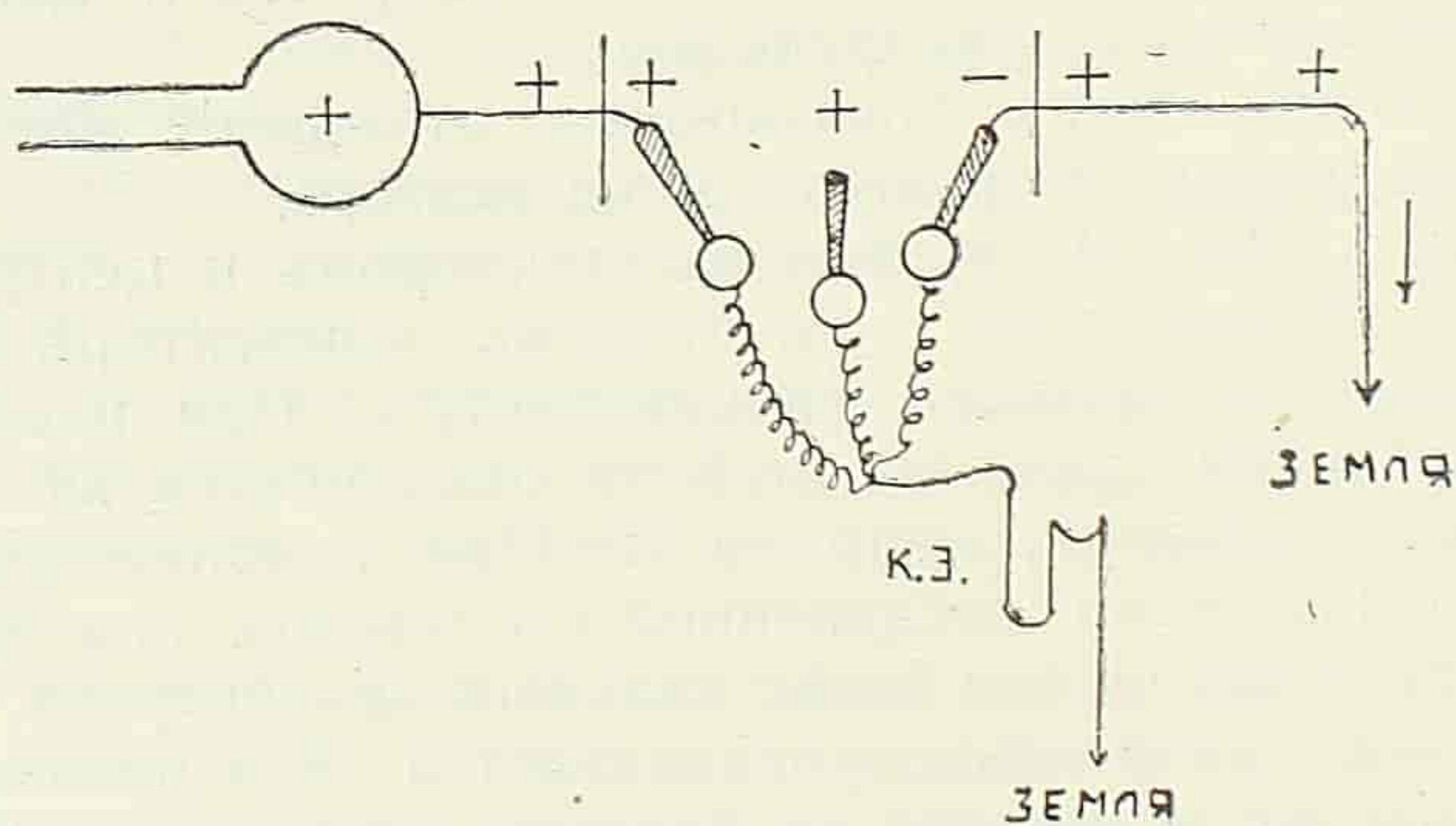


Рис. 23.



периферическая съ землю. Обслѣдуя поверхности пластинки и электрическое поле между ними пробнымъ электродомъ, соединеннымъ съ землею черезъ кап. электрометръ, находимъ: касаніе центральной пластинки и введеніе электрода въ различныя точки поля даетъ положительный знакъ заряда. Величина отклоненія мениска уменьшается по мѣрѣ отдаленія электрода отъ центральной пластинки. Касаніе же къ периферической пластинкѣ даетъ отрицательный знакъ. Между тѣмъ путь потока имѣетъ направленіе отъ конденсатора къ землѣ. Чѣмъ же объясняется отрицательный знакъ на лицевой поверхности пластинки, тогда какъ на задней ея поверхности и въ отводящемъ проводѣ имѣемъ снова положительный знакъ? Пробный электродъ въ этомъ случаѣ соединенъ съ другой точкой земли. Образуется полудуга, своими концами упирающаяся въ землю, и въ ней, согласно описанному выше, появляется токъ. Получается присасывающее дѣйствіе основного потока, который, подобно струѣ воды въ водяномъ воздушномъ насосѣ, вытягиваетъ изъ земли струю отрицательнаго тока, которая вообще слаба. Этотъ опытъ не показываетъ отрицательнаго заряда пластинки, котораго вообще на ней быть не можетъ. Электрическій токъ въ проводѣ присасывается главнымъ потокомъ изъ земли.

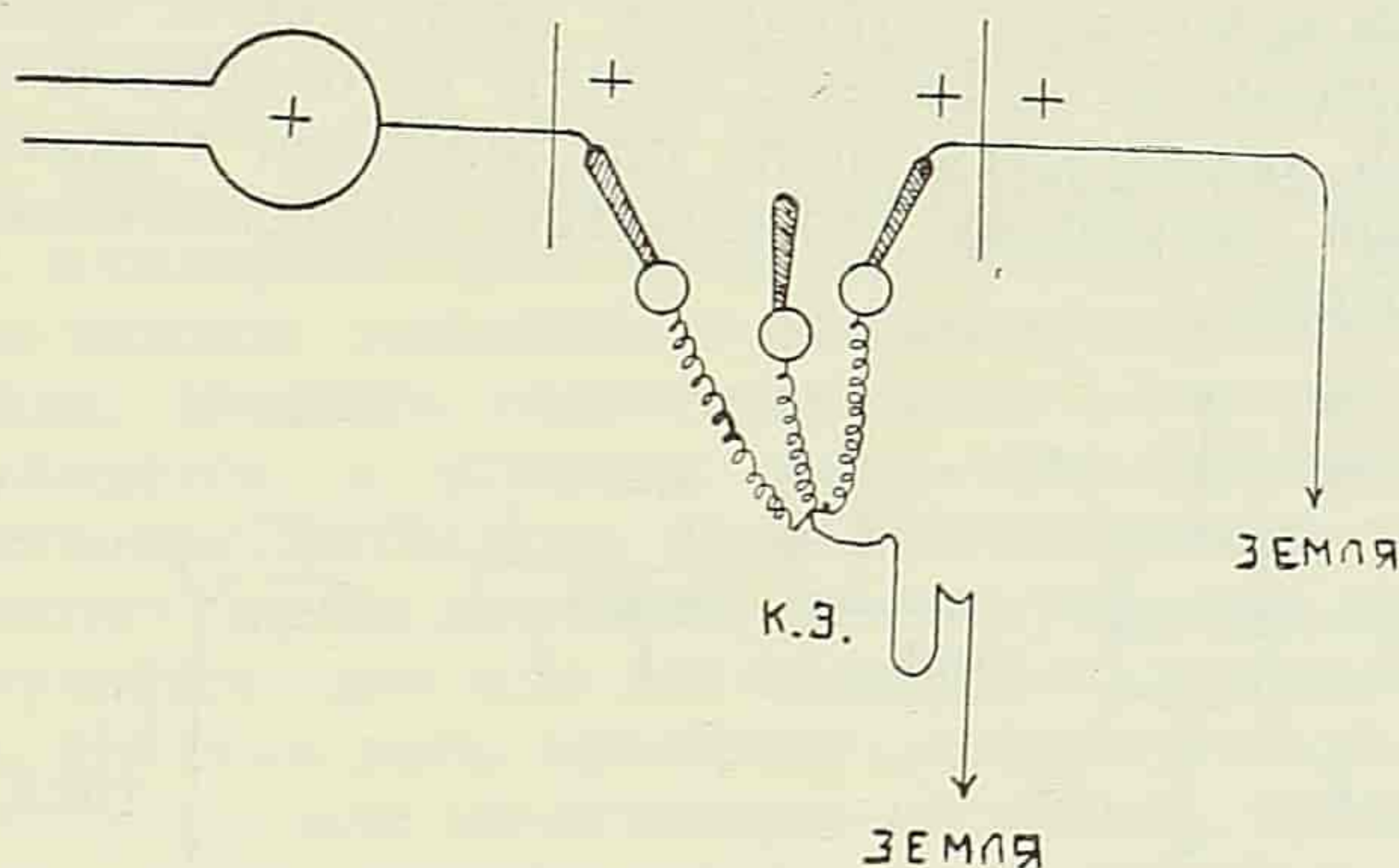


Рис. 24.

Если периферическая пластинка изолирована, пробный электродъ обнаруживаетъ на ней какъ и въ полѣ положительный зарядъ.

Теорія объясненія отрицательнаго заряда на тѣлѣ очень трудна. Количество энергіи всегда есть количество положительное. Въ полѣ и въ проводахъ знакъ опредѣляется направленіемъ потоковъ. Аналогичный случай мы имѣемъ въ вакуумѣ тяготѣнія, который, самъ по себѣ не представляя количества энергіи, обладаетъ присасывающимъ дѣйствіемъ по отношенію къ потокамъ энергіи тяготѣнія стремящимся



заполнить этот вакуумъ. Также и въ отрицательномъ зарядѣ, присасывающемъ электрической токъ изъ земли и изъ окружающаго поля, мы повидимому имѣемъ электрической вакуумъ, на что уже указывала учебная физика. Въ токѣ же и въ полѣ въ формѣ отрицательнаго электричества мы имѣемъ положительные потоки характеризующіеся лишь направлениемъ обратнымъ положительному току.

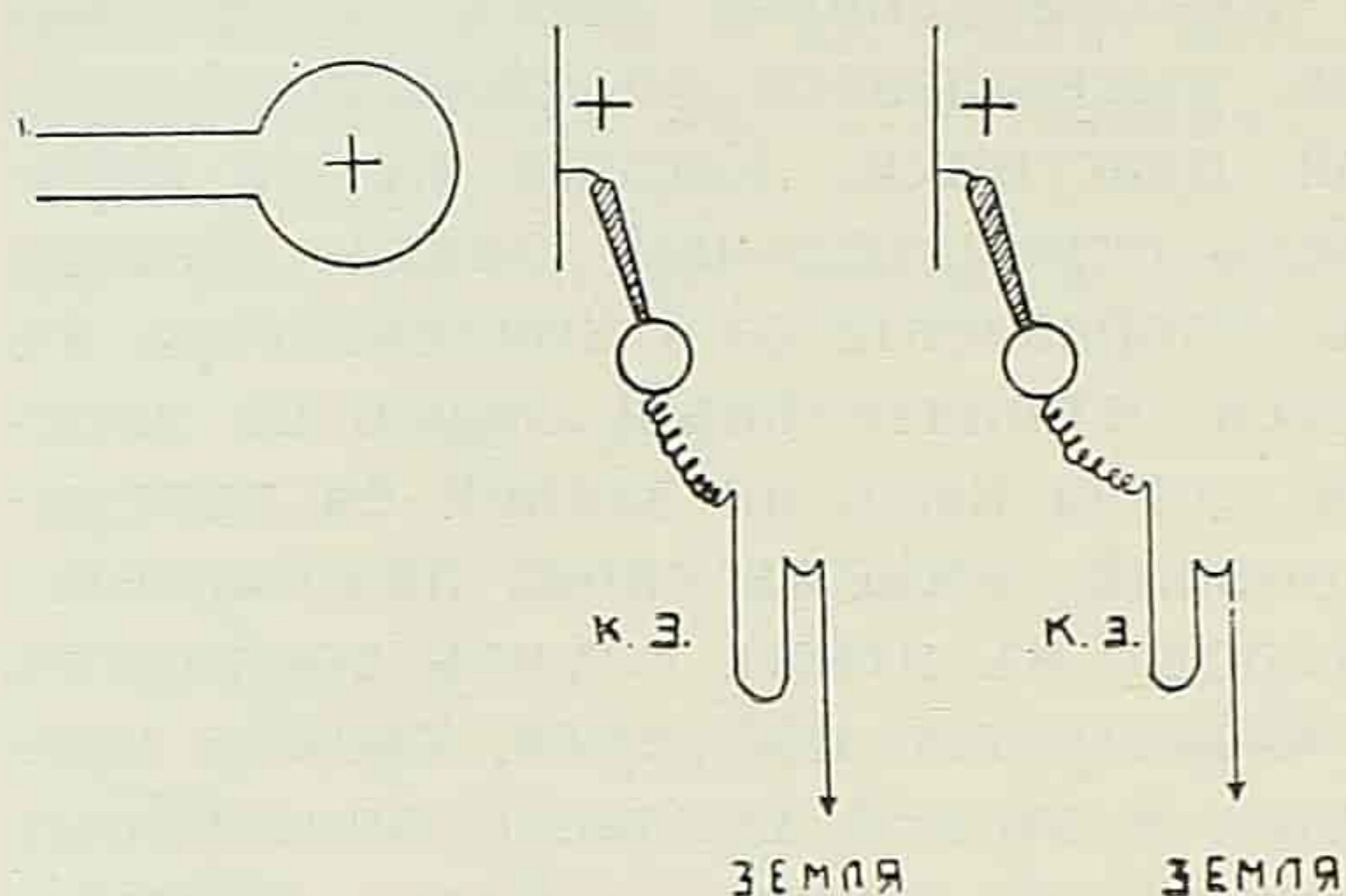


Рис. 25.

Такимъ образомъ во всей системѣ провода отъ заряженнаго тѣла къ землѣ, и въ одностороннемъ конденсаторѣ направление потока, а слѣдовательно и знакъ, можетъ быть лишь одинъ: одноименный со знакомъ источника. Искровой разрядъ возникаетъ въ униполярномъ воздушномъ конденсаторѣ при сближеніи пластинокъ также какъ и въ двухстороннемъ и вовсе не требуетъ различныхъ зарядовъ на обѣихъ пластинкахъ. Разные заряды на одномъ и томъ же проводникѣ образуются лишь при индукціи и знакъ противоположный основному объясняется присасывающимъ дѣйствиемъ потока.

Такимъ образомъ во всей системѣ провода отъ заряженнаго тѣла къ землѣ, и въ одностороннемъ конденсаторѣ направление потока, а слѣдовательно и знакъ, можетъ быть лишь одинъ: одноименный со знакомъ источника. Искровой разрядъ возникаетъ въ униполярномъ воздушномъ конденсаторѣ при сближеніи пластинокъ также какъ и въ двухстороннемъ и вовсе не требуетъ различныхъ зарядовъ на обѣихъ пластинкахъ. Разные заряды на одномъ и томъ же проводникѣ образуются лишь при индукціи и знакъ противоположный основному объясняется присасывающимъ дѣйствиемъ потока.

Такимъ образомъ во всей системѣ провода отъ заряженнаго тѣла къ землѣ, и въ одностороннемъ конденсаторѣ направление потока, а слѣдовательно и знакъ, можетъ быть лишь одинъ: одноименный со знакомъ источника. Искровой разрядъ возникаетъ въ униполярномъ воздушномъ конденсаторѣ при сближеніи пластинокъ также какъ и въ двухстороннемъ и вовсе не требуетъ различныхъ зарядовъ на обѣихъ пластинкахъ. Разные заряды на одномъ и томъ же проводникѣ образуются лишь при индукціи и знакъ противоположный основному объясняется присасывающимъ дѣйствиемъ потока.

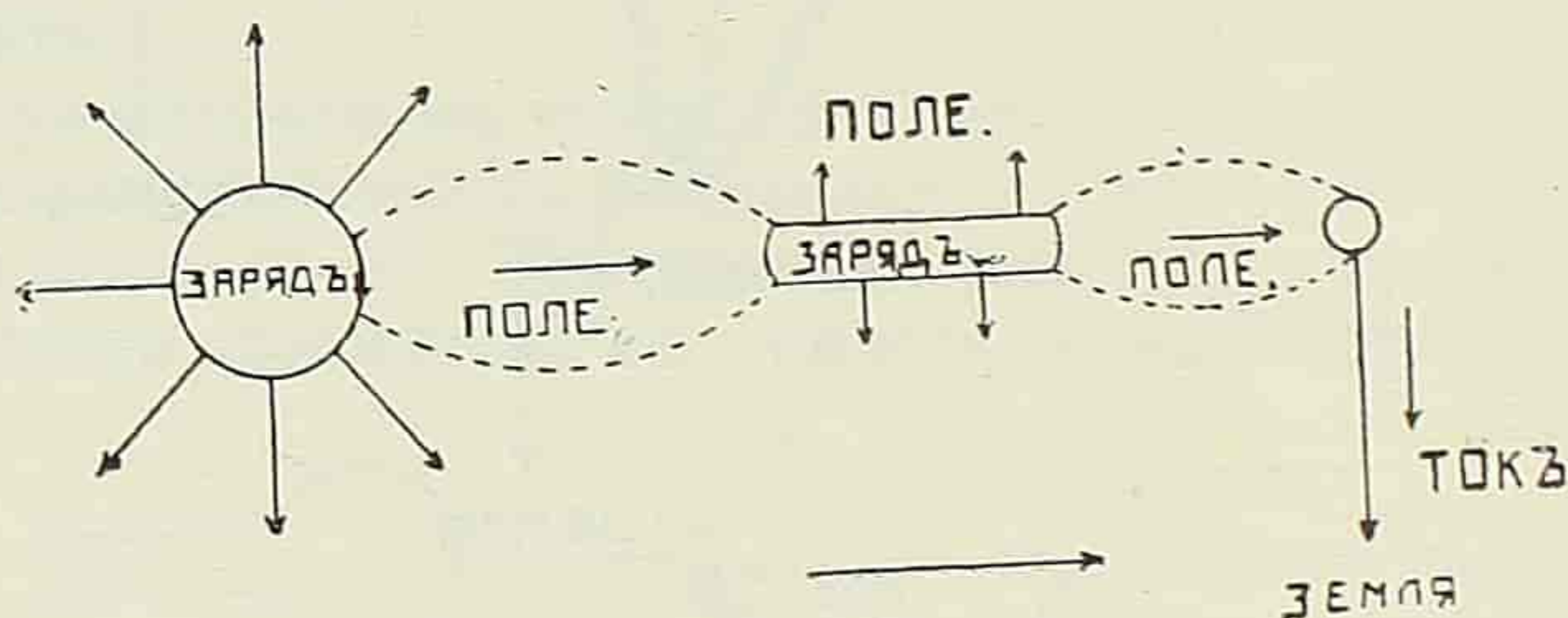


Рис. 26.

Такимъ же образомъ объясняются учебные опыты съ электроскопами и на частяхъ разъединеннаго на двѣ части проводника, имѣющаго на себѣ индуктивный зарядъ послѣ мгновеннаго его соединенія съ землею. Заряженіе и разряженіе конденсатора очень слабо изучено. Заряжается онъ повидимому мгновенно, а разряжается взрывами, повидимому слѣдующая закону экспоненціальной функции отъ аргумента времени.

Очень интересно, что конденсаторъ заряжается гальваническимъ элементомъ, будучи на мгновеніе соединенъ съ



его клеммами, хотя цѣпь въ этомъ случаѣ остается разомкнутою діэлектрикомъ конденсатора. Я полагаю, что остаточный зарядъ локализуется въ діэлектрикѣ конденсатора, откуда воспринимается частями до ихъ насыщенія обкладками. Соотвѣтствующіе опыты съ дѣйствіемъ заряженнаго конденсатора на н.-м. препаратъ описаны въ моихъ работахъ: „Мат. осн. ест.“ и „Теорія нервн. и душ. явл.“.

6) Соотношеніе гальваническаго и электрическаго тока въ цѣпи. Въ гальванической цѣпи электрическая энергія возникаетъ въ формѣ такъ называемаго экстра-тока въ моменты замыканія, размыканія и измѣненія силы гальваническаго тока. Въ прерывистомъ и переменномъ гальваническомъ токѣ мы имѣемъ поочередное и одновременное возникновеніе энергіи гальваническаго тока и чисто электрической. Послѣдняя отфильтровывается черезъ діэлектрикъ отъ энергіи гальваническаго тока помощью индуктора Румкорфа или трансформаторовъ.

Опыты Гальвани, въ той формѣ, въ которой я описалъ ихъ въ своей работѣ „Теор. нерв. и душ. явл.“ 1930, показываютъ, что н.-м. препаратъ, какъ и телефонъ и кап. электрометръ, реагируетъ на экстра-токъ, который обладаетъ всѣми свойствами тока электрическаго.

Опытъ № 32. Беремъ элементъ очень малаго вольтажа, напр. U-образную трубку наполненную 0,7%  $NaCl$ , въ который опущенъ одинъ угольный и одинъ цинковый электродъ. Онъ имѣетъ напряженіе 0,1 вольтъ. Въ его цѣпь при посредствѣ мѣдно-желатиновыхъ электродовъ вводимъ н.-м. препаратъ, и телефонъ. Н.-м. препаратъ реагируетъ, какъ и телефонъ, на каждое замыканіе и размыканіе гальваническаго тока въ цѣпи. Вводимъ сопротивление до 1 мегаома — реакція продолжается, и угасаетъ лишь при сопротивленіяхъ выше 1 мегаома. Пресѣкаемъ цѣпь діэлектрикомъ конденсатора. Несмотря на то, что цѣпь разомкнута, при нажиманіи ключа получается одно или два сокращенія, которыя затѣмъ затухаютъ. Но если дать препарату „отдохнуть“ въ теченіе около 10 секундъ, или на мгновеніе соединить препаратъ съ землею, или клеммы конденсатора съ проводникомъ, при повторномъ замыканіи ключа сокращенія получаютъ. Явленіе объясняется сниманіемъ заряда съ препарата. Н.-м. препаратъ является чувствительнымъ электроскопомъ и реагируетъ въ электрическомъ полѣ. Въ описанномъ опытѣ гальваническаго тока или вовсе нѣтъ, или онъ слишкомъ незначителенъ по силѣ.

Основнымъ вопросомъ является наличіе электростатическихъ зарядовъ на борнахъ разомкнутаго гальваническаго



элемента, въ которое всѣ вѣрятъ и котораго никто не провѣрялъ. Остальдъ даже возникновеніе гальваническаго тока считаетъ результатомъ „выравниванія зарядовъ“. На самомъ дѣлѣ электростатическихъ зарядовъ на борнахъ разомкнутаго гальваническаго элемента нѣтъ.

Опытъ № 33. Аккумуляторъ Тюдора или любую батарею въ деревянной или картонной оправѣ ставимъ на деревянный нелакированный столъ и касаемся одного его клемма пробнымъ электродомъ, соединеннымъ съ землею черезъ телефонъ, кап. электрометръ или н.-м. препаратъ. Всѣ приборы даютъ реакцію на такъ называемый униполярный токъ, хотя изъ закона Кирхгофа непосредственно слѣдуетъ, что униполярныхъ гальваническихъ токовъ быть не можетъ.

Затѣмъ повторимъ опытъ, поставивъ аккумуляторъ на изолирующую подкладку: реакція всѣхъ трехъ аппаратовъ исчезнетъ. Затѣмъ соединимъ второй клемма батареи съ землею — реакція появится снова. Достаточно коснуться пальцемъ не только второго клемма, но стеклянной, деревянной или целлюлоидной оправы — реакція появляется. Такимъ образомъ: условіемъ появленія электрическаго заряда на борнахъ разомкнутаго гальваническаго элемента является соединеніе съ землею второго клемма или футляра. Совершенно изолированный гальваническій элементъ униполярной телефонной реакціи не даетъ.

Отсюда слѣдуетъ, что установка электростатическаго вольта вполне произвольна. Соединяя цинковый борнъ элемента Даніеля съ землею, обнаруживаютъ на борнѣ, отвѣчающемъ мѣди, электрическій зарядъ, который измѣряютъ (градуируютъ) отклоненіемъ стрѣлки квадрантнаго электрометра и считаютъ такой зарядъ приблизительно равнымъ одному вольту.

Гальваническій токъ и электростатическій зарядъ суть величины совершенно разныя. Зарядъ можетъ отвѣчать одному вольту, но не можетъ быть ему равенъ.

Но униполярная реакція страннымъ образомъ зависитъ и отъ числа элементовъ батареи.

Опытъ № 34. Радио-батарею въ 110 вольтъ ставимъ на изолирующую опору. Одного клемма касаемся пробнымъ электродомъ, а другимъ земнымъ проводомъ, напр. пальцемъ, касаемся картоннаго футляра батареи, если онъ не слишкомъ изолированъ лакомъ. Щелчокъ въ телефонѣ будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ большее число элементовъ введено между пробнымъ электродомъ и пальцемъ. Что же это за токъ, который идетъ такимъ необычнымъ путемъ черезъ полуизолирующія оправы и стѣнки сосудовъ элемента? Невольно напрашивается параллель съ масляными цѣпями въ опытахъ Beutner'a.



Опытъ № 35. Аккумуляторъ замыкаемъ черезъ реостатъ туго натянутою металлическою струною и всю систему тщательно изолируемъ. Даже металлическая оправа гальванометра не должна соприкасаться съ деревяннымъ штативомъ укрѣпленнымъ на каменной стѣнѣ. Пробнымъ электродомъ, черезъ телефонъ соединеннымъ съ землею, обслѣдуемъ струну, клеммы и всѣ части замкнутой гальванической цѣпи. Реакціи не получается, т. е. въ униполярномъ отводѣ отъ хорошо изолированной гальванической цѣпи къ землѣ ни гальваническаго, ни электрическаго тока нѣтъ.

Опытъ № 36. Касаясь пальцемъ любой точки цѣпи, т. е. соединяя съ землею вторую ея точку, получаемъ въ униполярномъ проводѣ реакцію кап. электрометра и телефона.

Опытъ № 37. Въ изолированной гальванической цѣпи станемъ касаться натянутой струны заряженною каучуковою палочкой. При каждомъ прикосновеніи будемъ слышать трескъ. Въ городской лабораторіи часто даже при униполярномъ соединеніи изолированной струны, по которой протекаетъ гальваническій токъ, слышенъ прерывистый тонъ, ибо такая струна является антенной.

Опытъ № 38. Металлической струною черезъ реостатъ замыкаемъ аккумуляторъ. Если введемъ въ эту цѣпь телефонъ, будемъ слышать щелчки замыканія и размыканія, даже если вся цѣпь тщательно изолирована. Въ моменты замыканія цѣпи волна экстра-тока предшествуетъ появленію гальваническаго тока, а по размыканіи вся энергія гальваническаго тока, еще находящаяся въ цѣпи, переходитъ въ энергію экстра-тока, т. е. въ электрическую. Но экстра-токъ въ такой цѣпи вовсе не доказываетъ существованія зарядовъ на клеммахъ разомкнутаго элемента.

Опытъ № 39. Замыкаемъ аккумуляторъ черезъ реостатъ, изолируя всю систему, и отъ точекъ *A* и *B* устанавливаемъ отвлѣтвленіе, которое разомкнемъ черезъ посредство

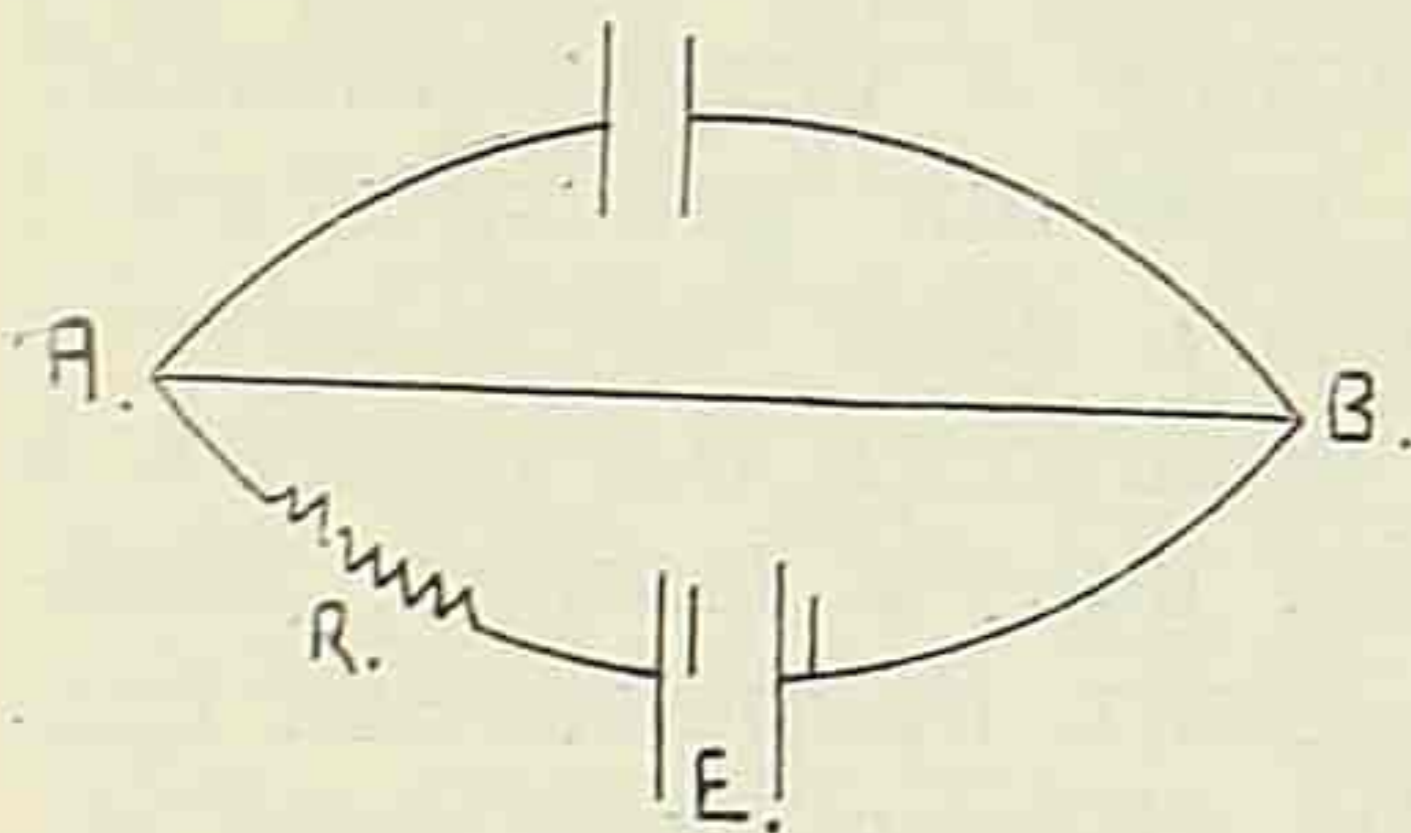


Рис. 27.

конденсатора. Замкнувъ заранѣе цѣпь станемъ обслѣдовать пробнымъ электродомъ цѣпь и обкладки конденсатора: нигдѣ заряда не обнаружимъ. Но если введемъ телефонъ въ отвлѣтвленіе и замкнемъ основную цѣпь, то будемъ слышать рѣзкіе щелчки замыканія и размыканія.

Такимъ образомъ въ разомкнутомъ отвлѣтвленіи гальванической цѣпи экстра-токъ получается въ моменты замыканія и размыканія, зарядовъ же на свободныхъ концахъ отвлѣтвленія нѣтъ.

Первичная цѣпь всегда есть замкнутая гальваническая цѣпь. Если по ней течетъ прерывистый гальваническій



токъ, его энергія во время замыканія, размыканія и измѣненія силы тока частично превращается въ электрическую въ формѣ экстра-тока. При прерывистомъ токѣ, въ промежутки времени, когда цѣпь разомкнута, источникъ энергіи въ цѣпь не отдаетъ. При частыхъ перерывахъ все большее количество энергіи гальваническаго тока превращается въ электрическую.

Загадочнымъ остается фактъ, почему индукція экстра-тока, т. е. передача его энергіи черезъ діэлектрикъ другому проводнику, на примѣръ, вторичной спирали, рѣзко усиливается при введеніи въ полость первичнаго соленоида желѣзнаго сердечника. Источникъ при этомъ не увеличиваетъ отдачи энергіи, ибо сила тока въ цѣпи и ея сопротивление остаются неизмѣнными. Если вторичная цѣпь замкнута, въ ней появляются во время замыканія и размыканія первичной цѣпи мгновенные токи, на которые реагируетъ гальванометръ и которые поэтому считаются гальваническими. Если вторичная цѣпь разомкнута, электрическая энергія появляется въ ней въ формѣ зарядовъ и поля. Если станемъ мѣнять съ помощью реостата силу тока въ первичной цѣпи, во вторичной появятся отвѣчающіе этому измѣненію индуктированные токи.

Введеніе желѣзнаго сердечника въ полость первичнаго соленоида усиливаетъ магнитное поле и статическую и динамическую работу притяженія электро-магнита. Но это притяженіе не вліяетъ на силу тока въ цѣпи, питающей электро-магнитъ. Лишь въ моменты прикосновенія и отрыва якоря получается вздрагиваніе стрѣлки гальванометра во взаимно-обратныхъ направленіяхъ. А отсюда слѣдуетъ, что энергія работы электромагнита возникаетъ не изъ энергіи гальваническаго тока, а изъ энергіи тяготѣнія, для которой гальванической токъ служитъ лишь физическимъ катализаторомъ.

Опытъ № 40. Въ первичную цѣпь вводимъ соленоидъ съ прерывателемъ, но безъ сердечника. Завинчиваемъ винтъ прерывателя до постояннаго касанія и устанавливаемъ силу току въ первичной цѣпи при помощи реостата въ 1 амперъ. Отпускаемъ винтъ до тѣхъ поръ пока прерыватель придетъ въ дѣйствіе: гальванометръ покажетъ 0,6 амперъ и токъ станетъ прерывистымъ. Отпуская винтъ дальше, замѣтимъ, что стрѣлка будетъ снижаться, тонъ прерывателя станетъ ниже, длина перерывовъ больше. Когда сила тока падетъ до 0,15, токъ разомкнется.

Цѣпь замкнута лишь тогда, когда молоточекъ-якорь находится въ соприкосновеніи съ остриемъ винта прерывателя. Въ колебательномъ движеніи якоря надо различать 4 фазы: 1) соприкосновеніе упругой пластинки якоря съ остриемъ винта прерывателя (цѣпь замкнута), 2) движеніе притягиваемаго



магнитомъ молоточка внизъ, 3) соприкосновение якоря съ магнитомъ и 4) движеніе молоточка вверхъ. На протяженіи 2—4 цѣпи разомкнута. Гальванометръ показываетъ 15—60% основного тока. Возникаетъ вопросъ, зависитъ ли эта средняя величина силы тока отъ времени замыканія, или показанія гальванометра осложняются инерціей стрѣлки? Регулируя винтъ прерывателя усиливаемъ или ослабляемъ токъ. При усиленіи число перерывовъ увеличивается. Тотъ же результатъ получимъ, если при постоянномъ положеніи винта помощью реостата будемъ усиливать токъ отъ 0,15 до 0,6 амперъ. Тонъ прерывателя при этомъ усиливается и повышается.

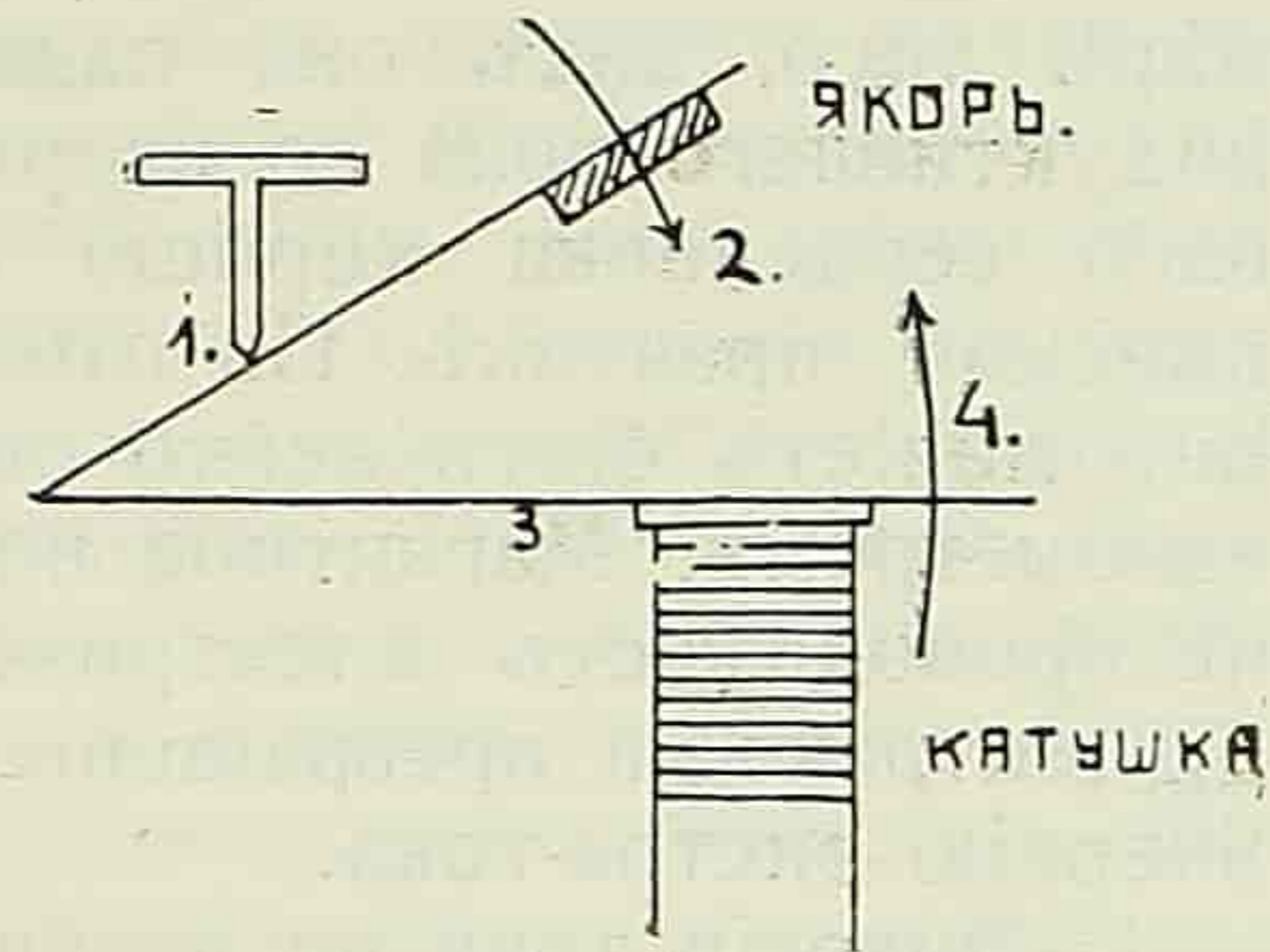


Рис. 28.

Въ этой же постановкѣ опыта вводимъ желѣзный сердечникъ. Какъ мы видѣли выше, постоянный гальванический токъ не мѣняется въ силѣ при введеніи сердечника, тогда какъ средняя сила прерывистаго тока при этомъ уменьшается:

Основная сила тока	Послѣ введенія сердечника
0,15	0,11
0,2	0,15
0,3	0,24
0,4	0,32
0,5	0,37
0,6	0,33

Сила падаетъ съ введеніемъ сердечника тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше средняя сила въ цѣпи. Это можетъ произойти или потому, что источникъ отдаетъ въ цѣпь меньше энергіи, или потому, что часть энергіи имъ отдаваемой переходитъ въ другую форму. Магнитное поле съ введеніемъ сердечника усилилось. Но усилению поля отвѣчаетъ усиленіе, а не ослабленіе тока. При постоянномъ положеніи якоря, тонъ его, а слѣдовательно и число перерывовъ зависитъ отъ силы тока. Чѣмъ сильнѣе токъ, тѣмъ сильнѣе магнитное поле, а слѣдовательно тѣмъ чаще, а не рѣже перерывы и тѣмъ выше, а не ниже тонъ. Между тѣмъ съ введеніемъ сердечника тонъ понижается. Въ нашемъ опытѣ магнитное поле усиливается, а сила тока и тонъ понижаются, а такъ какъ источникъ остается прежнимъ, то приходится заключить, что введеніе сердечника увеличиваетъ превращеніе энергіи гальваническаго тока первичной цѣпи въ энергію экстра-тока путемъ индук-



ціи передаваемой вторичной цѣпи, гдѣ мы ее дѣйствительно и находимъ. Сила тока во вторичной цѣпи увеличивается по мѣрѣ того, какъ она падаетъ въ первичной. Это усиленіе индуктивнаго тока во вторичной цѣпи при введеніи желѣзнаго сердечника хорошо извѣстно и примѣняется въ медицинской практикѣ. По отношенію къ отдѣльнымъ ударамъ, оно можетъ быть легко опредѣлено баллистическимъ гальванометромъ. Магнитное поле такимъ образомъ увеличиваетъ не проводимость электрической энергіи экстра-тока черезъ діэлектрикъ, а превращеніе энергіи гальваническаго тока въ энергію экстра-тока.

Энергія тока во вторичной цѣпи получается при фарадеевской индукціи изъ энергіи гальваническаго тока первичной цѣпи. Гальванометръ въ первичной цѣпи показываетъ только гальваническій токъ и не показываетъ экстра-тока. Полагаютъ, что во вторичной замкнутой цѣпи имѣется токъ гальваническій, ибо, какъ показалъ Фарадей, онъ обладаетъ способностью магнитизировать стальную иглу. Въ искровомъ промежуткѣ вторичной цѣпи возникаютъ потоки энергіи герцовыхъ лучей, т. е. потоки чисто электрическихъ излученій. Явленія въ разомкнутой вторичной цѣпи вообще очень плохо изучены.

Кромѣ фарадеевской индукціи различаютъ магнитную индукцію, которая получается въ формѣ магнитно-индукціонныхъ токовъ въ замкнутой цѣпи, если въ полость включеннаго въ нее соленоида вдвигать и выдвигать магнитный стержень. Источникомъ возникновенія этихъ токовъ служитъ энергія движенія магнитнаго стержня въ соленоидѣ или энергія движенія замкнутаго въ цѣпи проводника въ магнитномъ полѣ. Эти токи получаютъ отъ динамо-машины и обыкновенно суть тоже переменные, которые могутъ быть выравнены лишь искусственно. Эти токи рассматриваются какъ гальваническіе, но, поскольку гальваническій токъ является переменнымъ, ему всегда сопутствуетъ экстра-токъ, который отдѣляется отъ гальваническаго помощью трансформаторовъ, т. е. путемъ индукціи.

Магнито-индукціонные токи даютъ тѣ же реакціи, что и фарадеевскіе индукціонные токи: на нихъ реагируютъ н.-м. препаратъ, телефонъ и кап. электрометръ.

Опытъ № 41. Радио-телефонъ съ двумя слушательницами соединяемъ черезъ посредство мѣдно-желатиновыхъ электродовъ съ н.-м. препаратомъ и затѣмъ быстрымъ движеніемъ слегка ударяемъ раковины телефона другъ о друга. Получается сокращеніе мускула. Никакого гальваническаго элемента въ цѣпи здѣсь нѣтъ. Можно ввести въ цѣпь конденсаторъ и громадныя омическія сопротивленія — реакція все же получится. Очень трудно такимъ образомъ рѣшить



вопросъ о природѣ этого тока: есть ли онъ токъ гальваническій или электрическій?

Въ физиологіи раздражителями н.-м. препарата являются обычно индукціонные токи и единичные индукціонные удары вторичной цѣпи. Во вторичной цѣпи, какъ замкнутой, такъ и разомкнутой черезъ конденсаторъ, получаютъ реакціи телефона, кап. электрометра и н.-м. препарата. Особенно характерны для вторичнаго соленоида униполярные токи, хорошо изученные физиологіей. Каждый изъ полюсовъ даетъ различные по характеру тоны, какъ и инфл. машина. Отрицательный тонъ рѣзокъ и съ металлическимъ тембромъ. Положительный слабѣе и мягче. Такимъ образомъ вторичная катушка имѣетъ дифференцированные полюсы  $+$  и  $-$ . Эта дифференцировка для данной катушки постоянна и не зависитъ отъ направленія прерывистаго гальваническаго тока въ первичной цѣпи.

Замыкая вторичную цѣпь индуктора черезъ телефонъ, получаемъ громкій биполярный тонъ, не усиливающийся при соединеніи любой точки съ землею. Введя во вторичную цѣпь раздвижной конденсаторъ и телефонъ, найдемъ, что при значительномъ разстояніи между пластинками слышенъ слабый униполярный тонъ, переходящій въ сильный биполярный при соприкосновеніи пластинокъ. Введеніе радіо-конденсатора до 1 микрофирады почти не ослабляетъ тона во вторичной цѣпи.

Кап. электрометръ не даетъ униполярной реакціи отъ вторичной катушки, тогда какъ телефонъ ее ясно обнаруживаетъ, но биполярно введенный во вторичную цѣпь, онъ реагируетъ какъ на постоянный токъ, давая передвиженіе мениска при замыканіи, размыканіи и измѣненіи силы тока въ первичной цѣпи. На длительный, прерывистый и переменный токъ во вторичной цѣпи кап. электрометръ реагируетъ лишь легкимъ дрожаніемъ мениска. Если замкнемъ вторичную цѣпь черезъ землю, то кап. электрометръ дастъ реакцію, но онъ не реагируетъ на замыканіе и размыканіе тока въ первичной цѣпи.

Экстра-токъ замыканія и размыканія пропускаемъ черезъ вариометръ — онъ индуктируется при параллельномъ и не индуктируется при перпендикулярномъ положеніи катушекъ. Онъ индуктируется черезъ трансформаторъ и передается черезъ детекторъ.

Реакція капил. электрометра, введеннаго во вторичную цѣпь не одинакова при замыканіи и размыканіи тока въ первичной цѣпи, но это зависитъ отъ вертикальнаго положенія капилляра, а не отъ различія экстра-токовъ замыканія и размыканія. Пропуская экстра-токъ въ противоположныхъ направленіяхъ черезъ кап. электрометръ, находимъ:



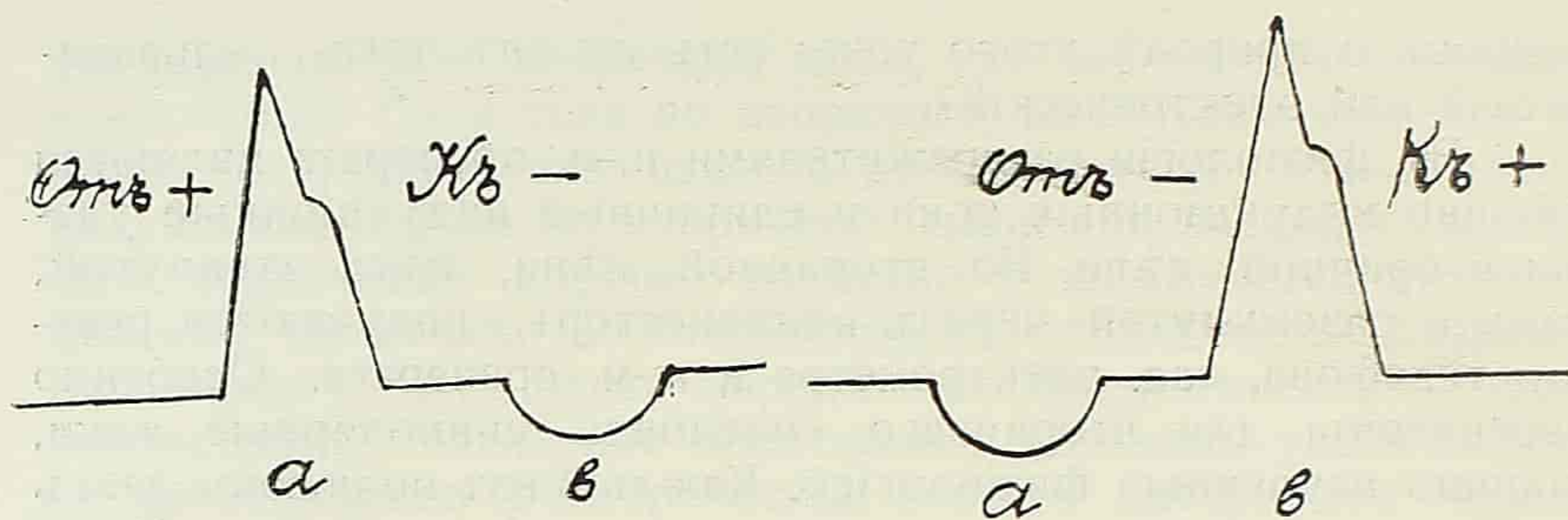


Рис. 29.

Рис. 30.

Введение конденсатора изменяет характер кривой вследствие взаимодействия зарядовъ. При подъемъ ртутнаго столба въ капиларъ вверхъ имѣется вліяніе работы преодоленія силы тяжести.

Телефонныя явленія въ полѣ вторичной катушки очень сложны и почти совершенно не изучены. Укажу лишь на одинъ опытъ: электроды отъ вторичной спирали погружаемъ на нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга въ стеклянный сосудъ съ водою и пускаемъ токъ. Пробнымъ электродомъ обслѣдуемъ воду между погруженными электродами: тона въ телефонѣ нѣтъ. Какъ только вынемъ одинъ изъ электродовъ изъ воды тонъ въ телефонѣ появляется и различенъ для обоихъ полюсовъ.

Если погрузимъ пробный электродъ въ воду, находящуюся въ стеклянномъ сосудѣ стоящемъ близко отъ работающей вторичной спирали, услышимъ униполярный тонъ. Индуктивные токи слѣдовательно обнаруживаются въ всѣхъ проводникахъ соединенныхъ съ землею, находящихся вблизи индуктора.

Поле индуктора сходно съ полемъ инфл. машины, отличаюсь тѣмъ, что оно не только прерывисто, но и переменно. Н.-м. препаратъ, введенный въ электрическое поле индуктора, какъ показали еще опыты Данилевскаго, даетъ реакцію сокращенія въ зависимости отъ положенія относительно линий силъ поля, т. е. реакція его аналогична реакціи гейслеровой трубки въ полѣ инфл. машины.

Электрическая энергія вторичной цѣпи разомкнутой черезъ діэлектрикъ разрѣженныхъ газовъ даетъ дальнѣйшія превращенія въ трубкахъ Крукса и Рентгена, но это уже, конечно, не есть энергія гальваническаго тока.

Обмотаемъ первичный однофиллярный соленоидъ проволокой вторичной спирали и замкнемъ ее черезъ телефонъ: при замыканіи и размыканіи тока въ первичной цѣпи получимъ щелчки въ телефонѣ. Тотъ же опытъ при бифиллярной намоткѣ первичнаго соленоида телефонной реакціи не даетъ. Возникаетъ вопросъ, уничтожается ли при этомъ только ин-



дукція вслѣдствіе уничтоженія магнитнаго поля, или исчезаетъ и самый экстра-токъ? Телефонъ, введенный въ первичный соленоидъ съ бифилярной намоткой реакцію даетъ.

Весьма важны два основныхъ свойства электрическихъ токовъ: прерывистость и малая скорость въ діэлектрикахъ и полудіэлектрикахъ.

Излученіе энергіи заряда отъ проводника въ діэлектрикахъ можетъ быть и непрерывнымъ (тихий разрядъ) хотя и непрерывно убывающимъ по закону геометрической прогрессіи. Но обычно разрядъ бываетъ прерывистымъ и число перерывовъ зависитъ отъ емкости кондукторовъ. Въ инфл. машинѣ непрерывное движеніе дисковъ превращается въ прерывистый электрическій токъ.

Что касается малой скорости, она непосредственно зависитъ отъ малой электро-проводности (не гальвано-проводности!) діэлектриковъ и полу-діэлектриковъ. Прерывистость и медленную проводимость находимъ мы въ опытахъ Wulf'a. Я ее обнаруживаю слѣдующимъ опытомъ.

Опытъ № 42. Деревянный стержень длиною въ 80 см. однимъ концомъ черезъ телефонъ соединяемъ съ землею, а другимъ концомъ касаемся кондуктора инфл. машины непосредственно послѣ ея остановки. Получаемъ помимо телефона звукъ касанія стержня о металл кондуктора, а въ телефонѣ — первый щелчокъ, за которымъ слѣдуетъ рядъ постепенно затухающихъ и дѣлающихся все болѣе рѣдкими щелчковъ. Дерево проводитъ зарядъ въ землю прерывисто и медленно. Въ зависимости отъ того, касаемся ли мы заряженнаго кондуктора концомъ или началомъ деревяннаго стержня, находимъ:

1) Пауза между звуками прикосновенія стержня къ кондуктору и перваго щелчка въ телефонѣ увеличивается съ длиною стержня.

2) Послѣдовательные затухающіе щелчки тѣмъ рѣже, чѣмъ длиннѣе стержень. Первая пауза при длинѣ 60 см. можетъ достигать одной секунды, т. е. скорость проведенія по полу-проводникамъ электрическаго тока можетъ достигать немногихъ сантиметровъ въ секунду.

Всѣ приведенные выше опыты и описанныя явленія приводятъ къ слѣдующимъ выводамъ:

1) Энергія гальваническаго тока по своимъ свойствамъ совершенно отлична отъ энергіи явленій электростатическихъ, т. е. чисто электрическихъ.

2) Н.-м. препаратъ реагируетъ специфически не на гальваническій, а на электрическій токъ, въ формѣ экстра-тока проходящаго черезъ мѣсто соединенія нерва съ мускуломъ.



Онъ является такимъ образомъ электроскопомъ, который даетъ реакцію во всѣхъ случаяхъ, когда ее даетъ телефонъ и кап. электрометръ и никогда не даетъ ее отдѣльно.

3) То, на что реагируютъ эти приборы есть токъ электрической, а потому слѣдуетъ думать, что нервный токъ, въ живомъ организмѣ вызывающій мускульное сокращеніе, а также и всѣ токи дѣйствія суть токи электрическіе. Трудно думать, чтобы въ природѣ существовали двѣ различныя силы одинаково дѣйствующія на эти приборы, и только на эти приборы.

4) Всѣ явленія въ нервной системѣ суть явленія чисто электрическія. Электро-емкость липоидовъ опредѣляетъ ихъ аккумулярующую способность и наши аккумуляторы памяти должны быть разсматриваемы какъ построенные по принципу конденсаторовъ.

5) Проводниками энергіи нервного тока въ нервныхъ волокнахъ, вопреки общепринятому въ настоящее время утверженію, являются не аксоны, а миелиновая, діэлектрическая обкладка. Монтировка нейроновъ въ мозгу, какъ и въ радио-аппаратѣ индуктивная. Съ этой точки зрѣнія объясняются и два главныхъ свойства нервной проводимости: прерывистость и малая скорость нервного тока. Частота перерывовъ зависитъ отъ емкости системы. Симпатическія волокна содержатъ меньше миелина, а потому проводимость ими электрической энергіи соотвѣтственно меньше, какъ и скорость проведенія. Симпатическое волокно требуетъ въ тысячи разъ болѣе сильнаго раздраженія и проводитъ токъ въ 10 разъ медленнѣе.

6) Невозможно существованіе гальваническихъ явленій въ живомъ организмѣ, ибо въ немъ нѣтъ ни замкнутыхъ цѣпей, ни магнитныхъ полей, ни чистыхъ металловъ соприкасающихся съ электролитами. Ионная теорія въ приложеніи къ нервной системѣ скоро сойдетъ со сцены. Цѣпи нейроновъ суть цѣпи разомкнутія. Въ электрическихъ явленіяхъ нервной системы липоиды играютъ главную роль.

7) Всѣ модели современной коллоидной химіи должны быть переработаны, ибо дисперсная среда въ сокахъ живого организма есть растворъ электролитовъ, а потому электростатическіе заряды на взвѣшенныхъ въ ней частицахъ держаться не могутъ. Также и катафорезъ не можетъ быть объясненъ движеніемъ заряженныхъ частицъ въ электрическомъ полѣ, ибо никто никогда этихъ зарядовъ не обнаружилъ, а электрическаго поля въ средѣ электролита существовать не можетъ.



Профессоръ М. Н. Лапинскій.

## АКТИВАТОРЫ ПСИХИЧЕСКИХЪ ФУНКЦІЙ.

(Глава изъ неизданной книги „Психофизиологія повседневной жизни“).

Психическія функціи въ нормальномъ объемѣ возможны лишь въ здоровомъ, нормальномъ мозгу. Если мозгъ недоразвитъ или разрушенъ какимъ либо процессомъ въ дѣтствѣ, психическая жизнь замираетъ, потухаетъ и сводится иногда лишь къ рефлекторнымъ движеніямъ. Еще менѣе душевныхъ отправленій можно ожидать у тѣхъ животныхъ, гдѣ развитіе нервной системы остановилось на высотѣ базальныхъ ганглій. Однако же элементы нѣкоторыхъ нервныхъ реакцій можно видѣть и у организмовъ, не имѣющихъ еще спинного мозга, обладающихъ лишь сегментной цѣпочкой нервныхъ ганглій.

Развитіе живыхъ организмовъ на землѣ шло постепенно. Изъ аморфной слизи постепенно зародились монады, — одноклѣтчатые организмы, примитивной конструкціи, безъ внутреннихъ органовъ, всѣ жизненные процессы которыхъ разрѣшались на ихъ поверхности.

За монической эпохой насталь періодъ археоктонической, гдѣ тѣ-же монады, не теряя своей самостоятельности, спаивались съ таковыми же примитивными тѣлами въ колоніи ради лучшей защиты, улучшенія условій питанія и т. д. Постепенно отдѣльныя тѣла этихъ сложныхъ колоній теряли свою индивидуальность и первобытную природу, превращались въ полезныя части даннаго живого комплекса, а изъ колоній постепенно образовалось животное тѣло, имѣющее кожный покровъ съ его придатками, — мышцы, железы, аппаратъ кровообращенія, дыханія и т. д. Однако и на этой ступени эволюціи организмы сохранили принципъ отдѣльныхъ колоній. Имѣются очень много типовъ, состоящихъ изъ отдѣльныхъ члениковъ, которые, легко отпадая, могутъ жить самостоятельно (глисты, черви, пиявки...).

Слѣдующая эпоха — палеостріарная — характеризуется дальнѣйшей эволюціей животныхъ, — появленіемъ



на ихъ тѣлѣ зачатковъ конечностей въ формѣ плавниковъ.

Наконецъ наступилъ періодъ неоцефалическій, во время котораго возникли четвероногія и даже двуногія животныя въ видѣ человѣка.

Раздѣляя исторію животнаго царства на эпохи — моническую, археоктоническую, палеостріарную и неоцефалическую, какъ основа за это дѣленіе принимаются этапы развитія нервной системы — субстратъ психической жизни.

Въ моническій періодъ нервная система еще не существуетъ, а потому нѣтъ и психической жизни. Природныя условія были, однако, таковы, что эти первичные организмы сумѣли воспитать въ своей протоплазмѣ необычайно тонкую чувствительность къ малѣйшимъ ничтожнымъ переменамъ въ окружающей средѣ. Эта воспріимчивость коснулась прежде всего космическихъ явленій и переменъ въ природѣ, благодаря чему установились тончайшія формы изотонической, изотермической и изохимической впечатлительности. Благодаря этой тончайшей чувствительности протоплазмы монады сжимались, сокращались, вытягивались, удлинялись и передвигались подъ вліяніемъ свѣта, тепла, механическихъ раздражителей, а по мѣрѣ эволюціи и упражненія ихъ протоплазмы монады приобрѣли способность реагировать не только при наступленіи явственныхъ колебаній упомянутыхъ космическихъ факторовъ, но приучились ощущать заранѣе приближеніе таковыхъ. Благодаря этой особенности своей протоплазмы соотвѣтствующія элементарныя реакціи появлялись въ ихъ тѣлѣ уже задолго до явственныхъ переменъ въ окружающей сферѣ. Эту способность протоплазмы ощущать, — какъ полезную для рода и пола — монады передали по наслѣдству дальнѣйшимъ животнымъ поколѣніямъ, развившимся изъ нихъ, а въ томъ числѣ и человѣку.

Въ эпоху археоктоническую начинается дифференцировка нервной системы, — появляются клѣтки и нервныя волокна, которыя, располагаясь цѣпочками, узлами и сплетеніями, регулируютъ жизненныя отправленія имѣющихся организмовъ, но такъ какъ эти послѣдніе построены по типу клѣточныхъ колоній, гесп. по принципу отдѣльныхъ члениковъ, то и нервная система лишена значенія какого-то общаго центра для всего тѣла (червь, пиявка), но реагируютъ лишь отдѣльные сегменты тѣла. Психической жизни у такихъ животныхъ въ строгомъ смыслѣ еще нѣтъ. У нихъ она тождественна съ двигательными отправленіями и притомъ чисто рефлекторнаго характера. Можно поэтому говорить о сегментной моторной психологіи. Реагируя на тотъ или другой виѣшній раздражитель, животное (червь) удаляется или приближается къ нему, а это совершается работою отдѣльныхъ сегментовъ, члениковъ его тѣла. Тѣло не имѣетъ общихъ



интересовъ, общей цѣли жизни; даже, защищаясь отъ нападающаго врага, животное реагируетъ только опредѣленнымъ секторомъ-сегментомъ; если послѣдній будетъ при этомъ разрушенъ, животное этого не замѣчаетъ.

Чувствительность протоплазмы и притомъ не только къ различнымъ космическимъ переменамъ, но также и къ другимъ внѣшнимъ процессамъ — впечатлительность тѣла археоктеническихъ организмовъ — ихъ поверхности и ихъ внутреннихъ органовъ продолжаетъ культивироваться еще и далѣе и притомъ тѣмъ совершеннѣе, что въ этотъ періодъ большую услугу животному оказываютъ уже тѣ нервныя клѣтки и волокна, которыя уже успѣли дифференцироваться въ его тѣлѣ. Не только они служатъ исполнительнымъ органомъ, вліяя на двигательную сферу, секрецію, кровообращеніе, трофику и т. д., но главное, воспитывается ихъ способность воспринимать разнообразныя легчайшія и тончайшія переменны въ окружающей средѣ. Большой прогрессъ замѣчается также въ развитіи железистой ткани.

Всѣ жизненные процессы у этихъ организмовъ текутъ подсознательно, потому что для сознаванія нѣтъ необходимыхъ нервныхъ центровъ.

Палеостриарный періодъ характеризуется дальнѣйшей эволюціей чувствительности протоплазмы, железъ и нервной системы. Представители этой эпохи имѣютъ уже не только периферическую нервную систему, но и спинной мозгъ; изъ этого послѣдняго наиболѣе энергичные элементы переселились въ оральномъ направленіи и создали бульбарные центры, а позже аналогъ базальныхъ ганглій. Сухопутная фауна этого періода не дошла до нашей эпохи, но достиженія палеостриарнаго строительства отчетливо видны на млекопитающихъ, которымъ *experiementi causa* отрѣзаны (Goltz, Munk, Ewald, Ferrier) большія полушарія, а оставлены лишь мозговой стволъ и отдѣлъ базальныхъ ганглій. На этихъ, такимъ образомъ оперированныхъ, животныхъ видно, что продолжительный палеостриарный періодъ создалъ уже спеціальныя органы чувствительности — слухъ, зрѣніе, равновѣсіе, вкусъ, осязаніе, организовалъ много сложныхъ рефлекторныхъ актовъ, въ которыхъ участвуютъ кожныя покровы, — волосы, — сосуды, железы, голосовыя струны, бронхіальныя мышцы и т. д. Эти сложные рефлекторныя движенія, возникающія во время борьбы и схватокъ съ противникомъ, появляющіяся во время страха, гнѣва, удовольствія, становятся вслѣдствіе частаго повторенія соматическимъ субстратомъ эмоцій. Синергетическою работою базальныхъ ганглій въ такихъ случаяхъ животное застываетъ отъ ужаса, падаетъ на землю отъ страха, окаменѣваетъ отъ изумленія, отъ восторга...

Тѣлесныя комплексы этихъ эмоцій обслуживаются



экстрапирамидальнымъ аппаратомъ, управляющимъ мускулатурой, вазомоторами, секреторными центрами въ базальныхъ сегментахъ. Такимъ образомъ палеостріарный періодъ знаменуется первыми ступенями въ развитіи чувства — эмоцій, приче́мъ центромъ таковыхъ является *Dienserhalon*. Насколько это именно такъ, видно на упомянутыхъ экспериментированныхъ животныхъ — собакъ и обезьянъ, которыя и послѣ удаленія большихъ полушарій все же сохранили элементарныя эмоціи страха, гнѣва, и въ то же время они могутъ видѣть, слышать, осязать, имѣють вкусъ, чувствуютъ голодь и жажду. То-же самое видно на людяхъ, у которыхъ разрушены полушарія какимъ либо болѣзненнымъ процессомъ или помощью медикаментовъ (алкоголь, бромиды) парализована дѣятельность большихъ полушарій. Благодаря наличію зачатковъ чувствъ — представители палеостріарной эпохи животнаго царства изъ другихъ формъ психической жизни имѣють уже нѣкоторую инициативу, которая въ дальнѣйшей стадіи становится еще большей, уже сознательной, т. е. имѣющей отдаленныя цѣли. Имѣется уже нѣкоторый примитивный интеллектъ, такъ какъ существуютъ перцепціи и возможна извѣстная память, но недостаетъ воображенія, отсутствуетъ констелляція представлений, нѣтъ силлогизмовъ, нѣтъ логическаго мышленія.

Волевыя проявленія существуютъ, но лишь въ формѣ порывовъ; они базируются только на аффектъ. Нѣтъ долго длящихся волевыхъ стремленій. Воля на этихъ степеняхъ развитія нервныхъ центровъ легко внушаема. Такъ какъ слишкомъ интеллектъ примитивенъ и потому не можетъ дать директиву волевымъ импульсамъ, то палеостріарные организмы повинуются чужой волѣ, приказаніямъ, грубому удару, крику, брани (дрессура животныхъ построена на уступчивости этихъ центровъ). Примѣры этой палеостріарной психики можно видѣть надъ людьми съ органическимъ заболѣваніемъ большихъ полушарій, выключенныхъ по своему болѣзненному состоянію изъ психо-механики даннаго субъекта.

Существеннѣйшимъ приобрѣтеніемъ палеостріарныхъ организацій является развитіе чувственнаго тона воспринимаемыхъ ощущеній, возникновеніе эмоцій. Съ другой стороны, всѣ достиженія предыдущихъ періодовъ, — особенно чувствительность протоплазмы, дифференцированная къ различнымъ тончайшимъ раздраженіямъ, не заглушается, не потухаетъ, но культивируется еще и дальше: появляются спеціальныя органы чувствъ и т. д., которые воспринимаютъ не только сравнительно грубыя внѣшнія переменныя, но кромѣ того реагируютъ на множество тончайшихъ, мало замѣтныхъ явленій въ природѣ; на ряду съ этими органами воспріятій функці-



онируютъ и усовершенствуются и другія приспособленія для улавливанія другихъ тончайшихъ внѣшнихъ процессовъ.

Что касается механизма эмоцій, то таковой, будучи фиксированъ въ палеостріарныхъ центрахъ, совершенствуется и далѣе и въ такой локализациіи передается въ неоцефалическую эпоху. Синергизмы радости, веселья, тоски, горя — передаются человѣку уже въ готовомъ видѣ.

Неоцефалическая эпоха характеризуется появленіемъ большихъ полушарій, въ которыхъ сосредоточивается высшее сознаніе, работа абстракцій, весь механизмъ мышленія и аппаратъ рѣчи; за базальными же гангліями остается, какъ сказано, весь механизмъ эмоцій въ формѣ движенія кожного покрова, сосудовъ, расширенія зрачковъ, секрецій железъ, измѣненія тонуса мускулатуры и т. д.

Точно также дифференцированная чувствительность протоплазмы, унаслѣдованная имъ отъ монического періода, сохранила у человѣка всю свою полезную силу и помогаетъ ему также, какъ и другимъ животнымъ подсознательно совершать многіе отвѣтственные поступки безъ большихъ ошибокъ тамъ, гдѣ его сознаніе не получаетъ указаній отъ высшихъ органовъ чувствъ.

Представитель неоцефалической эпохи — человѣкъ, хотя и обладаетъ совершеннѣйшимъ мозгомъ — аппаратомъ для душевныхъ функцій, для отправленій ума, чувства и воли — все же подчиненъ тѣмъ же законамъ природы, которые господствовали въ предшествующую эпоху, т. е. въ палеостріарномъ и въ археоктоническомъ періодѣ и даже тогда, когда еще нервная система не существовала, т. е. въ монической стадіи животнаго царства. Подобно тому какъ въ этотъ послѣдній отдаленный періодъ первичные организмы жили, подчиняясь законамъ изохименъ, изотеровъ и другихъ космическихъ условій, точно также и совершеннѣйшій человѣкъ чувствуетъ зависимость своего существованія отъ этихъ же послѣднихъ — отъ времени года, направленія вѣтра, тепла и холода, влаги и суши и т. д. Если онъ умѣетъ бороться съ этими явленіями природы, если ему удастся сохранять свое первенствующее положеніе въ мірѣ, то въ этомъ онъ обязанъ моническому, археоктоническому и палеостріарному періоду, которые выработали чувствительную протоплазму, разнообразныя железы, кровеносную систему и т. д. и передали ему въ наслѣдство.

Въ неоцефалическую эпоху въ представителѣ ея, въ человѣкѣ пріобрѣтаютъ огромное значеніе во всѣхъ отправленіяхъ его нервной системы тѣ тайные соки, которые выдѣляются различными тканями его тѣла и притомъ въ различной мѣрѣ, различномъ количествѣ и концентраціи, смотря по времени года, потребности момента, подъ вліяніемъ внѣшнихъ или



внутреннихъ факторовъ. Эти соки челоѣкъ унаслѣдоваль отъ монады, улитокъ, червей, рыбъ, которые оказываютъ или непосредственное вліяніе на ткани тѣла, или черезъ посредство кровеносныхъ путей или нервной системы. Эти тайные соки называются гормонами. Эти первые, а потому и старѣйшіе и могущественнѣйшіе активаторы жизненныхъ отправленій начали свою дѣятельность въ моническую эпоху. Ихъ создали монады въ борьбѣ за существованіе. Въ началѣ эти соки имѣли весьма примитивный элементарный составъ, дѣйствуя на протоплазму клѣтки своей щелочной или кислой или нейтральной реакціей и т. д. Отъ первыхъ двухъ протоплазма монады сжималась или расширялась и двигалась — отъ нейтральной реакціи возвращалась на прежнее мѣсто. Постепенно гормоны приобрѣтали болѣе сложный біохимическій составъ, а районъ ихъ дѣятельности расширился. Въ періодъ клѣточныхъ колоній были созданы уже спеціальныя каналы въ тѣлѣ, превратившіеся впоследствии въ кровеносныя сосуды, и въ то же время увеличились количественно и качественно гормоны. Съ увеличеніемъ тѣла животнаго кровеносная система не могла удовлетворить большой быстротѣ передвиженія гормоновъ, а потому въ помощь кровеносной системѣ дифференцировалась нервная система, которая начала дѣйствовать не только въ согласіи съ гормонами, но съ соизволенія ихъ и подъ ихъ авторитетомъ.

Starling назвалъ гормонами тѣ особые соки или секреты, которые, вырабатываясь различными тканями, не удаляются изъ послѣднихъ наружу, но, напротивъ, задерживаются въ организмѣ, причемъ данный сокъ или секретъ, свойственный извѣстному органу, не имѣетъ опредѣленнаго или видимаго пути, по которому онъ циркулируетъ внутри организма, но пользуется при этомъ неизвѣстными тайными ходами, почему и называется внутреннимъ или тайнымъ секретомъ.

Эти біологически весьма дѣятельные соки внутренней секреціи вырабатываются въ животномъ организмѣ съ того момента, какъ только сложится и достигнетъ извѣстнаго возраста и развитія данная ткань или опредѣленный органъ. Нѣкоторые изъ этихъ послѣднихъ начинаютъ сецернировать свое отдѣляемое еще въ періодъ внутри - утробной жизни, когда организмъ нельзя разсматривать, какъ нѣчто способное къ самостоятельной жизни, другіе — оправдываютъ свое назначеніе гораздо позже. Къ числу первыхъ можно, напр., отнести надпочечныя железы; къ числу вторыхъ — сѣменные железы, достигающія своего развитія въ эпоху юности. Періодъ увяданія организма, одряхлѣнія тканей и гибели железъ влечетъ за собою утрату многихъ внутреннихъ секретовъ и притомъ не всѣхъ оновременно, а лишь нѣкоторыхъ, въ послѣдовательной градаціи и съ извѣстнымъ выборомъ.



Каждый изъ циркулирующихъ внутри организма секретовъ представляетъ собой химическое вещество очень сложной или трудно опредѣлимой структуры, имѣющее определенное вліяніе на одинъ или нѣсколько органовъ или тканей тѣла. Это вліяніе — различной степени, въ зависимости не только отъ того органа, на который дѣйствуетъ данный секретъ, но также и отъ другихъ секретовъ, дѣйствующихъ одновременно на тотъ же органъ или въ смыслѣ возбужденія его къ дѣятельности, или, напротивъ, тормозя его функціи.

Каждый изъ циркулирующихъ въ крови тайныхъ секретовъ является или возбудителемъ даннаго органа, — будетъ ли это нервная ткань или железа, или какой либо другой органъ, все равно, — или, напротивъ, подобный гормонъ тормозитъ функцію тѣхъ же образований. Это вліяніе развивается или непосредственно и прямымъ дѣйствіемъ даннаго секрета или оно происходитъ окольнымъ путемъ, — воздѣйствіемъ предварительнымъ даннаго гормона на другой какой либо органъ или ткань, секретъ котораго имѣетъ тормозящее или возбуждающее отношеніе къ стимулируемому органу.

Тормозящій или возбуждающій эффектъ зависитъ при этомъ отъ степени концентраціи гормона и его силы, причемъ слабая концентрація и небольшая энергія влекутъ за собою возбужденіе данной ткани или даннаго органа; напротивъ, слишкомъ большая концентрація и большое напряженіе его силы, заходящія за нормальные предѣлы, — сопровождаются тормозящимъ эффектомъ. Тормозящій эффектъ отъ даннаго гормона можетъ получиться и тогда, если его вліяніемъ пробудится къ дѣятельности гормонъ, имѣющій свойство ему противоположное, т. е. его антагонистъ.

Такъ какъ органовъ и тканей въ организмѣ очень много и каждый изъ нихъ обладаетъ внутренней секреціей, то въ живомъ тѣлѣ постоянно циркулируетъ множество различныхъ химическихъ агентовъ, соперничающихъ другъ съ другомъ, взаимно уничтожающихъ или поддерживающихъ одинъ другого и эта борьба различныхъ химическихъ системъ продолжается все время въ организмѣ также и тогда, когда наступитъ извѣстное железистое равновѣсіе. Это равновѣсіе сказывается въ томъ, что каждый органъ, железа или ткань развиваются не нарушая условій существованія своихъ близкихъ или удаленныхъ сосѣдей, секретъ которыхъ даетъ толчекъ къ жизни, — развитію и функціи того или другого органа или механизма, начиная отъ самыхъ простѣйшихъ до самыхъ сложныхъ, включая сюда самыя тончайшія проявленія и нашей психической жизни.

Благодаря наличію этихъ секретовъ организмъ превращается въ арену для борьбы различныхъ біо-химическихъ



тѣль, гдѣ реакціи выражаются той или другой мутаціей, т. е. органической или функціональной перемѣной въ организмѣ. Въ этой сложной борьбѣ соковъ организмъ, въ которомъ это происходитъ, не остается безучастнымъ зрителемъ, напротивъ, онъ и самъ принимаетъ участіе въ ней, а въ результатѣ въ немъ развиваются процессы усовершенствованія и соматическаго и психическаго. Если же однако железистое равновѣсіе нарушается и беретъ перевѣсъ въ организмѣ та или другая ткань гесп. тотъ или другой гормонъ, — прерывается путь къ преуспѣянію и въ зависимости отъ того, какому органу гесп. какому секрету удалось одержать верхъ, создаются тѣ или другія аномаліи функцій тѣла, строительной энергіи и — самое главное — психическихъ отправленій. Иногда это послѣднее можетъ развиваться мгновенно. Организмъ слѣдовательно содержитъ въ себѣ стимулы, — биохимическіе импульсы, — руководящіе его душевною и тѣлесною личностью.

Отъ подбора и количества железъ и ихъ секретовъ зависитъ самостоятельная жизнь индивидуума, его творчество и его поведеніе.

Въ нашемъ организмѣ есть железы, секретъ которыхъ стимулируетъ симпатическую нервную систему, напр. *Gland. suprarenalis*, *thyreoidea*, *hypophysis cerebri* и т. д.; есть другія железы, вліяющія на міелиновую систему, куда напр. относятся *pancreas*, *parathyreoidea* и т. д. Такъ какъ симпатическая нервная система обслуживаетъ больше соматическую личность, а міелиновая — умственную и соціальную, то ясно значеніе различныхъ железъ для усовершенствованія чело-вѣка на различныхъ поприщахъ его земной жизни.

Количество и качество гормоновъ, сецернируемое отдельными железами или тканями тѣла, неопредѣленно. Можно думать, что каждая железа можетъ производить нѣсколько гормоновъ. *Gl. thyreoidea* напр, сецернируетъ не только симпатико-тонизирующіе гормоны, но и таковыя, вліяющіе на міелиновую систему, вотъ почему при атрофіи этой железы прекращаются психическія функціи, при гипертрофіи же той же железы наблюдается возбужденіе душевныхъ отправленій. То-же самое замѣчено въ отношеніи печени, *pancreas*.

Предполагается, что гормоны дѣйствуютъ на подчиненныя имъ ткани черезъ посредство нервныхъ центровъ, или вообще нервныхъ проводниковъ. Все же, однако, нельзя исключить возможности непосредственнаго вліянія на ткани и при томъ именно на близъ-лежащія. Это предположеніе базируется на томъ основаніи, что гормоны научились вліять непосредственно на близъ-лежащую протоплазму еще въ мо-нической стадіи, т. е. до появленія нервной системы.

Въ біологіи имѣется много доказательствъ тому, что



гормоны готовят поле для дѣятельности нервныхъ механизмовъ, безъ чего тотъ или другой актъ не могъ бы и состояться.

О мѣщи гормоновъ въ отношеніи нервной системы можно судить, напр. изъ слѣдующаго факта. По наблюденіямъ Alessandrini, Cherny, Leri, Lomer, Massone, Wiesel, Anders миелиновая обкладка нервныхъ волоконъ создается благодаря присутствію въ крови холина — гормона, выдѣляемаго надпочечниками. Если надпочечникъ перенесъ какое либо заболѣваніе до рожденія ребенка и благодаря этому гормонъ — холинъ — выработался въ незначительной концентраціи или вовсе отсутствуетъ, то отсутствуетъ и мозгъ, такъ какъ голые осевые цилиндры существовать не могутъ безъ миелиновой обкладки и скоро погибаютъ.

Гормоны, вырабатываемые *glan. thyreoidea*, регулируютъ размѣры черепа, насколько послѣдній развивается изъ хрящей, но не касаются крышки, создаваемой соединительной тканью (Окинчичъ, Соколовъ).

Potts описалъ форму заболѣванія нѣкоторой породы морскихъ раковъ и при томъ именно самцовъ, которые подъ вліяніемъ даннаго страданія теряли внѣшніе признаки мужского пола, а пріобрѣтали женскія формы. Эта метаморфоза въ тѣлѣ заболѣвшаго рака зависѣла, какъ оказалось, при тщательномъ изученіи вопроса, отъ внѣдренія въ тѣло этихъ раковъ особыхъ малыхъ паразитовъ, которые поселялись въ сѣменныхъ железахъ животнаго, уничтожали эти железы, сами же, живя соками своего хозяина, отдавали свои половые секреты въ тѣло паразитируемаго рака. Тѣло послѣдняго принимало такимъ образомъ сексуальные гормоны своихъ паразитовъ, которые метаморфизировали внѣшность зараженнаго рака. Почему же эти послѣдніе теряли свои мужскіе признаки, а принимали женскіе? Оказалось, что это случилось лишь съ тѣми больными особями, гдѣ паразитъ былъ женскаго пола; если же гормоны происходили отъ паразита-самца, то внѣшность больного рака не мѣнялась.

Гормоны сексуальныхъ железъ, называемые для краткости генолями, вліяютъ на трофическія отправленія нервной системы. У самки тритона вырастаетъ, напр., гребень — типичный признакъ самца, — если ей имплантировать сѣмянные железы самца. Въ эпоху продукціи генолей у самцовъ-лягушекъ появляются бородавки, пузыри и мозоли на пальцахъ переднихъ лапъ для удержанія самки. Доказательствомъ того, что эти новообразованія на кожѣ являются продуктомъ дѣятельности гормоновъ и при томъ именно генолей, — служитъ то обстоятельство, что кастрація самца въ періодъ продукціи гормоновъ останавливаетъ развитіе этихъ кожныхъ придатковъ, а, если продукція еще не началась, то съ удаленіемъ



сѣменныхъ железъ, больше не появляется. Авторами было установлено дальше, что вліяніе генолей имѣетъ нейротрофическій характеръ, т. е. оно распространяется черезъ посредство нервной системы. Если у такихъ самцовъ перерѣзать корешки шейныхъ сплетеній, то упомянутые кожные придатки развиваются обратно, если уже были, или вовсе не развиваются, если операція была совершена до или въ началѣ сперматогенеза. Значитъ вліяніе гормоновъ ограничивается опредѣленнымъ сегментомъ спинного мозга.

Сексуальные гормоны способствуютъ ускоренію окостенѣнія хрящей и задерживаютъ так. обр. ростъ костей. Если какая либо болѣзнь задерживаетъ развитіе сѣменныхъ железъ, кости растутъ неудержимо далѣе.

Тѣ же генолы защищаютъ лицо женщины отъ появленія растительности. При уничтоженіи яичниковъ (опухоли) у дѣвочки 6 лѣтъ выросли усы и борода (Рейнъ). У женщины послѣ тяжелыхъ родовъ, сопровождавшихся уничтоженіемъ яичниковъ, выросла борода (Писемскій).

Тѣ же генолы вліяютъ на костный мозгъ и такимъ путемъ на составъ крови. Дѣйствіе нейротрофическое и притомъ на опредѣленные секторы тѣла объясняется вліяніемъ гормоновъ на извѣстные сегменты спинного мозга.

Но, у генолей есть антагонисты, съ которыми все время идетъ борьба. Этимъ объясняется, что во время беременности, когда прекращается секреція гинеколой, увеличивается *hypophysis cerebri*, который состоитъ въ коррелации, но является и антагонистомъ. Съ другой стороны, если у новорожденнаго разрушить *hypophysis cerebri*, то исчезаютъ и яичникъ, и матка.

Тѣ же гормоны дѣйствуютъ не только на спинной мозгъ, но развиваютъ свое дѣйствіе и на болѣе высокіе отдѣлы нервной системы, напр. на базальныя ганглии, а такъ какъ эти послѣднія являются центральнымъ узломъ различныхъ сложныхъ синергизмовъ, отвѣчающихъ той или другой эмоціи, то гормоны оказываются хозяевами нашихъ эмоцій — гнѣва, любви, страха, неопредѣленныхъ стремленій. Господствующая роль гормоновъ въ этомъ отношеніи совершенно упрочилась еще въ палеостріарную эпоху, т. е. въ тотъ періодъ, когда ростъ нервной системы остановился на высотѣ базальныхъ ганглий и далѣе не шелъ. Такъ какъ гормоны, какъ старѣйшіе активаторы, установили свое вліяніе на тѣло животнаго еще въ эпоху монады, а затѣмъ все время расширяли таковыя вліянія и на каждый новый нервный сегментъ, ядро или узелъ, а въ томъ числѣ и на базальныя ганглии, такъ какъ палеостріарныя животныя выработали сложные рефлекторные эмоціональные синергизмы, то гормоны, овладѣвъ всѣми этими уже готовыми механизмами,



сами начали ихъ вызывать, а предоставили базальнымъ гангліямъ оцѣнивать тотъ чувствительный тонъ, который соответствуетъ каждому изъ этихъ сложно-рефлекторныхъ актовъ.

Такъ создались наши эмоціи и установилась ихъ локалізація въ палеостріарныхъ центрахъ. Cannon доказалъ, что базальныя гангліи даютъ динамическій матеріаль, необходимый для того, чтобы осуществилась та или другая эмоція и притомъ помощью гормоновъ. Эмоція не состоится, если не будетъ напряженія мышцъ, если не получится гигантскаго нарастанія силы, если не расширятся или не сузятся сосуды, не измѣнится дыханіе и ритмъ сердца, если не появятся слезы, если не исчезнетъ слюна во рту, не увеличится секреція желудочнаго сока и т. д. Все это могутъ осуществить только базальныя гангліи и притомъ съ поразительной мгновенной быстротой. По наблюденіямъ Cannon'a при всѣхъ эмоціяхъ наступаетъ раздраженіе центровъ симпатической нервной системы въ *Diencephalon*, благодаря чему выдѣляется адреналинъ, мобилируется сахаръ въ печени, появляется избытокъ гликогена въ крови, возникаетъ тахикардія, повышение внутри-сосудистаго давленія, увеличеніе количества красныхъ шариковъ, торможеніе секреціи желудка. Но въ то же время, благодаря гипергликеміи субъектъ, можетъ развить колоссальную силу (въ гнѣвѣ, напимѣрѣ). Съ другой стороны, если запасовъ гликогена нѣтъ въ организмѣ, то наступаетъ параличъ мускулатуры отъ той же эмоціи (при страхѣ напр.). Что такіе тонкіе химизмы, какъ гормоны, могутъ вызвать эмоціи видно изъ опытовъ того же Cannon'a съ вприскиваніемъ адреналина, а у Maganсі съ вприскиваніемъ вытяжки изъ надпочечника. Dattner убѣдился, что эмоція страха вызвана очевидно какимъ-то гормономъ, — химизмъ котораго нейтрализуется іодомъ, вслѣдствіе чего страхъ прекращается отъ вприскиванія іода (окислительный процессъ). Libesny получилъ то же самое.

Suiffi-Pende экспериментировалъ надъ очень дикими, злыми, нелюдимыми крысами, которыя бросались другъ на друга, кусали и загрызали другъ друга до смерти. Эти крысы рѣзко мѣняли свою психику, когда у нихъ экстирпировали надпочечники: изъ злыхъ онѣ дѣлались мирными, покойными.

Огромную роль въ регуляціи чувствъ (черезъ посредство тѣхъ же базальныхъ ганглій, какъ показываютъ даже изслѣдованія подъ микроскопомъ мозга экспериментируемыхъ животныхъ) играютъ гормоны печени. Смотря по концентраціи ихъ — наблюдается 2 комплекса явленій: или гормоны печени ускоряютъ дыханіе, пульсъ, повышаютъ кровяное давленіе или — при меньшей концентраціи — замедляются пульсъ и



дыханіе, наступаєть суженіе периферическихъ сосудовъ: въ первомъ случаѣ настроеніе челоуѣка отвѣчаетъ эвфоріи, во второмъ — депресіи.

При заболѣваніи печени мѣняется концентрація печеночныхъ гормоновъ, а въ результатѣ получается пессимистическое, раздраженное настроеніе.

При страданіи легкаго, ткань котораго также сецернируетъ спеціальныя гормоны, увеличивается секреція гормоновъ какой-то железистой системы, стоящей въ антагонизмѣ съ легкими, въ результатѣ чего у больного поднимается настроеніе духа, ассоціаціи пріобрѣтають оптимистическій характеръ.

Такое же значеніе имѣють гормоны щитовидной железы, при повышенной концентраціи которыхъ увеличивается оксидация въ тѣлѣ, ускоряется пульсъ, мѣняется секреція желудка, пота и т. д., а въ результатѣ рѣзкое колебаніе душевнаго настроенія.

Съ теченіемъ времени, еще въ палеостріарную эпоху, съ одной стороны развились и укрѣпились различныя біохимическія активаторы, возбуждающіе въ каждомъ данномъ случаѣ особое движеніе сосудовъ, кожи, волосъ, мускулатуры, секреціи пота, слезъ, слюны и т. д., а съ другой — особый различный, смотря по характеру рефлекторнаго синергизма, чувствительный тонъ боли, радости и т. д. и все это, унаслѣдованное отъ предковъ, въ готовомъ видѣ перешло къ современному челоуѣку.

Такъ какъ палеостріарныя центры лишены мыслительной способности, — ориентировки, логическаго заключенія, то субъектъ во время эмоцій, т. е. въ періодъ активации гормонами этихъ центровъ, иногда можетъ не понимать того, что съ нимъ происходитъ. Въ такихъ случаяхъ онъ будетъ испытывать безпредѣльный страхъ, неопредѣленное инициативное стремленіе, тоску или веселье безъ объяснимой причины и т. д. Однако же, по мѣрѣ накопленія опыта, онъ научается оцѣнивать отдѣльныя проявленія упомянутыхъ палеостріарныхъ синергизмовъ и съ каждымъ таковымъ начинаетъ связывать опредѣленный чувствительный тонъ. Джемсъ говоритъ, что намъ весело потому, что мы смѣемся (синергизмъ не только мышцъ лица, но и кровеносной системы, бронховъ, висцеральныхъ органовъ).

Дарвинъ объяснялъ гнѣвъ сознаниемъ напряженія жевательной мускулатуры (механизмъ которой заимствуемъ у хищныхъ животныхъ). Для того, чтобы притти въ гнѣвъ, нужно слѣдовательно сократить жевательныя мышцы, напречь мускулатуру конечностей, задержать дыханіе и т. д.

Согласно Luiss'у намъ страшно, потому что глаза вышли изъ орбитъ. Наши тѣлесныя реакціи, оцѣниваемыя такимъ образомъ, превращаются въ эмоціи или чувства.



Есть цѣлая система железъ, играющихъ роль возбуди- теля той или другой душевной реакціи — эмоціи, имѣющихъ хемотаксическую — нейротрофическую тенденцію къ базаль- нымъ гангліямъ. Согласно Lange, эмоція горя напр. вызыва- ется гормонами слезныхъ железъ. Вотъ почему, если „горе сухое“, гдѣ, слѣдовательно, продуктъ слезныхъ железъ не покидаетъ тѣло, — ощущеніе очень тягостно; напряженіе тоски, однако, тотчасъ уменьшается, какъ только человѣкъ начинаетъ плакать и гормоны слезъ, слѣдовательно, хотя и поступаютъ въ тѣло, но въ меньшей концентраціи. Сердце также вырабатываетъ какіе-то гормоны, играющіе большую роль въ чувственной жизни человѣка. Въ одномъ случаѣ на- ступаетъ при сердцебіеніи ощущеніе чего-то жуткаго; въ другихъ — радости, веселья, счастья. Авторы предполага- ютъ, что въ первомъ случаѣ сердечный гормонъ имѣетъ не- достаточную концентрацію (а потому *cardiaca* улучшаютъ самочувствіе), а во второмъ — напротивъ, большая концен- трація даетъ эмоцію блаженства. Спортсмены не подозрѣва- ютъ, что, совершая большія прогулки, они заставляютъ свою мускулатуру вырабатывать особые гормоны, поднимающіе душевный тонусъ, дающіе имъ эмоцію наслажденія. Чѣмъ сильнѣе человѣкъ долженъ напрягать свои мышцы, тѣмъ больше концентрація гормоновъ и тѣмъ выше удовольствіе; напротивъ, душевный подъемъ слабѣе, если напряженіе му- скулатуры небольшое.

Изученіе механизма чувства человѣка приводитъ къ убѣжденію, что наше настроеніе — рефлекторный актъ, меха- низмъ котораго обслуживается сложной рефлекторной дугой. Неизвѣстные внѣшніе или можетъ быть внутренніе висце- ральные агенты, дѣйствуя на систему нашихъ эмоціональ- ныхъ железъ и тканей, вызываютъ потокъ гормоновъ, кото- рый, доходя до секреторныхъ и другихъ палеостріарныхъ цен- тровъ, вызываетъ тамъ къ дѣятельности сосудисто-мышечно- железисто-секреторный синергизмъ, оцѣнка котораго даетъ настроеніе радости, тоски, веселья, гнѣва или вообще того или другого чувства.

Съ этой точки зрѣнія, такъ наз. тупость чувства, на- блюдаемая при нѣкоторыхъ болѣзняхъ или конституціяхъ, есть лишь отсутствіе реакціи въ данной эмоціональной же- лезистой системѣ или вслѣдствіе заболѣванія самихъ железъ этой системы или только тѣхъ отдѣловъ чувствительной протоплазмы или нервной системы, которые участвуютъ въ проведеніи внѣшнихъ раздраженій до этихъ железъ.

Ранѣе предполагалось, что безразличное, апатичное со- стояніе больныхъ, страдающихъ раннимъ слабоуміемъ (*dementia praecox*), есть слѣдствіе перерожденія мозга, — въ настоящее же время выяснилось, что у этихъ больныхъ



повреждена упомянутая сложная рефлекторная эмоциональная дуга и притомъ въ своей начальной центрипетальной части и потому отсутствует работа железъ эмоциональной системы. Тщательныя клиническія и гистологическія изслѣдованія показали, именно, что кожа подобныхъ больныхъ утратила нормальную чувствительность, что извѣстныя чувствительныя окончанія нервовъ въ кожѣ атрофированы, а потому дистальная часть центрипетальнаго бедра эмоциональной рефлекторной дуги, долженствующая возбуждать секреторные центры, — не функционируетъ.

Не только кожа съ ея чувствительной протоплазмой, но и органы чувствъ могутъ служить такой рефлекторной дугой, въ которую, между прочимъ, они входятъ какъ составная часть. Виссано имѣлъ возможность экспериментально установить эмоциональную рефлекторную дугу, дистальное бедро которой начинается въ ухѣ. Раздражая *N. cochlearis* сильными ударами гонга или колокола, Виссано вызвалъ у экспериментируемыхъ животныхъ измѣненіе настроенія духа, появленіе мимики печали, эмоціи тоски и т. д. На вскрытіи такихъ животныхъ обнаруживалась остро развившаяся атрофія сѣменныхъ железъ. Авторъ считаетъ, что депрессивная эмоція въ его опытахъ есть слѣдствіе недостатка гормоновъ, исчезнувшихъ вслѣдствіе гибели упомянутыхъ железъ. Последнее же произошло какъ результатъ поврежденія дистальнаго чувствительнаго аппарата (*N. cochlearis*) эмоциональной рефлекторной дуги (этимъ можетъ быть объясняется непріятное настроеніе человѣка при какофоніи и благодатное расположение при тишинѣ, сексуальное возбужденіе у нѣкоторыхъ людей при мелодичной музыкѣ).

Сені произвелъ аналогичный экспериментъ на птицахъ, а именно на пѣтухахъ, выжигая имъ глаза. Черезъ пять дней послѣ этой операціи, пѣніе пѣтуха, которое стимулируется (настроеніемъ духа) изъ базальныхъ ганглій — прекращалось. На вскрытіи обнаружилась атрофія сѣменныхъ железъ экспериментированной птицы.

Въ этихъ обоихъ случаяхъ уничтоженіе дистальныхъ частей эмоциональной дуги прекратило трофическое вліяніе базальныхъ центровъ (*gl. pinealis, hypophysis cerebri, tuber seminale* и т. д.) на сѣменные железы, чѣмъ и объясняется депрессивное настроеніе — духа.

Иногда раздраженіе дистальнаго воспріемника можетъ вызвать истощеніе проксимальнаго аппарата или неправильное переключеніе импульсовъ, вслѣдствіе чего въ возбужденіе придутъ другіе центры по сосѣдству или даже удаленные или нѣсколько таковыхъ одновременно. Итальянскіе авторы думаютъ поэтому, что сильное раздраженіе, наносимое на поверхности тѣла человѣка (даже до боли), можетъ переда-



ваться на такую рефлекторную эмоциональную дугу, которая возбудит синергизм нѣсколькихъ смежно-лежащихъ центровъ, въ результатѣ чего субъективно ощущаемая боль или видъ чужого страданія можетъ дать, какъ побочную эмоцію — чувство наслажденія. Этимъ можно напр. объяснить извращенное наслажденіе садистовъ, мазохистовъ, смѣхъ сквозь слезы, плачь отъ радости. Изъ этихъ изслѣдованій и другихъ аналогичныхъ опытовъ авторы выводятъ заключеніе, что настроеніе и эмоциональность человѣка есть слѣдствіе невидимой нѣжной или грубой работы раздражителей, которые, падая на периферическіе воспріемники, достигаютъ секреторныхъ центровъ и даютъ ту или другую концентрацію гормоновъ. Если раздраженіе будетъ обширно или слишкомъ интенсивно, то возбужденіе можетъ разлиться и на другіе синергизмы, обычно не участвующіе въ данной эмоціи, благодаря чему долженъ получиться парадоксальный эффектъ.

Согласно James, Lange, Сперанскаго и др., возникающіе отъ внѣшнихъ вліяній гормоны даютъ не только опредѣленныя эмоціи, но кромѣ того, могутъ вызвать рядъ подсознательныхъ инициативныхъ поступковъ, движеній. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ человѣкъ лишь повторяетъ тѣ механизмы, которые усвоили и примѣняютъ въ своей жизни примитивныя организмы. Эти послѣдніе именно развили въ себѣ особыя тонкіе способы ощущать происходящія внѣ ихъ тѣла переменны и реагировать на нихъ, а человѣкъ, унаслѣдовавъ отъ нихъ всѣ эти механизмы, пользуется ими, часто того самъ не замѣчая. Эта способность воспринимать тончайшія впечатлѣнія, совершенствуется и расширяется съ прогрессомъ животнаго царства. У монады эта способность воспринимать была направлена лишь на климатическія условія. Позднѣшіе представители животнаго царства выработали необычайное чутье къ особенностямъ внѣшней среды, легчайшую возможность воспринимать, ориентироваться, принимать необходимыя мѣры защиты для будущаго. Лягушка квакаетъ передъ дождемъ, птицы улетають на зиму на югъ, почтовые голуби находятъ свою станцію. Саламандра, въ зависимости отъ земной широты, или рождаетъ живыхъ дѣтенышей или кладетъ яйца и т. д.

Эти тончайшія, технически неизмѣримыя переменны въ окружающей средѣ достигаютъ и у человѣка до его чувствительной протоплазмы и до палеостриарной системы и возбуждаютъ въ послѣдней извѣстную реакцію, каковая и является инициативной реакціей базальныхъ центровъ. Человѣкъ, попадая въ новыя условія жизни, испытываетъ иногда какой то туманный неясный страхъ, неувѣренность, сомнѣнія, недо-



вольство, каковыя заставляютъ его (также подсознательно) уйти изъ данной квартиры, изъ даннаго общества, сдѣлать новое знакомство, переселиться въ другой климатъ, послѣ чего настроеніе, т. е. эмоція мѣняется.

Такъ какъ инициатива нашихъ дѣйствій связана съ эмоціями, такъ какъ изъ настроенія возникаетъ поведеніе, то, въ зависимости отъ системы эмоціональныхъ железъ, въ одномъ случаѣ поведеніе человѣка можетъ быть направлено ко благу ближняго, въ другомъ — напротивъ, въ ущербъ таковому, но въ свою собственную пользу. Въ первомъ случаѣ мы имѣемъ поведеніе альтруиста, во второмъ — эгоиста. Ближайшее изслѣдованіе этого вопроса показало именно, что железы, стоящія въ связи съ размноженіемъ рода, построенныя для цѣлей генетическихъ, настраиваютъ поведеніе человѣка въ альтруистическомъ смыслѣ. Напротивъ, железы, стоящія въ оппозиціи къ этому принципу, создаютъ въ человѣкѣ эгоистическія стремленія. Къ числу первыхъ относятся гормоны *testis*, *prostatae mammae*, *ovarii*, *gl. pinealis*. Ко вторымъ принадлежатъ *gl. thyreoidea*, *parathyreoidea*, *hypophysis cerebri*, *suprarenalis*. Сепі, производя удары молоткомъ по черепу животныхъ — вызывалъ у нихъ атрофію *gl. pinealis*, а въ то же время наблюдалъ гипертрофію *gl. thyreoidea*, *parathyreoidea*, *hypophysis cerebri et suprarenalis*. Съ одной стороны, въ этомъ опытѣ наступало прекращеніе сперматогенеза, — съ другой — увеличеніе концентраціи гормоновъ изъ упомянутыхъ гипертрофированныхъ железъ. Какъ слѣдствіе этихъ опытовъ, Сепі видѣлъ соматическія и психическія измѣненія у экспериментируемыхъ животныхъ. Соматически — ожирѣніе, утрата прежнихъ мимическихъ чертъ ласки, доброты, а съ другой — нетерпимость къ окружающей средѣ. Тотъ же комплексъ симптомовъ часто наблюдается и у человѣка послѣ случайной травмы мозга, гдѣ съ одной стороны разстраивается сексуальная сфера, а затѣмъ развиваются всякаго рода антисоціальныя симптомы эгоиста. Подобная же перемѣна въ поведеніи человѣка можетъ наступить не только вслѣдствіе физической травмы мозга, но и отъ такихъ психическихъ переживаній, которыя вліяютъ на вегетативные центры, торможеніе которыхъ дѣйствуетъ на обмѣнъ или возбуждаетъ человѣка въ генетическомъ или антигенетическомъ направленіи.

Можно считать, что *gl. thyreoidea*, *parathyreoidea*, *suprarenalis*, *hypophysis cerebri* вырабатываютъ гормоны, создающіе настроенія и инстинкты, направленные противъ расы. Напротивъ *testis*, *ovarium*, *gl. pinealis*, *prostata mammae* секретируютъ гормоны, направленные на пользу рода, на размноженіе таковаго, поднимаютъ стремленіе къ наслажденію, къ альтруизму. Вотъ почему въ первомъ случаѣ имѣется



злбное настроеніе, что характеризуетъ эгоиста, а во второмъ альтруиста. То же самое измѣненіе въ настроеніи и поведеніи чловѣка наблюдается и при разстройствѣ железъ, стоящихъ внѣ сексуальной сферы. Такъ напр., при страданіяхъ печени возникаетъ пессимистическое настроеніе, враждебное отношеніе къ окружающему, забота лишь о самомъ себѣ, какъ это наблюдается у эгоистовъ. То же самое наблюдается при нѣкоторыхъ видахъ зоба у горныхъ жителей, при атрофіи простаты, при склеродерміи (когда погибаетъ масса эмоціональныхъ рефлекторныхъ дугъ).

Съ настроеніемъ чловѣка, съ его поведеніемъ связана его мораль, подчиненіе чловѣка признаннымъ законамъ нравственности, принципамъ христіанской религіи, въ частности стремленіямъ альтруизма. Если во время войны, революціи, гражданской войны искусственно прекращаются дѣйствія альтруистическихъ началъ и христіанскихъ принциповъ, то съ другой стороны въ мирное гражданское время наше поведеніе (мораль, по Спенсеру, есть поведеніе чловѣка) диктуется дѣятельностью нашихъ эмоціональныхъ железъ.

Если преобладаютъ концентраціи секретовъ генетическихъ железъ — поведеніе чловѣка альтруистическое, если же напротивъ — антигенетическіе гормоны берутъ верхъ, то выступаетъ поведеніе антисоціальное — эгоистическое. Въ первомъ случаѣ — типъ уравновѣшеннаго гражданина, во второмъ — преступный міръ. Если при большой концентраціи антигенистовъ возникаетъ неправильное сочетаніе въ секреціи генетическихъ гормоновъ, напр. повышенная концентрація андролей, то поведеніе чловѣка, направляемое такою равнодѣйствующей, уклонится отъ прямой морали и субъектъ становится преступникомъ и притомъ съ сексуальной окраской своихъ злодѣяній (садисты, насильники...).

Эти соображенія наводятъ на мысль, что кастрація преступниковъ, хотя и гарантируетъ государству невозможность передачи по наслѣдству преступныхъ инстинктовъ кастрируемаго, но самъ кастратъ не излечивается отъ своихъ аморальныхъ гормоновъ; слѣдовало бы одновременно подвергнуть такого субъекта еще и рентгено-терапіи *gl. thyreoidea et parathyreoidea*, *hypophysis cerebri* и т. о. уменьшить секрецію этихъ антигенетическихъ органовъ и содѣйствовать уменьшенію эгоистическихъ настроеній.

Поведеніе чловѣка, его моральныя основы различны, — въ зависимости отъ возраста его, а каждому возрасту отвѣчаетъ опредѣленный активный комплексъ железъ. Въ юности, когда созрѣвающія железы даютъ особенно энергичные гормоны и въ борьбѣ между отдѣльными видами одолаживаютъ генолы, — наблюдается больше преступности.



Наше поведеніе можетъ быть ни моральнымъ, ни анти-соціальнымъ и притомъ именно тогда, когда въ человѣкѣ развито чувство долга. Изученіе этого вопроса показываетъ, что это послѣднее зависитъ отъ извѣстнаго подбора гормоновъ, гдѣ генолы не играютъ большой роли; во-вторыхъ, сознание долга исключаетъ вмѣшательство большихъ полушарій въ наше поведеніе, такъ какъ работа этихъ послѣднихъ критикой и анализомъ разрушаетъ стойкость дисциплины.

Значеніе большихъ полушарій и гормоновъ, особенно генолей въ вопросѣ долга видно на тѣхъ атавистическихъ человѣческихъ индивидуумахъ, гдѣ большія полушарія мало развиты, а концентрація гормоновъ, особенно геноловъ ничтожна. Эти люди, по нѣмецкой терминологіи *Beschränkte aber zuverlässige Leute*, — прекрасные не разсуждающіе исполнители долга. Къ этой же категоріи относятся кастраты. (Между поведеніемъ пчелы и таковымъ человѣка существуетъ разница, диктуемая отчасти уже тѣмъ обстоятельствомъ, что у бесполой пчелы нѣтъ геноловъ, но также нѣтъ и большихъ полушарій. Кругозоръ пчелы, благодаря этому крайне узокъ, ограниченъ и подчиненъ лишь вліянію гормоновъ пищеварительныхъ железъ. Пчела — сама долгъ).

Если у человѣка, вслѣдствіе какой либо міровой космической катастрофы, разстраивается эмоціональная железистая система, если вслѣдствіе этого колеблется концентрація и равнодѣйствующая гормоновъ, то мѣняется и мораль и сознание долга. Подъ вліяніемъ тяжелыхъ душевныхъ переживаній во время войны, революціи, голода и различныхъ эпидемій, тяжелыхъ физическихъ и психическихъ переживаній и лишеній мѣняется концентрація и равнодѣйствующая гормоновъ, а въ то же время и вслѣдствіе этого мѣняется и мораль. Мораль и чувство долга на морскомъ суднѣ — во время кораблекрушенія, во время путешествія въ пустынь, у солдатъ — во время боевъ и походовъ, — мѣняется, такъ какъ теряется та концентрація гормоновъ, съ которыми человѣкъ оперировалъ въ мирное время. Наблюденіе показываетъ, напр., что въ такія минуты пересыхаетъ во рту (прекращается выдѣленіе слюны), утрачивается чувство голода (разливается желчь), горькій вкусъ во рту, утрата чувства усталости (мобилизація гликогена), холодный потъ, упадокъ силъ и т. д. Всѣ эти явленія указываютъ на измѣненіе секреціи и вообще работы железъ.

---

Кромѣ гормоновъ, дѣйствующихъ на палеостріарные центры, имѣются таковыя, вліяніе которыхъ сказывается главнымъ образомъ на корѣ мозга, т. е. на томъ нервномъ аппа-



ратъ челоуѣка, который приспособленъ для высшихъ душевныхъ функцій — для мышленія.

Agnesse пришелъ къ убѣжденію, что внѣшнія раздраженія могутъ проникнуть до корковыхъ центровъ лишь при извѣстномъ составѣ соковъ resp. гормоновъ. Отъ концентраціи ихъ зависитъ и самый фактъ реакціи въ центрахъ и степень таковой, т. е. наша мысль.

Mochi утверждаетъ, что существуютъ гормоны психотропные, которые гематогенно, т. е. въ кровеносныхъ сосудахъ — по механизму растительнаго рефлекса, разливаются на опредѣленныхъ корковыхъ центрахъ и тѣмъ возбуждаютъ эти послѣдніе къ той или другой творческой работѣ. Эта работа не была бы возможна безъ активациіи этихъ гормоновъ. Посредствующей дѣятельностью этихъ гормоновъ, въ зависимости отъ ихъ состава и концентраціи, воспринимаются и оцѣниваются внѣшнія раздраженія различнымъ образомъ. Вотъ почему, въ зависимости отъ концентраціи и другихъ свойствъ гормоновъ, одни и тѣ же событія производятъ различныя впечатленія на разныхъ лицъ и оцѣниваются свидѣтелями различнымъ образомъ; вотъ откуда разнообразіе мнѣній объ одномъ и томъ же фактѣ или событіи у различныхъ людей, участниковъ какого либо ужаснаго происшествія, потрясшаго ихъ эмоціональную железистую систему и вызвавшего беспорядочный потокъ гормоновъ къ большимъ полушаріямъ.

Такъ какъ въ крови циркулируетъ всегда большое количество химическихъ біологическихъ агентовъ, которые могли бы стѣснять, угнетать или слишкомъ возбуждать кору большихъ полушарій, то въ отношеніи этихъ послѣднихъ существуютъ спеціальныя приспособленія — фильтры, дающіе возможность при обычныхъ условіяхъ обыденной жизни пропускать въ кору мозга лишь опредѣленные составы. Здѣсь именно развиваютъ свою избирательную фильтративную способность ретикуло-эндотеліальной системы, заложенной въ капиллярахъ мозга, въ *tunica arachnoidea et pia* и особенно въ *tela choroidea* (Monakov, Walter, Stern). Гормоны различныхъ железистыхъ системъ, пропускаемые съ большимъ выборомъ ретикуло-эндотеліальной системой и неирогліей къ головному мозгу, могутъ имѣть долгое время постоянно одинъ и тотъ же составъ и составляютъ поэтому базу, на которой текутъ легче всего лишь опредѣленные ассоціаціи. Такимъ образомъ создается опредѣленный складъ воззрѣній, мышленій, опредѣленная цѣль жизни и идеалы, міровоззрѣнія — монархическое, коммунистическое, мистическое и т. д.

По мнѣнію Stern коллоиды задерживаются стѣнками капилляровъ мозга, а кристаллоиды тканью *plexus choroideus*.



Повышеніе температуры и различные токсины мѣняютъ проходимость этихъ фильтровъ. Вотъ почему мѣняется умственная личность у алкоголиковъ, у морфинистовъ, кокаинистовъ, такъ какъ означенныя ткани мѣняютъ свою проходимость и, пропуская новые гормоны, препятствуютъ прохожденію прежнихъ.

Мышленіе, говоря популярно, — есть сочетаніе, связь отдѣльныхъ абстракцій, понятій, представленій, которыя, сопоставляясь, сцѣпляясь, корригируясь или распадаясь, даютъ опредѣленныя сужденія, выводы, заключенія. Эти послѣднія и являются цѣлью мышленія. Процессъ мышленія происходитъ съ постоянной помощью всевозможныхъ гормоновъ. Если мы разсѣяны, не расположены къ работѣ, — это значитъ, по мнѣнію Lange, что наши железы изсякли, что концентрація ихъ гормоновъ, ихъ напряженіе такъ слабо, что извѣстная тема — идея не можетъ овладѣть нашимъ сознаниемъ, что данная перцепція не можетъ проникнуть до корковыхъ центровъ. Причина этого слабого напряженія гормоновъ можетъ также отчасти лежать и въ наполненіи кортикальныхъ сосудовъ. Это можно заключить изъ того, что, принявъ какое либо возбуждающее средство, напр. глотокъ вина или чашку кофе, чая, человекъ способенъ сейчасъ же и дѣлѣ работать умственно. Что пониженное кровяное давленіе лишь отчасти можетъ поднять умственную работу и что послѣдняя зависитъ однако главнѣйшимъ образомъ отъ гормоновъ, можно заключить изъ того, что интеллектъ у кастратовъ падаетъ и не можетъ подняться отъ сердечныхъ средствъ. То же самое видно при атрофіи щитовидной железы, при заболѣваніи *hypophysis cerebri*, *pancreas*, печени... Съ уменьшеніемъ напряженія и концентраціи гормоновъ, какъ послѣдствіе первичнаго заболѣванія железъ, невозможно поднять продуктивность мышленія, назначая средства, поднимающія сердечную дѣятельность. Если мы не можемъ что-то вспомнить, то происходитъ это не потому, что нервныя клѣтки исчезли; причина этого лежитъ въ гормонахъ, которые недостаточно концентрированы, активны для этого... Во время работы мы устаемъ, потому что концентрація гормоновъ уменьшилась. Человекъ, на долгое время прекратившій свою профессію, не можетъ всвѣ и сразу войти въ свою работу именно потому, что соотвѣтствующія железы отвыкли отъ прежней работы, не могутъ сразу проявить требуемой отъ нихъ внезапно продукціи. И однако же впрыскиваніе какого-либо активатора, напр. *pituglandol'*а, сразу поднимаетъ работоспособность, т. е. возбуждаетъ къ дѣятельности рядъ железъ антагонистовъ или стоящихъ въ коррелациі. Особенность секреторной дѣятельности железъ состоитъ въ томъ,



что посылаемые ими гормоны вызываютъ къ дѣятельности мозговые центры и въ свою очередь получаютъ отъ этихъ послѣднихъ стимулы къ дальнѣйшей продукціи и, чѣмъ чаще набѣгаетъ этотъ стимулъ, тѣмъ больше данная железа можетъ продуцировать извѣстные гормоны. Длительный перерывъ — отказъ или прекращеніе данныхъ стимуловъ ослабляетъ секрецію гормоновъ, потребныхъ для определенной профессіи, особенно, если съ таковой сопряжена мыслительная творческая работа.

Игра ассоціацій, сцѣпленіе представленій для цѣлей мышленія можетъ происходить или психо-нейрогенно или гематогенно. При первомъ механизмѣ работаетъ психическо-анатомическій аппаратъ — клѣтка и нервное волокно, связующее работающія поля коры головного мозга, гдѣ представленія возникаютъ по ихъ внутренней связи, по законамъ сходства или ихъ контраста, по ихъ одновременности или смежности, подчиненности. Такой неврогенный механизмъ мы встрѣчаемъ въ математикѣ, въ отвлеченномъ философскомъ мышленіи, — всюду, гдѣ работа течетъ по строгимъ законамъ силлогизма и т. д.

Это мышленіе должно быть сухо и спокойно для того, чтобы истинное заключеніе, было внѣ сомнѣнія. Здѣсь не должно быть никакого волненія, чувственаго тона. Изъ центровъ же работаютъ тѣ, которые связаны взаимными ассоціативными путями.

При гематогенномъ механизмѣ число работающихъ центровъ зависитъ не отъ внутренней связи представленій и понятій и не отъ ихъ анатомической зависимости другъ отъ друга, но отъ широты бассейна той артеріи, по которой широкими потоками льются гормоны. Такъ какъ большія артеріи мозга, напр., *a. fossa Silvii* орошаетъ одновременно и лобную долю (сферу логическихъ операцій), — височную (слуховыя представленія), затылочную (зрительныя впечатлѣнія), теменную (всѣ другія ощущенія); такъ какъ та же артерія орошаетъ базальныя части мозга — съ его палеостріарными центрами, то гематогенный механизмъ, распоряжаясь всѣмъ бассейномъ *a. fossae Silvii*, поднимаетъ къ работѣ массу абстракцій, обычно внутренне мало связанныхъ другъ съ другомъ, а главное вводитъ еще и элементы чувства, страсти. Всѣ представленія и абстракціи, поднимаемая такимъ образомъ въ различныхъ частяхъ коры мозга до сознанія, будутъ имѣть благодаря этому одинъ и тотъ же чувственный тонъ, исходящій изъ базальныхъ ганглій и этотъ тонъ, а не законы сцѣпленій, ассоціацій по сходству, контрасту, смежности соединяетъ во едино различныя представленія изъ различныхъ корковыхъ территорій и составляетъ изъ него выводы.

При гематогенномъ механизмѣ игра ассоціацій, сцѣпле-



ніе представлений построена на одинаковости ихъ чувственной окраски. При депрессивной концентраціи гормоновъ выступаютъ и сцѣпляются вмѣстѣ лишь представленія печальнаго порядка, возникая въ нашемъ сознаніи безъ всякой логической связи и законности одно за другимъ. Точно также при концентраціи гормоновъ, благопріятствующихъ повышенному душевному состоянію, облегчается сцѣпленіе представлений веселаго характера, быстрого ритма, дающаго общую эмоцію счастья.

Такъ какъ силлогизмъ и логическія посылки при этомъ не участвуютъ въ работѣ, то, благодаря этому, мы часто дѣлаемъ ошибочныя заключенія — печалимся понапрасну или веселимся безъ основанія. Съ другой стороны гематогенный механизмъ мышленія, поднявъ для совмѣстной работы много абстракцій и, присоединивъ сюда же работу чувства, облегчаетъ, ускоряетъ нашу оцѣнку событій, скорѣе доводитъ до опредѣленія ея значенія.

При гематогенномъ механизмѣ мышленія очень легко устанавливаются связи между представленіями, которыя при обычныхъ условіяхъ не имѣютъ никакой зависимости одно отъ другого. Это такъ называемая остроумная рѣчь. Такое легкое сочетаніе представлений наблюдается въ томъ случаѣ, когда мы одушевлены, когда мы находимся вблизи дорогихъ намъ людей и вообще тогда, когда наши эмоціональныя железы продуцируютъ много гормоновъ. Это мы называемъ — быть въ ударѣ.

Этимъ гематогеннымъ механизмомъ одарены выдающіеся поэты, ораторы... Тѣмъ же гематогеннымъ механизмомъ, но безъ контроля нейрогеннаго, объясняется *fuga idearum* душевно больныхъ, которые выбрасываютъ представленія безъ всякой логической связи изъ тѣхъ корковыхъ центровъ, которые лежатъ въ полѣ повышенной гормонизаціи.

Гематогенному механизму мышленія свойственно именно опредѣлять значительность даннаго событія, цѣнность даннаго факта. Это послѣднее совершается безъ длинныхъ математическихъ или логическихъ формулъ, вычисленій силлогизмовъ, но кратко и быстро, единственно на основаніи глубины и силы того душевнаго волненія, которое субъектъ переживаетъ въ моментъ или періодъ даннаго происшествія. Астрономъ, напр., со своимъ нейрогеннымъ мышленіемъ, спокойно пишетъ сухую цифру 15000 — число лѣтъ, въ теченіе которыхъ лучъ свѣта пробѣгаетъ отъ млечнаго пути до земли. Это огромное число произведетъ на слушателей этого астронома различное впечатлѣніе, но наибольшее значеніе эта цифра получитъ у того, у котораго пробѣжитъ дрожь по спинѣ, забьется сердце, покраснѣетъ лицо, который при этомъ испытываетъ восторгъ или страхъ, или застынетъ отъ ужаса...



Это и есть гематогенное мышление; эмоція, вызванная широкимъ потокамъ гормоновъ (на поверхности коры мозга и одновременно) въ палеостріарныхъ центрахъ, даетъ имъ возможность скорѣе оцѣнить и глубже понять всю грандіозную безконечность мірозданія. Этими тѣлесными признаками сопровождается гематогенный механизмъ мышленія; подкрѣпляя выводы послѣдняго, они даютъ таковымъ особое значеніе, возводятъ ихъ на высоту большихъ пріобрѣтеній, несомнѣнныхъ законовъ. На такомъ гематогенномъ механизмѣ базируются бредовыя идеи, ихъ системная непогрѣшимость, ихъ сопротивляемость любой критикѣ. Когда Краереліп (профессоръ психіатріи въ Мюнхенѣ) — въ отвѣтъ на жалобы душевно-больного на преслѣдованіе социалистами, — шутя замѣтилъ, что и онъ — Краереліп — тоже могъ бы рассказывать подобныя исторіи, но, вѣдь, этому никто не повѣритъ, — больной на это съ пафосомъ отвѣтилъ: „Sie empfinden dabei nichts, ich aber fühle das in meinem Herzen“.

Тѣмъ же объясняются различныя народныя повѣрія, легенды, гдѣ сюжетъ имѣетъ фантастическій невѣроятный характеръ, слушатель же воспринимаетъ его съ большой эмоціоанальной реакціей, замираніемъ сердца и принимаетъ его какъ нѣчто достовѣрное, непогрѣшимое.

На вмѣшательствѣ гематогеннаго механизма въ наше мышленіе основана интуиція — процессъ, дающій намъ быстрое разрѣшеніе сложнаго вопроса, тамъ, гдѣ нѣтъ времени для долгихъ размышленій, гдѣ не успѣваютъ помочь ни статистика, ни логическія посылки, но гдѣ въ создающемся заключеніи принимаютъ участіе прежде всего наши эмоціи и лишь на второмъ мѣстѣ нашъ разумъ, который беретъ на себя трудъ обосновать и формулировать принятое уже заключеніе, — продиктованное ему нашей интуиціей рѣшеніе.

Интуиція — атавистическая форма психики, сохраняемая современнымъ человѣкомъ, какъ наслѣдіе того отдаленнаго прошлаго монического и археоктонического періода животнаго царства, когда природа, работая надъ приспособленіемъ организмовъ къ космическимъ условіямъ, создавала у нихъ протоплазму, чувствительную къ различнымъ внѣшнимъ перемѣнамъ.

Отъ животныхъ монической и археоктонической эпохи железистая система человѣка унаслѣдовала способность воспринимать тончайшіе раздражители, напр., волны эфира, струи атмосфернаго электричества, колебаніе въ интенсивности свѣта, тепла, влаги, запаховъ... Человѣку не дано сознавать эти



тонкія перемѣны въ окружающей его сферѣ, т. е. ощущать ихъ ухомъ, глазомъ, кожей, висцеральными органами, слизистыми оболочками, обоняніемъ, но за то онъ унаслѣдовалъ способность реагировать въ подобныхъ случаяхъ потокомъ своихъ гормоновъ; послѣдніе же, дѣйствуя гематогеннымъ путемъ на широкомъ полѣ центральной нервной системы, возбуждаютъ одновременно лежащія удаленно другъ съ друга мыслительныя поля, которыя вступаютъ другъ съ другомъ въ ассоціаціонныя цѣпи для рѣшенія того или другого вопроса. Въ результатѣ получается заключеніе, корни и посылки котораго гдѣ-то неуловимо потонули въ глубокихъ нѣдрахъ *der tiefen Person Kraus'a*, т. е. тамъ, гдѣ у птицъ заложены механизмы оцѣнки неуловимыхъ линій изотермовъ, изохименовъ и т. д.

Принятое заключеніе сопровождается при этомъ у человека, однако, ускореніемъ пульса, углубленіемъ дыханія, покраснѣніемъ или поблѣднѣніемъ лица, появленіемъ слезъ, ощущеніемъ холода и жара въ конечностяхъ и т. д. Всѣ эти симптомы суть признаки того или другого душевнаго волненія, — эмоціи пріятной или непріятной, которая доходитъ до сознанія или овладѣваетъ имъ безъ помощи и участія сложныхъ ассоціаціонныхъ путей и комплицированныхъ формъ нейрогеннаго мышленія. вмѣстѣ съ эмоціей, охватывающей сознаніе, быстро разрѣшается въ этомъ послѣднемъ и разбираемый вопросъ.

Въ этомъ и состоитъ механизмъ интуиціи, гдѣ оцѣнка событія состоитъ въ появленіи того или другого душевнаго волненія и притомъ, не только присутствуя при развитіи событія, но также даже и отсутствуя изъ мѣста самого происшествія (предчувствія). Это необъяснимое внутреннее переживаніе можетъ дать опредѣленное заключеніе, которое только позже можетъ быть мотивировано со стороны формальнаго мышленія.

Не одинъ только человекъ воспринялъ и сохранилъ эту чувствительную протоплазму. То же самое сдѣлали и его современники: бѣлка уже заранѣе собираетъ на зиму орѣхи, ежъ прячетъ яблоки, гусеница вьетъ коконъ, птицы летятъ на югъ, утки кряхтятъ передъ дождемъ, жаба — самка обматываетъ икру на туловищѣ самца, а саламандра или мечетъ живыхъ дѣтенышей или кладетъ яйца... Это все суть акты интуиціи животныхъ, интуитивное поведеніе, диктуемое протоплазмой клѣточныхъ элементовъ тѣла, воспитанныхъ чувствовать космическія колебанія и приспособлять свою жизнь по законамъ изотермовъ и изохименовъ. У человека интуитивная подсознательная работа даетъ ему возможность чувствовать въ громадной толпѣ присутствіе дорогого человека, опредѣлять появленіе обожаемаго существа, и не видя его,



«сознавать опасность ему угрожающую, предчувствовать смерть близкаго существа...»

Victor Hugo далъ прекрасное описаніе интуиціи статсъ-дамы королевы въ своей драмѣ Marie Tudor: когда Fabiano Fabiani — любовника королевы, — закутаннаго въ саванъ ведутъ на казнь мимо королевы и ея статсъ-дамы; королева торжествуетъ, такъ какъ отдала приказъ спасти своего любовника, а въ саванъ закутать жениха статсъ-дамы. Она торжествуетъ, такъ какъ знаетъ, что ея приказъ свято исполненъ. Напротивъ, ея статсъ-дама, не подозрѣвая о приказѣ королевы, со страхомъ смотритъ на ужасный кортежъ, проходящій мимо. Вдали реветъ народъ, требующій скорѣйшей казни. Вдругъ королева прерываетъ свое молчаніе: „народъ слѣпъ въ своей ярости и привѣтствуетъ казнь Fabiani, а между тѣмъ вмѣсто него будетъ казненъ твой женихъ“. Эти слова повергаютъ въ ужасъ статсъ-даму. Она бросается на колѣни, умоляетъ остановить казнь, пощадить ея жениха. Королева неумолима, ея приказъ долженъ быть исполненъ. И вдругъ статсъ-дама поднимается. Она спокойна. Она высказываетъ королевѣ увѣренность, „что казненъ будетъ именно Fabiani“. „Какъ ты это знаешь?“ „Я чувствую въ своемъ тѣлѣ такой покой, а если-бъ то былъ мой женихъ, мое тѣло трепетало бы отъ ужаса...“ Тогда королева впадаетъ въ отчаяніе, приказываетъ остановить казнь, но уже поздно. Палачъ отрубилъ голову любовнику королевы.

И такъ съ одной стороны формальное нейрѳгенное мышленіе слишкомъ длинно, сухо и не можетъ дать оцѣнку значительности безъ гематогенной поддержки эмоціональныхъ гормоновъ. Съ другой — интуиція, базирующаяся на эмоціональной окраскѣ, для полной правомочности нуждается въ логическомъ психс-неврогенномъ механизмѣ.

Гематогенный механизмъ мышленія своимъ обширнымъ потокомъ гормоновъ, помимо его эмоціональной окраски, представляетъ собой ту особенность, что работающее поле мозговой коры, разрѣшая данную тему, можетъ внезапно расширяться за счетъ многихъ, даже удаленныхъ центровъ, привлекая ихъ для созданія той или другой абстракціи. Благодаря этому, при готовомъ уже отвѣтѣ, вдругъ наступаетъ перегруппировка представленій, посылокъ, вслѣдствіе установки иныхъ контактовъ, съ вновь вводимыми ассоціативными центрами и новыми представленіями и разрѣшеніе даннаго вопроса можетъ наступить совершенно неожиданнымъ образомъ. Этимъ механизмомъ объясняются успѣхи ораторовъ, обладающихъ, кромѣ дара слова и стремительности ихъ силлогизмовъ, еще и ихъ индивидуальной силой вліять на мас-



сы. Если перегруппировка представлений и переменна убѣжденій достигается вліяніемъ извнѣ и, если это происходитъ въ предѣлахъ техническихъ приемовъ убѣжденій и внушеній, то внушающій ораторъ тѣмъ сильнѣе успѣетъ, чѣмъ больше будетъ прибѣгать къ приемамъ, вызывающимъ работу эмоциональныхъ железъ (красивый голосъ, изящный покрой одежды, жесты, мимика, модуляція рѣчи, освѣщеніе помещенія, обстановка и т. д.). Этими побочными приемами шарлатаны достигаютъ большаго успѣха тамъ, гдѣ вооруженные большими знаніями медики ничего не могутъ достичь. Сюда относится чудодѣйственное вліяніе различныхъ магическихъ палочекъ, поѣздки на извѣстные лѣчебные курорты и т. д. и т. д. Этими приемами удается активировать съ помощью гематогеннаго механизма рядъ новыхъ представлений и ассоціацій, ввести ихъ въ бывшую до тѣхъ поръ группировку представлений, а въ результатѣ принятіе новаго status quo.

Внушеніе извнѣ во многихъ случаяхъ знаменуетъ побѣду гематогеннаго механизма мышленія, принятіе безъ всякой критики чужихъ выводовъ.

Чѣмъ болѣе богато одарена личность человѣка, тѣмъ легче она доступна тому или другому коррективу, той или другой перегруппировкѣ представлений, тѣмъ быстрѣе она поддается доказательной силѣ неотразимыхъ доводовъ несомнѣнныхъ фактовъ.

Мало одаренные люди упрямы, закоренѣли въ своихъ принципахъ, неподвижны въ своихъ устояхъ. Это есть свойство ихъ душевной организаціи, но въ то же время доказательство бѣдности ихъ гормоновъ, малой концентраціи таковыхъ и недостаточной энергіи ихъ; условія же душевнаго прогресса покоятся на борьбѣ и соревнованіи гормоновъ. Чѣмъ больше продуктивность железъ, вырабатывающихъ гормоны, тѣмъ доступнѣе данный субъектъ данной расы вліяніямъ культуры, перегруппировкѣ своихъ убѣжденій, тѣмъ яростнѣе ведется борьба противъ инертности корковыхъ достиженій.

Такъ какъ возрастъ человѣка характеризуется запусканіемъ многихъ железъ, то концентрація гормоновъ и ихъ энергія вообще понижается къ старости. Та борьба между гормонами, которая сказывается у молодежи импульсивными порывами, рѣзкими душевными колебаніями въ ту или другую сторону, уменьшается съ возрастомъ человѣка. Число железъ еще способныхъ конкурировать и вести борьбу противъ своихъ антагонистовъ, — уменьшается въ теченіе жизни человѣка, но за то сохранившіяся съ дѣтскаго періода железы сецернируютъ еще достаточно концентрированные гормоны, показывая свой большой авторитетъ. Вотъ почему старость характеризуется стойкими душевными формулами и твердыми



принципами, не поддающимися коррекціи. Измѣненіе этихъ послѣднихъ можно ожидать напротивъ въ дѣтскомъ и среднемъ возрастѣ, гдѣ имѣется большое разнообразіе сецернирующихъ железъ. Впрочемъ такіе перевороты въ исповѣдываемыхъ принципахъ и идеалахъ могутъ совершаться и безъ участія чужого вліянія извнѣ, но аутохтонно и притомъ не силою новыхъ аргументовъ, а случайными переживаніями съ высокой эмоціоанальной окраской.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ при этихъ условіяхъ можетъ наступить гиперкоррекція и человекъ во власти эмоціи подавляетъ слабый голосъ разума, попираетъ тѣ принципы и идеалы, которымъ онъ до сихъ поръ служилъ. Шекспиръ очень красиво (Коріоланъ) даетъ очень много примѣровъ такой гиперкоррекціи. Это измѣненіе можетъ происходить и незамѣтно для нашего сознанія — подъ вліяніемъ различныхъ соматическихъ разстройствъ, развивающихся или протекающихъ въ хроническомъ порядкѣ. Но подобный же переворотъ въ нашихъ моральныхъ и умственныхъ устояхъ можетъ произойти и остро, подъ вліяніемъ внезапно разразившейся катастрофы или глубокаго душевнаго переживанія, напр.: войны, тюрьмы, землетрясенія, кораблекрушенія, любовнаго увлеченія, случайной встрѣчи при особой обстановкѣ, вліяющей на чувства (гроза, балъ, музыка). При этихъ условіяхъ потокъ хлынувшихъ гормоновъ вызываетъ гиперэмоціоанальный аффектъ, въ результатѣ чего можетъ наступить нравственное перерожденіе человека: воръ — превращается въ честнаго труженика, коммунистъ становится монархистомъ, гуманный и безвольный членъ семьи дѣлается деспотомъ, тираномъ и т. д.

Двоякій механизмъ нашего мышленія, а именно нейротенный и гематогенный, а также различная локалізація важнѣйшихъ нашихъ душевныхъ функцій — интеллектъ въ корѣ, — чувство въ палеостріарныхъ центрахъ — создаетъ такія колебанія въ поведеніи и мышленіи человека, когда онъ можетъ поступать въ полномъ противорѣчьи со своими принципами. Такіе случаи, встрѣчающіеся весьма часто въ повседневной жизни, могутъ принимать уродливыя формы при различныхъ душевныхъ заболѣваніяхъ (психоневрозы, *hysteria* и т. д.). Въ клиникахъ эти состоянія называются раздвоеніемъ личности и выражаются тѣмъ, что человекъ, въ зависимости отъ обстановки, перемѣнивъ мѣсто, принимаетъ обликъ новой личности.

Больная, г-жа С. И., оставила мужа въ Одессѣ и оказалась въ Кіевѣ. Мужъ тщетно ищетъ ее всюду, публикуя въ газетахъ примѣты исчезнувшей жены. По пріѣздѣ въ Кіевъ жена находится въ состояніи какого-то страха, называетъ себя дѣвичьей фамиліей, говоритъ, что 20 л. т. н. вышла замужъ и уѣхала изъ родительскаго дома въ Петербургъ... Въ теченіе 2 мѣс пребыванія въ клиникѣ, удастся установить ея происхожденіе и вызвать мужа



Приѣздъ послѣдняго вызываетъ огромное волненіе у г-жи С. И. Сразу же она припомнила все прошлое и сообщила, какъ попала въ Кіевъ. Она гуляла близъ вокзала ж. д., на Куликовомъ полѣ въ Одессѣ, когда на ея знакомую, съ которой она разговаривала, налетѣла взбѣсившаяся лошадь. Ось позозки, въ которую была запряжена эта лошадь, захватила ея знакомую и проволокла нѣсколько десятковъ шаговъ. Когда лошадь остановили, эта знакомая была мертва, а ея тѣло оказалось страшно изуродованнымъ. Эта ужасная сцена произвела потрясающее впечатлѣніе. Въ большомъ волненіи г-жа С. И. подошла къ кассѣ и, взявъ билетъ 3-го класса, прибыла въ Кіевъ. Кіевскія событія плохо помнитъ. Мужъ сообщалъ, что подобные „трансы“ были съ его женой уже нѣсколько разъ. По временамъ она, послѣ случайныхъ волненій въ теченіе нѣсколькихъ дней „сама не своя“, не узнаетъ знакомыхъ, говоритъ о вещахъ, которыхъ никто не помнитъ, дѣлаетъ покупки не по сезону. При этомъ каждый разъ полная утрата чувствительности. Черезъ 5—7 дней это состояніе проходитъ и не оставляетъ по себѣ никакихъ воспоминаній. Событія съ лошадью подтверждены полицейскимъ дознаніемъ.

Діагнозъ упомянутой больной былъ поставленъ съ самого начала — Истерія. Настоящій „трансъ“ можно было объяснить возбужденіемъ депрессивной эмоціоальной системы железъ, потокомъ гормоновъ, вызвавшихъ изъ латентнаго состоянія воспоминанія о событіяхъ, бывшихъ 20 лѣтъ тому назадъ. Появленіе мужа возбудило эмоціоальныя железы съ оптимистическимъ эквивалентомъ, вернуло больную въ сферу дѣйствительной жизни.

Такимъ образомъ, благодаря этимъ различнымъ механизмамъ мышленія, могутъ возникать совершенно различныя представленія и окрашиваться совсѣмъ въ иной тонъ. Различіе между тѣми и другими можетъ быть такъ велико, что одно исключаетъ другое.

Такъ какъ большинство людей живетъ больше чувствомъ, чѣмъ разумомъ, больше интуиціей, чѣмъ логикой, то отсюда вытекаетъ, что большинство людей являются рабами своихъ эмоціоальныхъ железъ и эти послѣднія являются активаторами нашей психики.

Заслуга монической и археоктонической стадій предъчеловѣкомъ состоитъ въ томъ, что эта эпоха посвящена была развитію и усовершенствованію чувствительной протоплазмы и железистой системы.

### Л и т е р а т у р а.

- Arenssen H. Ueber Emotionen und ihre organische Grundlage. Med. Rev. Ig. 39. 1922.  
 Bauer I. Chromosale u. incretorische Hormone. Med. Klinik. 1923. Ig. XIX.  
 Biedl. Innere Secretion. 1913.  
 Buscaino. Rivista Psichiatria. 1929.  
 Cannon. Ss. of the american med. Assosian. Vol. 79. 1922.  
 Cannon. Amer. Journ. of Psychiatrie. vol. 2. 1922.



- Ceni. Z. f. Neur. Psych. 1924.
- Frey. E. Die Ursache d. Bromretention. Z. f. experim. Pathologie u. Therapie. 1911. Bd. VIII.
- Hold. Zur Permeabilität der Leptemeningen. Arch. f. experim. Pathologie u. Pharmakologie. 1910. X.
- Hof-Silberstein. Der Eintritt biologisch wirksamer Substanzen aus der Blutbahn in das Centralnervensystem. Jahrbuch. f. Psych. u. Neurologie. 1924. 49.
- James. Physiolog. Psychologie. 1894.
- Kirschbaum. Einflüsse schwerer Leberschädigungen über Nervensystem. Z. f. d. g. N. P. Bd. 77. 87. 88.
- Knauer-Billigmeier. Ueber organische u. functionelle Störungen des vegetativen Systems unter Berücksichtigung der Schreckneurosen. Z. f. g. Neurolog. n. Psych. 1919. II.
- Lange. Ueb. die Bedeutung der inneren Sekrete. Z. f. Ps. I. C. Luis. Annales Psycho-neurologiques. 1925.
- Mahaim. La dégénérescence hépato-lenticulaire. Schweizer Arch. f. Neurolog. 1925. XVII.
- Maranes. Studien der affectiven Wirkung des Adrenalins. Festschs. z. Ehre von Ramon in Cajal. 1922. II.
- Miller-H. Grichton. The physical basis of emotional disorder. Lancet № 206. 1924.
- Mochi. Teoria biosomatica delle emozioni e teoria biochimica delle affecti. Ross. di studio psichiatri. Vol. XII. 1923.
- Монаковъ. С. v. Der Kreislauf des Liquors cerebrospinalis. Schweiz. Arch. 1921. VIII.
- Окинчицъ. Журн. акушерства и женскихъ болѣзней. I. II. 1907.
- Pel. Die Krankheiten der Leber. 1919.
- Schönfeld. W. a) Der Uebergang der Farbstoffen in die cerebrospinale Flüssigkeit. Arch. f. Derm. u. Siphylis. 1924. Bd. 132. h) Die Wechselbeziehungen. Dermath. Zeitschrift. 1924. XXXX.
- Serejski. Der Affekt als biochemische Erscheinungsform. Monatsch f. Psychiatrie und Neurologie. Bd. 53. 1929.
- Соколовъ. Тимус у человека. Спб. 1910.
- Сперанскій. Значение внутренней секреции. Москва. 1926.
- Starling. An experimental inquiry. Proced. royal Society. 1926. Vol. 77.
- Stern L. Le liquide cephalorachidien. Schweiz. Arch. f. Nenrol. u. Psych. 1921. Bd. VIII.
- Stern-Gautier a) Recherches sur le liquide cephalorachidien. Arch. internat. de Physiologie. 1921. XVII. p. 391. b) Rapport entre le liquide cephalo-rachidien. Ibidem. Bd. XX. p. 403.
- Suiffi-Pende. Med. Welt. 1931.
- Walter Fr. Studien über d. Liquor cerebrospinalis. Monatschr.



- f. Psych. u. Neurologie 1910. XXVIII. b) Ueb. die Permeabilität der Meningen. Z. f. d. gen. Neurologie u Psychiatrie 1919. Bd. XXXVII. c) Ueb. die Liquorströmung. Med. Wochenschr. 1921. № 42. d) Die Permeabilität der Meningen. Natur.-med. Gesellschaft zu Rostok 1926. VII. 24. e) Ueb. die Permeabilität der Meningen. Zeitsch. f. gen. Neurol. u. Psych. 1925. Bd. 95.
- Weil-Kafka. Ueb. die Durchgängigkeit der Meningen. Wiener klin. Wochenschr. 1911. Bd. XXIV.
- Willemi. Veränderung in dem Gehirn nach experimenteller Leberschädigung. Folia neuropatologica Estoniana. 1924. II.
-



Г. Г. Злоковичъ.

## НѢКОТОРЫЯ ДАННЫЯ ПО МОРФОЛОГИИ ПОЧВЪ АНАНЬЕВСКАГО УѢЗДА ХЕРСОНСКОЙ ГУБЕРНІИ.

Какъ членъ экспедиціи по изученію почвъ и грунтовъ Херсонской губерніи я производилъ въ 1915 году, по порученію руководителя экспедиціи проф. А. И. Набокихъ, обследованіе почвеннаго покрова Ананьевскаго уѣзда во вторую фазу почвенной съемки губерніи. Матеріалы, добытые названной экспедиціей и касающіеся почвенно-геологическихъ условій Ананьевскаго уѣзда, частью были опубликованы подъ редакціей проф. А. И. Набокихъ въ изданіяхъ Херсонскаго губернскаго земства въ теченіе 1915—1916 г. <sup>1)</sup>, частью же были опубликованы позже, послѣ смерти А. И. Набокихъ <sup>2)</sup>.

Первыя изъ этихъ работъ касались сырыхъ данныхъ, представляющихъ маршрутные списки почвенныхъ образцовъ, дополненные данными опредѣленія гумуса и степени песчаности; В. Крокосъ въ своихъ работахъ коснулся исключительно вопроса о геологическихъ условіяхъ губерніи; въ трудѣ же Г. И. Танфильева мы находимъ полусхематическую почвенную карту Херсонской губерніи, масштаба 20

1) А. И. Набокихъ. Результаты ориентировочныхъ почвенныхъ изслѣдованій 1906—1911 г. г. въ юго-западной Россіи.  
(Мат. по изслѣд. почвъ и грунт. Херс. губ. Вып. 4. 1915).

В. Козловъ. Маршрутный списокъ поверхностныхъ образцовъ почвъ, взятыхъ лѣтомъ 1914 г. въ Ананьевскомъ уѣздѣ.  
(Мат. по изслѣд. почвъ и грунт. Херсон. губ. Вып. 10. 1915 г.)

Г. Г. Злоковичъ. Маршрутный списокъ поверхностныхъ образцовъ почвъ Ананьевскаго уѣзда Херсон. губ., взятыхъ лѣтомъ 1915 г.  
(Мат. по изслѣд. почвъ и грунт. Херс. губ. Вып. 13. 1916)

2) В. И. Крокосъ. Матеріалы для характеристики почвогрунтовъ Одесской и Николаевской губ. (Извѣст. обл. Управл. по опытно-дѣлу Одесск. и Никол. губ. Вып. 1. Одесса, 1922).

— Матеріалы для характеристики четвертичныхъ отложеній восточной и южной Украины.  
(Мат. дослідж. ґрунтів України. Вып. 5. 1927).

Г. И. Танфильевъ. Главнѣйшіе физико-географическіе районы Одесской губ. Одесса. 1924.



версть въ дюймѣ по чертежу проф. А. Набокихъ и рядъ послонныхъ валовыхъ химическихъ анализовъ, выполненныхъ экспедиціей А. И. Набокихъ.

Для Московской выставки 1922 года подъ редакціей проф. Г. И. Танфильева была составлена 10-ти верстная почвенная карта Херсонской губ. по матеріаламъ, собраннымъ экспедиціей проф. А. И. Набокихъ, но, насколько мнѣ извѣстно, карта эта въ печати не появилась.

Позднѣе, въ 1926 году, подъ редакціей проф. Г. Г. Махова была опубликована 25-ти верстная карта почвъ Украины, составленная на основаніи старыхъ и новыхъ почвенныхъ изслѣдованій. Для этой карты была использована также и 15-ти верстная рукописная почвенная карта Херсонской губ., составленная проф. А. И. Набокихъ.

Въ 1927 году Г. Г. Маховымъ былъ данъ и объяснительный текстъ къ картѣ<sup>3)</sup>.

Такимъ образомъ огромный матеріалъ, касающійся работъ экспедиціи по изученію основныхъ морфологическихъ свойствъ почвъ Херсонской губ., въ главной своей массѣ остается, насколько мнѣ извѣстно, и по сей день не опубликованнымъ, а, вѣроятно, и не обработаннымъ.

Имѣя въ своемъ распоряженіи собранныя мною и моимъ предшественникомъ В. Козловымъ, работавшимъ въ первую фазу почвенной съемки губерніи, данныя по морфологическимъ и отчасти химико-механическимъ особенностямъ почвъ Ананьевскаго уѣзда, я хотѣлъ бы въ настоящей статьѣ дать въ краткихъ чертахъ характеристику почвеннаго покрова Ананьевскаго уѣзда.

Ананьевскій уѣздъ занимаетъ с.-зап. часть Херсонской губ. и на сѣверѣ, сѣв.-зап. и западѣ рѣками Кодыма и Ягорлыкъ отдѣляется отъ Подольской губ.; на востокѣ рѣка Бугъ отдѣляетъ его отъ Елисаветградскаго уѣзда Херсонской губ.; на югѣ Ананьевскій уѣздъ граничитъ съ Одесскимъ и Тираспольскимъ уѣздами<sup>4)</sup>. Онъ имѣетъ общій склонъ къ ю.-в. и поэтому пограничная съ Подольской губ. часть его наиболее высокая (близъ ст. Бирзула 255 мет.). Водораздѣлы срединной части Ананьевскаго уѣзда возвышаются надъ уровнемъ моря на 150—160 мет. Высоты водораздѣльныхъ плато по юго-восточной границѣ уѣзда доходятъ всего лишь до 105—110 мет.

Въ связи съ общимъ направленіемъ паденія поверхности находится и направленіе рѣкъ Ананьевскаго уѣзда. Рѣки Бол.

3) Г. Г. Маховъ. Почвенная карта Украины въ 25-ти верстномъ масштабѣ.

(Мат. по обслѣд. почвъ Украины. Вып. 7. Харьковъ, 1927).

4) Названія уѣздовъ и губерній я сохраняю дореволюціонныя. Въ настоящее время Ананьевскій уѣздъ составляетъ часть Одесской губерніи.



Куяльникъ съ Сух. Журавкой, Тилигуль съ Журавкой и Чичиклея съ Столбовой текутъ почти параллельно, расчленяя территорію уѣзда на рядъ водораздѣльныхъ переваловъ, направляющихся съ сѣв.-зап. на юго-вост. Многочисленные же системы балокъ и овраговъ, въ свою очередь расчленяющихъ главные водораздѣлы, придаютъ цѣлой поверхности волнистый рельефъ. По классификаціи В. Д. Ласкарева, рельефъ Ананьевскаго уѣзда долженъ быть отнесенъ къ „долинной, узковолнистой формѣ“<sup>5)</sup>. Изрѣзанность Ананьевскаго уѣзда детально охарактеризована Н. Соколовымъ<sup>6)</sup>, выяснившимъ, что на долю долинъ и балокъ приходится  $\frac{1}{7}$  поверхности уѣзда.

Общая площадь Ананьевскаго уѣзда составляетъ 797.000 десятинъ (9041 км.<sup>2</sup>)<sup>7)</sup>, изъ которыхъ, по даннымъ Трезвинскаго, правда, устарѣвшимъ, 14.855 десятинъ приходится на долю лѣсовъ<sup>8)</sup>, сосредоточенныхъ преимущественно въ сѣв.-зап. части уѣзда и спускающихся въ западной же части мелкими островками къ югу по балкамъ и оврагамъ.

Наиболѣе крупные лѣсные массивы располагаются у села Байталы — Байтальская лѣсная дача и близъ ст. Жеребково — Жеребковская дача. Массивы эти расположены преимущественно по склонамъ долинъ въ области распространения песковъ Балтскаго яруса.

Менѣе значительныя лѣсныя пространства встрѣчаемъ около Петровки (бл. Балты), около ст. Бирзулы, по балкѣ Сухой Ягорлыкъ и въ видѣ байрачныхъ перелѣсковъ въ нижнихъ частяхъ склоновъ балокъ и овраговъ.

Такимъ образомъ основной растительной формаціей въ Ананьевскомъ уѣздѣ является травянистая степная растительность.

По классификаціи Г. И. Танфильева<sup>9)</sup> Ананьевскій уѣздъ долженъ входить въ составъ слѣдующихъ физико-географическихъ райновъ: 1) среднестепныя равнинныя черноземныя степи съ высотой отъ 30—60 саж. (южная и юго-восточная часть уѣзда); 2) слабо увалистыя черноземныя степи высотой отъ 60—90 саж. (большая, срединная часть уѣзда) и 3) значительно расчлененное предстепье или лѣсо-степь на вы-

5) В. Д. Ласкаревъ. Къ вопросу о строеніи склоновъ рѣчныхъ долинъ южн. Россіи.

(Мат. по изслѣд. почвъ и грунт. Херс. губ. Вып. 6. 1915).

6) Н. А. Соколовъ Геологическія изслѣдованія въ Херсонской губ.

(Труды Геолог. Ком. Т. XIV. 1896).

7) По даннымъ Стрѣльбицкаго. (Исчисленіе поверхности Россійской Имперіи).

8) Ф. Трезвинскій. Лѣса Херсонской губ. (Сборникъ Херсонск. Земства № 5. 1891).

9) Ibid.



сотахъ отъ 90—120 саж. (сѣв.-зап. и отчасти сѣверная часть уѣзда).

По І. Пачоскому <sup>10)</sup>, по характеру растительности большую часть Ананьевскаго уѣзда слѣдуетъ отнести къ холмистой лѣсо-степи Подольскаго типа.

По заключеніямъ І. Пачоскаго <sup>11)</sup> распространение лѣсной растительности въ Херсонской губ. тѣсно связано съ мѣсто-обитаніями, почва которыхъ получаетъ нѣкоторое избыточное увлажненіе, по сравненію съ мѣсто-обитаніями равнинными, которыя получаютъ лишь столько влаги, сколько выпадаетъ непосредственно на нихъ въ видѣ атмосферныхъ осадковъ.

И если лѣсъ иногда и переходитъ на равнинныя мѣсто-обитанія, то это имѣетъ мѣсто только тамъ, гдѣ количество выпадающей влаги больше, а испареніе меньше, — т. е. въ сѣверныхъ частяхъ губерніи и въ мѣстахъ наиболѣе высокихъ. Но во всѣхъ этихъ случаяхъ равнинное мѣсто-обитаніе лѣса всегда является вторичнымъ. Первоначальное его поселеніе было по склонамъ балокъ и овраговъ.

Основной геологической формаціей, на которой образуются почвы уѣзда, является лессъ. Для характеристики лессовой толщи мною были произведены двѣ глубокія выемки: у сѣв.-зап. границы уѣзда близъ ст. Бирзула и въ юго-восточной части у ст. Мартыновская Бахмачской желѣзной дороги. Данныя по этимъ выемкамъ опубликованы В. И. Крокосомъ въ указанныхъ выше работахъ <sup>12)</sup>.

Значительно меньшее значеніе въ формированіи ананьевскихъ почвъ имѣютъ пески Балтскаго яруса, распространенные почти исключительно въ с.-з. части уѣзда и покрытые преимущественно лѣсными сообществами.

На нижнихъ террасахъ рѣкъ и на днѣ балокъ и овраговъ почвообразующей породой являются аллювіальные наносы.

Главнымъ почвеннымъ типомъ Ананьевскаго уѣзда является степной черноземъ. Меньшаго распространения имѣютъ лѣсныя почвы и почвы аллювіальныхъ наносовъ — аллювіальныя почвы.

Въ теченіе экскурсіоннаго времени мнѣ удалось собрать 1600 поверхностныхъ образцовъ и выкопать и описать 105 контрольныхъ ямъ до 150—200 см. глубины. Моимъ пред-

10) І. К. Пачоскій. Основныя черты развитія флоры Ю-З. Россіи. (Зап. Новорос. Общ. Естествоисп. 1910).

11) — Описаніе растительности Херсонской губ. (Мат. по изслѣд. почвъ и грунт. Херс. губ. Вып. 8. 1915).

12) Матер. для характ. почвогр. Одесск. и Никол. губ. 1922. Одесса. Матер. для характ. четверт. отлож. вост. и южн. Украины. 1928.



шественникомъ по работѣ, В. Козловымъ, было изучено 82 почвенныхъ профиля и собрано 1557 поверхностныхъ образцовъ.

Оставляя въ сторонѣ поверхностные образцы, результаты изученія которыхъ опубликованы ранѣе <sup>13)</sup>, я постараюсь детальнѣе остановиться на результатахъ наблюдений въ контрольныхъ ямахъ и привести въ извѣстную систему всю совокупность данныхъ, отчасти добытыхъ при полевомъ обслѣдованіи, частью же выясненныхъ путемъ лабораторныхъ изученій.

При обработкѣ признаковъ ананьевскихъ почвогрунтовъ мною были приняты во вниманіе слѣдующіе: 1) степень песчаности; 2) процентное содержаніе гумуса; 3) мощность всего окрашеннаго гумусомъ горизонта ( $A+B$ ); 4) мощность однородно окрашеннаго гумусомъ горизонта ( $A$ ); 5) мощность горизонта, выщелоченнаго отъ карбонатовъ; 6) виды карбонатовъ (люблинить, бѣлоглазка, дутики); 7) глубина залеганія и мощность горизонта бѣлоглазки.

Перечисленные признаки были обработаны для каждаго типа ананьевскихъ почвогрунтовъ — чернозема, лѣсныхъ почвъ и аллювіальныхъ почвъ. Черноземныя почвы въ свою очередь были мною подраздѣлены на пять вариантовъ по процентному содержанію гумуса: 1) 9,0—7,5; 2) 7,5—6,5; 3) 6,5—5,0; 4) 5,0—3,5; 5) 3,5—1,0.

Въ виду того, что Ананьевскій уѣздъ по своимъ климатическимъ условіямъ является почти однороднымъ на всемъ своемъ протяженіи и въ виду выясненной выше необычайной расчлененности его рельефа, главнымъ факторомъ, опредѣляющимъ измѣненія въ проявленіи различныхъ признаковъ для намѣченныхъ типовъ ананьевскихъ почвъ, является рельефъ мѣстности.

Роль рельефа выступаетъ особенно наглядно еще и потому, что во многихъ случаяхъ въ связи съ измѣненіемъ рельефа замѣчается и измѣненіе характера грунтовъ.

Въ нижеслѣдующихъ таблицахъ я постараюсь выяснитъ законности въ соотношеніяхъ между каждымъ изъ вышперечисленныхъ признаковъ, типомъ почвы (степной черноземъ и лѣсныя почвы) и формой рельефа (плато и склоны различной крутизны).

<sup>13)</sup> В. Козловъ. Ibid.

Г. Г. Злоковичъ. Ibid.



Таб. 1. Соотношения между формой рельефа и степенью песчанности почвы \*).

Варианты почв, Рельеф	Черноземная почва						Средняя для данного релье- фа величина градаций чернозема.	Лесная почва.
	9.0—7.5	7.5—6.5	6.5—5.0	5.0—3.5	3.5—1.0			
Плато	26 глин. 74 суглин. 0 су-су 0 супеси	26 глин. 74 суглин. 0 сугл-сул. 0 супеси.	10 глин. 90 суглин. 0 су-су 0 супеси	0 глин. 100 суглин. 0 су-су 0 супеси	0 глин. —	22 глин. 78 суглин. 0 су-су 0 супеси	0 глин. 100 суглин. 0 су-су 0 супеси	
Пологий склон	0 глин. 100 суглин. 0 су-су 0 супеси	0 глин. 100 суглин. 0 су-су 0 супеси	11 глин. 45 суглин. 44 су-су 0 супеси	0 глин. 100 суглин. 0 су-су 0 супеси	0 глин. 67 суглин. 33 су-су 0 супеси	4 глин. 74 суглин. 22 су-су 0 супеси	0 глин. 70 суглин. 30 суг-суп. 0 супеси	
Крутой склон	—	—	—	—	0 глин. 20 суглин. 60 су-су 20 супеси	0 глин. 33 суглин. 50 су-су 17 супеси	0 глин. 0 суглин. 100 су-су 0 супеси	

\*.) Градации песчанности выражены в %/0 %/0.  
 Степень песчанности определена по методу проф. А. И. Набокиных, различающимся по содержанию механической глины следующие варианты почв: глины (выше 80% мех. глины); суглинки (50—80%); суглино-супеси (30—50%); супеси (10—30%); супески (2—10%) и пески (< 20%).



Таб. II. Соотношенія между формой рельефа и содержанием гумуса.

Варианты почвъ Рельефъ	Черноземныя почвы.					Средній всѣхъ град. чернозема	Лѣсныя почвы.
	9.0-7.5	7.5-6.5	6.5-5.0	5.0-3.5	3.5-1.0		
Плато	8.2 (36)	7.0 (37)	5.8 (16)	4.5 (2)	3.1 (1)	7.2 (92)	8.1 (6)
Пологий склонъ	7.8 (8)	6.8 (8)	5.9 (16)	4.4 (8)	2.7 (7)	5.6 (47)	6.7 (12)
Крутой склонъ	—	6.9 (1)	5.4 (5)	4.1 (6)	2.6 (7)	4.0 (19)	2.7 (3)
Всѣ склоны	7.8 (8)	6.8 (9)	5.8 (21)	4.3 (14)	2.7 (14)	5.2 (66)	5.9 (15)
Разница въ пользу плато	0.4	0.2	0.0	0.2	0.4	2.0	2.2

Таб. III. Соотношенія между формой рельефа и мощностью всего окрашеннаго гумусомъ горизонта.

Варианты почвъ Рельефъ	Черноземныя почвы.					Средній всѣхъ град. чернозема.	Лѣсныя почвы.
	9.0-7.5	7.5-6.5	6.5-5.0	5.0-3.5	3.5-1.0		
Плато	92 (35)	98 (37)	84 (16)	40? (3)	86 (1)	91 (92)	74 (7)
Пологий склонъ	83 (8)	81 (8)	78 (16)	80 (8)	68 (7)	78 (47)	75 (12)
Крутой склонъ	—	50 (1)	65 (5)	76 (6)	55 (8)	64 (20)	63 (3)
Всѣ склоны	83 (8)	77 (9)	75 (21)	79 (14)	61 (15)	74 (67)	66 (15)
Разница въ пользу плато	9	21	9	—39?	25	17	8



Таб. IV. Число случаевъ мощности окрашеннаго гумусомъ горизонта < 50 см. въ соотношеніи съ формой рельефа \*).

Варианты почвъ Рельефъ	Черноземныя почвы.					Средня всѣхъ град. чернозема.	Лѣсныя почвы.
	9.0-7.5	7.5-6.5	6.5-5.0	5.0-3.5	3.5-1.0		
Плато	3 (36)	0 (37)	0 (16)	0 (2)	0 (1)	1 (92)	29 (7)
Пологий склонъ	14 (7)	0 (9)	6 (16)	0 (8)	14 (7)	6 (47)	9? (11)
Крутой склонъ	—	0 (1)	40 (5)	33 (6)	43 (7)	32 (19)	67 (3)
Всѣ склоны	14 (7)	0 (10)	14 (21)	33 (14)	29 (14)	14 (66)	21 (14)
Разница въ пользу плато	11	0	14	33	29	13	—8?

Таб. V. Число случаевъ мощности окрашеннаго гумусомъ горизонта > 50 см. въ соотношеніи съ формой рельефа.

Варианты почвъ Рельефъ	Черноземныя почвы.					Средня всѣхъ град. чернозема.	Лѣсныя почвы.
	9.0-7.5	7.5-6.5	6.5-5.0	5.0-3.5	3.5-1.0		
Плато	97 (36)	100 (37)	100 (16)	100 (2)	100 (1)	99 (92)	71 (7)
Пологий склонъ	86 (7)	100 (9)	94 (16)	100 (8)	86 (7)	94 (47)	91 (11)
Крутой склонъ	—	100 (1)	60 (5)	67 (6)	57 (7)	68 (19)	33 (3)
Всѣ склоны	86 (7)	100 (10)	86 (21)	67 (14)	71 (14)	86 (66)	79 (14)
Разница въ пользу плато	11	14	29	33	29	13	—8

\*) Процентъ и общее число наблюдений.



Таб. VI. Число случаевъ мощности окрашеннаго гумусомъ горизонта < 100 см. въ соотношеніи съ формой рельефа.

Варианты почвы Рельефъ	Черноземныя почвы.					Средня всѣхъ град. чернозема.	Лѣсныя почвы.
	9.0-7.5	7.5-6.5	6.5-5.0	5.0-3.5	3.5-1.0		
Плато	67 (36)	54 (37)	75 (16)	100 (2)	100 (1)	64 (92)	86 (7)
Пологий склонъ	86 (7)	89 (9)	81 (16)	88 (8)	100 (7)	87 (47)	91 (11)
Крутой склонъ	—	100 (1)	80 (5)	67 (6)	86 (7)	79 (19)	67 (3)
Всѣ склоны	86 (7)	90 (10)	81 (21)	79 (14)	93 (14)	85 (66)	86 (14)
Разница въ пользу плато	19	36	6	21	7	21	0

Таб. VII. Число случаевъ мощности окрашеннаго гумусомъ горизонта > 100 см. въ соотношеніи съ формой рельефа.

Варианты почвы Рельефъ	Черноземныя почвы.					Средня всѣхъ град. чернозема.	Лѣсныя почвы.
	9.0-7.5	7.5-6.5	6.5-5.0	5.0-3.5	3.5-1.0		
Плато	33 (36)	46 (37)	25 (16)	0 (2)	0 (36)	36 (92)	14 (7)
Пологий склонъ	14 (7)	11 (9)	19 (16)	12 (8)	0 (7)	13 (47)	9 (11)
Крутой склонъ	—	0 (1)	20 (5)	33 (6)	14 (7)	21 (19)	33 (3)
Всѣ склоны	14 (7)	10 (10)	19 (21)	21 (14)	7 (14)	15 (66)	14 (14)
Разница въ пользу плато	19	36	6	21	7	21	0



Таб. VIII. Соотношенія между формой рельефа и мощностью однородно окрашеннаго гумусомъ горизонта (А).

Варианты почвы Рельефъ	Черноземныя почвы.					Средня всѣхъ град. чернозема.	Лѣсныя почвы.
	9.0-7.5	7.5-6.5	6.5-5.0	5.0-3.5	3.5-1.0		
Плато	48 (18)	55 (19)	45 (9)	38 (1)	—	50 (47)	36 (2)
Пологий склонъ	40 (6)	36 (5)	40 (7)	90? (1)	20 (1)	41 (20)	42 (9)
Крутой склонъ	—	—	—	—	39 (2)	39 (2)	—
Всѣ склоны	40 (6)	36 (5)	40 (7)	90? (1)	33 (3)	40 (22)	42 (9)
Разница въ пользу плато	8	19	5	—52?	—	10	—6

Таб. IX. Соотношенія между формой рельефа и мощностью горизонта, выщелоченнаго отъ карбонатовъ.

Варианты почвы Рельефъ	Черноземныя почвы.					Средня всѣхъ град. чернозема.	Лѣсныя почвы.
	9.0-7.5	7.5-6.5	6.5-5.0	5.0-3.5	3.5-1.0		
Плато	64 (34)	60 (37)	49 (16)	45 (2)	53? (1)	59 (90)	108 (7)
Пологий склонъ	43 (8)	44 (8)	35 (15)	52 (8)	29 (7)	39 (47)	87 (11)
Крутой склонъ	—	31 (1)	36 (5)	53 (6)	17 (5)	36 (17)	70 (3)
Всѣ склоны	43 (8)	43 (9)	35 (20)	52 (14)	24 (12)	38 (64)	83 (14)
Разница въ пользу плато	21	17	14	—7?	29	21	25



Таб. X. Соотношенія между формой рельефа и числомъ случаевъ содержанія люблинита (% %).

Варианты почвъ Рельефъ	Черноземныя почвы.					Среднiя всѣхъ град. чернозема.	Лѣсныя почвы.
	9.0-7.5	7.5-6.5	6.5-5.0	5.0-3.5	3.5-1.0		
Плато	95 (20)	89 (19)	90 (10)	100 (2)	100 (2)	92 (53)	43 (7)
Пологiй склонъ	83 (6)	80 (5)	56 (9)	71 (7)	29 (7)	62 (34)	73 (11)
Крутой склонъ	—	0 (1)	0 (5)	17 (6)	57 (7)	37 (19)	67 (3)
Всѣ склоны	83 (6)	67 (6)	36 (14)	46 (13)	43 (14)	53 (53)	71 (14)
Разница въ пользу плато	12	22	54	54	57	39	—28

Таб. XI. Соотношенія между формой рельефа и числомъ случаевъ содержанія бѣлоглазки (% %).

Варианты почвъ Рельефъ	Черноземныя почвы.					Среднiя всѣхъ град. чернозема.	Лѣсныя почвы.
	9.0-7.5	7.5-6.5	6.5-5.0	5.0-3.5	3.5-1.0		
Плато	42 (36)	54 (37)	88 (16)	50 (2)	0 (1)	54 (92)	29 (7)
Пологiй склонъ	63 (8)	50 (8)	81 (16)	86 (7)	57 (7)	67 (46)	45 (11)
Крутой склонъ	—	100 (1)	60 (5)	50 (6)	43 (7)	53 (19)	33 (3)
Всѣ склоны	63 (8)	56 (9)	76 (21)	69 (13)	50 (14)	63 (65)	43 (14)
Разница въ пользу плато	21	2	—12	19	50	9	14



Таб. XII. Соотношенія между формой рельефа и глубиной залеганія бѣлоглазки.

Варианты почвъ Рельефъ	Черноземныя почвы.					Среднiя всѣхъ град. чернозема.	Лѣсныя почвы.
	9.0-7.5	7.5-6.5	6.5-5.0	5.0-3.5	3.5-1.0		
Плато	127 (7)	131 (18)	103 (12)	84 (1)	—	120 (38)	—
Пологiй склонъ	112 (3)	91 (5)	122 (13)	117 (4)	80 (1)	112 (26)	101 (5)
Крутой склонъ	—	—	101 (3)	84 (1)	65 (3)	83 (7)	150 (1)
Всѣ склоны	112 (3)	91 (5)	118 (16)	110 (5)	69 (4)	106 (33)	109 (6)
Разница въ пользу плато	15	40	—15	—26	—	14	—

Таб. XIII. Соотношенія между формой рельефа и мощностью горизонта бѣлоглазки.

Варианты почвъ Рельефъ	Черноземныя почвы.					Среднiя всѣхъ град. чернозема.	Лѣсныя почвы.
	9.0-7.5	7.5-6.5	6.5-5.0	5.0-3.5	3.5-1.0		
Плато	39 (1)	46 (4)	38 (3)	66 (1)	—	45 (9)	—
Пологiй склонъ	—	27 (1)	38 (2)	45 (1)	—	37 (4)	—
Крутой склонъ	—	—	57? (1)	47 (1)	—	52 (2)	25 (1)
Всѣ склоны	—	27 (1)	44 (3)	46 (2)	—	42 (6)	25 (1)
Разница въ пользу плато	—	19	—6?	20	—	3	—



Таб. XIV. Соотношенія между формой рельефа и числом случаевъ содержанія дутиковъ (% %).

Варианты почвъ Рельефъ	Черноземныя почвы.					Среднiя всѣхъ град. чернозема.	Лѣсныя почвы.
	9.0-7.5	7.5-6.5	6.5-5.0	5.0-3.5	3.5-1.0		
Плато	5 (36)	0 (37)	0 (16)	0 (2)	100? (1)	2 (92)	14 (7)
Пологiй склонъ	13 (8)	25 (8)	13 (16)	0 (7)	43 (7)	17 (46)	9 (11)
Крутой склонъ	—	—	100 (1)	—	100 (5)	100 (6)	100 (9)
Всѣ склоны	13 (8)	25 (8)	18 (17)	0 (7)	67 (12)	27 (52)	29 (14)
Разница въ пользу склоновъ	8	25	18	0	—33?	25	15

Изъ приведенныхъ таблицъ видно, что въ отношенiи механическаго состава ананьевскiя почвы главной своей массой относятся къ суглинистой разности, причемъ степень песчаности замѣтно возрастаетъ съ увеличенiемъ крутизны склона. Въ черноземахъ плато весьма наглядно выявляется и зависимость процентнаго содержанiя гумуса отъ степени песчаности почвы; большая песчаность — меньше гумуса.

Содержанiе гумуса какъ для черноземныхъ, такъ и для лѣсныхъ почвъ находится въ тѣсной зависимости отъ формы рельефа, являясь наивысшимъ въ почвахъ плато.

Означенная зависимость вполне понятна, принимая во вниманiе, что отъ крутизны склона зависитъ количество влаги атмосферныхъ осадковъ, проникающей въ почвогрунтъ и смывающая дѣятельность стекающей по поверхности воды.

Среднее содержанiе гумуса для черноземныхъ почвъ плато 7,2%, для пологихъ склоновъ 5,6% и для крутыхъ 4,0%. Лѣсныя почвы плато содержатъ органическихъ веществъ 8,1%; тѣ же почвы на пологомъ склонѣ имѣютъ 6,7% гумуса, а на крутомъ 2,7%.

Табл. III—VIII характеризуютъ ананьевскiе почвогрунты въ отношенiи мощности ихъ гумусовыхъ горизонтовъ. Средняя мощность черноземовъ плато (A+B) 91 см.; на склонахъ



мощность падаетъ, составляя въ пользу плато разницу въ 17 см. Для лѣсныхъ почвъ эта разница значительно слабѣе выражена: мощность лѣсной почвы на плато 74 см., на склонахъ 66 см. Наибольшій процентъ почвъ съ мощностью свыше метра приходится на долю черноземовъ плато съ содержаніемъ гумуса 7,5—6,5%. Большій процентъ почвъ съ мощностью > 100 см. для крутыхъ склоновъ по сравненію съ пологими склонами легко объясняется механическимъ составомъ отдѣльныхъ профилей крутого склона (большая песчаность). Вообще же таблицы мощности вполне согласуются съ таблицей песчаности<sup>14)</sup>.

Однородно окрашенный гумусомъ горизонтъ (А) для всѣхъ градацій черноземныхъ почвъ, залегающихъ на плато, всегда больше половины всего гумусоваго слоя (А+В); между тѣмъ на склонахъ его мощность меньше половины мощности А+В. Последнее, очевидно, слѣдуетъ объяснить смывающей дѣятельностью стекающихъ по поверхности водъ.

Соотношенія между формой рельефа и мощностью горизонта, выщелоченнаго отъ карбонатовъ (таб. IX) въ среднихъ выводахъ для чернозема и для лѣсныхъ почвъ показываютъ во всѣхъ случаяхъ разницу въ пользу плато. Средняя глубина вскипанія черноземовъ плато 59 см., а черноземовъ склоновъ 38 см. Для первыхъ она за предѣлами горизонта А; для вторыхъ — въ его предѣлахъ, находясь близъ границы съ переходнымъ горизонтомъ.

Въ лѣсныхъ почвахъ линія вскипанія значительно понижена и находится всегда въ слоѣ, подстилающемъ гумусовый горизонтъ.

Что касается формъ отложенія углекислой извести, то изъ приведенныхъ таблицъ (X—XIV) мы видимъ, что наибольшаго распространенія въ предѣлахъ изученной глубины профиля (до 200 см.) имѣютъ кристаллы люблинита, причемъ наибольшее число случаевъ содержанія люблинита приходится на долю черноземовъ плато (92%). Распространеніе люблинита въ черноземныхъ почвахъ склоновъ значительно меньше (53%), но зато на смѣну люблиниту выступаетъ бѣлоглазка, число случаевъ содержанія которой въ почвахъ склоновъ значительно больше нежели въ почвахъ плато. Для плато 54%; для склоновъ 63%.

Лѣсныя почвы въ этомъ отношеніи рѣзко отличаются отъ черноземовъ. Образование въ нихъ люблинита вообще рѣже нежели въ черноземахъ, и всегда чаще въ почвахъ склоновъ (71%), чѣмъ въ почвахъ плато (43%). Въ отношеніи же числа случаевъ содержанія бѣлоглазки, лѣсныя почвы,

14) Намѣчающіяся иногда въ цифрахъ приведенныхъ таблицъ (I—IV) нѣкоторыя логическія несоотвѣтствія слѣдуетъ объяснить слишкомъ недостаточнымъ для даннаго случая числомъ наблюдений.



отличаясь, опять-таки, меньшимъ развитіемъ въ нихъ этой формы карбонатовъ по сравненію съ почвами черноземными, въ соотношеніяхъ съ формой рельефа идутъ параллельно съ черноземами. На склонахъ у нихъ бѣлоглазка чаще (43%) чѣмъ на плато (29%).

Меньшее развитіе люблинита въ лѣсныхъ почвахъ и отличающееся отъ черноземовъ его распредѣленіе въ почвахъ плато и склоновъ мнѣ представляется возможнымъ объяснить слѣдующимъ образомъ.

Кристаллы люблинита, представляющіе подвижную форму отложенія почвенныхъ карбонатовъ, являются характерной особенностью почвъ, въ которыхъ процессы перемѣщенія и траты почвеннаго раствора на испареніе и на нужды растеній происходятъ медленно. Только въ этихъ случаяхъ углекислая известь, медленно выпадая изъ раствора, успѣваетъ формировать типичные кристаллы <sup>15)</sup>.

Черноземы плато, являясь въ силу своего равниннаго залеганія болѣе увлажненными по сравненію съ черноземными почвами склоновъ, отдаютъ свою влагу на испареніе и на нужды растеній значительно медленнѣе этихъ послѣднихъ. Поэтому то и случаи содержанія въ нихъ люблинита чаще нежели въ черноземахъ склоновъ.

Въ лѣсныхъ почвахъ увлажненіе почвогрунта при тѣхъ же климатическихъ условіяхъ, въ силу фитологическаго момента, вообще значительно больше чѣмъ въ почвахъ степныхъ, и на плато, въ свою очередь большее, чѣмъ на склонахъ, такъ какъ на склонахъ много воды атмосферныхъ осадковъ стекаетъ по поверхности.

Такимъ образомъ почва подъ лѣсомъ на плато, поглощая значительныя количества влаги атмосферныхъ осадковъ, глубоко выноситъ растворенные карбонаты, что наглядно представлено таблицей выщелоченности ананьевскихъ почвогрунтовъ (таб. IX).

Въ силу значительной влажности лѣсныхъ почвъ плато почвенный растворъ, содержащій карбонаты, не поднимется высоко по капиллярамъ и выпаденіе кристалловъ люблинита въ этихъ почвахъ не такъ часто (43%).

Лѣсныя почвы склоновъ менѣе влажны, такъ какъ поглощаютъ меньше влаги атмосферныхъ осадковъ. Поэтому они и выщелочены менѣе (83 см.), и почвенный растворъ съ карбонатами находится ближе къ поверхности и выдѣленіе люблинита въ нихъ чаще (71%).

Послѣднее, правда, какъ выяснили мои наблюденія въ Старобѣльскомъ уѣздѣ Харьк. губ., не относится къ почвамъ,

<sup>15)</sup> А. И. Набокиныхъ. Распредѣленіе карбонатовъ въ почвахъ юго-западной Россіи („Хозяйство“, 1912, Кіевъ).



лежащимъ на склонахъ, обращенныхъ къ сѣверу <sup>16)</sup>. Увлажненіе этихъ послѣднихъ почвъ больше даже, чѣмъ почвъ плато. Причиной этому является то, что на сѣверныхъ склонахъ снѣгъ задерживается дольше, медленнѣе таетъ и большая часть талой воды проникаетъ въ почву. Вотъ почему процентъ черноземныхъ почвъ съ люблинитомъ на сѣверныхъ склонахъ большій, чѣмъ на плато, а глубина отложенія люблинита на нихъ меньшая, чѣмъ въ почвахъ южныхъ склоновъ.

Одновременное присутствіе въ ананьевскихъ черноземахъ двухъ различныхъ по своему генезису формъ отложеній карбонатовъ — люблинита и бѣлоглазки — позволяетъ придти къ нѣкоторымъ заключеніямъ, касающимся колебаній въ условіяхъ формированія почвъ изученнаго района.

Дѣло въ томъ, что каждая изъ упомянутыхъ формъ отложенія карбонатовъ является характерной для почвъ съ опредѣленными условіями увлажненія грунта.

Люблинитовыя иглы, какъ было указано выше, образуются въ черноземахъ въ томъ случаѣ, когда условія увлажненія его таковы, что позволяютъ процессамъ перемѣщенія и расходованія почвенныхъ растворовъ на испареніе и на нужды растеній протекать медленно.

Кристаллы люблинита въ этомъ случаѣ пронизываютъ зернисто-орѣховатый гумусовый переходный горизонтъ чернозема, распространяясь и въ подстилающей, почти неизмѣненной массѣ материнской породы.

Между тѣмъ бѣлоглазка, представляющая мучнистую форму карбонатныхъ отложеній, характерна для почвъ болѣе засушливыхъ районовъ черноземной зоны.

Быстрая трата содержащаго  $CaCO_3$  почвеннаго раствора на испареніе и нужды растеній не позволяетъ углекислой извести выкристаллизоваться и послѣдняя выпадаетъ въ формѣ мучнистыхъ осадковъ. Въ этихъ случаяхъ на почвенномъ профилѣ рѣзко выдѣляется краснобурый призматическій горизонтъ бѣлоглазки, подстилающей зернисто-орѣховатый переходный горизонтъ чернозема съ начинающимися формироваться вкрапленіями бѣлыхъ мучнистыхъ глазковъ  $CaCO_3$ .

Вотъ почему люблинитовыя черноземы характерны для сѣверныхъ болѣе влажныхъ районовъ черноземной зоны Россіи, въ то время какъ черноземы съ типичной бѣлоглазкой характеризуютъ южную сухую область чернозема.

На территоріи Ананьевскаго уѣзда намъ въ большинствѣ случаевъ удалось констатировать совмѣстное наличіе

16) Ё. Злоковић. Землишта Старобельског уѣзда Харьковске губерније (Геол. Ан. Балк. Пол. Књ. IX, св. 1. Београд, 1927.).



обѣихъ формъ — и люблинита и бѣлоглазки, причемъ переходный зернисто-орѣховатый горизонтъ люблинита лежитъ на красновато-буроватомъ орѣховато-призматическомъ горизонтѣ бѣлоглазки, во многихъ случаяхъ отвердѣвшей. Это обстоятельство позволяетъ намъ придти къ заключенію, что климатическія условія почвообразованія въ изслѣдованной нами области измѣнились. Сухой климатъ предшествовавшей эпохи смѣнился болѣе влажнымъ современнымъ климатомъ и южный сухой вариантъ чернозема смѣнился сѣвернымъ влажнымъ. Мучнистыя отложенія бѣлоглазки, такимъ образомъ, слѣдуетъ считать явленіемъ реликтовымъ, подтвержденіе чему можно видѣть еще и въ томъ, что во многихъ случаяхъ мучнистыя глазки являются отвердѣвшими. Бѣлоглазка новѣйшаго происхожденія всегда составлена во всей своей массѣ изъ карбонатной муки. Болѣе древняя бѣлоглазка обычно содержитъ внутри плотныя и хрупкія ядрышки скрытно-кристаллическаго строенія; весьма же часто реликтовые глазки являются и цѣликомъ отвердѣвшими (перекристаллизованными <sup>17</sup>).

<sup>17</sup>) А. И. Набокихъ. Къ методикѣ полев. и лабораторнаго изслѣдованія почвогрунтовъ.

(Зап. Импер. Общ. сельск. хоз. южн. Россіи, Одесса, 1914.



Гумусъ %	Глины и суглинки %	Суглинно- супеси %	Супеси %	Супески %	Пески %	Мощ- ность А + В см.	Мощ- ность выщело- ченного горизонта см.	Число случаевъ содержанія		
								Любли- нита	Бѣло- глазки	Дутиковъ
4,2	0	71	14	0	15	71	27 (4)	0	0	29
(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(6)	и > 180 (1)	(7)	(7)	(7)

Развитіе дутиковъ въ ананьевскихъ почвогрунтахъ нужно, очевидно, считать явленіемъ постояннымъ, когда почва лежитъ на лессѣ, и если на нашей таблицѣ (таб. XIV) этого и не видно, то только потому, что отложеніе  $CaCO_3$  въ формѣ дутиковъ всегда приурочено къ болѣе глубокимъ горизонтамъ. Наши же данныя являются результатомъ изученія профилей въ предѣлахъ ограниченной глубины (до 2 метр.).

Стопроцентное содержаніе дутиковъ въ профиляхъ крутыхъ склоновъ вполне подтверждаетъ высказанное заключеніе, ибо почвы крутыхъ склоновъ значительно смыты и карбонатный горизонтъ лесса здѣсь ближе къ поверхности.

Что касается аллювиальныхъ почвъ, то среднее распределеніе въ нихъ различныхъ почвенныхъ признаковъ укладывается въ слѣдующія числа (Таб. XV):

Приведенныя среднія данныя для мощности гумусоваго и выщелоченнаго горизонтовъ не могутъ являться особенно показательными, такъ какъ въ отношеніи этихъ признаковъ аллювиальные почвы даютъ значительныя колебанія.

Таб. XV.

Подведя итогъ рассмотрѣннымъ морфологическимъ признакамъ почвогрунтовъ Ананьевскаго уѣзда, намъ представляется возможнымъ вывести слѣдующіе средніе варианты анань-



евскаго степного чернозема, какъ основного типа почвеннаго покрова изслѣдованной области.

Таб. XVI.

Рельефъ	Гумусъ (% %)	Мощность одно- родно окрашен- наго гумусомъ го- ризонта (см. см.).	Мощность всего окрашеннаго гуму- сомъ горизонта.	Мощность горизон- та, выщелоченнаго отъ карбонатовъ.	Глубина залеганія бѣлоглазки.
Разрѣзъ чернозема на плато.	7.2	50	91	59	120
Разрѣзъ чернозема на пологомъ склонѣ.	5.6	41	78	39	112
Разрѣзъ чернозема на крутомъ склонѣ.	4.0	39	64	36	83

Институтъ агрономической химіи  
Бѣлградскаго Университета  
октябрь 1930 г.







Я. Хлытчѣвъ.

## О ГИПОТЕЗѢ ЖУРАВСКАГО.

(къ LXXV-лѣтію).

§ 1. Уже въ XVIII вѣкѣ труды Я. Бернулли и Эйлера выяснили величины напряженій нормальныхъ къ поперечному сѣченію изогнутой балки; полученные ими результаты были подтверждены позднѣйшими изслѣдованіями Сень-Венана. Что же касается т. н. скалывающихъ напряженій, т. е. напряженій, лежащихъ въ плоскости сѣченія, то только въ серединѣ XIX вѣка русскій инженеръ путей сообщенія Д. Журавскій \*) указалъ на неизбѣжность ихъ появленія при изгибѣ балки силой и высказалъ предположенія объ ихъ распредѣленіи въ брусьяхъ прямоугольнаго профиля.

Эта гипотеза Журавскаго сводится къ двумъ положеніямъ: 1) скалывающія напряженія, возникающія въ поперечномъ сѣченіи изогнутого силой прямоугольнаго бруса, параллельны этой силѣ и 2) эти напряженія одинаковы во всѣхъ точкахъ прямой параллельной нейтральной оси. Иначе говоря, если мы расположимъ начало координатъ въ центрѣ тяжести закрѣпленнаго основанія бруса (черт. 1),  $Oz$  направимъ нормально къ этому основанію, а  $Ox$  параллельно внѣшней силѣ  $P$ , приложенной къ свободному основанію, то въ поперечныхъ сѣченіяхъ бруса, кромѣ нормальныхъ напряженій  $\sigma_z$  возникнутъ лишь скалывающія напряженія  $\tau_{zx}$ , величина которыхъ притомъ не зависитъ отъ  $y$ .

Эта гипотеза приводитъ къ извѣстной формулѣ для опредѣленія величины скалывающихъ напряженій

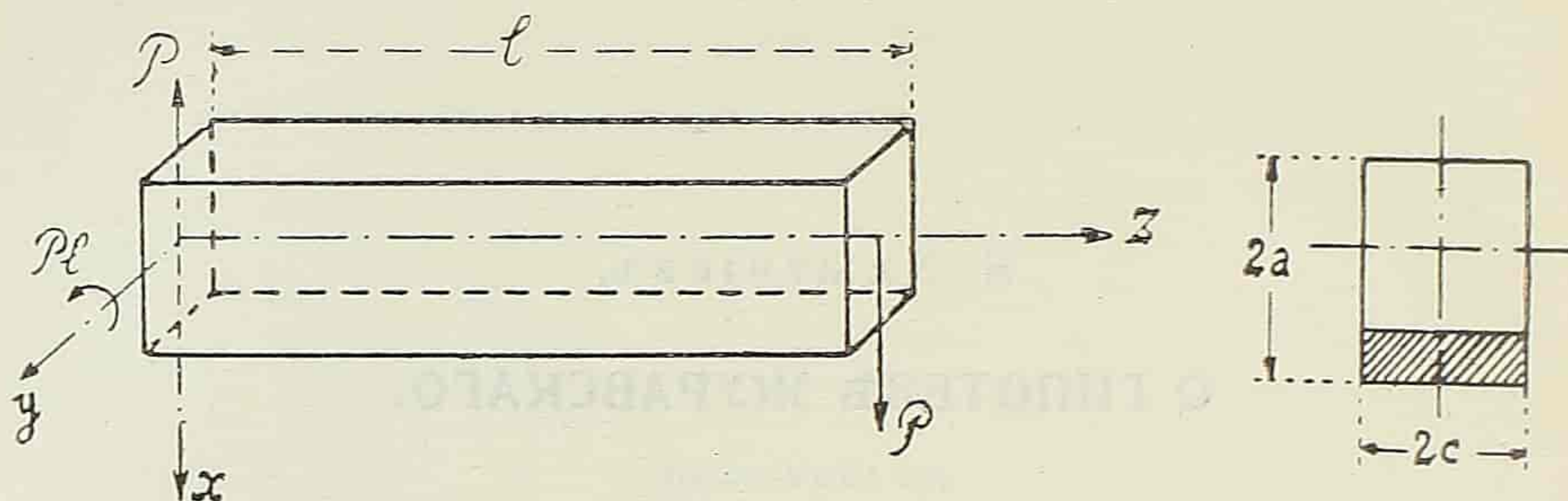
$$\tau_{zx} = \frac{PS}{I_y 2c} \quad (1)$$

гдѣ  $S$  — статическій моментъ части площади сѣченія, лежа-

\*) D. Jouravsky, Ann. des ponts et chaussées, 1856.



шей ниже рассматриваемой точки (на чертежѣ заштрихована), взятый относительно нейтральной оси,  $I_y$  — моментъ инерціи



Черт. 1.

площади сѣченія относительно той же оси, а  $2c$  — ширина бруса. Принимая во вниманіе, что для прямоугольника:

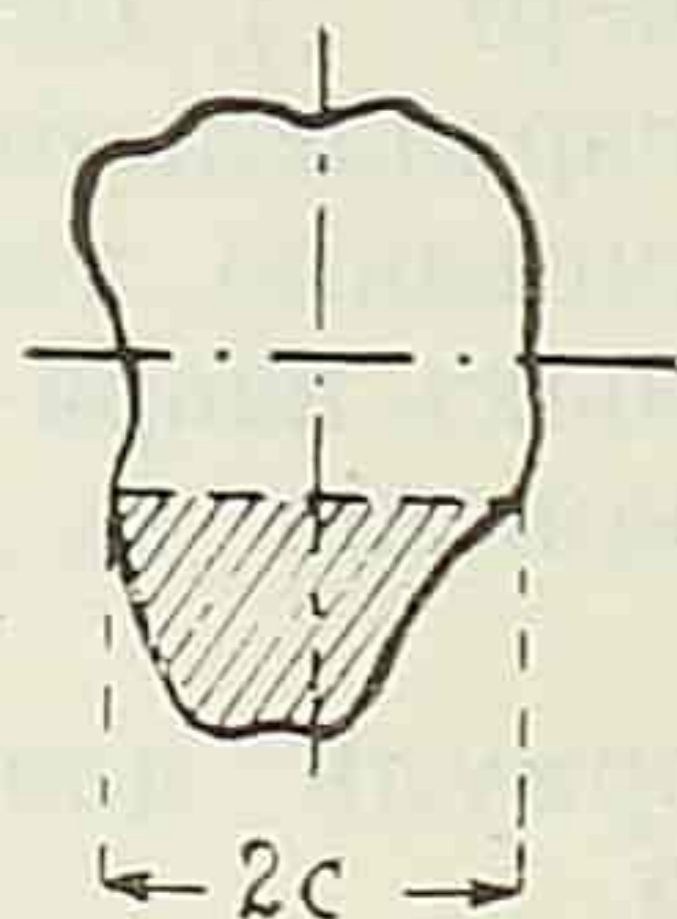
$$S = c(a^2 - x^2), \quad I_y = \frac{1}{3} a^3 c,$$

гдѣ  $2a$  — высота прямоугольника, и обозначая через  $F$  площадь сѣченія, можно формулу (1) представить въ видѣ

$$\tau_{zx} = \frac{3}{2} \frac{P(a^2 - x^2)}{a^2 F} \quad (2)$$

Французскій инженеръ Брессъ \*) произвольно распространилъ гипотезу Журавскаго на балки любого профиля и съ тѣхъ поръ формула (1) широко употребляется инженерами всѣхъ странъ, причемъ подъ  $2c$  подразумѣвается ширина сѣченія въ томъ его мѣстѣ, для котораго опредѣляется скалывающее напряженіе (черт. 2).

Вскорѣ вслѣдъ за Журавскимъ знаменитый французскій инженеръ Сень-Венанъ опубликовалъ свои изслѣдованія изгиба



Черт. 2,

подобныхъ профилей \*\*).

балокъ. Эти изслѣдованія, произведенныя имъ для значительнаго числа разнообразныхъ профилей (въ томъ числѣ и для прямоугольнаго), показали, что распределеніе скалывающихъ напряженій при этихъ профиляхъ, вообще, отступаетъ отъ предположенія Журавскаго — Бресса, но что эти отступленія незначительны, если ширина профиля мала по сравненію съ его высотой, и что поэтому примѣненіе формулы (1) допустимо для изгибаемыхъ „на ребро“ балокъ прямоугольнаго, эллипческаго и имъ

\*) Bresse, „Cours de mécanique appliquée“, 1, Paris, 1859.

\*\*\*) Инженерная практика, къ сожалѣнію, вынуждена итти гораздо дальше и уже безъ всякихъ теоретическихъ основаній и въ противность даннымъ опыта распространяетъ формулу (1) на балки двутавроваго, корытнаго и т. п. профилей.



Такимъ образомъ гипотеза Журавскаго, вообще говоря, не оправдалась не только въ распространенномъ толкованіи Бресса, но даже и въ своей первоначальной, гораздо болѣе узкой формулировкѣ. Настоящая статья представляетъ попытку провѣрить эту гипотезу и установить предѣлы ея примѣнимости непосредственнымъ сравненіемъ ея положеній съ уравненіями равновѣсія упругаго тѣла. Такая провѣрка была, конечно, невозможна во времена Журавскаго, но можетъ быть безъ затрудненій вышолнена теперь, когда упомянутыя уравненія вполнѣ отчетливо формулированы.

§ 2. Если мы примемъ обычныя въ техникѣ обозначенія для шести компоненто́въ, опредѣляющихъ напряженное состояніе въ точкѣ тѣла, именно  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  для нормальныхъ и  $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ ,  $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ ,  $\tau_{zx} = \tau_{xz}$  для скальвающихъ компоненто́въ напряженія, то гипотеза Журавскаго-Бресса сводится къ предположенію, что при выбранныхъ нами направленіяхъ осей въ каждой точкѣ изогнутой балки равны нулю всѣ компоненты, кромѣ  $\sigma_z$  и  $\tau_{zy} = \tau_{yz}$ , приче́мъ послѣдній не зависитъ отъ  $y$ .

Съ другой стороны, мы знаемъ, что компоненты напряженій въ каждой точкѣ изотропно-упругаго тѣла, находящагося подѣ дѣйствіемъ только поверхностныхъ силъ, должны удовлетворять слѣдующимъ 9-ти уравненіямъ:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0, & \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} &= 0, \\ & & \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} &= 0, \\ \Delta \sigma_x &= -\frac{1}{1+\mu} \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2}, & \Delta \sigma_y &= -\frac{1}{1+\mu} \frac{\partial^2 \Theta}{\partial y^2}, \\ & & \Delta \sigma_z &= -\frac{1}{1+\mu} \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2}, \\ \Delta \tau_{xy} &= -\frac{1}{1+\mu} \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x \partial y}, & \Delta \tau_{yz} &= -\frac{1}{1+\mu} \frac{\partial^2 \Theta}{\partial y \partial z}, \\ & & \Delta \tau_{zx} &= -\frac{1}{1+\mu} \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z \partial x}, \end{aligned} \right\} (3)$$

гдѣ черезъ  $\Delta$  обозначена Лапласова операція:  $\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$  черезъ  $\Theta$  сумма нормальныхъ напряженій  $\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$ , а черезъ  $\mu$  коэффициентъ Пуассона. Въ точкахъ внѣшней поверхности тѣла компоненты напряженій должны, кромѣ того,



соотвѣтствовать внѣшнимъ силамъ, въ данномъ случаѣ силѣ  $P$  на свободномъ торцѣ, силѣ  $(-P)$  и моменту  $(-Pl)$  на закрѣпленномъ и условію отсутствія силъ на боковой поверхности.

Подставляя въ уравненія (3) согласно первому положенію Журавскаго  $\sigma_x = \sigma_y = \tau_{xy} = \tau_{yz} = 0$ , мы видимъ, что второе изъ уравненій (9) удовлетворяется при этомъ тождественно, а остальные даютъ:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial x^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial y^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial z^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial y \partial z} = 0, \quad \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial x \partial y} = 0, \\ \frac{\partial^2 \tau_{zx}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tau_{zx}}{\partial y^2} = -\frac{1}{1+\mu} \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial z \partial x} \end{aligned} \right\} (4)$$

Дифференцируя второе изъ этихъ уравненій по  $x$  и сравнивая съ послѣднимъ изъ нихъ, мы получимъ

$$\frac{\partial^2 \tau_{zx}}{\partial y^2} = \frac{\mu}{1+\mu} \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial z \partial x}, \quad (5)$$

а такъ какъ  $\sigma_z$  въ данномъ случаѣ изгиба, какъ извѣстно пропорціонально  $xz$  и, слѣдовательно,

$$\frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial z \partial x} > 0,$$

то  $\tau_{zx}$  должно зависѣть отъ  $y$ , т. е. второе положеніе Журавскаго, если и возможно вообще, то, во всякомъ случаѣ, несовмѣстимо съ первымъ его положеніемъ, притомъ независимо отъ формы профиля балки.

Оставляя пока въ сторонѣ вопросъ о томъ, возможно ли, вообще, второе положеніе Журавскаго, рассмотримъ подробнѣе, къ какимъ дальнѣйшимъ результатамъ приведетъ насъ первое положеніе.

§ 3. Остальные уравненія группы (4) показываютъ, что выраженіе функціи  $\sigma_z$  не можетъ содержать квадратовъ и высшихъ степеней координатъ, а также произведеній  $yz$  и  $xz$ , т. е. что эта функція должна имѣть видъ

$$\sigma_z = A + Bx + Cy + Dz + Exz, \quad (6)$$



гдѣ  $A, B, \dots$  постоянныя. Тогда изъ первыхъ двухъ уравненій группы (4) имѣемъ

$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} = -D - Ex, \quad \frac{\partial^2 \tau_{zx}}{\partial y^2} = \frac{\mu}{1 + \mu} E,$$

откуда слѣдуетъ

$$\tau_{zx} = L - Dx + Ny - \frac{1}{2} Ex^2 + \frac{\mu}{2(1 + \mu)} Ey^2, \quad (7)$$

гдѣ  $L$  и  $N$  постоянныя.

Теперь мы должны принять во вниманіе условія на поверхности, ограничивающей наше тѣло. Обозначимъ черезъ  $p_x, p_y, p_z$  проекціи силы, приходящейся на единицу площади внѣшней поверхности въ данной точкѣ, а черезъ  $a, b, c$  косинусы угловъ, составляемыхъ съ осями нормалью къ этой поверхности въ той же точкѣ. Тогда мы имѣемъ для проекцій силы извѣстныя зависимости:

$$p_x = a\sigma_x + b\tau_{xy} + c\tau_{zx},$$

$$p_y = b\sigma_y + c\tau_{yz} + a\tau_{xy},$$

$$p_z = c\sigma_z + a\tau_{zx} + b\tau_{yz},$$

которыя въ нашемъ случаѣ даютъ:

$$\left. \begin{aligned} p_x &= c \left\{ L - Dx + Ny - \frac{1}{2} Ex^2 + \frac{\mu}{2(1 + \mu)} Ey^2 \right\}, \\ p_y &= 0, \\ p_z &= c \left\{ A + Bx + Cy + Dz + Exz \right\} + \\ &\quad + a \left\{ L - Dx + Ny - \frac{1}{2} Ex^2 + \frac{\mu}{2(1 + \mu)} Ey^2 \right\}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Эти условія (8) мы должны примѣнить къ различнымъ частямъ поверхности, ограничивающей нашу балку. Начнемъ съ торцовъ.

Для свободнаго торца  $z = l$ , гдѣ  $l$  — длина балки, а нормаль параллельна  $Oz$ , т. е.  $a = b = 0, c = 1$ , слѣдовательно въ точкахъ этого торца на основаніи (8) имѣемъ:

$$\left. \begin{aligned} p_x &= L - Dx + Ny - \frac{1}{2} Ex^2 + \frac{\mu}{2(1 + \mu)} Ey^2, \\ p_y &= 0, \quad p_z = A + Bx + Cy + Dl + Exl. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$



Эти силы, дѣйствующія на единицу площади, должны для всей площади торца приводиться къ равнодѣйствующей  $P$ , параллельной  $Ox$ , т. е. должно быть

$$\left. \begin{aligned} \iint p_x dx dy &= P, \\ \iint p_y dx dy &= 0, \quad \iint p_z dx dy = 0, \\ \iint (xp_y - yp_x) dx dy &= 0, \quad \iint (yp_z - lp_y) dx dy = 0, \\ \iint (lp_x - xp_z) dx dy &= 0, \end{aligned} \right\} (10)$$

гдѣ всѣ интегралы распространяются по поверхности торца. Подставляя въ эти интегралы выраженія (9) и замѣтивъ, что благодаря выбранному расположенію осей

$$\begin{aligned} \iint x dx dy &= 0, \quad \iint y dx dy = 0, \\ \iint xy dx dy &= 0, \quad \iint x^2 y dx dy = 0, \quad \iint y^3 dx dy = 0 \end{aligned}$$

и вводя обозначенія для главныхъ моментовъ инерціи профиля балки:

$$\iint x^2 dx dy = I_y, \quad \iint y^2 dx dy = I_x,$$

мы получимъ:

$$\left. \begin{aligned} LF - \frac{1}{2}EI_y + \frac{\mu}{2(1+\mu)}EI_x &= P, \\ AF + DIF &= 0, \\ NI_x &= 0, \\ CI_x &= 0, \\ BI_y + EI_y l &= 0. \end{aligned} \right\} (11)$$

Поступая аналогично для закрѣпленнаго конца, гдѣ



$z=0$ , а внѣшняя нормаль параллельна отрицательной  $Oz$ , т. е.  $a=b=0$ ,  $c=-1$ , мы найдемъ:

$$\left. \begin{aligned} p_x &= -\left\{L - Dx + Ny - \frac{1}{2}Ex^2 + \frac{\mu}{2(1+\mu)}Ey^2\right\}, \\ p_y &= 0, \\ p_z &= -(A + Bx + Cy). \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Эти силы должны приводиться къ силѣ ( $-P$ ) и моменту ( $-Pl$ ), направленному по  $Oy$ , т. е. должно быть

$$\left. \begin{aligned} \iint p_x \, dx dy &= -P, \\ \iint p_y \, dx dy &= 0, \quad \iint p_z \, dx dy = 0, \\ \iint (xp_y - yp_x) \, dx dy &= 0, \quad \iint yp_z \, dx dy = 0, \\ - \iint xp_z \, dx dy &= -Pl, \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

гдѣ интегралы взяты по площади торца. Подставивъ въ эти уравненія выраженія (12), найдемъ

$$\left. \begin{aligned} LF - \frac{1}{2}El_y + \frac{\mu}{2(1+\mu)}El_x &= P, \\ AF = 0, \quad NI_x = 0, \quad CI_x = 0, \\ BI_y &= -Pl. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Рѣшая совмѣстно (11) и (14), найдемъ величины постоянныхъ:

$$A = C = D = N = 0,$$

$$B = -\frac{Pl}{I_y}, \quad E = \frac{P}{I_y}, \quad L = \frac{3}{2} \frac{P}{F} - \frac{\mu}{2(1+\mu)} \frac{P}{F} \frac{I_x}{I_y},$$

такъ что принявъ  $\mu = \frac{1}{4}$  и обозначивъ черезъ  $i_x$ ,  $i_y$  главные радіусы инерціи площади сѣченія, будемъ имѣть:



$$\left. \begin{aligned} \sigma_z &= -\frac{P}{I_y} (l-z) x, \\ \tau_{zx} &= \frac{P}{F} \left( 1,5 - 0,1 \frac{I_x}{I_y} \right) - \frac{1}{2} \frac{P}{I_y} (x^2 - 0,2y^2) = \\ &= -\frac{P}{F} \left( 1,5 - 0,1 \frac{i_x^2}{i_y^2} \right) \left( \frac{x^2}{3i_y^2 - 0,2i_x^2} - \frac{y^2}{15i_y^2 - i_x^2} - 1 \right). \end{aligned} \right\} (15)$$

Намъ осталось еще выполнить послѣднее условіе — отсутствія внѣшнихъ силъ на боковой поверхности. Нормаль въ любой точкѣ этой поверхности перпендикулярна къ  $Oz$ , т. е. въ любой точкѣ  $c=0$ , и, слѣдовательно

$$p_x = 0, \quad p_y = 0,$$

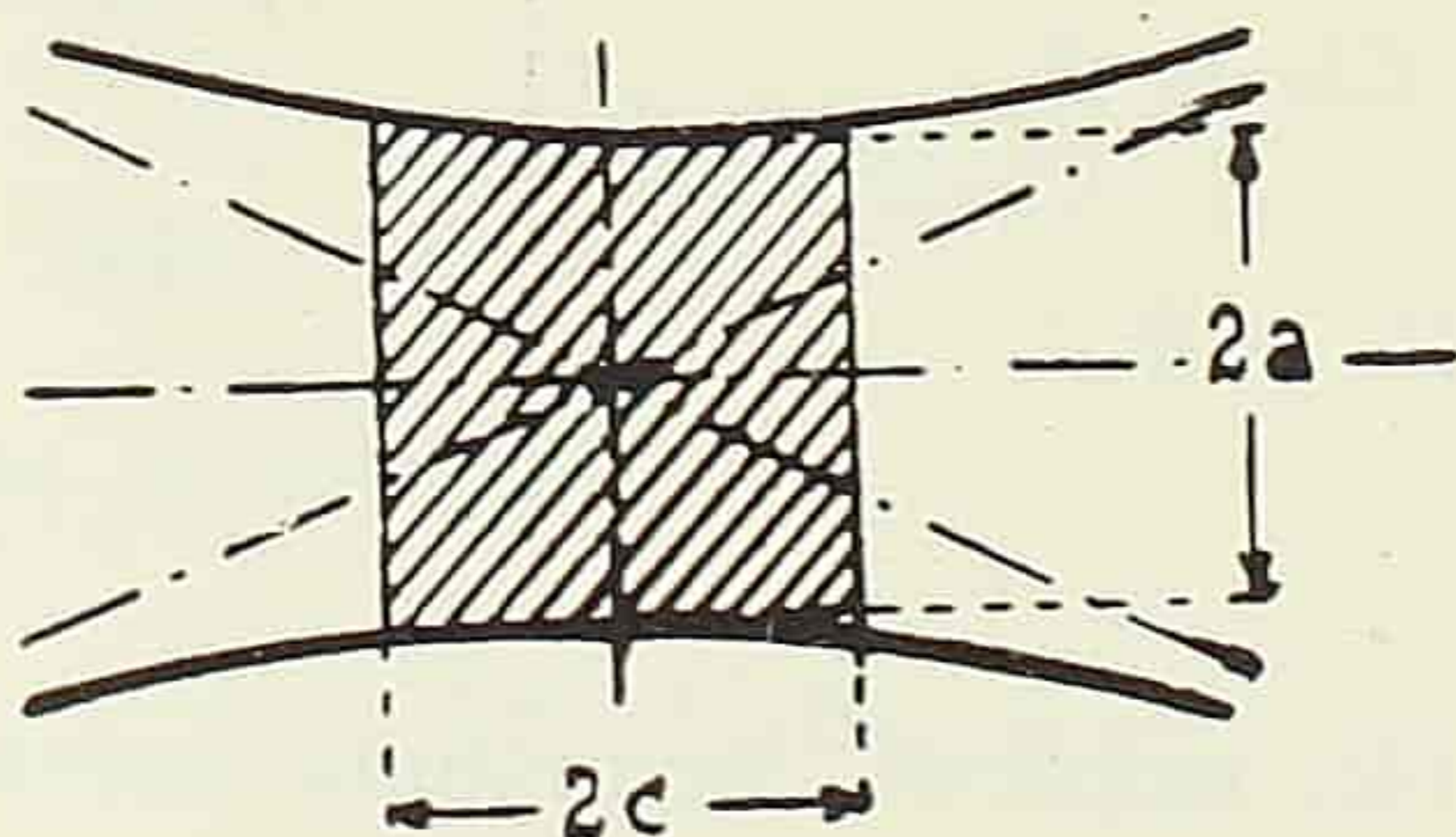
$$p_z = -a \frac{P}{F} \left( 1,5 - 0,1 \frac{i_x^2}{i_y^2} \right) \left( \frac{x^2}{3i_y^2 - 0,2i_x^2} - \frac{y^2}{15i_y^2 - i_x^2} - 1 \right).$$

Для равенства нулю внѣшнихъ силъ въ любой точкѣ боковой поверхности необходимо, чтобы въ этой точкѣ было или

$$a = 0,$$

т. е. нормаль къ поверхности была параллельна  $Oy$ , или чтобы было

$$\frac{x^2}{3i_y^2 - 0,2i_x^2} - \frac{y^2}{5(3i_y^2 - 0,2i_x^2)} - 1 = 0. \quad (16)$$



Черт. 3.

Такимъ образомъ, сѣченіе балки должно быть ограничено (чертежъ 3) двумя прямыми параллельными  $Ox$  и двумя вѣтвями гиперболы (16) съ отношеніемъ полуосей  $a/b = \sqrt{5}$  и только для такого сѣченія\*) точно

подтверждается первое положеніе гипотезы Журавскаго. При этомъ отношеніи полуосей гипербола получается столь пологой, что найденный профиль, дѣйствительно, близокъ къ прямоугольнику, особенно, если его ширина меньше высоты.

\*) Обратную задачу опредѣленія напряженій въ такомъ сѣченіи рѣшилъ Grashof: „Elasticität und Festigkeit“, Berlin, 1878.



§ 4. Для того, чтобы сравнить величину скальвующаго напряженія въ профилѣ, представленномъ на черт. 3, съ формулой (2), необходимо вычислить для этого профиля величины площади сѣченія  $F$ , и ея моментовъ инерціи  $I_x$  и  $I_y$ , входящія въ формулу (15) для  $\tau_{zx}$ :

$$\left. \begin{aligned} F &= 4ab \int_0^c \sqrt{1 + \frac{y^2}{b^2}} d\left(\frac{y}{b}\right), \\ I_x &= 4ab^3 \int_0^c \frac{y^2}{b^2} \sqrt{1 + \frac{y^2}{b^2}} d\left(\frac{y}{b}\right), \\ I_y &= 4ab^3 \int_0^c \left(1 + \frac{y^2}{b^2}\right)^{3/2} d\left(\frac{y}{b}\right). \end{aligned} \right\} (17)$$

Для большаго удобства сравненія разложимъ подынтегральныя функціи въ ряды по степенямъ  $\frac{y}{b}$ ; тогда формулы (17) получаютъ видъ:

$$\begin{aligned} F &= 4ab \left[ \frac{c}{b} + \frac{1}{6} \left(\frac{c}{b}\right)^3 - \frac{1}{40} \left(\frac{c}{b}\right)^5 + \frac{1}{112} \left(\frac{c}{b}\right)^7 - \dots \right] = \\ &= 4ac \left[ 1 + \frac{1}{30} \left(\frac{c}{a}\right)^2 - \frac{1}{1000} \left(\frac{c}{a}\right)^4 + \frac{1}{14000} \left(\frac{c}{a}\right)^6 - \dots \right] = \\ &= 4ac \left[ 1 + 0,0333 \left(\frac{c}{a}\right)^2 - 0,0010 \left(\frac{c}{a}\right)^4 + 0,0001 \left(\frac{c}{a}\right)^6 - \dots \right], \\ I_x &= 4ab^3 \left[ \frac{1}{3} \left(\frac{c}{b}\right)^3 + \frac{1}{10} \left(\frac{c}{b}\right)^5 - \frac{1}{56} \left(\frac{c}{b}\right)^7 + \frac{1}{144} \left(\frac{c}{b}\right)^9 - \dots \right] = \\ &= \frac{4}{3} ac^3 \left[ 1 + \frac{3}{50} \left(\frac{c}{a}\right)^2 - \frac{3}{1400} \left(\frac{c}{a}\right)^4 + \frac{1}{6000} \left(\frac{c}{a}\right)^6 - \dots \right] = \\ &= \frac{4}{3} ac^3 \left[ 1 + 0,0600 \left(\frac{c}{a}\right)^2 - 0,0021 \left(\frac{c}{a}\right)^4 + 0,0002 \left(\frac{c}{a}\right)^6 - \dots \right], \\ I_y &= \frac{4}{3} a^3b \left[ \frac{c}{b} + \frac{1}{2} \left(\frac{c}{b}\right)^3 + \frac{3}{40} \left(\frac{c}{b}\right)^5 - \frac{1}{112} \left(\frac{c}{b}\right)^7 + \dots \right] = \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
&= \frac{4}{3} a^3 c \left[ 1 + \frac{1}{10} \left( \frac{c}{a} \right)^2 + \frac{3}{1000} \left( \frac{c}{a} \right)^4 - \frac{1}{14000} \left( \frac{c}{a} \right)^6 + \dots \right] = \\
&= \frac{4}{3} a^3 c \left[ 1 + 0,1000 \left( \frac{c}{a} \right)^2 + 0,0030 \left( \frac{c}{a} \right)^4 - 0,0001 \left( \frac{c}{a} \right)^6 + \dots \right], \\
\frac{I_x}{I_y} &= \frac{c^2}{a^2} \left[ 1 - \frac{1}{25} \left( \frac{c}{a} \right)^2 - \frac{1}{875} \left( \frac{c}{a} \right)^4 + \frac{707}{1246875} \left( \frac{c}{a} \right)^6 \right] = \\
&= \frac{c^2}{a^2} \left[ 1 - 0,0400 \left( \frac{c}{a} \right)^2 - 0,0011 \left( \frac{c}{a} \right)^4 + 0,0005 \left( \frac{c}{a} \right)^6 - \dots \right].
\end{aligned}$$

Пользуясь этими разложениями, мы получимъ изъ формулы (15) величины наибольшаго (при  $y = \pm c$ ) и наименьшаго (при  $y = 0$ ) изъ скалывающихъ напряженій въ точкахъ нейтральной оси:

$$\text{при } a = c: (\tau_{zx})_{\max} = 1,681 \frac{P}{F}, \quad (\tau_{zx})_{\min} = 1,404 \frac{P}{F},$$

$$\text{при } a = 2c: (\tau_{zx})_{\max} = 1,549 \frac{P}{F}, \quad (\tau_{zx})_{\min} = 1,475 \frac{P}{F},$$

тогда какъ формула (2) даетъ для всѣхъ точекъ нейтральной оси

$$\tau_{zx} = 1,500 \frac{P}{F}.$$

Какъ видно изъ этихъ результатовъ даже при  $a = c$  формула (2) даетъ достаточную для техническихъ цѣлей точность, случай же  $a < c$ , т. е. балки изгибаемой „плашмя“ никакого интереса не представляетъ, вслѣдствіе малости самыхъ величинъ скалывающихъ напряженій въ этомъ случаѣ.

§ 5. Намъ осталось разсмотрѣть отдѣльно возможность втораго изъ положеній Журавскаго, именно о независимости скалывающаго напряженія отъ  $y$ . Подставляя въ уравненія (3) нули вмѣсто  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$ , а также  $\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial y}$  и  $\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y}$ , мы будемъ имѣть:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0, \quad \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} = 0, \\
\frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial x^2} &= 0, \quad \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial y^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial z^2} = 0, \\
\frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial x \partial y} &= 0, \quad \frac{\partial^2 \tau_{xz}}{\partial x^2} = -\frac{1}{1 + \mu} \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial x \partial z}, \quad \frac{\partial^2 \tau_{yz}}{\partial x^2} = -\frac{1}{1 + \mu} \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial y \partial z},
\end{aligned}$$



откуда слѣдуетъ, что искомыя функціи  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{yz}$  должны имѣть видъ:

$$\sigma_z = A + Bx + Cy + Dz, \quad \tau_{yz} = K + Lx, \quad \tau_{xz} = G - Dx,$$

гдѣ  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $K$ ,  $L$  и  $G$  суть постоянныя. Подставляя найденныя выраженія въ условія (10) и (13), мы легко убѣдимся, что всѣ эти постоянныя равны нулю, такимъ образомъ предположеніе о независимости скалывающихъ напряженій отъ  $y$  при изгибѣ балки силой не оправдывается ни при какой формѣ профиля.

21 апрѣля 1931 г.

Бѣлградъ.

---







И. С. Свищевъ.

## КОНТРОЛИ ПРАВИЛЬНОСТИ СОСТАВЛЕНІЯ УСЛОВНЫХЪ И НОРМАЛЬНЫХЪ УРАВНЕНІЙ ПРИ УРАВНИВАНІИ НИВЕЛЛИРНЫХЪ СЪТЕЙ СПОСОБОМЪ НАИМЕНЬШИХЪ КВАДРАТОВЪ.

При уравниваніи нивеллирныхъ сътей способомъ наименьшихъ квадратовъ, примѣняя коррелаты, — порядокъ работы слѣдующій: сначала опредѣляютъ погрѣшности (невязки) полигоновъ, потомъ составляютъ условныя уравненія и нормальныя уравненія коррелатъ, потомъ изъ рѣшенія нормальныхъ уравненій опредѣляютъ коррелаты и наконецъ опредѣляютъ поправки къ разностямъ высотъ между узловыми реперами (марками).

При опредѣленіи погрѣшностей полигоновъ, какъ и при составленіи условныхъ уравненій, можно писать уравненія идя въ полигонъ или въ направленіи движенія часовой стрѣлки или противъ — отъ этого существо дѣла не страдаетъ и рѣшеніе не мѣняется и не усложняется.

Но всетаки, если держаться какъ постояннаго правила при опредѣленіи погрѣшностей въ полигонахъ, а значитъ и при составленіи условныхъ уравненій — всегда въ каждомъ полигонѣ идти только по часовой стрѣлкѣ (или всегда противъ), то такой порядокъ даетъ возможность имѣть отличный контроль какъ при опредѣленіи погрѣшностей въ полигонахъ и составленіи условныхъ уравненій, такъ и при составленіи нормальныхъ уравненій.

Положимъ имѣемъ, состоящую изъ шести полигоновъ нивеллирную съть, которую требуется уравнивать (черт. 1).

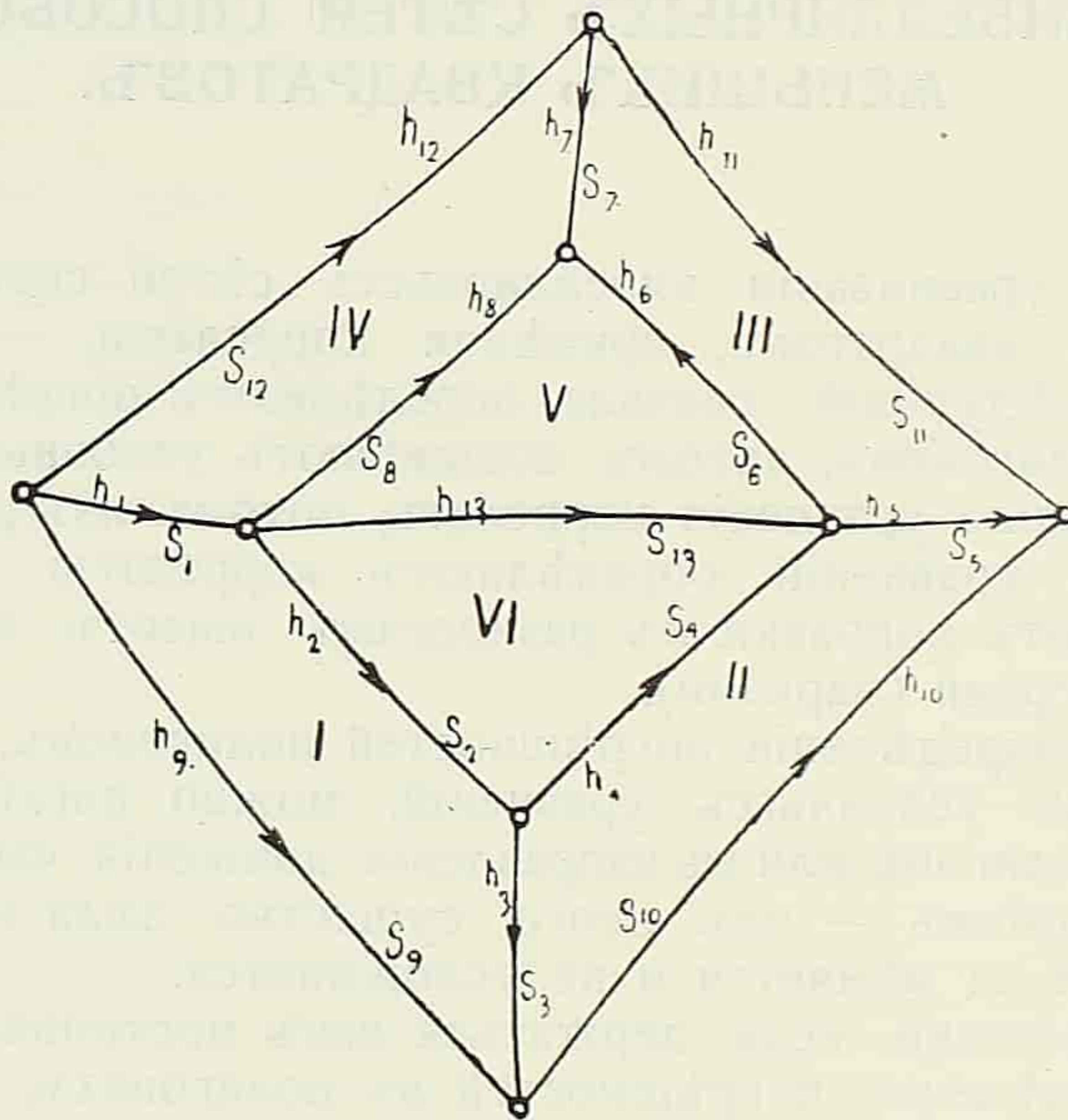
На чертежѣ стрѣлкой указаны направленія положительныхъ разностей высотъ между марками нивелировки, т. е. указаны подъемы.

Погрѣшности (невязки) въ каждомъ полигонѣ опредѣляются по слѣдующимъ формуламъ:



$$\begin{aligned}
 1. \quad & +h_1 + h_2 + h_3 - h_9 = f_1 \\
 2. \quad & -h_3 + h_4 + h_5 - h_{10} = f_2 \\
 3. \quad & -h_5 + h_6 - h_7 + h_{11} = f_3 \\
 4. \quad & +h_7 - h_8 - h_1 + h_{12} = f_4 \\
 5. \quad & +h_8 - h_6 - h_{13} = f_5 \\
 6. \quad & -h_4 - h_2 + h_{13} = f_6.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Стороны, которыми одинъ полигонъ соприкасается съ другимъ, или которыя входятъ въ два сосѣднихъ полигона, какъ на примѣръ  $s_1$   $s_2$   $s_3$   $s_4$   $s_5$   $s_6$   $s_7$   $s_8$  и  $s_{13}$ , будемъ называть



Черт. 1.

внутренними сторонами, а стороны, которыя входятъ только въ одинъ полигонъ, какъ на примѣръ  $s_9$   $s_{10}$   $s_{11}$  и  $s_{12}$  — наружными сторонами.

Въ уравненіяхъ (1) разность высотъ для каждой внутренней стороны входитъ два раза (въ два уравненія) и съ противоположными знаками (если составленіе уравненій вести всегда идя въ направленіи движенія часовой стрѣлки), а разность высотъ каждой наружной стороны только одинъ разъ, беря ее въ направленіи движенія часовой стрѣлки по наружному контуру всей сѣти.



Значитъ, если сложить всѣ уравненія (1), то разности высотъ внутреннихъ сторонъ сократятся, а останутся разности высотъ наружныхъ сторонъ, т. е.

$$-h_9 + h_{12} + h_{11} - h_{10} = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6.$$

Отсюда слѣдуетъ, что невязка  $f_7$  наружнаго полигона, которая опредѣляется независимо отъ уравненій (1) для контроля изъ уравненія

$$-h_9 + h_{12} + h_{11} - h_{10} = f_7 \quad (2)$$

должна быть равна суммѣ невязокъ всѣхъ вышеприведенныхъ шести полигоновъ, т. е.

$$f_7 = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6. \quad (3)$$

Изъ уравненій (1) получаютъ слѣдующія условныя уравненія:

$$\begin{aligned} +a_1 v_1 + a_2 v_2 + a_3 v_3 - a_9 v_9 + f_1 &= 0 \\ -b_3 v_3 + b_4 v_4 + b_5 v_5 - b_{10} v_{10} + f_2 &= 0 \\ -c_5 v_5 + c_6 v_6 - c_7 v_7 + c_{11} v_{11} + f_3 &= 0 \\ +d_7 v_7 - d_8 v_8 - d_1 v_1 + d_{12} v_{12} + f_4 &= 0 \\ +l_8 v_8 - l_6 v_6 - l_{13} v_{13} &+ f_5 = 0 \\ -t_4 v_4 - t_2 v_2 + t_{13} v_{13} &+ f_6 = 0, \end{aligned} \quad (4)$$

которыя благодаря тому, что каждое изъ  $a_1 a_2 a_3 \dots b_1 b_2 b_3 \dots c_1 c_2 c_3 \dots d_1 d_2 d_3 \dots e_1 e_2 e_3 \dots$  и  $t_1 t_2 t_3 \dots t_n$  равно единицѣ, превращаются въ слѣдующія:

$$\begin{aligned} 1. \quad +v_1 + v_2 + v_3 - v_9 + f_1 &= 0 \\ 2. \quad -v_3 + v_4 + v_5 - v_{10} + f_2 &= 0 \\ 3. \quad -v_5 + v_6 - v_7 + v_{11} + f_3 &= 0 \\ 4. \quad +v_7 - v_8 - v_1 + v_{12} + f_4 &= 0 \\ 5. \quad +v_8 - v_6 - v_{13} &+ f_5 = 0 \\ 6. \quad -v_4 - v_2 + v_{13} &+ f_6 = 0, \end{aligned} \quad (4)'$$

гдѣ  $v_1 v_2 v_3 \dots v_{13}$  суть искомыя поправки къ разностямъ высотъ, а  $f_1 f_2 f_3 \dots f_6$  суть невязки въ отдѣльныхъ полигонахъ.







числу условныхъ уравненій, изъ которыхъ въ ураниваніе входятъ только независимыя.

Каждому введенному въ уравниваніе полигону соотвѣтствуетъ одно условное и одно нормальное уравненіе со своими коэффициентами.

Полигону первому соотвѣтствуетъ первое условное уравненіе съ коэффициентами  $a_1 a_2 \dots a_n$ ; второму полигону — второе условное уравненіе съ коэффициентами  $b_1 b_2 b_3 \dots b_n$ ; третьему полигону — третье условное уравненіе съ коэффициентами  $c_1 c_2 c_3 \dots c_n$  и т. д., т. е. коэффициенты той или иной буквы есть принадлежность опредѣленнаго полигона.

Полигону первому соотвѣтствуетъ первое нормальное уравненіе, у котораго членъ  $\left[ \frac{aa}{p} \right]$  квадратный, составляется только по коэффициентамъ условнаго уравненія перваго полигона; остальные члены

$$\left[ \frac{ab}{p} \right] \quad \left[ \frac{ac}{p} \right] \quad \left[ \frac{ad}{p} \right] \quad \left[ \frac{ae}{p} \right] \quad \left[ \frac{at}{p} \right]$$

составляются каждый по коэффициентамъ условныхъ уравненій двухъ сосѣднихъ полигоновъ — перваго и какого-то другого. Причемъ если первый полигонъ не имѣетъ общихъ сторонъ съ какимъ нибудь другимъ полигономъ, то соотвѣтствующій коэффициентъ нормальнаго уравненія равенъ нулю.

Полигону второму соотвѣтствуетъ второе нормальное уравненіе, у котораго квадратный членъ  $\left[ \frac{bb}{p} \right]$  составляется по коэффициентамъ условнаго уравненія втораго полигона. Остальные члены каждый по коэффициентамъ условныхъ уравненій двухъ сосѣднихъ полигоновъ втораго и какого-то другого и т. д.

При нивелировкахъ въ условныхъ уравненіяхъ, а значитъ и въ нормальныхъ, всякій изъ коэффициентовъ  $a_1 a_2 a_3 \dots b_1 b_2 b_3 b_4 \dots c_1 c_2 c_3 \dots t_1 t_2 t_3 \dots t_n$  равенъ или  $+1$  или  $-1$

Вѣса  $p_1 p_2 p_3 \dots p_n$  разностей высотъ  $h_1 h_2 h_3 \dots h_n$  обыкновенно опредѣляются по формуламъ:

$$\begin{array}{l} p_1 = \frac{1}{s_1} \quad \text{откуда} \quad \frac{1}{p_1} = s_1 \\ p_2 = \frac{1}{s_2} \quad \frac{1}{p_2} = s_2 \\ p_3 = \frac{1}{s_3} \quad \frac{1}{p_3} = s_3 \\ \dots \dots \dots \\ \dots \dots \dots \\ p_n = \frac{1}{s_n} \quad \frac{1}{p_n} = s_n, \end{array}$$



гдѣ  $s_1 s_2 s_3 \dots s_n$  суть разстоянія между нивеллирными реперами.

Вводя приведенныя обозначенія въ уравненія (6), послѣднія получаютъ слѣдующій видъ

$$\begin{aligned} [aas] A + [abs] B + [acs] C + [ads] D + [aes] E + [ats] T + f_1 &= 0 \\ [abs] A + [bbs] B + [bcs] C + [bds] D + [bes] E + [b's] T + f_2 &= 0 \\ [acs] A + [bcs] B + [ccs] C + [c ds] D + [ces] E + [cts] T + f_3 &= 0 \\ [ads] A + [bds] B + [c ds] C + [dds] D + [des] E + [dts] T + f_4 &= 0 \quad (6)' \\ [aes] A + [bes] B + [ces] C + [des] D + [ees] E + [ets] T + f_5 &= 0 \\ [ats] A + [bts] B + [cts] C + [dts] D + [ets] E + [tts] T + f_6 &= 0. \end{aligned}$$

Разсмотримъ коэффициенты перваго нормальнаго уравненія и, помня, что всякое  $a$  или  $+1$ , или  $-1$ , или  $0$ , получимъ  $[aas] = a_1 a_1 s_1 + a_2 a_2 s_2 + a_3 a_3 s_3 + \dots + a_n a_n s_n = s_1 + s_2 + s_3 + \dots + s_n$  или для чертежа 1

$$[aas] = s_1 + s_2 + s_3 + s_9,$$

т. е.  $[aas]$  всегда равно суммѣ длинъ всѣхъ сторонъ перваго полигона

$$[abs] = a_1 b_1 s_1 + a_2 b_2 s_2 + a_3 b_3 s_3 + \dots + a_n b_n s_n.$$

Здѣсь большинство или  $a$  или  $b$  равно нулю, а посему сохраняются только тѣ члены (обычно одинъ, два, рѣдко больше), у которыхъ одновременно и  $a$  и  $b$  будутъ равны единицѣ. Такими членами будутъ тѣ, которые соотвѣтствуютъ общимъ сторонамъ перваго и втораго полигона, т. е. сторонамъ, при помощи которыхъ связываются первый и второй полигонъ. Такіе члены, если составленіе всѣхъ условныхъ уравненій шло въ направленіи движенія часовой стрѣлки (или обратно), обязательно имѣютъ знакъ минусъ, такъ какъ у нихъ  $a$  и  $b$  съ противоположными знаками. Значитъ въ концѣ концовъ членъ

$$[abs] = -s_1 - s_2 - s_3 - \dots - s_n,$$

гдѣ входятъ стороны, связывающія первый и второй полигонъ.

Для чертежа 1

$$[abs] = -s_3.$$

На основаніи такихъ же разсужденій коэффициентъ

$$[acs]$$



будетъ равенъ съ минусомъ длинѣ связывающихъ сторонъ перваго и третьяго полигоновъ.

Такъ какъ для даннаго чертежа такихъ сторонъ не имѣется, то

$$[acs] = 0.$$

На основаніи тѣхъ же разсужденій для даннаго чертежа

$$[ads] = -s_1$$

$$[aes] = 0$$

$$[ats] = -s_2.$$

Сумма всѣхъ коэффиціентовъ у коррелятъ перваго нормальнаго уравненія

$$[aas] + [abs] + [acs] + [ads] + [aes] + [ats]$$

имѣетъ члены трехъ родовъ.

Первый коэффиціентъ квадратный, всегда положительный, равенъ суммѣ всѣхъ сторонъ перваго полигона.

Нѣкоторые коэффиціенты равны нулю; это коэффиціенты, соотвѣтствующіе полигонамъ, съ которыми первый полигонъ не имѣетъ связывающихъ (общихъ) сторонъ. Остальные коэффиціенты — каждый обязательно отрицательный по абсолютной величинѣ равенъ суммѣ длинъ сторонъ, связывающихъ соотвѣтствующій полигонъ съ первымъ.

Значитъ въ концѣ концовъ сумма всѣхъ членовъ перваго нормальнаго уравненія равна суммѣ длинъ всѣхъ сторонъ перваго полигона (отъ квадратнаго члена) и минусъ сумма длинъ всѣхъ внутреннихъ связывающихъ сторонъ того же полигона, т. е. равна длинѣ наружной (наружныхъ) сторонъ перваго полигона.

Для чережа перваго эта сумма равна  $+s_0$ .

Разсуждая такимъ же порядкомъ сумма коэффиціентовъ у коррелятъ втораго нормальнаго уравненія должна получиться равной длинѣ наружной стороны втораго полигона, т. е.  $+s_{10}$ . Та же сумма для третьяго и четвертаго полигоновъ соотвѣтственно  $+s_{11}$  и  $+s_{12}$ .

Для внутреннихъ полигоновъ пятаго и шестого, которые не имѣютъ наружныхъ сторонъ, сумма коэффиціентовъ соотвѣтственныхъ нормальныхъ уравненій будетъ равна для каждаго нулю.

Въ нормальныхъ уравненіяхъ многіе коэффиціенты повторяются два раза, почему при составленіи нормальныхъ уравненій приходится вычислять только немного болѣе половины всѣхъ коэффиціентовъ всѣхъ нормальныхъ уравненій.



Повторяются тѣ коэффициенты, которые соотвѣтствуютъ связывающимъ сторонамъ двухъ сосѣднихъ полигоновъ и каждый изъ которыхъ имѣетъ знакъ минусъ и равенъ длинѣ связывающей стороны.

Если не считать всѣхъ этихъ коэффициентовъ, число которыхъ равно числу связывающихъ сторонъ, то, согласно вышеизложенному, сумма всѣхъ вычисляемыхъ коэффициентовъ (не считая повторныхъ) нормальныхъ уравненій будетъ равна суммѣ длинъ всѣхъ сторонъ, составляющихъ нивеллирную сѣть.

Итакъ, если при опредѣленіи невязокъ въ полигонахъ нивеллировокъ и при составленіи условныхъ уравненій всегда писать уравненія, идя въ каждомъ полигонѣ или въ направленіи движенія часовой стрѣлки, или въ каждомъ полигонѣ противъ движенія часовой стрѣлки, то на основаніи вышеизложеннаго получимъ слѣдующее:

1. Сумма невязокъ всѣхъ полигоновъ, для которыхъ составлены условныя уравненія, равна невязкѣ наружнаго полигона, образованнаго наружнымъ контуромъ всей нивеллирной сѣти (формула 3).

2. Въ уравненіяхъ невязокъ (1) каждая разность высотъ, соотвѣтствующая внутренней сторонѣ, входитъ два раза и обязательно одинъ разъ съ плюсомъ, а другой разъ съ минусомъ; а разность высотъ, соотвѣтствующая наружной сторонѣ, входитъ только одинъ разъ съ тѣмъ или другимъ знакомъ.

3. Правило второе распространяется и на уравненія (4)', т. е. каждая поправка, соотвѣтствующая внутренней сторонѣ, входитъ два раза и съ противоположными знаками, а каждая поправка, соотвѣтствующая наружной сторонѣ, одинъ разъ съ тѣмъ или другимъ знакомъ.

4. Сумма коэффициентовъ у коррелятъ всякаго нормальнаго уравненія равна: для нормальныхъ уравненій внутреннихъ полигоновъ нулю, а для нормальныхъ уравненій наружныхъ полигоновъ — длинѣ наружной стороны (суммѣ длинъ наружныхъ сторонъ). Если каждая изъ сторонъ полигона въ то же время входитъ и въ другой полигонъ, введенный въ уравненіе, то такой полигонъ будемъ называть внутреннимъ.

Если же полигонъ имѣетъ одну или нѣсколько сторонъ, которыя входятъ только въ него, то такой полигонъ называется наружнымъ.

5. На основаніи четвертаго правила легко составлять нормальныя уравненія коррелятъ прямо съ чертежа.

6. Сумма всѣхъ вычисляемыхъ по одному разу (не повторяющихся) коэффициентовъ всѣхъ нормальныхъ уравненій равна суммѣ длинъ всѣхъ сторонъ, составляющихъ нивеллирную сѣть.



7. Если бы вѣсь разностей высотъ опредѣлялся не по длинамъ сторонъ, что можетъ случиться въ исключительныхъ случаяхъ (примѣненіе разной точности инструментовъ при нивелировкѣ, различная длина въ разныхъ полигонахъ разстояній отъ инструмента до реекъ и т. д.), то въ нормальныхъ уравненіяхъ длины сторонъ были бы замѣнены величинами

$$s = \frac{1}{p},$$

гдѣ  $p$  — вѣсь разности высотъ для нѣкоторой стороны.

Въ этомъ случаѣ правило, указанное въ пунктѣ 4, относилось бы не къ  $s$ , а къ  $\frac{1}{p}$  разности высотъ соответственной стороны.

8. Всѣ вышеизложенныя правила относятся не къ пересѣкающимся полигонамъ, а къ полигонамъ, примыкающимъ другъ къ другу.

Послѣдніе всегда и вводятъ въ уравниванія, такъ какъ пересѣкающіеся давали бы большее число неизвѣстныхъ въ отдѣльныхъ условныхъ уравненіяхъ, усложняли бы нормальные уравненія и безъ пользы увеличивали бы трудъ всего уравниванія.

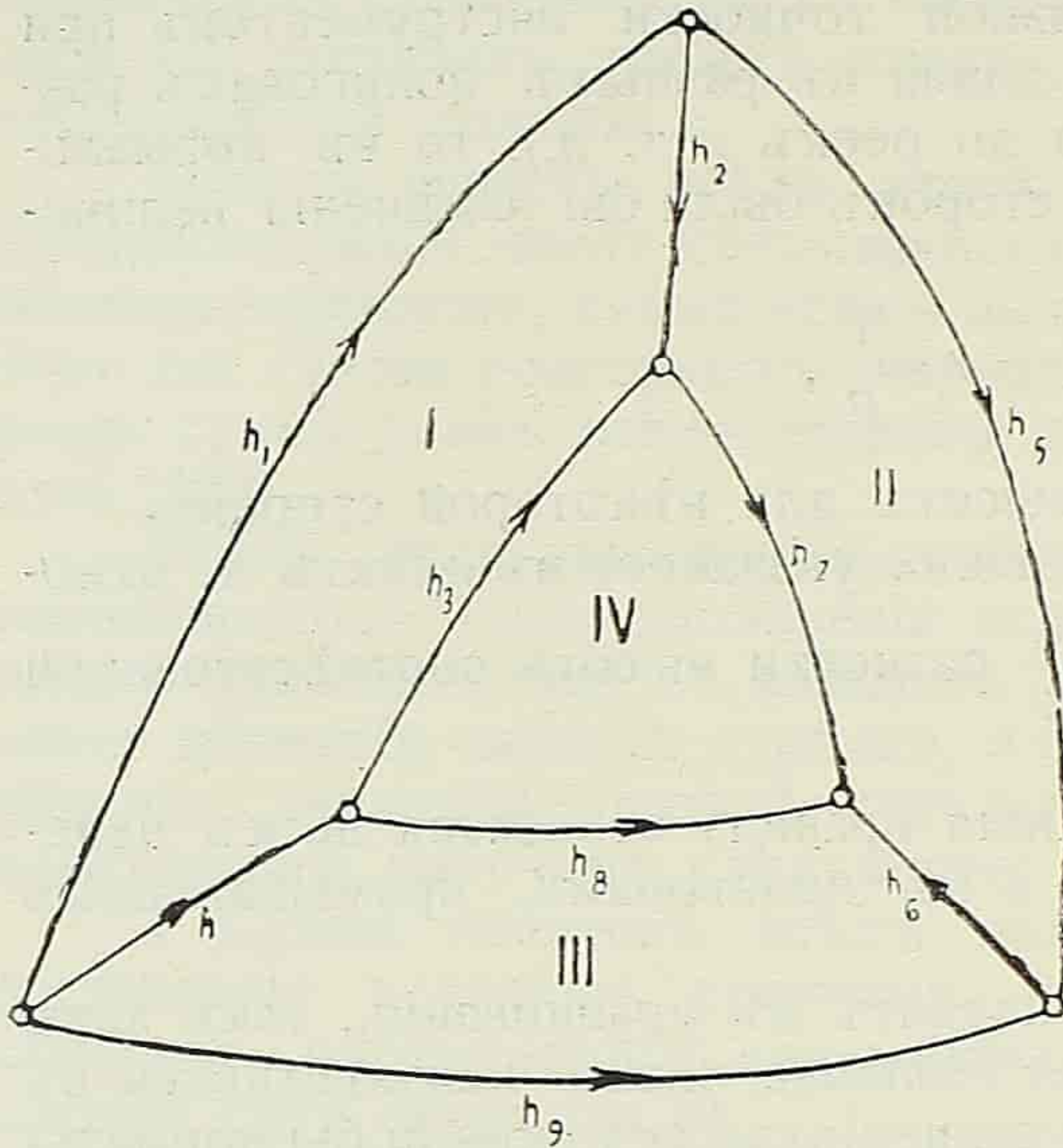
Контроли при составленіи условныхъ и нормальныхъ уравненій въ нивелировкахъ имѣютъ громадное значеніе въ особенности при большихъ работахъ, которыя требуютъ часто большой затраты времени, исчисляемой мѣсяцами, а то и годами.

Въ этихъ случаяхъ особенно надо быть осторожнымъ и тщательно контролировать какъ составленіе условныхъ и нормальныхъ уравненій, такъ конечно и рѣшеніе нормальныхъ уравненій.

Контроль рѣшенія нормальныхъ уравненій общеизвѣстенъ и онъ обычно приводится въ учебникахъ геодезіи.



Примѣръ: (черт. 2).



$h_1 = 11,321$	$s_1 = 7$
$h_2 = 8,679$	$s_2 = 4$
$h_3 = 15,142$	$s_3 = 3$
$h_4 = 4,838$	$s_4 = 5$
$h_5 = 11,123$	$s_5 = 8$
$h_6 = 3,877$	$s_6 = 5$
$h_7 = 6,352$	$s_7 = 4$
$h_8 = 21,478$	$s_8 = 5$
$h_9 = 22,460$	$s_9 = 8$

Черт. 2.

## Погрѣшности полигоновъ

- $+11,321 + 8,679 - 15,142 - 4,838 = +0,020$
- $- 8,679 + 11,123 + 3,877 - 6,352 = -0,031$
- $+ 4,838 + 21,478 - 3,877 - 22,460 = -0,021$
- $+15,142 + 6,352 - 21,478 = +0,016$

Сумма погрѣшностей =  $-0,016$ .

Погрѣшность наружнаго полигона для контроля

$$+11,321 + 11,123 - 22,460 = -0,016.$$

Погрѣшность наружнаго полигона  $-0,016$  равна суммѣ погрѣшностей всѣхъ взятыхъ четырехъ полигоновъ. Значитъ въ опредѣленіи погрѣшностей полигоновъ можно надѣяться, что ошибки нѣтъ.



Таблица составления нормальных уравнений:

Условныя уравненія		Составленіе нормальныхъ уравненій														
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	$\frac{1}{p} = s$	<i>aas</i>	<i>abs</i>	<i>acs</i>	<i>ads</i>	<i>bbs</i>	<i>bcs</i>	<i>bds</i>	<i>ccs</i>	<i>cds</i>	<i>dds</i>	
1	+1				7	+7										
2	+1	-1			4	+4	-4			+4					+3	
3	-1			+1	3	+3			-3				+5			
4	=1		+1		5	+5		-5		+8						
5		+1			8					+5	-5				+4	
6		+1	-1		5					+4		-4			+5	
7		=1		+1	4								+5		+5	
8			+1	-1	5								+8			
9			-1		8											
<i>f</i>	+20	-31	-21	+16	49	+19	-4	-5	-3	+21	-5	-4	+23	-5	+12	= 49



Сумма коэффициентов у коррелятъ каждого нормальнаго уравненія равна:

$$1. \quad 19 - 4 - 5 - 3 = +7.$$

$$2. \quad -4 + 21 - 5 - 4 = +8.$$

$$3. \quad -5 - 5 + 23 - 5 = +8.$$

$$4. \quad -3 - 4 - 5 + 12 = 0.$$

Т. е. у каждого изъ первыхъ трехъ уравненій сумма равна длинѣ наружной стороны, а въ четвертомъ уравненіи — нулю.

Сумма всѣхъ вычисленныхъ въ таблицѣ коэффициентовъ нормальныхъ уравненій равна 49, чему равна и сумма длинъ всѣхъ сторонъ нивеллирной сѣти.



А. А. Брандтъ.

## ОЧЕРКЪ ИСТОРИИ ПРИМѢНЕНІЯ ПАРОВЫХЪ ДВИГАТЕЛЕЙ ВЪ РОССІИ СО ВРЕМЕНИ ИХЪ ПОЯВЛЕНІЯ ДО 1875 ГОДА.

Въ 1892 году мною была напечатана книга подъ заглавіемъ „Очеркъ исторіи паровой машины и примѣненія паровыхъ двигателей въ Россіи“.

Въ книгѣ былъ помѣщенъ общій очеркъ исторіи паровыхъ машинъ въ Западной Европѣ; главное же мое вниманіе было обращено на исторію примѣненія паровыхъ двигателей въ Россіи и мною было потрачено не мало труда для собранія необходимыхъ матеріаловъ.

Послѣ изданія указанной книги, въ продолженіи ряда лѣтъ еще въ Россіи у меня накопился дополнительный матеріаль по этому вопросу.

Настоящая статья является переизданіемъ той части книги, которая касается Россіи, съ тѣми дополненіями, кои мнѣ удалось собрать.

Однако я долженъ сказать, что эти дополненія относятся только ко времени до 1875 года. Что же касается исторіи примѣненія паровыхъ и другихъ тепловыхъ двигателей въ Россіи послѣ 1875 года, то она должна составить предметъ отдѣльнаго изслѣдованія въ дополненіе къ настоящей моей статьѣ.

### I.

Появленіе паровыхъ машинъ и начало машиностроенія въ Россіи.

Въ началѣ настоящей главы придется говорить о появленіи въ Россіи машинъ системъ Сэвери, Ньюкомена и Уатта.

Послѣдняя машина можетъ считаться общеизвѣстной, что же касается машинъ Сэвери и Ньюкомена, то я считаю не лишнимъ напомнить въ общихъ чертахъ ихъ устройство.

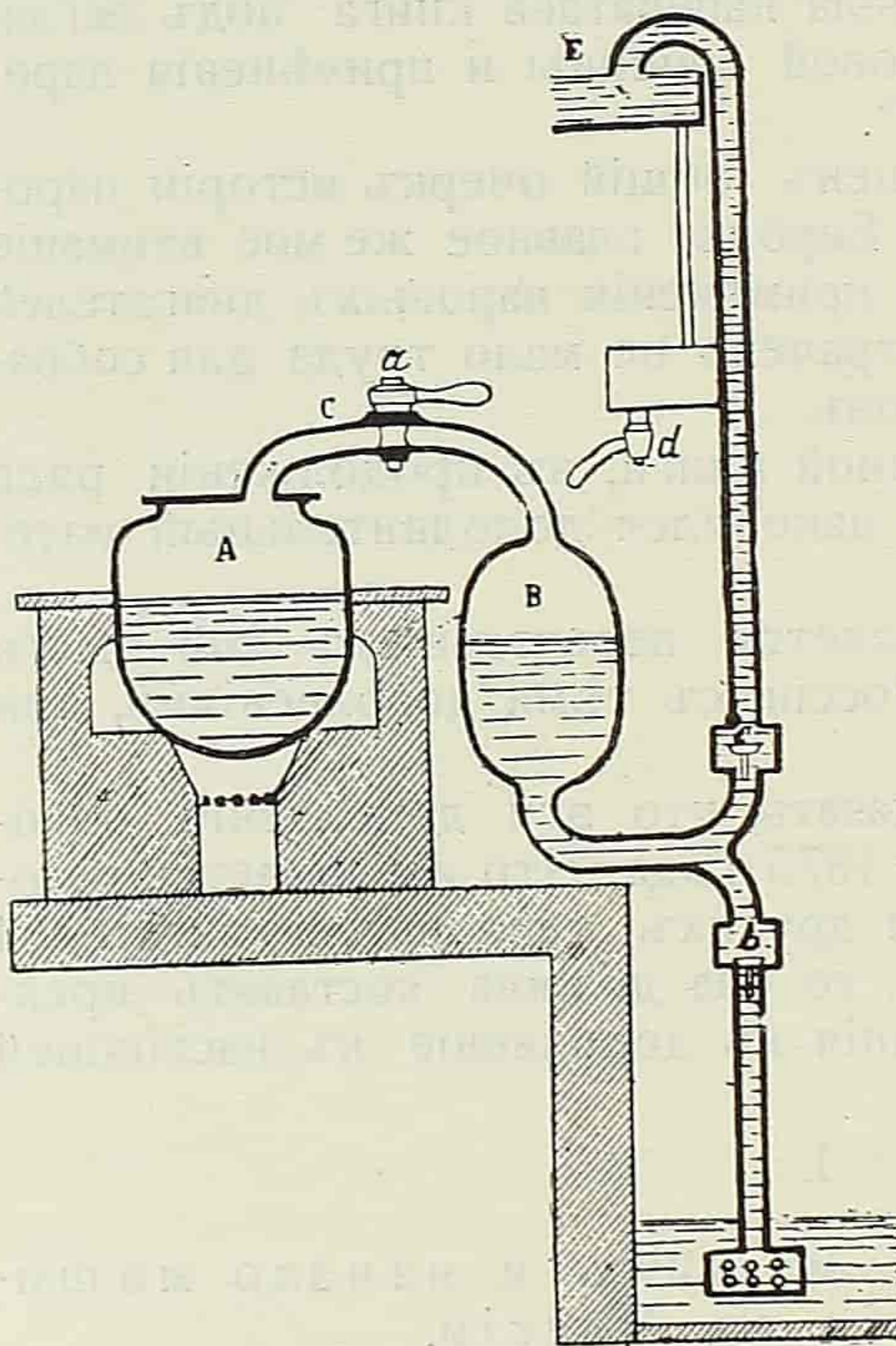
Англійскій инженерный капитанъ Тома Сэвери (Thomas Savery 1650—1715) занимался вопросомъ о примѣненіи



пара для промышленныхъ цѣлей и въ 1698 году получилъ привилегію на паровую водоподъемную машину, представляющую значительное сходство съ пульзометромъ.

Машина Сэвери, представленная на фиг. 1, состояла изъ слѣдующихъ частей. Котель *A*, вмазанный въ печь, сообщается при помощи трубки *C* съ сосудомъ *B*, снабженнымъ двумя трубками, изъ коихъ одна спускается въ колодезь, а другая *D* поднимается до канала *E*, въ который нужно накачивать воду. Трубы снабжены всасывающимъ клапаномъ *b* и нагнетательнымъ *c*.

Послѣ открытія крана *a* паръ изъ котла по трубкѣ *c* направляется въ сосудъ *B* и выгоняетъ изъ него воздухъ. Закрывъ кранъ *a*, открываютъ кранъ *d*, вслѣдствіе чего изъ выше помѣщенного бака нѣкоторое количество холодной воды выливается въ сосудъ *B* и охлаждаетъ его поверхность;



Фиг. 1.

послѣ конденсаціи пара внутри сосуда въ немъ образуется разрѣженное пространство, вода всасывается и наполняетъ сосудъ. Затѣмъ вновь открываютъ кранъ *a*; паръ давя на воду въ сосудѣ заставляетъ ее подняться. Клапанъ *c* и подняться по трубѣ *D* въ каналъ *E*.

Сэвери очень старался о введеніи въ практику своей машины, и она была примѣнена въ нѣсколькихъ рудникахъ; однако машина Сэвери могла всасывать воду на высоту не болѣе 24-хъ футъ, а для подъема ея на большія высоты ему пришлось употреблять высокія давленія пара, причинявшія взрывы котловъ, выдѣлка коихъ была еще очень несовершенна. Кромѣ того, машина расходовала очень мно-

го пара, нагрѣвавшаго поднимаемую воду, а устанавливая ее приходилось внутри рудника, на высотѣ не болѣе 24 футъ надъ горизонтомъ воды, вслѣдствіе чего самая машина была подвержена опасности затопленія. Эти недостатки машины Сэвери помѣшали ея распространенію, несмотря на то, что



впослѣдствіи физикъ Дезагюлье (Desaguliers) старался по возможности ее усовершенствовать, снабдивъ котель предохранительнымъ клапаномъ. Какъ ни велики недостатки машины Сэвери, его несомнѣнная заслуга заключается въ томъ, что онъ первый примѣнилъ на практикѣ паръ для производства работы.

Болѣе широкое примѣненіе для подъема воды паровая машина получила только благодаря усовершенствованіямъ, введеннымъ Ньюкоменомъ.

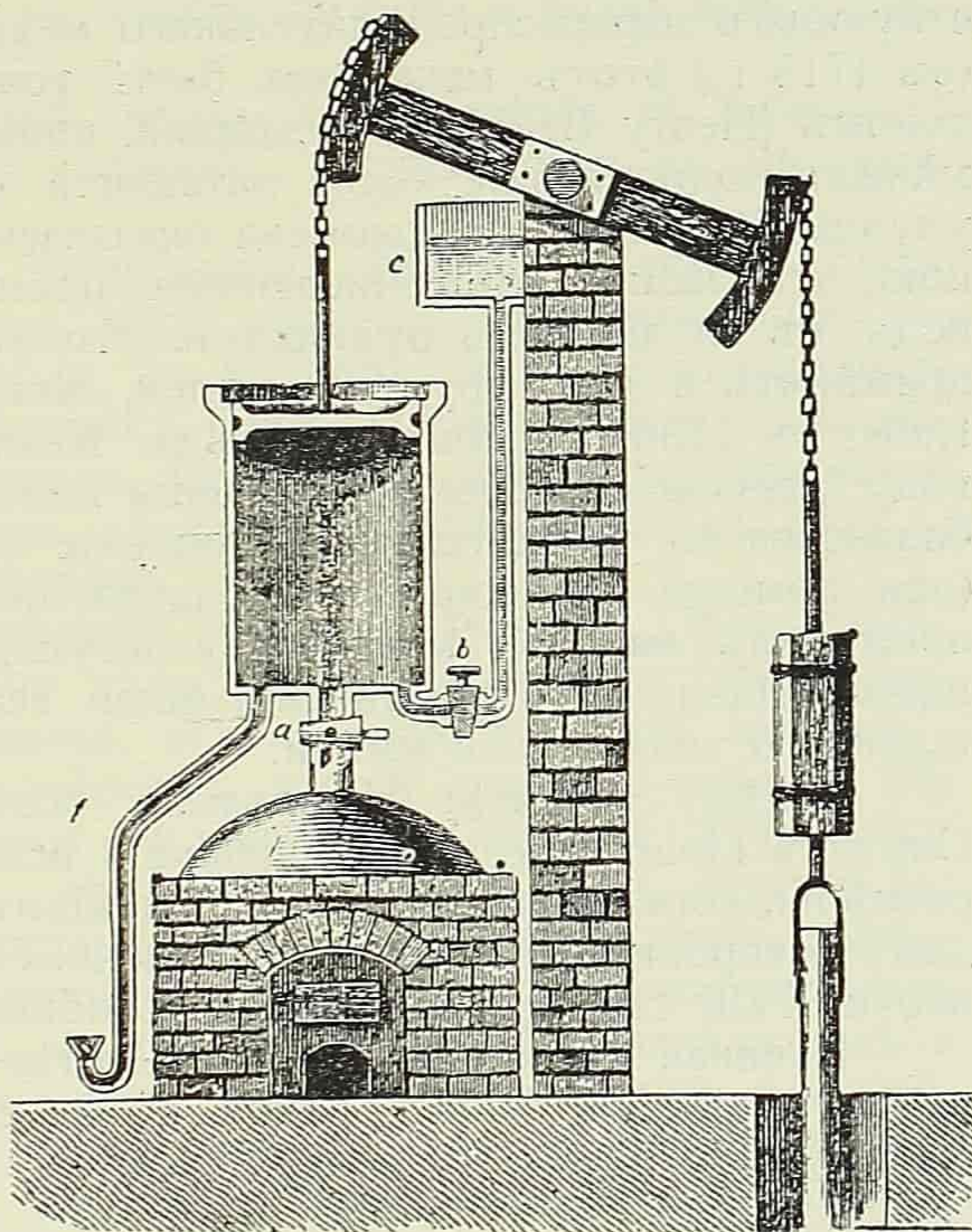
Кузнецъ Тома Ньюкоменъ (Thomas Newcomen) и компаньонъ его стекольщикъ Коулей (John Calley или Cowley) замѣтили недостатки машины Сэвери и занялись усовершенствованіемъ известной имъ машины Папена.

Въ 1712 году они построили первую машину по своей системѣ для откачиванія воды изъ рудника г. Бекка въ Вольвергэмптонѣ.

Машина получила видъ, представленный на фиг. 2.

Паровой цилиндръ помѣщенъ надъ котломъ и соединенъ съ нимъ короткою трубою, снабженною краномъ *a*. Послѣ открытія крана паръ входитъ въ цилиндръ, выгоняетъ изъ него воздухъ по трубѣ *f* и поднимаетъ поршень; затѣмъ открываютъ кранъ *b*, вода изъ бака *c* устремляется въ цилиндръ и производитъ осажденіе пара и разрѣженіе въ цилиндрѣ, въ который наружный воздухъ не можетъ проникнуть, такъ какъ тотчасъ, послѣ начала разрѣженія въ цилиндрѣ, давленіе атмосферы закрываетъ клапанъ въ нижнемъ устьѣ трубы *f*. Поршень, опускаясь, поднимаетъ штангу водоподъемнаго насоса.

Въ машинѣ Ньюкомена была устранена необходимость употребленія высокихъ давленій пара, что было весьма важ-



Фиг. 2.



но при тогдашнихъ несовершенныхъ способахъ выдѣлки котловъ, а отдѣленіемъ водоподъемнаго насоса отъ парового цилиндра было достигнуто то, что машина могла подымать воду на любую высоту.

Гумфри Поттеръ (Humphrey Potter), мальчикъ, которому было поручено маневрированіе кранами одной изъ машинъ, построенныхъ Ньюкоменомъ, въ 1713 г. остроумно соединилъ эти краны шнурами съ движущимися частями машины и такимъ образомъ оказался изобрѣтателемъ перзаго самодѣйствующаго парораспредѣлительнаго механизма. Впослѣдствіи (въ 1718 г.) этотъ механизмъ былъ усовершенствованъ Бейтономъ (Henry Beighton), который, кромѣ того, первый примѣнилъ подогреваніе воды, питающей котель. Послѣ этихъ улучшеній машина Ньюкомена оказалась настолько практичною, что нашла многочисленныя примѣненія для подъема воды въ англійскихъ рудникахъ. Машины Ньюкомена стали примѣнять и для другихъ цѣлей, когда Гульсъ (Jonathan Hulls) въ 1736 г. и Фитцджеральдъ Keane Fitzgerald) въ 1757 году указали способы превращенія колебательнаго движенія балансира во вращательное движеніе горизонтальнаго вала (при помощи ременной и зубчатой передачи), а послѣдній примѣнилъ маховое колесо для регулированія движенія машины. Однако эти примѣненія были весьма рѣдки и промышленнаго значенія не имѣли.

Успѣху машины Ньюкомена особенно содѣйствовалъ Смитонъ (John Smeaton), придавшій всѣмъ частямъ машины размѣры, соотвѣтствующіе напряженіямъ. Благодаря его трудамъ распространеніе машины Ньюкомена въ послѣдней четверти XVIII столѣтія сдѣлалось всеобщимъ.

Начиная съ конца XVIII столѣтія машина Ньюкомена начала уступать мѣсто новой, болѣе совершенной машинѣ Уатта.

Въ Россіи употребленіе паровыхъ машинъ началось позже чѣмъ въ Западной Европѣ, если не считать нѣсколькихъ единичныхъ случаевъ примѣненія машинъ, привезенныхъ изъ Англии.

Вѣроятно первая паровая машина, появившаяся въ Россіи, была небольшая машина, выписанная Императоромъ Петромъ Великимъ изъ Англии и поставленная въ 1717 или 1718 году въ Лѣтнемъ Саду въ Петербургѣ. Машина эта была заказана извѣстнымъ физикомъ Дезагюлье по системѣ Сэвери <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Cours de Physique expérimentale, par le docteur I. P. Desaguliers, traduit de l'anglais par le R. P. Pézénas de la Compagnie de Jesus à Paris, 1751, Tome second, page 575; и Farey, Steamengine, London 1827.



Дезагюлье во второмъ томѣ своей книги на стр. 573, послѣ описанія машины Сэвери говоритъ: „я заказалъ семь такихъ машинъ дѣйствующихъ огнемъ, начиная съ 1717 года по 1718 годъ“.

Первая была заказана для покойнаго Петра I, помѣстившаго ее въ своемъ саду въ Петербургѣ. Сферическій котелъ машины имѣлъ объемъ въ 1,61 куб. метра (6 muids), а резервуаръ, наполнявшійся и опоражнивавшійся 4 раза въ минуту, 0,268 кубич. метра (1 muids).

Вода всасывалась на высоту 29 футъ и поднималась давлениемъ пара на 11 футъ.

Еще въ двадцатыхъ годахъ XIX столѣтія М. Кларку<sup>1)</sup> случилось видѣть эту машину, хранившуюся въ Лѣтнемъ Саду<sup>2)</sup>.

Машина Сэвери, выписанная Петромъ Великимъ была не единственная машина этой системы, дѣйствовавшая въ Россіи. Еще въ 1848 году, въ Петербургѣ, въ Полторацкихъ баняхъ Трусова, на Фонтанкѣ близъ Обухова моста, дѣйствовали, поставленныя около 1820 года, двѣ водоподъемныя машины системы Сэвери, нѣсколько улучшенной въ 1819 г. англичаниномъ Понтиферомъ.

Въ 1760 году появилась книга Шлаттера: „Обстоятельное наставленіе рудному дѣлу“<sup>3)</sup>; въ десятой ея главѣ, озаглавленной „о водоливной, огнемъ дѣйствующей, машинѣ“, напечатано первое на русскомъ языкѣ описаніе паровой машины, а именно машины Ньюкомена. Описаніе начинается слѣдующими словами: „нѣтъ такого изобрѣтенія, которое бы разумъ человѣческой столько прославить могло, какъ вымышленіе огнемъ дѣйствующихъ машинъ, которыми ужасныя тяжести подняты быть могутъ, и которыя съ начала сего вѣка отъ агличанъ изысканы, и во многихъ мѣстахъ въ употребленіи для выливанія воды изъ рудныхъ и каменно-угольныхъ ямъ введены“. Интересно еще слѣдующее описаніе дѣйствія машины: „что до водяныхъ паровъ касается, то

1) „Горный журналъ“ 1826 г., кн. X, статья М. Кларка, о паровыхъ машинахъ вообще, съ присовокупленіемъ чертежа машины, силою противъ 60 лошадей, устроенной при С.-Петербургскомъ монетномъ дворѣ.

2) В. Карелинъ: „О русскихъ паровыхъ машинахъ и сельскихъ мельницахъ“. С.-Петербургъ, 1848 годъ.

3) Полное заглавіе книги слѣдующее: „Наставленіе рудному дѣлу, состоящее изъ четырехъ частей, въ которыхъ описаны рудокопныя мѣста, жилы и способы для пріиску оныхъ, такожъ учрежденіе новыхъ рудниковъ, потребныя къ рудному произведенію машины и разобраніе, толченіе и промываніе рудъ съ прибавленіемъ о добываніи каменнаго угля, сочиненное и многими чертежами изъясненное дѣйствительнымъ статскимъ совѣтникомъ, бергъ-коллегіи президентомъ и монетной канцеляріи главнымъ судьей Ивановомъ Шлаттеромъ. Печатано при Императорской Академіи Наукъ 1760 года“.



должно знать, что огонь или субтильная матерія сквозь поры или сквозь невидимыя скважины дна котла проходятъ и водяныя частицы въ жестокое обращеніе приводятъ. Такая матерія токмо раздаваться усиливается, чтобъ съ большею вольностью происходитъ и для того оныя поверхъ воды подымается и влечетъ съ собой во множествѣ субтильнѣйшія водяныя частицы, которыя потомъ по всѣмъ сторонамъ давленіе дѣлаютъ и такою проницающею силою напрягаются, которая наконецъ больше становится, нежели сила тяжести самого воздуха. Когда потомъ регуляторъ растворяется, то выходитъ паръ великою силою въ большомъ цилиндрѣ и эволь такъ долго вверхъ отводится, пока вливаемая въ цилиндръ студеная вода паръ загустить можетъ и силу ево уничтожить, такъ что онъ, какъ вода на дно цилиндра опустившись, большой цилиндръ пусть оставляетъ. Такимъ образомъ тяжестью атмосферы эволь паки внизъ пригнѣтается... Сей удивительной машинѣ, по справедливости, передъ всѣми прочими машинами преимущество приписать должно, затѣмъ, что ни единая такого сходства съ силою и дѣйствіемъ животныхъ не имѣетъ какъ она; ибо жаръ съ начала движенія въ трубахъ происходитъ такимъ же обращеніемъ какъ кровь въ жилахъ и имѣетъ свои фентиля, которыя въ потребныя времена растворяются и затворяются. Она питается сама въ учрежденныя времена и награждаетъ чрезъ собственное свое дѣйствіе все то, что къ содержанію ея потребно". Книга Шлаттера, читаемая на берегахъ Невы и въ Сибири, принесла много пользы. Находящееся въ ней описаніе паровой машины подало шихмейстеру И. И. Ползунову мысль построить на Колывано-Воскресенскихъ заводахъ машину по системѣ Ньюкомена. Эта машина, предназначалась Ползуновымъ для приведенія въ движеніе воздуходушныхъ мѣховъ и плавки серебряной руды.

Иванъ Ивановичъ Ползуновъ былъ сыномъ солдата Екатеринбургской горной роты и родился въ Екатеринбургѣ въ 1730 году, обучался въ солдатской школѣ и затѣмъ поступилъ въ механическіе ученики.

Прослуживъ при Екатеринбургскихъ заводахъ около пяти лѣтъ, онъ перешелъ на Колывано-Воскресенскіе заводы.

Около 1747 года онъ былъ удостоенъ званія гиттеншрейбера и былъ посланъ въ Колыванскій заводъ для обученія горному и плавильному дѣлу и на Змѣевскій рудникъ.

Въ 1754 г. Ползуновъ состоялъ прикомандированнымъ къ Барнаульскому комисарскому правленію, а въ 1759 году былъ награжденъ званіемъ шихтмейстера и получилъ право на классный оберъ-офицерскій чинъ, т. е. вышелъ изъ положенія ученика и рабочаго и получилъ возможность отдавать досугъ своему любимому механическому дѣлу.



Кромѣ того его, повидимому, интересовала и физика и метеорологія.

Нѣкто Лансманъ, лютеранскій пасторъ на Алтаѣ, писалъ изъ Барнаула профессору Бекману въ 1764 году, что у Ползунова имѣется много метеорологическихъ инструментовъ.

Въ апрѣлѣ 1762 года Иванъ Ивановичъ Ползуновъ обратился съ письмомъ къ главному начальнику Колывано-Воскресенскихъ заводовъ, генераль-маіору Порошину, съ просьбой отпустить средства на постройку огненной машины. Къ письму было приложено подробное описаніе машины и чертежъ. О проектѣ Ползунова было донесено Кабинету Ея Величества съ ходатайствомъ объ отпускѣ нужной на постройку машины суммы. По докладу Кабинета послѣдовалъ 19 ноября 1763 года Высочайшій указъ Императрицы Екатерины II, въ которомъ она, „яко щедрая наукъ и художествъ покровительница, для вящаго его Ползунова и прочихъ по примѣру его въ таковыхъ же полезныхъ упражненіяхъ поощренія“ пожаловала Ползунова въ механикусы съ жалованьемъ и чиномъ инженеръ-поручика, повелѣла выдать четыреста рублей и указала „прислать его въ С.-Петербургъ при серебрѣ, дабы онъ, для пріобрѣтенія себѣ большаго въ механикѣ искусства, здѣсь, при академіи наукъ, года два или три и въ оной съ вящимъ наставленіемъ прилежать и сродныя его къ тому дарованія и способность съ лучшими успѣхами впредь для пользы заводской употребленъ быть могъ“.

Однако Ползуновъ не былъ отпущенъ въ Петербургъ, такъ какъ въ его отсутствіи постройка машины была бы невозможна; ему были отпущены средства и онъ приступилъ вскорѣ къ ея постройкѣ, но работа подвигалась медленно.

Огромные размѣры машины, недостатокъ въ помощникахъ, неумѣнье рабочихъ, наконецъ значительное число соединеній трубъ затрудняли дѣло.

Между тѣмъ, Екатерина, не забывая „механикуса“ и 27 марта 1765 года уже пожелала знать результаты постройки, а именно: „окончена ли машина, а буде и нѣтъ, то когда сдѣлается и какъ то въ самой практикѣ дѣйствіе ея будетъ“.

На запросъ Канцеларіи Ползуновъ отвѣчалъ, что „машина должна состоять изъ превеликаго множества частей, требующихъ субтильнаго дѣла“, между тѣмъ онъ, Ползуновъ работаетъ одинъ, съ двумя учениками и мужиками, могущими поднимать только тяжести.

И дѣйствительно — машина была крайне громоздка.

Деревянное зданіе, въ которомъ она находилась, имѣло въ высоту внутри 7 саж.  $4\frac{1}{2}$  ф., въ продольномъ направленіи 7 саж.  $2\frac{1}{2}$  ф. и въ ширину 4 саж.  $1\frac{1}{2}$  ф.

Это пространство было почти сплошь заполнено цилиндрами, трубами, цѣпями, баками.



Если вся установка и пригонка лежали на Ползуновъ и его четырехъ помощникахъ, то понятно, что, при всей энергїи и напряженїи, работу нельзя было исполнить скорѣе.

Впрочемъ, это отлично понимала и Канцелярїя, которая къ рапорту Ползунова добавила, что онъ „до всего добирается любопытствомъ, исчисленїями и выкладками“, нигдѣ не видѣвъ передъ этимъ ни одной части своей сложной машины. Она не была закончена и осенью, а въ декабрѣ того же 1765 года изъ Петербурга послѣдовалъ второй запросъ, на который 16 декабря Ползуновъ отвѣтилъ, что машина собрана и даже испытывается, причемъ вмѣсто мѣховъ подвѣшены бревна. Но при этомъ обнаружилось, что установленный котель негоденъ и надо ставить новый, что опять задерживаетъ постройку. 26 декабря Канцелярїя отправила въ Петербургъ объясненїе Ползунова, но съ приложенїемъ „въ планѣ и профилѣ чертежей съ описанїемъ“, вѣроятно желая указать всю трудность работы.

Такъ какъ котель пришлось заказать, то установку мѣховъ и окончательную сборку пришлось отложить до весны 1766 года.

Израсходовано на постройку машины было 7,435 руб. 51 коп.

Затѣмъ послѣдовало распоряженїе о приспособленїи машины для пробы къ одной изъ плавильныхъ печей Барнаульскаго завода.

Однако Ползунову не удалось видѣть свое изобрѣтенїе на дѣлѣ; онъ „Волею Божїею помре отъ жестокаго гортаннаго кровотеченїя“ 16 мая 1766 года, за нѣсколько дней до первой пробы машины, состоявшейся 20 мая. Окончательное приспособленїе машины было окончено его учениками Левзинымъ и Черпицынымъ. Есть свѣдѣнїя о томъ, что машина Ползунова дѣйствовала на Барнаульскомъ заводѣ въ теченїе двухъ мѣсяцевъ и что при ея помощи расплавлено 9.335 пудовъ змѣино-горскихъ рудъ. Дѣйствїе ея въ Барнаулѣ вскорѣ было прекращено за ненадобностью.

Спустя три года Колыванская Канцелярїя писала Кабинету Е. В. что „машина давно остановлена да и пуска въ дѣйствїе по изобилїю въ заводѣ воды, за нужное не признается“. Кромѣ того машина пришла въ такое состоянїе, что „къ переноскѣ въ другое мѣсто не весьма надежна“. Дальше машина все больше приходила въ ветхость и была растащена по частямъ.

Машина эта описана въ статьѣ А. Н. Воейкова: „Первая паровая машина въ Европѣ“, помѣщенной въ журналѣ „Русская Старина“ 1883 г. декабрь.

Заглавїе статьи г. Воейкова, конечно, нельзя признать правильнымъ.



Изъ приложенныхъ къ статьѣ рисунка и описанія машины, составленнаго самимъ Ползуновымъ, видно, что машина Ползунова по идеѣ вполне сходна съ атмосферическою машиною Ньюкомена, которая была извѣстна Ползунову по описанію Шлаттера <sup>1)</sup>.

Однако машина Ползунова дѣйствительно была первая построенная въ Россіи, а не выписанная изъ за границы, а примѣненіе въ 1765 году паровой машины не для подъема воды, а для другой промышленной цѣли слѣдуетъ считать самостоятельнымъ изобрѣтеніемъ, такъ какъ и въ Англіи первое примѣненіе паровой машины для нагнетанія воздуха сдѣлано лишь въ 1765 году.

Машина Ползунова, модель коей имѣется въ Барнаульскомъ горномъ музеѣ, имѣла два цилиндра вмѣсто одного, движеніе поршневыхъ стержней передавалось къ воздуходувнымъ мѣхамъ при помощи цѣпей и колесъ. Шлаттеръ, на котораго, по Высочайшему повелѣнію, было возложено разсмотрѣніе построенной Ползуновымъ машины, доносилъ о ней, что „Ползуновъ основалъ свою машину на тѣхъ же началахъ какъ Сэвери (Ньюкомень), но достойнымъ похвалы искусствомъ такъ успѣлъ измѣнить ея составъ, что машину его должно почестъ новымъ изобрѣтеніемъ“ <sup>2)</sup>.

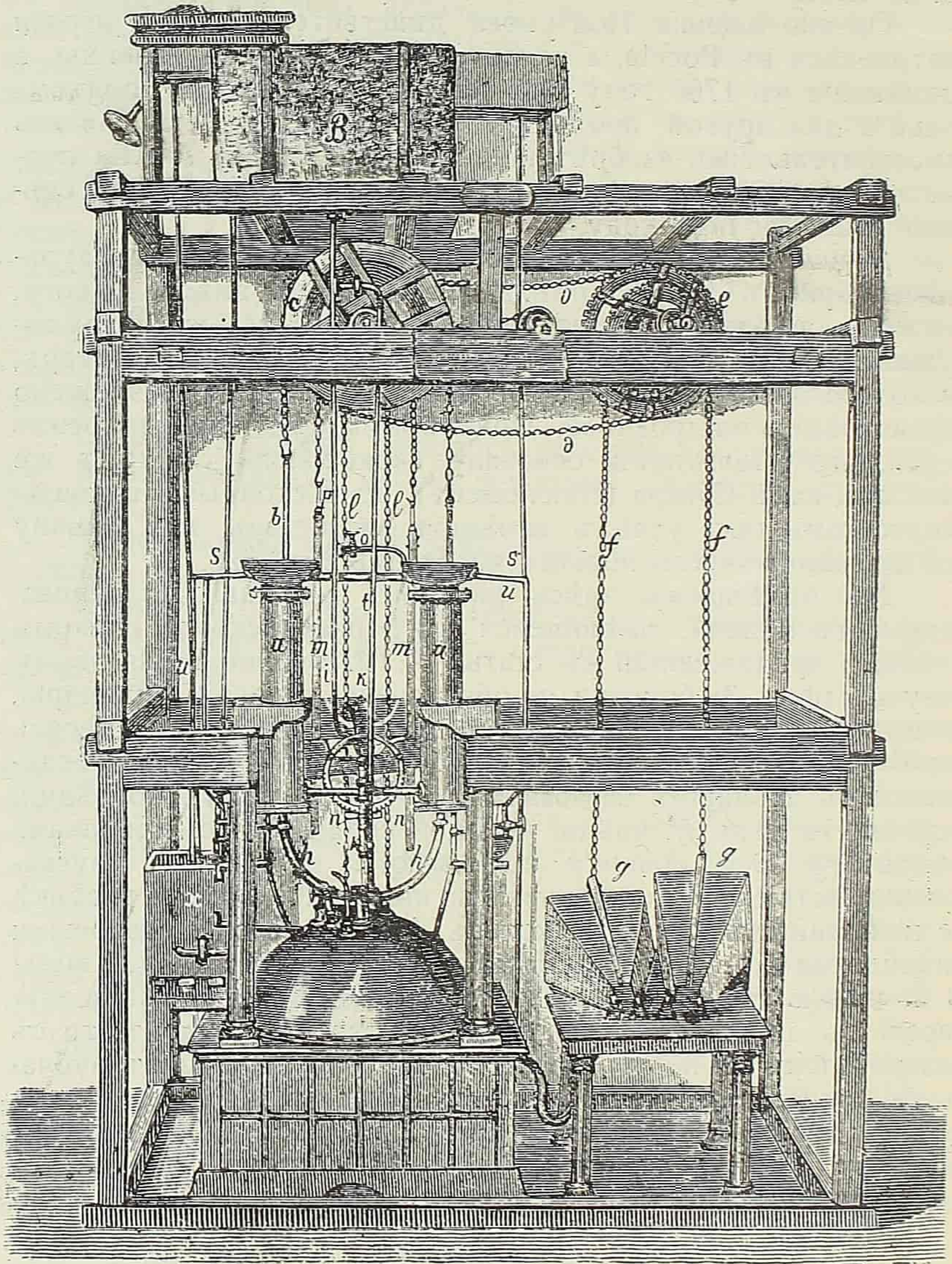
Мы помѣщаемъ здѣсь рисунокъ машины Ползунова, снятый съ модели, имѣющейся въ Барнаульскомъ горномъ музеѣ, и приложенный къ статьѣ А. П. Воейкова. На этомъ рисункѣ (фиг. 3) буквами *aa* обозначены паровые цилиндры, *bb* ихъ стержни, соединенные съ цѣпью, перекинутою черезъ барабанъ *c*, который, помощью безконечной цѣпи *d*, соединяется съ двойнымъ барабаномъ *e*. Черезъ этотъ послѣдній перекинута цѣпь *ff*, концы которой соединены съ крышками мѣховъ *gg*. Эти крышки поднимаются машиною, а опускаются дѣйствіемъ наложенныхъ на нихъ тяжестей, на рисункѣ не показанныхъ. Паровой котелъ *A* сообщается съ паровыми цилиндрами помощью трубъ *hh* и съ резервуаромъ для воды *B* помощью трубы *pi*. Кранъ *kk*, служащій для сообщенія паровыхъ цилиндровъ попеременно то съ котломъ, то съ резервуаромъ *B*, поворачивается помощью неполныхъ зубчатыхъ колесъ *ll*, приводимыхъ въ качательное движеніе при помощи цѣпей *ll*. Запираніе крана производится противувѣсами *mm*. Труба *pi* имѣетъ колѣно съ краномъ *o*, служащее для наливаія воды на поверхность поршней паровыхъ ци-

1) На это указываетъ между прочимъ то, что Ползуновъ въ своемъ описаніи изобрѣтенной имъ машины называетъ поршень эмволомъ и говоритъ о парѣ, какъ о сублимнѣйшей матеріи, также какъ и Шлаттеръ.

2) Горный словарь, составленный Григоріемъ Спасскимъ. Москва, 1847 г.



линдровъ. Излишняя вода стекаетъ по трубамъ *и* въ сосуды *х*, откуда по трубамъ *с* подается въ резервуаръ *В*. Труба *t* подаетъ воду прямо въ котель *А*.



Фиг. 3.

Преподаватель Горнаго Института Имени Императрицы Екатерины II горный инженеръ Р. Тонковъ напечаталъ въ



Горномъ Журналѣ за 1902 годъ статью подѣ заглавіемъ „Къ исторіи паровыхъ машинъ въ Россіи“.

Къ статьѣ этой на особомъ листѣ приложены 3 чертежа огнедѣйствующей машины И. И. Ползунова.

Инженеръ Р. Тонковъ, производившій на мѣстѣ подробное изслѣдованіе, касающееся машины Ползунова, пришелъ къ заключенію, что рисунокъ въ статьѣ Воейкова сдѣланъ съ фотографіи модели машины Ползунова, хранящейся въ Барнаульскомъ Горномъ Музеѣ.

Эта модель машины Ползунова составлена по первому его проекту, представленному Начальнику Барнаульскаго Горнаго Управленія ген.-маіору Порошину 25 апрѣля 1762 года, а построена она была по другимъ чертежамъ, переработаннымъ Ползуновымъ, согласно замѣчаніямъ Шлаттера.

Чертежи этого второго проекта, копіи коихъ сохранились на мѣстѣ, — были представлены на утвержденіе Канцеляріи 7 марта 1764 года.

Согласно инженеру Р. Тонкову во второмъ проектѣ Ползунова имѣются слѣдующія самостоятельныя черты, отличающія его машину отъ существовавшихъ тогда огнедѣйствующихъ машинъ.

1) Вмѣсто одного цилиндра онъ поставилъ два и передалъ движеніе двумъ мѣхамъ.

Такъ какъ такое примѣненіе машины Ньюкомена было въ Западной Европѣ сдѣлано въ 1765 году, а проектъ Ползунова составленъ на годъ раньше, то машина его по справедливости должна быть признана, какъ первая воздуходушная заводская машина въ мірѣ.

Кромѣ того, до Ползунова существовали машины только одноцилиндровыя. Поэтому ему же принадлежитъ честь изобрѣтенія первой сдвоенной паровой машины непрерывнаго дѣйствія съ встрѣчнымъ движеніемъ поршней.

2) Два цилиндра вызвали созданіе особаго распределительнаго устройства, нигдѣ не заимствованнаго и оно несомнѣнно получило бы болѣе широкое распространеніе при другой участи машины.

3) Ползуновъ первый устроилъ автоматическое питаніе при помощи поплавка.

Въ 1777 году въ Россіи появилась первая большая машина Ньюкомена. Эта машина была построена въ Шотландіи на Карронскомъ заводѣ по чертежамъ знаменитаго Смитона<sup>1)</sup> и установлена въ Кронштадтѣ для выкачиванія воды изъ такъ называемаго канала Петра Великаго, примыкавшаго къ сухимъ докамъ, которые до установки машины опоражнивались при помощи вѣтряныхъ мельницъ.

<sup>1)</sup> Histoire de la machine à vapeur par R. H. Thurston, traduite, revue et annotée par Hirsch, Paris, 1880.



Предположеніе о заготовленіи Кронштадтскѣй машины возникло слѣдующимъ образомъ:

20 іюля 1773 года Императрица Екатерина II собственноручною запискою потребовала отъ Адмиралтейской коллегіи отвѣтовъ на нѣсколько вопросовъ, касавшихся судостроенія и между прочимъ на слѣдующій <sup>1)</sup>: „извѣстно ли коллегіи о машинѣ въ Англіи выдуманной, которой огнемъ выливается вода изъ дока и канала. За нее требуется 15.000 рублей и ея употребленіе поспѣшиѣе всѣхъ другихъ мельницъ для выливанія воды, и на ней исходитъ не болѣе 180 сажень дровъ въ годъ“.

Адмиралтейская коллегія отвѣтила слѣдующее <sup>2)</sup>:

„О сей огневой къ выливанію воды машинѣ коллегія изъ объявленія адмирала Кновлеса извѣстна, а сего іюля 22, онъ, адмираль Кновлесь, сообщилъ коллегіи записку, полученную имъ изъ Англіи, въ которой описывается величина и дѣйствіе огневой машины, которая цѣною можетъ стоять отъ 2.000 до 2.500 фунтовъ стерлинговъ, воды можетъ выливать до 50 т. тоновъ въ 24 часа; изъ сего коллегія заключаетъ, что оную для выливанія воды изъ бассейна при каналѣ можно употребить съ несразненнымъ преимуществомъ и пользою противъ вѣтренныхъ мельницъ и къ онымъ машинѣ“.

Вскорѣ послѣ этого послѣдовалъ Высочайшій указъ о заказѣ машины, который и былъ произведенъ Мусинымъ-Пушкинымъ, бывшимъ въ то время полномочнымъ министромъ при лондонскомъ дворѣ, вслѣдствіе письма адмирала Ноульса отъ 18 ноября 1773 года.

Высочайшимъ указомъ 15 октября 1774 года отпущены первые 15.000 рублей <sup>3)</sup> „для расходовъ, употребленныхъ на сдѣланіе изобрѣтенной въ Англіи машины, которая посредствомъ огня выливаетъ воду изъ доковъ и каналовъ“

Установка машины, начатая еще въ сентябрѣ 1774 г., по чертежамъ Смитона, повидимому, нѣсколько затянулась, и только 8 іюня 1777 года Петръ Пущинъ донесъ графу Чернышеву слѣдующее <sup>4)</sup>: „Сего мѣсяца 6 числа послѣ полудня имѣлъ честь донести Вашему Сіятельству, что огнедѣйствующая машина начата пробовать и остановливана за малѣйшими остановками и что мастеръ боленъ. А сего числа пополудни съ перваго часа, по поправкѣ, пущена въ совершенное дѣй-

1) Матеріалы для Исторіи русскаго флота (адмирала Веселаго). Томъ XII. С.-Петербургъ. 1888 г., стр. 144.

2) Тамъ-же, стр. 211.

3) Матеріалы, стр. 246.

4) Извлечено изъ дѣлъ Морского министерства (дѣло графа Мордвинова, № 121, 1774 года).



ствіе. Оная работу свою начала производить съ настоящимъ и желаемымъ успѣхомъ, съ удовольствіемъ всѣхъ зрителей, которые изъявили свою радость и удивленіе сему полезному зданію... Что сіе зданіе принесло совершенную пользу, теперь уже въ самомъ дѣлѣ оказалось всѣмъ вѣроятно“.

Позднѣе тотъ же Пущинъ доносилъ, что „всѣ три помпы по примѣчанію выливаютъ воды въ минуту 570 футъ, а ведръ въ минуту 1.140, въ часъ 68.400, а въ сутки 1.641.600 в.“.

Машина была доставлена изъ Каррона въ Кронштадтъ въ сентябрѣ 1774 года на суднѣ Smack-Paisley.

Установку новой машины въ Кронштадтѣ производилъ англійскій инженеръ Адамъ Смитъ съ англійскими же мастерами, которые въ 1777 году были отпущены на родину, послѣ того какъ новая машина, въ 2 часа дня 19 іюня 1777 года, была пущена въ ходъ.

Топка производилась каменнымъ углемъ изъ Нью-Кестля.

Стоимость угля была 9 мѣдныхъ копѣекъ за пудъ. Повидимому, и послѣ установки машины ощущался недостатокъ въ опытныхъ машинистахъ и мастерахъ, которыхъ поэтому старались выписать изъ Англии. Уаттъ въ письмѣ къ Болтону отъ 3 мая 1777 года жаловался на то, что двухъ его монтеровъ стараются переманить въ Россію<sup>1)</sup>.

Какъ сказано выше, инициаторомъ заказа машины, поставленной въ Кронштадтѣ для выкачиванія воды изъ канала Петра Великаго, былъ адмиралъ Ноульсъ.

Адмиралъ Кновлесъ или Ноульсъ (Charles Knowles) былъ адмираломъ бѣлаго флага (rear admiral) въ англійскомъ флотѣ.

Въ 1770 году, будучи уже семидесяти лѣтъ, по приглашенію вице-предсѣдателя Адмиралтействъ Коллегіи графа Григорія Ивановича Чернышева, поступилъ адмираломъ же въ русскую службу съ порученіемъ завѣдывать интендантской частью флота.

Онъ привелъ въ порядокъ Адмиралтейство, много сдѣлалъ для улучшенія Кронштадтскаго порта, принималъ живое участіе въ судостроеніи и улучшилъ судовое вооруженіе.

Въ 1772 году онъ былъ командированъ на Дунай для осмотра тамошней эскадры.

По возвращеніи въ С.-Петербургъ вскорѣ впалъ въ немилость, вслѣдствіе неумѣренныхъ требованій денегъ на улучшеніе флота.

Въ началѣ 1774 года онъ оставилъ службу, возвратился въ Англию и черезъ три года умеръ.

По проекту Ноульса въ 1772—1794 г. построены въ крестъ-каналѣ Кронштадтскаго порта три дока.

1) S. Smiles, Lives of Boulton and Watt, London, 1865, pag. 227.



Заслуги Ноульса по благоустройству нашего флота могут быть подвергаемы сомнѣніямъ (см. ст. Ал. Ск. „Адмиралъ Ноульсъ“ въ № 7 (Іюль) Морского Сборника за 1849 годъ), но во всякомъ случаѣ, его слѣдуетъ считать однимъ изъ первыхъ инициаторовъ примѣненія у насъ паровыхъ двигателей <sup>1)</sup>).

Картмазовъ <sup>2)</sup> описываетъ кронштадтскую машину слѣдующимъ образомъ: „она тогда стоила при всей ея обширности, соотвѣтствующей важности предмета, 70.882<sup>1</sup>/<sub>3</sub> рубля. Въ ней находится три котла отъ 8 до 10 футовъ въ поперечникѣ, но пары изъ трехъ котловъ соединяются въ среднемъ, который находится подъ цилиндромъ. Поперечникъ цилиндра въ 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub> футъ, длина коромысла 27<sup>2</sup>/<sub>3</sub> фута, его ширина 2<sup>1</sup>/<sub>3</sub> фута, толщина 6<sup>1</sup>/<sub>6</sub> фута. Сія машина дѣйствуетъ каждую минуту 10 разъ, а посредствомъ двухъ насосовъ, имѣющихъ въ поперечникѣ по 26 дюймовъ, за каждый разъ выливаетъ 57 кубическихъ футъ или 3.990 фунтовъ воды; всю же южную часть канала, содержащую въ себѣ 2.462.400 кубическихъ футъ воды, осушаетъ около трехъ сутокъ, для чего и издерживается 2.204 пуда земляныхъ угольевъ“.

Картмазовъ считаетъ машину Ньюкомена „за превосходное изобрѣтателя твореніе“ и посвящаетъ ея описанію большую часть своей книги, а о машинѣ Уатта говоритъ, что „сія новая машина, какъ несовершенная отрасль первой, никогда не можетъ затмить ни совершенства, ни славы оной; но однако-жъ открываетъ дѣйствіе паровъ безъ помощи атмосферы и даетъ поводъ изобрѣтателямъ къ усовершенствованію сей новой машины“ <sup>3)</sup>).

1) Въ качествѣ своего секретаря Ноульсъ привезъ въ Россію Джона Робисона.

Получивъ образованіе въ Глазгоскомъ университетѣ, Робисонъ въ 1759 году ѣздилъ въ Америку съ сыномъ Ноульса.

Еще будучи студентомъ, Робисонъ познакомился съ Уаттомъ, зналъ обо всѣхъ его изобрѣтеніяхъ, а также и о всѣхъ усовершенствованіяхъ, произведенныхъ Смитомъ въ машинахъ Ньюкомена и вѣроятно давалъ совѣты адмиралу Ноульсу. Робисонъ съ 1772 по 1774 годъ преподавалъ въ Морскомъ Корпусѣ математику, механику, физику и геометрію. Онъ также былъ инспекторомъ классовъ. Послѣ возвращенія въ Шотландію въ іюль 1774 года онъ былъ профессоромъ физики въ Эдинбургскомъ университетѣ (статья русскаго академика Іосифа Гамеля [1788—1862] подъ заглавіемъ *Rückblick auf die Einführung der Dampfschiffart in England* въ *Allgemeine Bauzeitung*, 1866, pag. 87).

2) „Подробное описаніе паровой машины, устроенной въ Великобританіи изобрѣтателемъ оныя г. Сэвери, составлено членомъ военно-ученаго комитета 5 класса Картмазовымъ, С.-Петербургъ, 1817“. (Картмазовъ ошибочно называетъ машину Ньюкомена машиною Сэвери).

Чертежи, приложенные къ этой книгѣ, представляютъ точную копию въ уменьшенномъ масштабѣ съ чертежей, приложенныхъ къ напечатанной на 57 лѣтъ ранѣ книгѣ Шлаттера.

3) Тотъ-же Картмазовъ говоритъ, что „въ послѣдствіи времени по-



Вскорѣ послѣ установки кронштадтской машины, а именно въ 1780 году, С.-Петербургская Академія наукъ назначила премію въ 100 голландскихъ дукатовъ за лучшее сочиненіе по теоріи огненныхъ машинъ и, въ засѣданіи 10 октября 1783 года, удостоила этой преміи г. Sebastien Maillard, профессора фортификаціи въ вѣнской инженерной академіи. Сочиненіе это было напечатано по распоряженію Академіи наукъ въ Петербургѣ, на французскомъ языкѣ, подѣ заглавіемъ: „Mémoire sur la théorie des machines à feu“.

Машина Уатта двойного дѣйствія въ первый разъ была описана на русскомъ языкѣ въ 1787 г. Л. Сабакинымъ, который, по возвращеніи изъ Англіи, куда онъ былъ посланъ для усовершенствованія въ наукахъ и механическомъ искусствѣ, перевелъ на русскій языкъ лекціи Фергусона о механикѣ<sup>1)</sup> и, въ прибавленіи къ нимъ, описалъ видѣнныя имъ въ Англіи машины Ньюкомена и Уатта.

Сабакинъ описалъ машину Уатта довольно ясно и отдаетъ ей полное предпочтеніе передъ машиною Ньюкомена, что доказываетъ его проницательность. Мы не можемъ отказать себѣ въ удовольствіи привести слѣдующія дословныя выписки изъ сочиненія Сабакина: „Новая машина нынѣ въ Англіи начинаетъ быть употребительнѣе старой, для того что не такъ многосложна и гораздо меньше изводитъ уголь-евъ... сими машинами со временемъ замѣнены будутъ во многихъ случаяхъ потребныя силы животныхъ, также и недостатки рѣкъ тамъ, гдѣ бы можно быть какимъ нибудь заводомъ: ибо уже и нынѣ одна тамошняя компанія на силахъ трехъ таковыхъ машинъ достраивала въ мою бытность въ Лондонѣ, близъ лондонскаго моста, о тридцати поставахъ мучную мельницу, которая весьма славится: однако никого въ нее не пускаютъ смотрѣть, какъ огненныя машины надъ жерновами дѣйствуютъ, а особливо иностранныхъ, въ какихъ и я будучи, также не могъ бы знать, есть ли бы особый случай не позволилъ мнѣ тѣмъ воспользоваться“...

„Здѣсь я намѣренъ кончить объясненіемъ любопытному читателю о изобрѣтателѣ сей новой машины: онъ англичанинъ... и называется Вацъ. Я довольно имѣлъ случаевъ его узнать, выдавшись съ нимъ... у господина Болтона неоднократно. Онъ былъ прежде небогатый человекъ, но къ меха-

---

строенныя въ С.-Петербургѣ и въ окрестности онаго паровыя машины при водятъ въ удивленіе каждога“, и повидимому не отдаетъ себѣ отчета въ томъ, что большинство машинъ, имѣвшихся въ Россіи въ двадцатыхъ годахъ текущаго столѣтія, были именно машины Уатта.

<sup>1)</sup> Лекціи о разныхъ предметахъ, касающихся до механики, гидравлики и гидростатики, сочиненныя г. Фергусономъ и съ англійскаго на русскій языкъ переведенныя тверскимъ губернскимъ механикомъ Львомъ Сабакинымъ, съ присовокупленіемъ къ онымъ собственной его лекціи о огненныхъ машинахъ. С.-Петербургъ, 1787.



никъ весьма склоненъ. Въ разсужденіи чего, усмотря его какъ господинъ Болтонъ, такъ и вся ихъ разныхъ заводовъ вышесказанная компанія, приняла его къ себѣ безъ всякаго капитала товарищемъ... за что предпріятіе ихъ и награждено удачею, потому что и подлинно онъ доставилъ имъ во многихъ случаяхъ превеликіе прибыли да и вышесказанная мельница строена по его прожектору и предложенію. Словомъ сказать, теперь у нихъ всѣ заводы и разныя фабрики отправляются машинами; и, какъ я стороною слышалъ, что они имѣютъ премножество и такихъ машинъ, которыя только у нихъ и то подъ секретомъ. Ибо я и то запримѣтитъ могъ, что они меня согласны были больше угащивать и по садамъ водить, нежели по своимъ заводамъ и фабрикамъ; и естли то когда было, они я чаю предупреждали въ тѣхъ мѣстахъ повѣсткою, чтобъ то было скрыто или совсѣмъ туда не водили. Однако-жъ съ моей стороны я былъ и тѣмъ весьма доволенъ. Признаюсь, что я на тотъ случай имѣлъ затрудненіе въ избраніи, на которыя изъ встрѣчающихся машинъ долженствовалъ болѣе обратить надлежащее вниманіе, и сверхъ того опасался, дабы такимъ разсматриваніемъ не придти у нихъ въ подозрѣніе“.

Слѣдуетъ добавить, что въ 1777 году истекалъ срокъ многихъ привилегій, взятыхъ Уаттомъ и, вслѣдствіе встрѣченныхъ затрудненій по возобновленію привилегій, онъ одно время почти рѣшился перебраться въ Россію, куда его приглашало Русское Правительство черезъ посредство стараго его друга доктора Робисона.

Однако, привилегіи были получены и Уаттъ остался въ Англіи.

Первымъ введеніемъ въ Россіи постройки паровыхъ машинъ мы вѣроятно обязаны шотландцу Карлу Карловичу Гаскойну. Адмиралъ С. К. Грейгъ, такъ много способствовавшій къ усовершенствованію нашего флота и вооруженію его надежными орудіями, ходатайствовалъ передъ Императрицею Екатериною II объ отысканіи способовъ для приготовленія хорошихъ орудій въ Россіи и о приглашеніи въ Россію Гаскойна, извѣстнаго ему по отливкѣ Карронскихъ пушекъ. Представленіе адмирала Грейга было уважено, и въ апрѣлѣ 1786 года Гаскойнъ прибылъ въ Кронштадтъ, а въ іюль того же года въ Петрозаводскъ съ художниками и мастерами.

О мѣстѣ его рожденія и воспитанія нѣтъ свѣдѣній; однако извѣстно, что во время постройки кронштадтской машины на извѣстномъ Карронскомъ заводѣ въ Шотландіи, онъ былъ директоромъ этого завода и во время управленія заводомъ усовершенствовалъ литье, такъ называемыхъ карронадъ, которыя были приняты для вооруженія англійскаго



флота и были названы карронадами по имени завода, а не гасконадами, только потому, что это послѣднее слово имѣетъ еще и другое значеніе.

Гаскойнъ былъ назначенъ управляющимъ Олонецкими заводами и тогда же началъ свою замѣчательную дѣятельность по улучшенію и переустройству не только Олонецкихъ, но и многихъ другихъ русскихъ заводовъ. Имъ былъ переустроенъ Ижорскій заводъ, возобновленъ Кончезерскій и основанъ Луганскій; онъ же построилъ въ 1789 г. Кронштадтскій литейный заводъ и въ 1801 г. С.-Петербургскій литейный заводъ.

На Олонецкомъ (Александровскомъ) заводѣ, подъ руководствомъ Гаскойна, началось приготовленіе пушекъ, лафетовъ, разныхъ чугунныхъ отливокъ и между прочимъ паровыхъ машинъ <sup>1)</sup>.

Первая паровая машина была построена Олонецкимъ заводомъ для отливки воды изъ Воицкаго золотого рудника (Архангельской губерніи, Кемскаго уѣзда, при вершинѣ рѣки Выга).

По проекту, поданному управляющимъ заводомъ Гаскойномъ, Императрица Екатерина II, въ 1789 г., Высочайше повелѣла соорудить паровую или по тогдашнему огненную машину для отливки воды изъ рудника. Въ рудникъ была опущена вертикальная шахта, въ которую пробить квершлагъ отъ старыхъ выработокъ и надъ шахтою въ 1791 году поставлена (подъ наблюденіемъ механика Шерифа и маркшейдера Друри) построенная на Александровскомъ (Олонецкомъ) заводѣ огненная машина, которая вскорѣ отлила воду и находилась въ дѣйствиіи до 1794 года, когда разработка Воицкаго рудника, по его бѣдности, была прекращена. Машина обошлась въ 12.566 руб.; кромѣ того на машинное зданіе израсходовано 5.600 руб., на каналъ для проложенія машинныхъ трубъ 1.200 руб. и на особливья части къ машинѣ 2.700 р.; на содержаніе машины съ 1791 до 1794 г. отпущено 4.700 руб. <sup>2)</sup>.

Какой системы была Воицкая машина, въ точности неизвѣстно, но очень вѣроятно, что она была системы Уатта. Правившій должность Архангельскаго и Олонецкаго генералъ-губернатора Туттолминъ, посѣтившій Воицкій рудникъ, 24 марта 1791 года, съ рудника писалъ графу Чернышеву о

1) Памятная книжка Олонецкой губерніи на 1860 годъ. Годъ четвертый. Изданіе редакціи Олонецкихъ губернскихъ вѣдомостей, Петрозаводскъ 1860. (Статья г. г. Полякова и Пармакова „Очеркъ Олонецкихъ заводовъ въ историческомъ, геогностическомъ и статистическомъ отношеніи“).

2) Горный журналъ 1826 года, книжка II, статья г. Лопашинскаго, „Минералогическія и историческія свѣдѣнія о бывшемъ Воицкомъ золотомъ рудникѣ“ и книжка VII статья И. Гавеловскаго, „Замѣчанія о Воицкомъ рудникѣ“.



машинъ: „теперь изъясню токмо что дѣйствиѣ ея во многомъ превосходнѣе дѣлаемыхъ по прежней системѣ, по каковой построена и Кронштадтская“<sup>1)</sup>.

Въ 1797 или 1803 году на Олонецкихъ заводахъ была изготовлена паровая машина для Петербургскаго монетнаго двора. Гаскойномъ же была поставлена на Александровской мануфактурѣ, въ селѣ Александровскомъ близъ Петербурга, выписанная изъ Англіи паровая машина системы Уатта.

Заслуги Гаскойна были оцѣнены; служба сначала по контракту, онъ впослѣдствіи былъ зачисленъ на службу и получилъ чинъ дѣйствительнаго статскаго совѣтника. Гаскойнъ умеръ въ 1806 г. и погребенъ въ Петрозаводскѣ<sup>2)</sup>. Послѣ его смерти Олонецкіе заводы, и вѣроятно также бывшій съ нимъ въ нераздѣльномъ управленіи Петербургскій литейный заводъ, продолжали постройку паровыхъ и другихъ машинъ и даже, по 1824 г., преимущественно занимались изготовленіемъ машинъ. Послѣ наводненія 1824 года, пострадавшій отъ воды Петербургскій литейный заводъ былъ закрытъ, частные заказы перешли на вновь основанный вмѣсто Петербургскаго, Александровскій заводъ, а Олонецкіе заводы ограничились выполненіемъ заказовъ для Артиллерійскаго вѣдомства.

Въ концѣ XVIII и началѣ XIX столѣтія постройкою паровыхъ машинъ начали заниматься и нѣкоторые частные заводы, каковы напр. заводъ Берда, основанный въ 1792 г., и заводъ Меджера. Заводъ Берда (нынѣшній Франко-Русскій) является первымъ частнымъ механическимъ заводомъ въ Россіи. Карлъ Бердъ (1766—1843), уроженецъ Вестертонна въ Шотландіи, пріѣхалъ въ Россію въ 1786 году, двадцатилѣтнимъ молодымъ человѣкомъ въ числѣ одиннадцати лицъ, сопровождавшихъ Гаскойна, поручившаго ему постройку Кронштадтскаго литейнаго завода. Затѣмъ, въ 1792 г., Карлъ Бердъ, въ компаніи со своимъ братомъ Джэмсомъ и англичаниномъ Морганомъ, устроилъ литейный заводъ на Матисовомъ (Гутуевскомъ) островѣ<sup>3)</sup>. Черезъ весьма короткое время Карлъ Бердъ выдѣлилъ своихъ компаньоновъ и сдѣлался единственнымъ владѣльцемъ завода, который былъ увеличенъ корабельною верфью и механическою мастерскою.

Заводъ Берда вѣроятно съ самаго начала приводился въ дѣйствиѣ паровою машиною. На это указываетъ состоявшійся 18 февраля 1800 года Высочайшій указъ „о составленіи

1) Извлечено изъ архива Морского Министерства, (дѣло графа Чернышева № 381, 1791 года),

2) П. Е. Холостовъ. Краткій историческій очеркъ горнозаводскаго дѣла въ Олонецкомъ краѣ и обзоръ дѣятельности Александровскаго пушечно-литейнаго завода въ продолженіи его столѣтняго существованія.

3) Н. Лабзинъ, „Машины и аппараты“ и Т. Tower, Memoir of the late Charles Baird, Esq. and of his son, the late Francis Baird, Esq. London, 1867.



плана и смѣты для постройки огненной машины малаго размѣра по образцу машины, существующей для облегченія ручной работы на заводѣ англичанина Карла Берда“<sup>1)</sup>).

Первоначально заводъ Берда занимался изготовленіемъ мелкихъ отливокъ и желѣзныхъ издѣлій, но затѣмъ дѣятельность его начала расширяться и онъ перешелъ къ постройкѣ паровыхъ машинъ. Кромѣ постройки пароходныхъ машинъ, сдѣлавшейся спеціальностью завода съ 1817 г., онъ построилъ въ 1810 году паровые котлы для монетнаго двора, въ 1811 году паровыя машины для Тульского оружейнаго завода, въ 1817 году паровыя машины для Варшавскаго арсенала и пр.<sup>2)</sup> До 1825 года заводъ Берда уже выпустилъ 11 пароходовъ и до 130 паровыхъ машинъ. Начиная съ 1810 года главнѣйшимъ сотрудникомъ Берда былъ механикъ William Handyside 1793—1850<sup>3)</sup>).

Заводъ Берда повидимому долгое время былъ единственнымъ частнымъ заводомъ, строившимъ паровыя машины. Инициатива въ этомъ дѣлѣ принадлежала Правительству и казеннымъ заводамъ. Правительство заботилось также объ образованіи искусныхъ мастеровъ для казенныхъ заводовъ и о приготовленіи въ особенности машинистовъ для паровыхъ машинъ. Съ этою цѣлью еще въ концѣ XVIII столѣтія Морскимъ вѣдомствомъ были посылаемы въ Англію ученики, а въ 1806 году отданы были англичанину Берду, на его заводъ въ Петербургъ, 100 учениковъ на 5 лѣтъ. Въ 1812 году, въ Екатеринбургѣ, поручено было механику Меджеру устроить собственнымъ иждивеніемъ фабрику паровыхъ и другихъ машинъ и инструментовъ для горныхъ заводовъ. Правительство дало ему съ Уральскихъ заводовъ 50 мастеровыхъ въ обученіе на томъ же основаніи, какъ и Берду<sup>4)</sup>).

Изъ большихъ машинъ, построенныхъ въ концѣ двадцатыхъ годовъ XIX вѣка, наибольшую извѣстностью пользовалась большая машина Уатта двойного дѣйствія, построенная на Олонецкомъ заводѣ и поставленная въ 1820 году г. Кларкомъ на С.-Петербургскомъ монетномъ дворѣ. Машина эта была силою въ 60 лошадей и приводила въ движеніе плющильные и юстирные станки монетнаго двора. Позже эта машина была замѣнена новою, но на монетномъ дворѣ еще сохранились чертежи машины Кларка. Машина представлена на фиг. 4, по рисунку, приложенному къ упоминав-

1) Описание дѣлъ архивовъ Морского Министерства, томъ III, стр. 832.

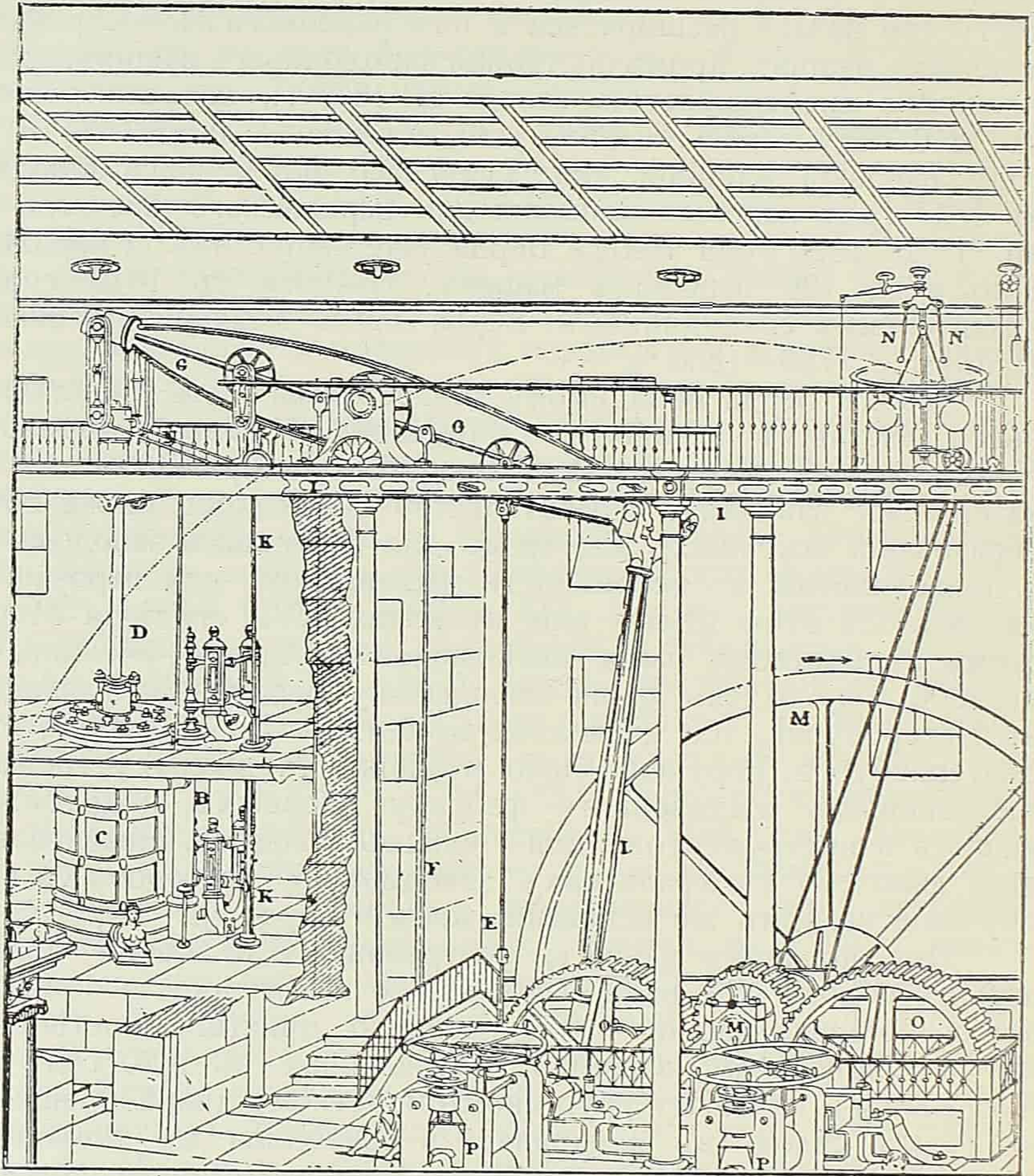
2) Н. Лабзинъ, „Машины и аппараты“.

3) Minutes of proceedings of the Inst. of civil engineers, vol. X, session 1850—1851, pag. 85. Memoir of W. Handyside.

4) Горный журналъ 1878 года, томъ 1, стр. 1, статья К. А. Скальковскаго „О значеніи царствованія Императора Александра I въ исторіи русскаго горнаго дѣла“.



шейся уже статьѣ Кларка, напечатанной въ 1826 году въ Горномъ журналѣ. На рисунокѣ: *B* есть паропроводная труба, *C* — цилиндръ, *D* — поршневой стержень, *E* — воздушный насосъ, *F* — питательный насосъ, *G* — коромысло, *I* — под-



Фиг. 4.

шипникъ коромысла, *L* — шатунъ, *M* — маховое колесо, *N* — регуляторъ, *O* — приводъ, соединяющій машину съ плуцильными валами *P* и остальными валами и станками, приводившимися въ движеніе машиною.

Въ двадцатыхъ же годахъ машины Уатта были установлены на Александровской мануфактурѣ и на Александровскомъ чугунно-литейномъ заводѣ. На этомъ послѣднемъ заводѣ, бывшемъ Александровскомъ механическомъ, находив-



шемся въ арендѣ Главнаго Общества Россійскихъ желѣзныхъ дорогъ, вѣроятно понынѣ еще дѣйствуетъ, какъ запасная, машина Уатта, которая была установлена въ годъ основанія завода (1824 г.) и построена на Олонецкомъ заводѣ, какъ машина монетнаго двора. Управляющимъ Александровскимъ заводомъ съ 1824 по 1841 годъ былъ именно г. Кларкъ, поставившій машину на монетный дворъ.

Заводъ Берда въ двадцатыхъ годахъ также уже занимался постройкою пароводныхъ и другихъ машинъ по системѣ Уатта. Вообще повидимому въ двадцатыхъ годахъ машина Уатта уже была въ Петербургѣ во всеобщемъ употребленіи.

Профессоръ Главнаго инженернаго училища Чижевъ<sup>1)</sup>, напечатавшій книгу о механикѣ въ 1823 году, описываетъ уже только машины Уатта, а машину Ньюкомена не описываетъ, дѣлая лишь ссылку на механику Пл. Гамалѣя<sup>2)</sup>. Чижевъ, между прочимъ, вѣроятно въ первый разъ на русскомъ языкѣ, описываетъ машины дѣйствующія съ расширеніемъ пара и машины высокаго давленія.

Во второй четверти прошлаго столѣтія въ дѣлѣ постройки паровыхъ машинъ и вообще машиностроенія занималъ видное мѣсто упомянутый выше, основанный въ 1824 году, Александровскій заводъ.

Какъ уже замѣчено, отъ наводненія 7 ноября 1824 года, пострадалъ С.-Петербургскій Литейный заводъ, находившійся на 4-ой верстѣ по Петергофской дорогѣ. Министръ финансовъ предполагалъ уничтожить заводъ, но Высочайше утвержденнымъ журналомъ Комитета Министровъ 27 марта 1825 года предположено построить заводъ на Шлиссельбургской дорогѣ, въ 7 верстахъ отъ столицы. Заводъ былъ заложенъ 25 іюня 1825 года, къ зимѣ того же года каменные зданія были покрыты, а 7 сентября 1826 г., въ присутствіи министра финансовъ, уже начато на новомъ заводѣ литье чугуна.

Журналомъ Комитета Министровъ 4 декабря 1826 года постановлено: наименовать новый заводъ Александро-Невскимъ литейнымъ заводомъ. По представленіи о семъ Импе-

1) Чижевъ. Записки о приложеніи началъ механики. С.-Петербургъ, 1823. Между прочимъ интересно, что Чижевъ уже упоминаетъ о машинахъ Перкинса, который въ 1823 году только что началъ опыты примѣненія пара высокаго давленія: „А при новѣйшемъ устроеніи паровыхъ машинъ“, говоритъ Чижевъ, „вода накаливается до красна и упругость паровъ доводится до невѣроятности, а именно до 37 атмосферъ — со временемъ надо ожидать большаго преобразованія по сей части“.

2) Пл. Гамалѣя. Вышняя теорія морскихъ искусствъ. Изданіе 2-ое С.-Петербургъ, 1812.

Въ третьей части этого сочиненія, содержащей начальныя основанія механики, на стр. 550—560, кратко описаны кронштадтская машина Ньюкомена и машина Уатта.



ратору Александру Павловичу, Его Величество повелѣлъ назвать новый заводъ просто Александровскимъ <sup>1)</sup>).

Съ самаго основанія, будучи подъ управленіемъ весьма дѣятельнаго директора Кларка, Александровскій заводъ, независимо отъ выполненія всевозможныхъ отливокъ (напр. арки Николаевского моста) и другихъ издѣлій, строилъ паровыя машины, которыя расходились по вновь устраиваемымъ фабрикамъ.

Кромѣ Александровскаго завода, постройкой паровыхъ машинъ занимались нѣсколько частныхъ заводовъ. Такъ, напримѣръ, Сноведскій (Выксунскій) заводъ г. г. Шепелевыхъ съ 1836 года снабжалъ паровыми машинами нѣкоторые заводы и фабрики Владимірской губерніи; однако большинство машинъ выписывалось изъ Англии. Къ 1842 году число паровыхъ двигателей въ Россіи уже настолько увеличилось, что 13 ноября 1842 года былъ изданъ первый законъ, опредѣлявшій правила примѣненія паровыхъ котловъ. Впрочемъ, не слѣдуетъ думать, что число паровыхъ двигателей въ это время было особенно велико: въ 1842 году въ Москвѣ и всѣхъ уѣздахъ Московской губерніи дѣйствовало не болѣе 63 паровыхъ машинъ.

Послѣ этого времени примѣненіе заводскихъ паровыхъ машинъ постепенно расширялось, причемъ однако большинство ихъ строилось не въ Россіи, а выписывалось изъ заграницы.

До 1869 года машины и аппараты, употребляемые на фабрикахъ и заводахъ, допускались къ беспошлинному ввозу; только тарифомъ 1869 года на паровыя машины была назначена пошлина по 30 коп. съ пуда.

Послѣ того пошлина продолжала все время повышаться.

На основаніи „Матеріаловъ для статистики паровыхъ двигателей въ Россійской Имперіи“, изданныхъ въ 1882 году Центральнымъ Статистическимъ Комитетомъ — число постоянныхъ машинъ въ Россіи (съ Сибирью и Кавказомъ) къ 1875 году было 5.949 (138.958 индикат. силъ); изъ нихъ построено было въ Россіи 2,054. Въ Финляндскихъ губ. постоянныхъ машинъ было 251 (6.324 инд. силъ). Локобилей въ Россіи (съ Сибирью и Кавказомъ) къ 1875 году было 2.059 (23.176 индикат. силъ); изъ нихъ построено было въ Россіи 151. Въ Финляндскихъ губ. локобилей было 45 (454 инд. силы).

<sup>1)</sup> Горный журналъ 1826 г. кн. IX стр. 145 и 1827 г. кн. IX стр. 9.



## II.

## Развитіе пароходства въ Россіи.

Въ 1813 году „житель города Новаго Іорка“ Фультонъ получилъ въ Россіи пятнадцати-лѣтнюю привиллегію на употребленіе изобрѣтенныхъ имъ пароходовъ для сообщенія между Петербургомъ и Кронштадтомъ и на судоходныхъ рѣкахъ Россіи.

Фультонъ умеръ въ 1815 году. Ни самъ Фультонъ, ни его наслѣдники, не использовали привиллегіи и въ 1816 году она была объявлена уничтоженной.

Въ 1814 году англійскій инженеръ Доддъ обращался съ предложеніемъ устроить судно съ паровой машиной для перевозки товаровъ между Петербургомъ и Кронштадтомъ. Предложеніе это не имѣло никакихъ послѣдствій<sup>1)</sup>.

Учрежденіемъ пароходства въ Россіи мы обязаны извѣстному заводчику Карлу Берду, родившемуся въ 1766 г. въ Уэстертонѣ и прибывшему въ 1786 г. въ Россію. Лѣтомъ 1815 года онъ поставилъ балансирующую машину Уатта въ 4 силы на простую Тихвинскую лодку и, послѣ нѣсколькихъ опытовъ на Невѣ и въ пруду у Таврическаго дворца, въ присутствіи царской фамилии, осенью того же года рѣшился испытать плаваніе на пароходѣ въ Кронштадтъ. Пароходъ отошелъ отъ пристани на Невѣ 3 ноября 1815 года и совершилъ путь до Кронштадта въ  $2\frac{3}{4}$  часа, т. е. шелъ со скоростью  $8\frac{3}{4}$  версты или 5 морскихъ миль въ часъ. Поѣздка эта описана адмираломъ Рикордомъ въ статьѣ „Первая поѣздка на пароходѣ изъ Петербурга въ Кронштадтъ и обратно въ 1815 году“, помѣщенной въ № 46 Сына Отечества за 1815 годъ. Въ этой статьѣ адмиралъ Рикордъ въ первый разъ употребилъ названіе „пароходъ“, быстро привившееся и смѣнившее первое названіе паровыхъ судовъ „стимботъ“<sup>2)</sup>.

Пароходъ Берда, носившій названіе „Елизавета“, подробно описанъ въ статьѣ „Стимботъ на Невѣ“, помѣщенной въ № 38 „Сына Отечества“ за 1815 годъ. Онъ имѣлъ длину 60 футъ, ширину 15 футъ и осадку 2 фута. Колеса діаметромъ 8 футъ, шириною 4 фута, имѣли по 6 лопастей шириною 4 дюймовъ, углубленныхъ въ воду на 9 дюймовъ, и дѣлали 40 оборотовъ въ минуту. Самое судно описано слѣдующимъ образомъ: „Г. Бердъ не построилъ для приложенія паровой машины къ судамъ новаго судна, а только вдѣлалъ сію машину въ обыкновенную Тихвинскую лодку. Снаружи видно,

1) В. С. Тихомировъ. „Изъ прошлаго“. (Русское судоходство 1894 г. № 141, стр. 4).

2) Впрочемъ и впослѣдствіи, до пятидесятихъ годовъ, пароходы иногда называли „пироскафами“.



что она имѣетъ палубу съ возвышающеюся по срединѣ плоскою крышею трюма (въ которомъ находится машина); въ кормовой части поставлены скамьи съ парусиновымъ навѣсомъ для посѣтителей, а впереди по обѣимъ сторонамъ видны досчатые футляры, въ которыхъ движется по колесу. Посрединѣ судна возвышается желѣзная труба діаметромъ около фута и вышиною футъ въ двадцать пять. При попутномъ вѣтрѣ труба сія служитъ вмѣсто мачты для поднятія паруса“. На фиг. 5 представленъ рисунокъ перваго парохода Берда, заимствованный изъ книги г. Tower'a, Memoir of the late Charles Baird etc. На рисункѣ изображена кирпичная труба, которая вѣроятно вскорѣ была замѣнена желѣзною, замѣченною составителемъ выше приведенной статьи „Сына Отечества“.

Въ 1816 году Бердъ выстроилъ на своемъ заводѣ на Гутуевскомъ островѣ второй пароходъ и началъ перевозить пассажировъ въ Кронштадтъ. Въ 1820 году сообщеніе между Петербургомъ и Кронштадтомъ производилось уже четырьмя пароходами Берда, изъ коихъ два были въ 32, одинъ въ 25 и одинъ въ 12 силъ <sup>1)</sup>.

Раннее появленіе пароходовъ въ Россіи тѣмъ болѣе интересно, что и въ западной Европѣ они появились немногимъ раньше. Такъ напр., въ 1814 году во всей Великобританіи было не болѣе 5 паровыхъ судовъ.

Въ 1817 году Бердъ получилъ привиллегію <sup>2)</sup> на исключительное въ теченіе десяти лѣтъ употребленіе паровыхъ судовъ на Финскомъ заливѣ, Черномъ, Азовскомъ и Каспійскомъ моряхъ и русскихъ рѣкахъ, съ условіемъ, что дѣйствіе привиллегіи прекращается по истеченіи трехъ лѣтъ для рѣкъ и морей, на которыхъ къ тому времени Бердомъ не будетъ заведено пароходство. Правительство впрочемъ сохранило за собою право строить и употреблять пароходы. Къ привиллегіи приложены рисунки парохода, воспроизведенные на фиг. 6а стр. 381 и 6б и с стр. 383.

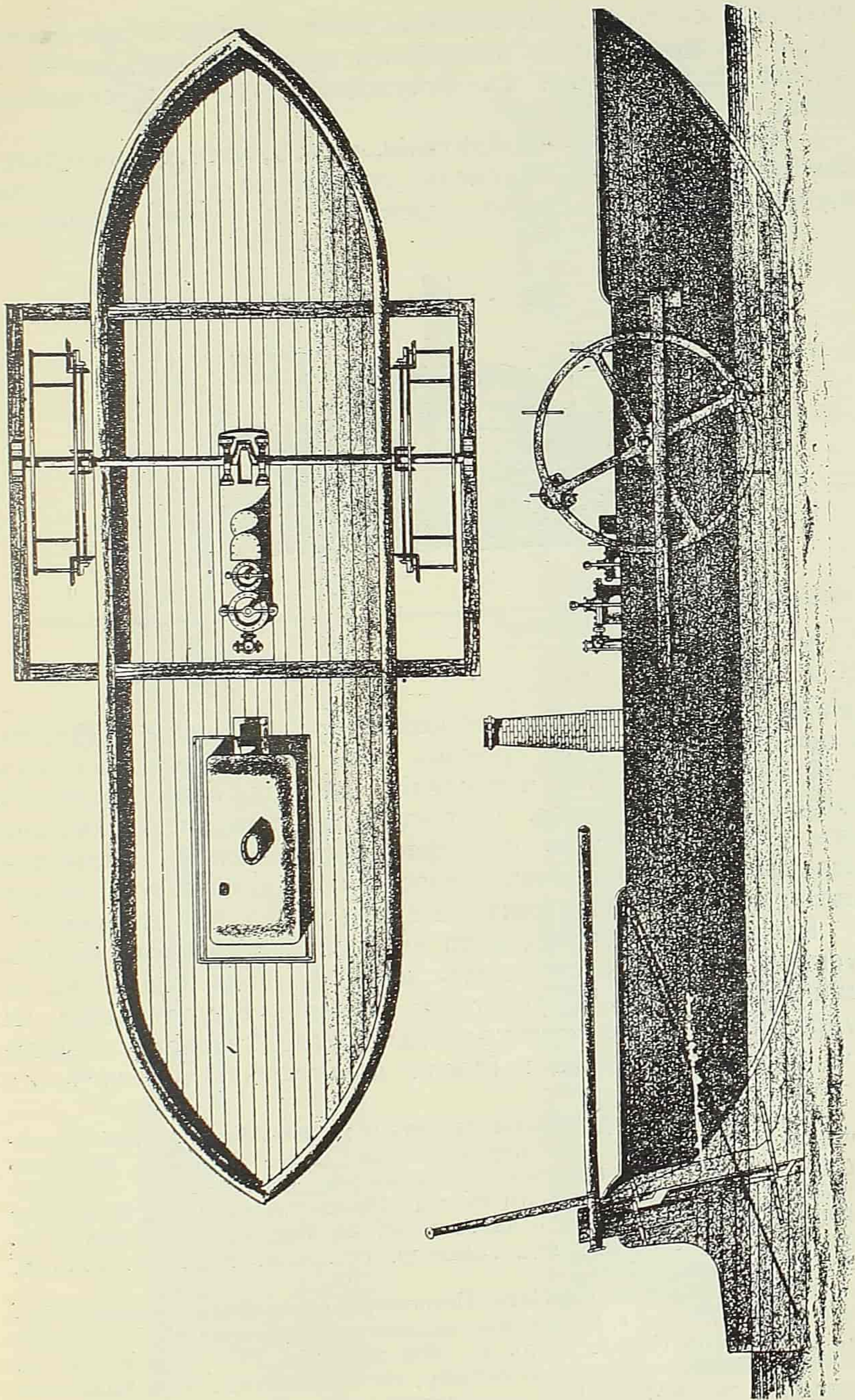
Въ описаніи, приложенномъ къ привиллегіи, Бердъ объясняетъ, что онъ „первый ввелъ въ Россіи какъ употребленіе, такъ и дѣланіе паровыхъ машинъ“, и перечисляетъ слѣдующія выгоды пароходовъ:

„Судна съ паровыми машинами могутъ идти при всякомъ и даже противномъ вѣтрѣ по морю и по озерамъ, равнымъ образомъ и противъ теченія рѣкъ, какъ посредствомъ колесъ или гребковъ, или заводныхъ якорей, безъ помощи и

1) Отечественныя Записки 1820 года. Статья Свинына: „Прогулка въ Кронштадтъ“.

2) Привиллегія, данная оберъ-бергмейстеру 7 класса Карлу Берду на употребленіе паровыхъ судовъ, съ подробнымъ оной описаніемъ и рисунками. С.-Петербургъ, 1818.



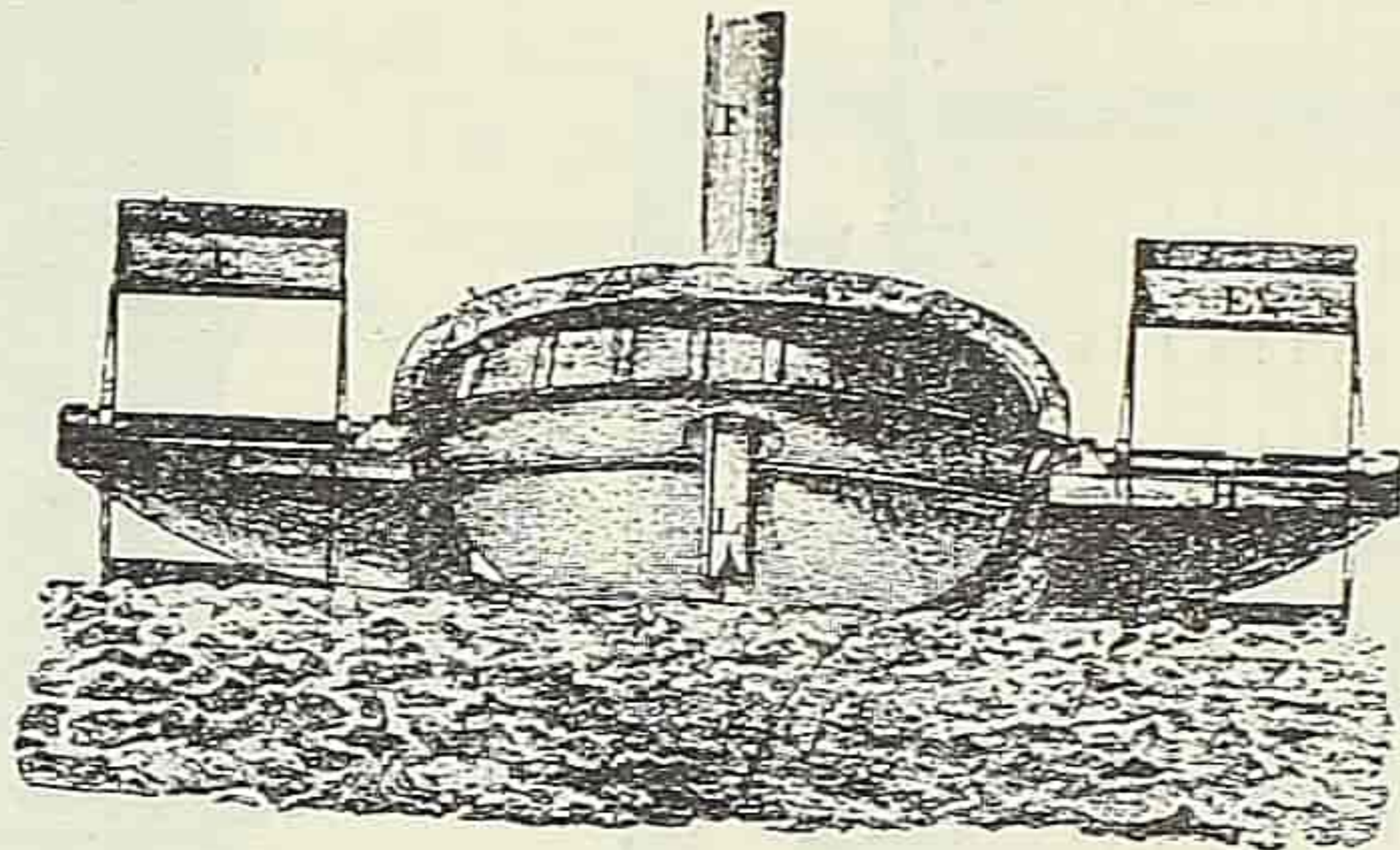


Фиг. 5.



изнуренія силъ человѣческихъ, коихъ употребленіе доселѣ стоило столь великихъ издержекъ и потерь, какъ въ ея народонаселеніи, такъ и въ отчужденіи ихъ отъ сельскихъ работъ“.

„Выгоды сего изобрѣтенія, кромѣ уже упомянутыхъ, есть также скорость времени употребляемаго на перевозку тяжестей симъ средствомъ, превосходящая несравненно до-



Фиг. 6а.

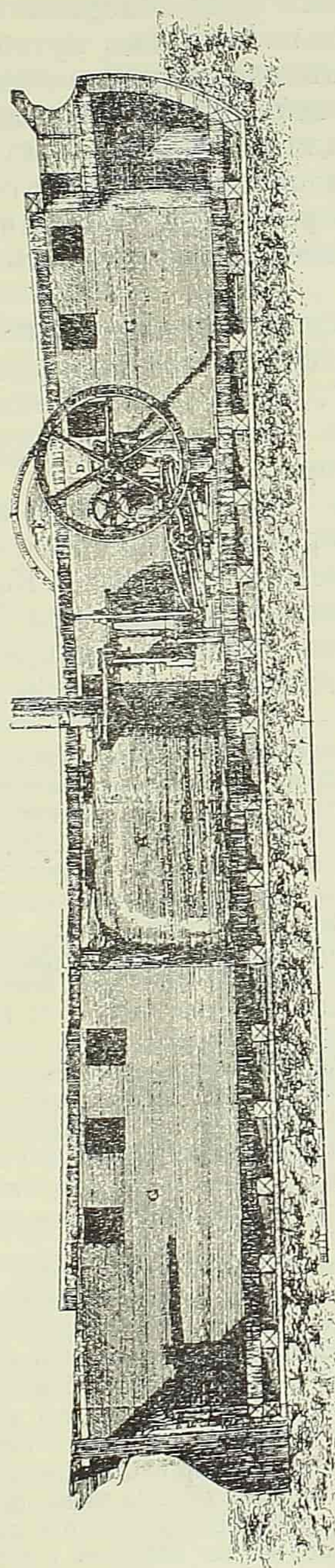
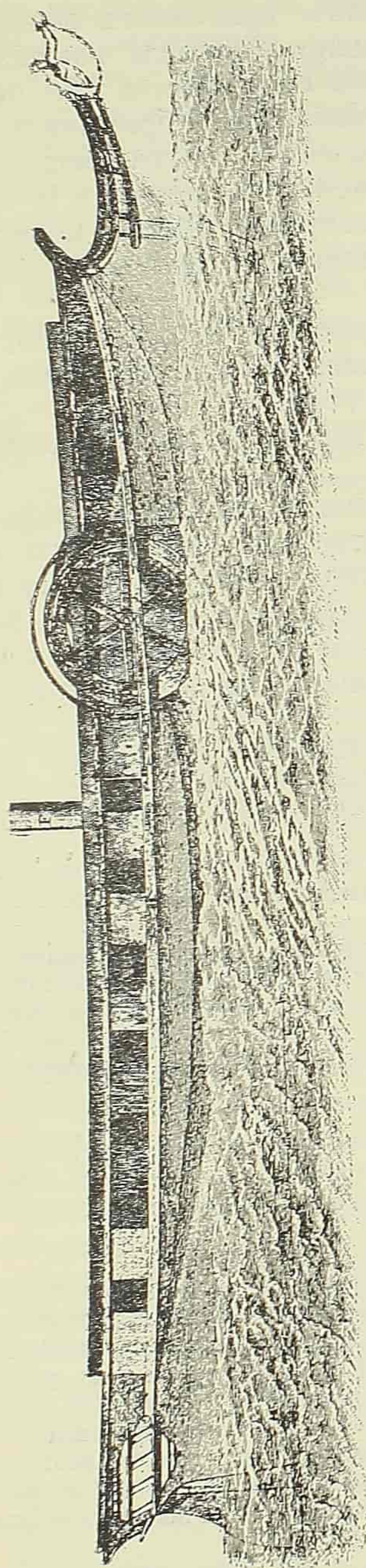
селѣ на сей предметъ потребовавшуюся и великая вѣрность въ исчисленіи при томъ сроковъ доставки грузовъ къ ихъ мѣсту назначенія. Для исчисленія выгоды, получаемой отъ употребленія паровыхъ машинъ для судоходства, нужно знать, что замѣна силъ человѣческихъ конными машинами избавляетъ отъ половины, а паровыми машинами отъ десяти суммъ издержекъ, на судоходство употребляемой“.

Важность судоходства по внутреннимъ нашимъ водамъ и успѣхъ конныхъ судовыхъ машинъ, введенныхъ въ то время Пуадобаромъ<sup>1)</sup>, обратили вниманіе правительства на улучшеніе рѣчного судоходства. По свидѣтельству извѣстнаго генераль-лейтенанта (тогда полковника) Базена<sup>2)</sup>, въ

1) Десятилѣтняя привиллегія на конныя машины была выдана Пуадобару 29 мая 1814 года, хотя первоначальная мысль замѣнить бурлачью силу лошадиною принадлежитъ главному мастеру Огурдинскаго лѣсопильнаго завода В. А. Всеволожскаго въ селѣ Усольѣ, Александру Ивановичу Дурбошеву (статья „А. И-ва, о пароходствѣ на Волгѣ и ея притокахъ, въ Нижегородскомъ сборникѣ, изд. Нижегород. губ. стат. комитета. Томъ III. Нижній-Новгородъ, 1870 г.).

2) Генераль-лейтенантъ Петръ Петровичъ Базень (Pierre Dominique Bazaine) (сынъ уроженца г. Метца; онъ написалъ курсы геометріи и математикѣ, (родился въ 1786 г. умеръ въ 1838 году); въ 1810 г. поступилъ въ чинѣ подполковника на русскую службу; съ 1815 по 1824 годъ былъ профессоромъ, а съ 1824 по 1834 г. — директоромъ Института инженеровъ путей сообщенія; умеръ въ Парижѣ въ 1838 г. Базень былъ выдающійся техникъ; по его проектамъ и подъ его наблюденіемъ возведено много за-





фиг. 6b и 6с.



іюнѣ 1816 года генераль Де-Воланъ пригласилъ офицеровъ корпуса инженеровъ путей сообщенія заняться изысканіемъ средствъ для улучшенія способовъ судоходства. По приглашенію генерала Бетанкура, предполагавшаго примѣнить пароходы для движенія на Волгѣ, Базень занялся разработкою этого вопроса и въ 1817 году напечаталъ мемуаръ<sup>1)</sup>, въ которомъ разобрана теоретическая сторона дѣйствія колесныхъ пароходовъ и тяги судовъ при помощи паровыхъ кабестановъ.

Первый иностранный коммерческій пароходъ, посѣтившій Петербургскій портъ, былъ американскій пароходъ „Savannah“, пришедшій осенью 1819 года.

Съ тѣхъ поръ иностранные пароходы начали посѣщать наши порты.

Въ 1833 году съ Высочайшаго разрѣшенія открылось Черноморское пароходное общество для пароходнаго сообщенія между Одессою и Константинополемъ, которому были безвозмездно отданы три казенныхъ парохода. Въ 1843 г., когда это общество прекратило свои дѣйствія, было образовано казенное предпріятіе, названное Новороссійскою паро-

мѣчательныхъ сооруженій, какъ напр. С.-Петербургскій обводной каналъ, Шлиссльбургскіе каменные шлюзы, нѣсколько мостовъ и проч. (см. біографію Базена въ журналѣ Главнаго Управленія путей сообщенія и публич. зданій 1858 г., томъ 28, стр. 221).

Базень обогатилъ техническую литературу того времени многими сочиненіями, въ числѣ коихъ особенно замѣчательно разсужденіе: „Mémoire sur les bassins d'épargne“.

Паровымъ машинамъ, кромѣ упомянутаго дальше, посвящены еще слѣдующіе мемуары (изъ нихъ послѣдніе два были читаны въ засѣданіяхъ 14 апрѣля 1830 и 21 іюня 1833 г. С.-Петербургской Академіи наукъ, членомъ коей Базень состоялъ):

1) Mémoire sur les moyens de préserver les machines à vapeur des explosions auxquelles elles sont exposées.

2) Mémoire sur les machines à vapeur.

3) Mémoire sur l'évaluation de la force expansive de la vapeur etc.

Въ послѣднемъ мемуарѣ Базень настойчиво рекомендуетъ переходъ отъ машинъ низкаго давленія къ машинамъ высокаго давленія съ расширеніемъ пара.

Заключительныя слова этого мемуара слѣдующія:

La supériorité des machines à expansion devient surtout palpable quand il s'agit de la navigation à vapeur. Ici toute réduction en fait de volume et de poids, et particulièrement toute diminution dans la dépense du combustible acquiert encore un plus haut degré d'intérêt... Quand on songe que le plus grand obstacle qui s'oppose jusqu'à présent au développement de la navigation à vapeur, consiste dans l'impossibilité de se charger d'une quantité de combustible assez considérable pour entreprendre des voyages de long cours, on ne peut qu'être frappé des avantages dont je viens de parler et appeler de tous ses vœux l'instant où l'on substituera partout des machines expansion aux machines ordinaires qui s'établissent sur les batiments à vapeur.

1) Mémoire sur la théorie du mouvement des barques à vapeur et sur leur application à la navigation des canaux, des fleuves et des rivières, par P. D. Bazaine, colonel du génie des communications. St. Pétersbourg, 1817.



ходною экспедиціею, въ распоряженіи коего было нѣсколько казенныхъ пароходовъ.

Сообщеніе между Петербургомъ и Кронштадтомъ содержалось до сороковыхъ годовъ пароходами Берда, ходившими очень медленно, не болѣе 10 верстъ въ часъ.

Однако такая скорость въ то время считалась, повидимому, очень достаточной, какъ это видно изъ написанныхъ въ 1840 году „Сенсацій и замѣчаній г-жи Курдюковой за границей данъ л'Этранже“ М. П. Мятлева.

Между прочимъ тамъ говорится и слѣдующее:

... Но на Бердовой машинѣ  
Вздумалось моей кузинѣ  
Бѣдную меня-маладъ  
Проводить жюскъ'а Кронштадтъ.  
Задымился пароходъ,  
Въ колокольчикъ застучали,  
Бсѣ платками замахали.  
Отвязались зацѣпы,  
Мы пустились по водамъ,  
Какъ старинная мадамъ.

Не догонить насъ карета,  
Мы летимъ какъ соколы,  
Разсѣкаются валы.  
Домъ за домомъ пропадаетъ,  
Меньше, меньше — убываетъ,  
И ле Петроградъ исчезъ  
Въ мрачной синевѣ небесъ...

Въ Кронштадтѣ г-жу Курдюкову ждалъ другой — морской „пироскафъ Наслѣдникъ“, на которомъ она и отправилась въ Гамбургъ.

Только въ сороковыхъ годахъ образовались другія компании для пароходнаго сообщенія съ Кронштадтомъ, а въ началѣ пятидесятихъ годовъ появились на Невѣ рѣчные пароходы, открывшіе сообщеніе съ островами и Шлиссельбургомъ.

Въ 1843 г. Бердъ учредилъ пароходное сообщеніе между Петербургомъ, Ревелемъ, Гапсалемъ и Ригою, сначала съ двумя, а потомъ съ четырьмя пароходами.

Передъ началомъ войны четыре парохода Берда были наняты Морскимъ Министерствомъ въ качествѣ транспортныхъ для финляндскихъ шхеръ.

Пароходное сообщеніе Берда по Невѣ, между Петербургомъ и Кронштадтомъ, продолжалось до 1858 года, когда онъ продалъ весь свой флотъ вновь учрежденному „Петербургско-Петрозаводскому Обществу“ и обществу „Транзитъ“.

Почтовое сообщеніе между Кронштадтомъ и прусскими



портами содержалось съ 1845 года казеннымъ пароходомъ „Владиміръ“ почтоваго вѣдомства.

На Каспійскомъ морѣ только съ 1846 г. было учреждено почтовое пароходство, содержащееся четырьмя казенными пароходами.

Исторію развитія частнаго пароходства на нашихъ рѣкахъ очень трудно возстановить, и только относительно пароходства на Волгѣ и ея притокахъ имѣются нѣкоторые матеріалы.

Въ 1817 году по распоряженію заводовладѣльца, камергера дѣйствительнаго статскаго совѣтника Всеволода Андреевича Всеволожскаго, слѣдившаго за современными ему изобрѣтеніями и любившаго дѣлать механическіе опыты, на Пожевскомъ заводѣ (около 150 вер. выше Перми, на Камѣ) построено два небольшихъ парохода. Цѣль ихъ постройки вѣроятно была та, чтобы испросить отъ Правительства на нихъ привиллегію, но предложеніе это опоздало, потому что 9 іюня 1817 г. привиллегія была выдана Берду <sup>1)</sup>.

Первый пароходъ былъ въ 36, а второй въ 6 силъ. Какого давленія были устроены машины, неизвѣстно. Машины построены по проекту и подъ наблюденіемъ горнаго инженера Соболевскаго. На этихъ пароходахъ изъ Пожвы отправился самъ заводовладѣлецъ со своимъ семействомъ и дворнею и дослѣдовалъ, какъ кажется, до Казани. Затѣмъ пароходы были отправлены обратно, и, по случаю заморозка, 3 октября 1817 года остановились въ р. Камѣ, на 140 верстъ ниже города Сарапуля, противъ села Тихихъ Горъ. Весною 1818 г. сказанные пароходы залило прибылою водою, такъ что сверхъ палубы было на нихъ воды 8 четвертей; это послѣдовало отъ того, что они днищами, во время зимовки, примерзли къ дну рѣки. Машины въ нихъ перержавѣли, такъ что стоило значительнаго труда и времени вынуть ихъ изъ корпусовъ и перечистить. Въ обоихъ пароходахъ машины были разобраны, доставлены въ Пожву и употреблены для другихъ цѣлей. Корпусъ большаго парохода, по его непрочности, былъ проданъ на мѣстѣ зимовки за 175 р. ассигнаціями, а малый оставленъ въ Сарапулѣ, на попеченіи городничаго.

Это были первые пароходы, плававшіе по р. Камѣ.

Затѣмъ г. Всеволожскій предположилъ построить на Пожевскомъ заводѣ пароходъ, который былъ бы въ состояніи взводить по Волгѣ барки съ желѣзомъ до Нижняго-Новгорода.

<sup>1)</sup> Нижегородскій сборникъ, издаваемый Нижегородскимъ губернскимъ статистическимъ комитетомъ подъ редакціей дѣйствительнаго члена и секретаря комитета А. С. Гацискаго. Томъ IV. Нижній-Новгородъ, 1871 г. Замятка „О пароходахъ построенныхъ на Пожевскомъ заводѣ въ 1817 году“ (составлена въ Правленіи Пожевскаго завода).



Въ августѣ 1820 года пароходъ былъ заложенъ по указанію Казанцева, по примѣру видѣнному имъ въ Петербургѣ у Берда; онъ имѣлъ длину 13 саж., ширину 10 арш., вышину въ стѣнахъ 16 четвертей, двѣ машины по 16 силъ въ каждой (машины изготовлены подъ присмотромъ г. г. Истомина и Казанцева), дымовую трубу вышиною 14 арш. Пароходъ былъ оконченъ постройкою въ концѣ мая 1821 года, но на пробѣ, противъ теченія Камы, прошелъ лишь  $1\frac{1}{2}$  до 2 вер. въ часъ. Послѣ нѣкоторыхъ передѣлокъ пароходъ былъ вновь испытанъ, причемъ ходъ его оказался противъ теченія воды 3 версты въ часъ; по теченію онъ пробѣжалъ то же разстояніе въ 12 минутъ. 12 іюня пароходъ отправленъ съ устья Пожвы по рѣкѣ Камѣ подъ присмотромъ Николая Беспалова и корабельнаго мастера Вешнякова. Осадка парохода оказалась въ 6 четвертей; это послѣдовало отъ того, что машины были поставлены близко къ носу, а отъ этого переднюю часть загрузило болѣе чѣмъ кормовую; для уравненія осадки въ кормовую часть положено до 2.000 пуд. балласта.

Въ виду выдачи привиллегіи Берду, г. Всеволожскимъ въ апрѣлѣ 1821 г. получено отъ него свидѣтельство на свободное плаваніе парохода, построеннаго въ Пожвѣ.

Пароходъ отправился въ Рыбинскъ; по прибытіи въ Рыбинскъ осенью 1821 г., машины съ него были сняты и посланы въ Петербургъ, а корпусъ возвращенъ въ Пожву; здѣсь судно стояло нѣсколько лѣтъ на берегу безъ употребленія, а потомъ было разломано или сгнило.

Бердъ, получивъ привиллегію на учрежденіе пароходства по всѣмъ рѣкамъ Россіи, приступилъ къ постройкѣ пароходовъ.

Въ 1820 году Бердъ представилъ въ департаментъ хозяйственныхъ и публичныхъ зданій сообщеніе о томъ, что по силѣ данной ему 9 іюня 1817 года привиллегіи, сверхъ пяти пароходовъ, дѣйствующихъ на Невѣ и между Петербургомъ и Кронштадтомъ введены, дѣйствуютъ и устраиваются таковыя суда по нижеслѣдующимъ мѣстамъ:

1) По озеру Ильмену и р. Волхову, съ 9 августа 1819 года дѣйствуетъ одинъ пароходъ.

2) Въ г. Мологѣ построено три парохода, изъ коихъ одинъ для плаванія по рѣкѣ Волгѣ, съ 29 апрѣля 1820 г. уже дѣйствуетъ, а два дѣйствуютъ попеременно водяными колесами съ завозными якорями, для вожденія барокъ противъ теченія рѣкѣ Волги, Оки, Суры, Цны, Мокши, Шексны и Мологи.

3) Въ Гомельскомъ имѣніи графа М. П. Румянцева устроенъ одинъ пароходъ для дѣйствія по Днѣпру и впадающимъ въ него рѣкамъ.



4) Въ Петербургѣ устроено два парохода, дѣйствующие попеременно на водяныхъ колесахъ и завозныхъ якоряхъ для вожденія судовъ по Маринской системѣ.

5) Въ г. Николаевѣ построень одинъ пароходъ.

6) По особому условію предоставлено камергеру и кавалеру В. А. Всеволожскому устроить два парохода.

7) Также по особому условію предоставлено П. М. Полторацкому устроить одинъ пароходъ для хожденія по Днѣпру и впадающимъ въ него рѣкамъ.

Въ 1820 году Бердъ заключилъ условіе съ помѣщикомъ Ярославской губерніи, титулярнымъ совѣтникомъ Дмитріемъ Петровичемъ Евреиновымъ, по которому передалъ ему право на устройство пароходовъ на Каспійскомъ морѣ и рѣкахъ Волгѣ и Камѣ.

Первый пароходъ Евреинова, появившійся на Волгѣ въ 1820 году, назывался „Волга“ и имѣлъ длину 84 фута, ширину 21 футъ и вышину 9 фут., при осадкѣ въ водѣ въ  $3\frac{1}{2}$  фута. На пароходѣ были поставлены двѣ паровыя машины, вѣсомъ въ 3 тыс. пудовъ, по 30 силъ каждая, съ гребными колесами и кабестаномъ, установленнымъ на срединѣ парохода. Постройка этого парохода обошлась Евреинову въ 100 тыс. рублей. Первый опытъ надъ его дѣйствіемъ былъ произведенъ на р. Мологѣ 29 апрѣля 1820 года при многочисленномъ собраніи окрестныхъ жителей, которые однако не рѣшились взойти на пароходъ, и потому онъ отчалилъ отъ пристани съ однимъ машинистомъ и крѣпостнымъ человѣкомъ Евреинова, Николаемъ Ивановымъ. Пароходъ этотъ былъ назначенъ для рейсовъ между Нижнимъ-Новгородомъ и Астраханью. Впослѣдствіи Евреиновъ построилъ еще четыре (или два) парохода съ машинами Бердова завода по 16 и 30 силъ для буксированія судовъ съ кладью между Нижнимъ-Новгородомъ и Рыбинскомъ. Пароходы Евреинова сидѣли глубоко, часто не могли ходить вслѣдствіе недостаточной воды и вообще не имѣли успѣха <sup>1)</sup>. Въ то время увеличилось число коноводныхъ машинъ и составилось мнѣніе, что пароходство на Волгѣ невозможно и что на этой рѣкѣ пароходы должно замѣнить коноводными машинами.

Тѣмъ не менѣе, въ 1823 году была образована первая пароходная компанія, въ составъ учредителей которой вошелъ и Евреиновъ, и которой, указомъ 17 октября 1823 г., была дарована привиллегія (на 15 лѣтъ) на пароходство по Волгѣ, Камѣ и Каспійскому морю.

<sup>1)</sup> Свѣдѣнія эти заимствованы изъ книги П. Евреинова „Введеніе парового двигателя по внутреннимъ водянымъ путямъ Россіи“. Петербургъ, 1878 г. П. Евреиновъ, приходившійся родственникомъ учредителю пароходства на Волгѣ Д. П. Евреинову, также много потрудился на пользу русскаго судоходства; онъ основалъ туэрное пароходство на Шекснѣ (въ 1858—1863 г.), Волгѣ и Невѣ.



Однако и эта компанія въ скоромъ времени рушилась въслѣдствіе недостаточнаго числа лицъ, подписавшихся на полученіе акцій пароходства.

Съ 1824 г. пароходство между Рыбинскомъ и Нижнимъ-Новгородомъ было прекращено; машины съ двухъ 16-ти сильныхъ пароходовъ Евреина были поставлены на одинъ, который также былъ переведенъ на нижнее теченіе Волги между Нижнимъ-Новгородомъ и Астраханью. До 1834 года пароходы Евреина, которые потомъ перешли въ другія руки, были единственные, ходившіе по Волгѣ.

Въ 1826 г. устроенъ былъ пароходъ генераломъ Шепелевымъ для собственныхъ разъѣздовъ на р. Окѣ; въ 1834 г. появился на Волгѣ еще пароходъ Великобританскаго подданнаго Матвѣя Мураго; всего же съ 1818 по 1834 годъ, въ продолженіи 17 лѣтъ, открыли дѣйствіе 5 или 6 пароходовъ, и затѣмъ до 1846 года вновь построенныхъ пароходовъ не было.

Всѣ пароходы были небольшіе, имѣли медленный ходъ и многіе изъ нихъ поднимались посредствомъ завожныхъ якорей, какъ и коноводныя машины. Причиною застоя въ пароходномъ дѣлѣ вѣроятно была недостаточная сила пароходныхъ машинъ, дороговизна ихъ и большой вѣсъ машинъ низкаго давленія.

Въ 1843 г. Карлъ Бердъ умеръ, но дѣло его продолжалъ сынъ его Фрэнсисъ Бердъ, скончавшійся въ 1864 г.

Въ 1843 году, съ окончаніемъ срока привилегіи Карла Берда, было даровано право на свободное пароходство по рѣкамъ Имперіи, и съ этого времени начинается его развитіе.

Тогда же появилось „Общество пароходства по Волгѣ, учрежденное въ 1843 г.“.

Этимъ годомъ какъ бы увѣковѣчивалось избавленіе отъ монополіи.

Потомъ появились Пермское пароходное общество и компанія Нижегородской машинной фабрики и пароходства. Взглядъ на пароходство уже измѣнился, и пароходамъ начали отдавать рѣшительное предпочтеніе передъ коноводными судами. Объ этомъ свидѣтельствуетъ приказъ Главноуправляющаго путями сообщенія и публичными зданіями, Клейнмихеля, отъ 7 августа 1847 года за № 135, который вмѣстѣ съ тѣмъ рисуетъ современное приказу положеніе пароходнаго дѣла на Волгѣ. Приказъ этотъ между прочимъ содержитъ слѣдующее:

„Для вящаго въ судоходствѣ успѣха, остается желать уничтоженія или по крайней мѣрѣ уменьшенія числа коноводныхъ машинъ, на нижней части Волги кладъ ведущихъ. Суда эти, по огромности размѣровъ и медленности хода, пре-



пятствуютъ свободному движенію судоходства; кромѣ неповоротливости своей они часто, въ узкихъ мѣстахъ фарватера, останавливаютъ совершенно ходъ другихъ судовъ, вверхъ и внизъ идущихъ <sup>1)</sup>. Но машины эти не прежде уничтожатся, какъ когда буксирное пароходство по Волгѣ вполнѣ разовьется. Право на свободное по рѣкамъ Имперіи пароходство Всемилостивѣйше даровано въ 1843 г. <sup>2)</sup>. Въ настоящее время на Волгѣ 6 пароходовъ, буксирующихъ суда къ Рыбинску, но всѣ эти пароходы, за исключеніемъ принадлежащаго компаніи Волжскаго пароходства, по малосильности и несовершенству конструкціи, не удовлетворяютъ еще своему назначенію. Пароходы эти всѣ деревянные, съ машинами низкаго давленія, въ 35, 70 и 100 силъ, имѣютъ ходъ медленный и поднимаются посредствомъ завозныхъ якорей, какъ и конномашинныя суда, съ тою только разницею, что замѣняютъ силу лошадей. Пароходъ „Волга“, компаніи Волжскаго пароходства, только одинъ цѣли своей соотвѣтствуетъ. Пароходъ этотъ желѣзный съ машинами высокаго давленія въ 250 силъ и идетъ вверхъ и внизъ посредствомъ колесъ; при немъ два постоянные подчалка, поднимающіе груза до 80 тыс. пудовъ каждый; по мѣрѣ надобности, число подчалковъ прибавляется. Пароходъ съ нагруженными подчалками дѣлаетъ отъ 4 до 5 верстъ въ часъ... безъ груза пароходъ идетъ свободно по 20 верстъ въ часъ“.

Машина парохода „Волга“, о которомъ съ такою похвалою отзывался графъ Клейнмихель, равно какъ машина пароходовъ „Геркулесъ“ и „Самсонъ“, начавшихъ службу на Волгѣ въ томъ же 1847 г., были построены въ Фейенортѣ близъ Роттердама, на заводѣ Нидерландскаго пароходнаго общества (*Nederlandsche Stoomboot Maatschappij*), бывшемъ въ то время подъ управленіемъ извѣстнаго Г. М. Рентгена (*Gerhard Moritz Roentgen 1795—1852*). Заказъ машинъ, состоявшійся въ 1845 г. почти одновременно съ заказомъ машинъ въ 300 силъ для паровыхъ фрегатовъ „Храбрый“ и „Отважный“, былъ сдѣланъ при посредствѣ адмирала Гейдена и прибывшаго въ 1841 году въ Россію, въ качествѣ агента Нидерландскаго пароходнаго общества, племянника Г. М. Рентгена, Карла Рентгена <sup>3)</sup>.

1) Машинныя суда, число коихъ въ 1846 г. доходило до 200, имѣли длину отъ 20 до 25 саж., ширину отъ 5 до 6 саж., глубину отъ 1 до 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> саж. На каждомъ такомъ суднѣ помѣщалось отъ 80 до 95 лошадей; изъ нихъ половина припрягалась для тяги, а другая половина выкармливалась на перемѣну. Причаленныя суда получали ходъ посредствомъ завозной съ якоремъ бичевы. При благоприятныхъ обстоятельствахъ суда проходили въ сутки не болѣе 25 верстъ (Приказъ Главноуправляющаго п. с. отъ 27 авг. 1843 г. № 309).

2) Высочайше утвержденное 2 іюля 1843 г. мнѣніе Госуд. Совѣта.

3) Достойно замѣчанія то обстоятельство, что машины всѣхъ трехъ.



Всѣ эти три парохода „Волга“, „Самсонъ“ и „Геркулесъ“ принадлежали пароходному обществу по Волгѣ 1843 года и продолжали службу на Волгѣ еще долгое время. Что случилось съ ними въ настоящее время мнѣ неизвѣстно.

Пароходы были колесные, съ желѣзными корпусами.

Пароходъ „Волга“ имѣлъ длину 30,7 саж. при ширинѣ (безъ кожуховъ) 4,4 саж.; глубину интрюма 8'10", при осадкѣ въ грузу 4 фута и имѣлъ машину въ 750 индикаторныхъ силъ. Пароходы „Самсонъ“ и „Геркулесъ“ имѣли длину 32,9 саж., ширину 4,6 саж., при глубинѣ интрюма 9 футъ 6 дюйм. и осадкѣ въ грузу 5 футъ и были снабжены машинами въ 1.000 индикаторныхъ силъ.

Съ теченіемъ времени корпуса пароходовъ, конечно, потребовали ремонта, котлы были замѣнены новыми, но машины сохранились въ томъ же видѣ, въ какомъ ихъ поставилъ Рентгенъ. Машины эти представляютъ интересъ въ томъ отношеніи, что онѣ вѣроятно были первыя попавшія въ Россію машины системы compound съ мотылями, расположенными подъ прямымъ угломъ и съ промежуточнымъ резервуаромъ. На фиг. 7 представлена машина парохода „Геркулесъ“, подробные чертежи которой были въ распоряженіи составителя настоящаго очерка благодаря любезности Правленія пароходнаго общества по Волгѣ 1843 г. Какъ видно изъ чертежа, машина имѣла два наклонныхъ цилиндра, расположенныхъ по оси судна по обѣ стороны гребнаго вала. Малый цилиндръ имѣлъ діаметръ  $31\frac{1}{16}$  дюйма, а большой  $55\frac{1}{4}$  дюйма (паровая рубашка, имѣющаяся на большомъ цилиндрѣ, можетъ быть была поставлена не Рентгеномъ), приходѣ поршней 84 дюйм. Гребной валъ былъ не цѣльный, а состоялъ изъ двухъ частей, на которыя насажены мотыли; цапфы мотылей были соединены особою возжею, съ цѣлью сохраненія между мотылями постояннаго угла (около  $82^\circ$ ), при которомъ одинъ изъ поршней находился въ мертвомъ положеніи, когда другой былъ на срединѣ хода. Промежу-

вышеупомянутыхъ пароходовъ, поставленныхъ на Волгу въ 1847 году, построены по системѣ compound (высокаго и низкаго давленія), по которой Г. М. Рентгенъ строилъ пароходныя машины уже начиная съ 1828 года.

Г. М. Рентгенъ — голландецъ, нѣмецкаго происхожденія. въ 1823 г. основалъ въ Фейенортѣ Нидерландское пароходное общество. Умеръ въ 1852 году переутомившись въ работѣ. Передъ смертью онъ былъ помѣщенъ въ санаторію для умалишенныхъ.

См. Zeitsch. d. Vereins deutscher Ingenieure 1892 pp. 941 ff., статья E. Brueckmann, „Gerhard Moritz Roentgen, der Erfinder der Mehrfach-Expansions-Dampfmaschine“, а также статьи подъ заглавіемъ: „The compound engine sixty years ago“, помѣщенные въ журналѣ „Engineer“ въ 1890 и 1891 годахъ.

Иногда первое примѣненіе машинъ compound приписывается Вульффу. Это объясняется тѣмъ, что въ 1834 году агентъ Рентгена, нѣмецкій еврей Эрнестъ Вульфъ взялъ патентъ въ Лондонѣ, по порученію Рентгена, но на свое имя.



точный резервуаръ образованъ длинною паровою трубою, идущею отъ малаго къ большому цилиндру.

Послѣ 1849 г. на Волгѣ образовалось нѣсколько новыхъ пароходныхъ обществъ, какъ напр. „Кавказъ и Меркурій“ (1849), „Самолетъ“ (1853), „Польза“ и пр., было построено нѣсколько новыхъ пароходовъ, и началось правильное товарное и пассажирское пароходство. Въ 1855 г. на Волгѣ плавало до ста пароходовъ, а въ 1862 г. до двухсотъ восьмидесяти<sup>1)</sup>.

Первые пароходы американскаго типа повидимому появились на Волгѣ въ 1858 г.; они были построены Мальцевскими заводами, спущены на Жиздрѣ и Окѣ и имѣли длину 230 футъ при машинахъ въ 300 силъ. Для пароходнаго дѣла на Мальцевскіе заводы былъ приглашенъ извѣстный шведскій ученый и строитель, инженеръ Нистромъ.

На другихъ рѣкахъ пароходство появилось еще позже, чѣмъ на Волгѣ. Такъ напр., въ 1848 г. на всемъ Днѣпрѣ ходили только два парохода, хотя первый пароходъ, принадлежавшій графу С. М. Воронцову, появился на Днѣпрѣ уже въ 1823 г. На Дону пароходство заведено въ 1853 году Войскомъ Донскимъ<sup>2)</sup>.

Начиная съ 1856 по 1859 годъ постройкой пароходовъ успѣшно занимался заводъ Э. Э. Нобеля въ С.-Петербургѣ. За это время имъ было построено до 50 пароходовъ для обществъ „Кавказъ и Меркурій“ и „Самолетъ“ (см. юбилейный отчетъ Механическаго завода Людвигъ Нобеля 1862—1912 г.).

Пароходство на Ладожскомъ и Чудскомъ озерахъ началось съ 1843 г., на Байкалѣ съ 1844 г.

Пароходство на сибирскихъ рѣкахъ началось также довольно поздно.

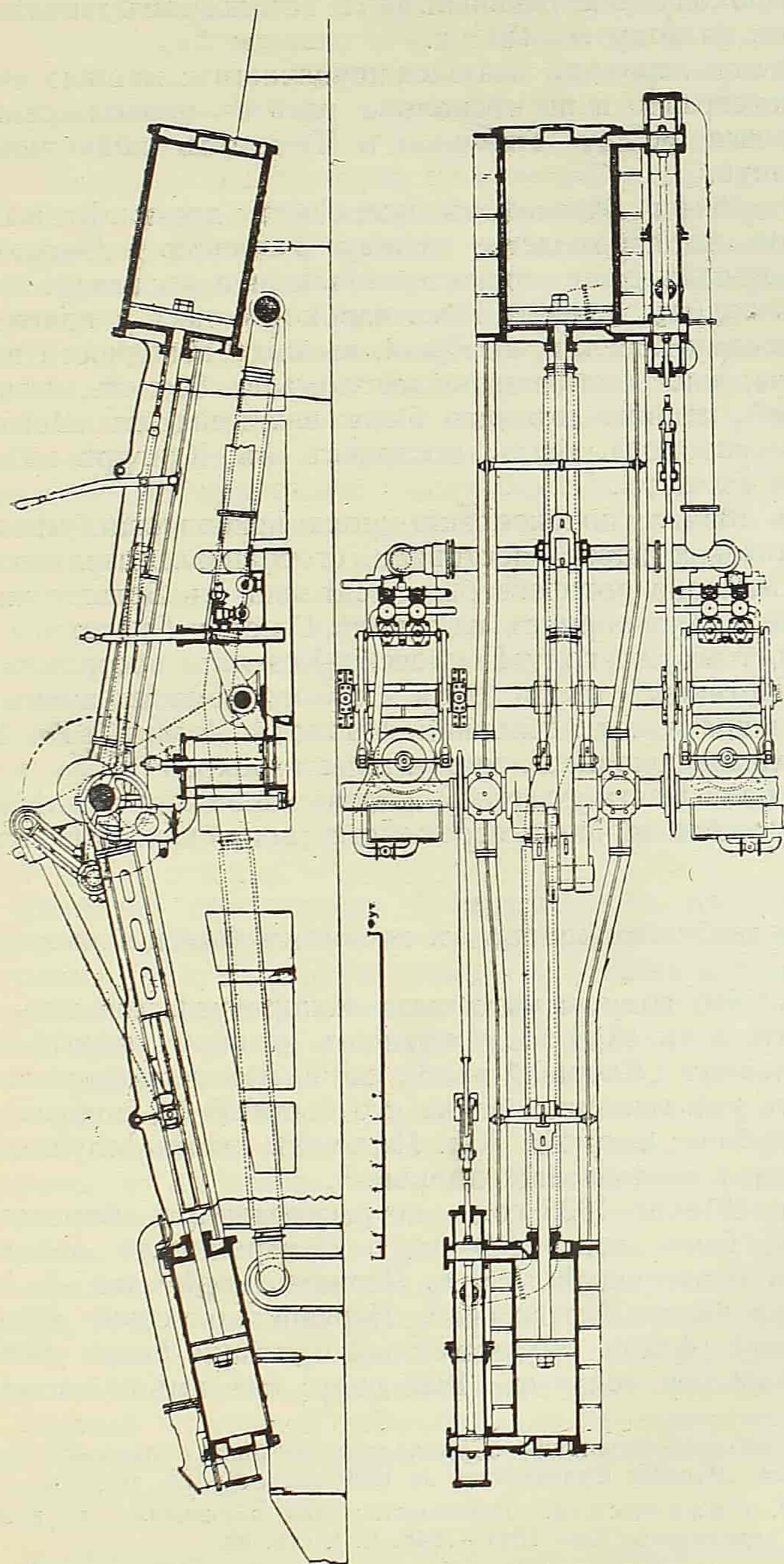
Въ сороковыхъ годахъ нѣкто Макѣевъ, крѣпостной человѣкъ заводовладѣльца Демидова, возвратился на Уралъ изъ Англіи, куда былъ посланъ для изученія механики.

Сибирскій купецъ Мясниковъ пригласилъ его выстроить 20-ти сильный пароходъ для плаванія по сибирскимъ рѣкамъ.

1) Н. Богуславскій, „Волга какъ путь сообщенія“, С.-Петербургъ. 1887 г. (приложеніе къ журналу Министерства п. с.); J. Ch. Stuckenberg, Hydrographie des russischen Reiches, St. Petersburg 1844 Band. 5 pag. 23; журналъ „Волга“ за 1863 г. № 45, статья „Историческій очеркъ пароходства на Волгѣ“; „Сѣверная Пчела“ за 1848 г. № 103, статья „Исторія пароходства на Волгѣ“; „Сѣверная Пчела“ за 1850 г. №№ 41 и 43, статья „Пароходство на Волгѣ“.

2) Матеріалы, относящіяся къ бывшему въ Петербургѣ въ апрѣлѣ 1878 года центральному съѣзду представителей пароходныхъ предприятий и судового промысла. С.-Петербургъ, 1878 г. (статья Звягинцева, „Паровые двигатели на водяныхъ путяхъ и ихъ назначеніе“).





Фиг. 7.



Пароходъ, построенный на Н. Тагильскомъ заводѣ, былъ спущенъ на воду въ 1843 г.

Этотъ пароходъ оказался неудачнымъ; машина дѣйствовала неисправно и по нѣскольکو разъ въ продолженіи каждаго рейса между Тюменью и Томскомъ приходилось ее исправлять.

Въ 1844 г. Мясниковъ испросилъ десятилѣтнюю привилегію на пароходство между Тюменью и Омскомъ, но не выдержалъ даже срока привилегіи и въ началѣ пятидесятихъ годовъ продалъ какъ пароходъ, такъ и привилегію Поклевскому-Козелль, который, въ виду негодности перваго парохода, выстроилъ новый пароходъ въ 50 силъ, названный „Основа“; машина для него была выписана изъ Швеціи, самый же пароходъ былъ построенъ въ Кунгурѣ на заводѣ Гансъ и Гуллетъ.

Въ 1854 г., по окончаніи срока привилегіи, нѣскольکو сибирскихъ купцовъ построили стосильный пароходъ „Ермакъ“, машины котораго были сдѣланы въ Бельгіи на заводѣ Кокериля, а корпусъ на заводѣ Гансъ и Гуллетъ.

Въ томъ же году Поклевскій-Козелль построилъ пароходъ „Иртышъ“ въ 80 силъ и золотопромышленникъ Розановъ двадцати пяти сильный пароходъ „Іоаннъ“. Въ 1859 и 1860 годахъ появились еще четыре парохода<sup>1)</sup>.

Послѣ шестидесятихъ годовъ прошлаго столѣтія развитіе русскаго рѣчного пароходства шло быстрыми шагами.

Введеніе пароходовъ въ военномъ флотѣ шло медленно и робко.

Въ 1816 году на казенныхъ Ижорскихъ заводахъ былъ заложенъ, а въ 1818 году спущенъ на воду первый казенный пароходъ „Скорый“ въ 32 силы, изъ сосноваго лѣса съ мѣднымъ крѣпленіемъ; длина его была 60 ф., ширина 14 ф. 6 д., глубина интрюма 7 ф. Пароходъ этотъ служилъ до 1836 года, а машина еще дольше<sup>2)</sup>.

Съ 1818 по 1829 годъ, по распоряженію морскаго начальства, было построено всего 12 пароходовъ небольшой силы, въ томъ числѣ два на Черномъ морѣ, два въ Архангельскѣ и два въ Астрахани<sup>3)</sup>. Первый колесный пароходъ Балтійскаго флота, вооруженный пушками, былъ „Ижора“, спущенный на воду въ 1826 году; онъ имѣлъ машину въ

1) Статя И. Игнатьева „Судоходство на рѣкахъ западной Сибири“ въ журналѣ „Русское Судоходство за 1890 годъ, № 125, августъ.

2) Р. Скаловскій. Руководство для служащихъ на военныхъ морскихъ пароходахъ. Спб. 1844—1848. Ч. I, стр. 48.

3) Записки ученаго комитета Главн. Морскаго Штаба за 1829 г., кн. IV, статья „О паровыхъ машинахъ“.



100 номинальныхъ силъ. Въ 1832 году началъ плавать пароходъ „Геркулесъ“, длиною 174 ф., шириною 33 ф., съ машиною въ 240 силъ, а съ 1838 года — пароходо-фрегатъ „Богатырь“, длиною 186 ф., шириною 33 ф., съ машиною въ 290 силъ. Оба эти парохода построены на казенныхъ Ижорскихъ заводахъ въ Колпинѣ<sup>1)</sup>; притомъ пароходъ „Геркулесъ“ былъ первый, на которомъ (раньше, чѣмъ въ Англіи) была примѣнена машина прямого дѣйствія (небалансирная).

Въ Англіи машины прямого дѣйствія были поставлены на пароходы впервые Гутцмеромъ (въ 1822 г.) и Непиромъ (въ 1826 г.), но эти машины не были удачны и потому впоследствии были замѣнены балансирными, и только въ 1839 году были построены хорошія машины прямого дѣйствія.

Поэтому машина парохода „Геркулесъ“, работавшая весьма удовлетворительно, заслуживаетъ особаго вниманія, какъ старѣйшая изъ пароходныхъ машинъ прямого дѣйствія. Машина эта представлена на фиг. 8, заимствованной изъ упоминавшагося уже ранѣе сочиненія Р. Скаловскаго.

Въ паровомъ цилиндрѣ *A* движется поршень *B*, имѣющій два штока *a*, проходящихъ черезъ сальники *c*, и впадину, отвѣчающую такой же впадинѣ *C* въ крышкѣ цилиндра. Поперечникъ *D* снабженъ короткою тягою *dd*, могущею качаться около оси ея прикрѣпленія къ поперечнику; за нижній конецъ *e* тяги захватываетъ балансиръ *G* и нижній конецъ шатуна *E*, соединеннаго верхнимъ концомъ съ мотылемъ *F*.

Движеніе поперечника *D* направляется параллелограммомъ, имѣющимъ тяги *r*, *m* и *n*, сходящіяся въ оси *s*. Параллелограммъ имѣетъ опорную точку *p* на машинной рамѣ *V*, поддерживающей опору *W* главнаго вала. Буквами *M*, *N* и *O* обозначены холодильникъ, теплый ящикъ и воздушный колпакъ.

Стержню *l* поршня воздушнаго насоса *L* движеніе сообщается отъ балансира *G*, качающагося на оси *g*, причемъ короткій стержень *k*, вставленный въ конецъ *k* балансира, соединенъ съ верхнимъ концомъ *l'* стержня *l* при помощи двухъ скобъ или серегъ и свободно движется внутри очка *l'* стержня. Для направленія движенія послѣдняго также имѣется параллелограммъ (не показанный на чертежѣ), имѣющій опорную точку въ *O* на раскосинѣ *Z* машинной рамы.

Въ началѣ сороковыхъ годовъ былъ приведенъ изъ Америки 540 сильный пароходо-фрегатъ „Камчатка“.

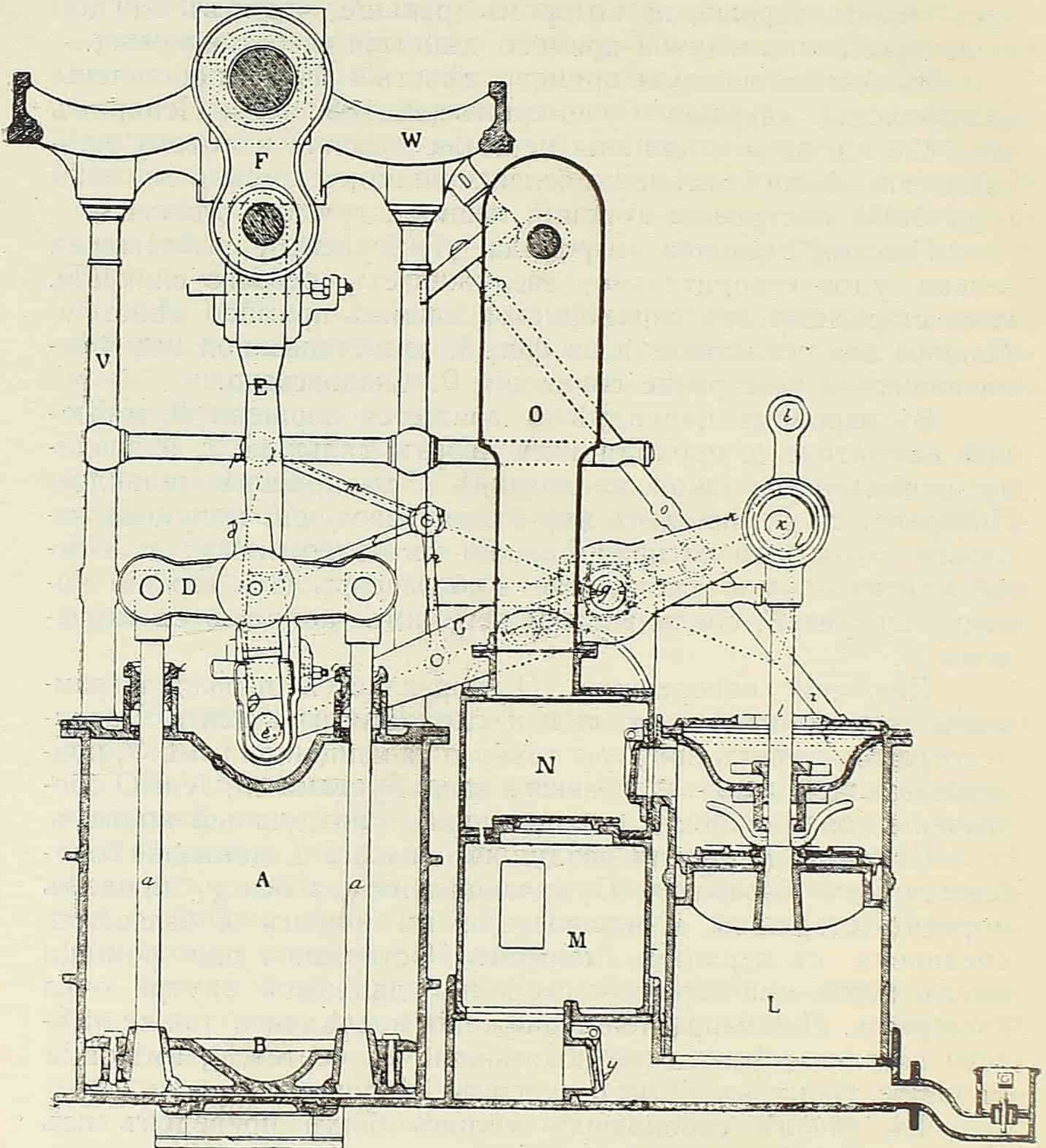
Первый колесный пароходъ для черноморскаго флота былъ „Везувій“, построенный въ Николаевѣ въ 1820 г. для портовыхъ надобностей.

<sup>1)</sup> Директоромъ завода въ это время былъ извѣстный генераль-маіоръ Вильсонъ, смѣнившій умершаго въ 1806 году перваго директора, Гаскойна.



Первый пароходъ на Черномъ морѣ, вооруженный артиллеріею, былъ „Метеоръ“, построенный въ Николаевѣ въ 1825 году.

На Бѣломъ морѣ первый колесный пароходъ былъ „Легкій“, построенный въ Архангельскѣ въ 1825 году, съ машиною въ 60 номинальныхъ силъ.



Фиг. 8.

На Каспійскомъ морѣ первые два колесныхъ парохода съ машинами по 40 номинальныхъ силъ были построены по одинаковымъ чертежамъ въ 1828 году въ Астрахани.

Въ февраль 1853 г., при вступленіи въ управление фло-



томъ Его Императорскаго Высочества Великаго Князя Константина Николаевича, въ составъ военнаго флота на всѣхъ моряхъ входило всего 63 судна съ 9.180 номинальныхъ силъ (изъ нихъ 16 пароходо-фрегативъ съ 5.390 силъ и 47 малыхъ пароходивъ съ 3.790 силъ) <sup>1)</sup>.

Первое винтовое судно русскаго флота былъ фрегатъ „Архимедъ“ (съ машиною въ 300 номинальныхъ силъ), спущенный въ 1848 году. Однако въ 1850 году „Архимедъ“ разбился у острова Борнгольма, такъ что къ началу Крымской войны у насъ не было ни одного судна съ винтовымъ двигателемъ. Только лѣтомъ 1854 года началъ кампанію въ Балтійскомъ морѣ винтовой фрегатъ „Полканъ“ (съ машиною въ 360 ном. силъ), строившійся въ Архангельскѣ, а въ 1858 году началъ кампанію корабль „Выборгъ“ (съ машиною въ 450 номин. силъ), обращенный изъ паруснаго корабля въ винтовое судно.

Во время Крымской кампаніи была начата постройка еще трехъ фрегативъ, шести винтовыхъ кораблей и шести клиперивъ и начаты работы по обращенію трехъ кораблей въ винтовыя суда; однако всѣ эти суда не могли быть скоро изготовлены, и постройка ихъ затянулась.

Между тѣмъ въ союзномъ англо-французскомъ флотѣ было большое число винтовыхъ судовъ.

Поэтому явилось желаніе создать въ возможно короткій срокъ паровую канонерскую флотилію. Лѣтомъ 1854 г. Великій Князь Константинъ Николаевичъ поручилъ адмиралу Шанцу и капитанъ-лейтенанту Шестакову соорудить двѣ образцовыя канонерскія лодки. Въ октябрѣ того же года обѣ лодки были изготовлены, первая на частной Абоской верфи, съ машиною завода Эриксона, вторая — въ Петербургскомъ новомъ адмиралтействѣ, съ машиною Александровскаго механическаго завода.

Въ декабрѣ 1854 г. послѣдовало Высочайшее повелѣніе соорудить къ навигаціи 1855 г. 38 канонерскихъ лодокъ, а лѣтомъ 1855 г. Высочайше повелѣно построить еще 35 лодокъ къ кампаніи 1856 г.

Необходимость быстрой постройки лодокъ заставила привлечь къ этому дѣлу всѣ Петербургскія судовыя верфи и не только казенныя, но и частныя машиностроительныя заведенія и мелкія чугунно-литейныя и котельныя заведенія, до того никогда не строившія паровыхъ машинъ. Тѣмъ не менѣе, въ полтора года, т. е. къ іюлю 1856 года, экстренная постройка канонерскихъ лодокъ была вполне закончена, и флотъ обогатился 75-ью винтовыми канонерскими лодками

<sup>1)</sup> Морской Сборникъ 1880 года №№ 8 и 10, августъ и октябрь, статьи П. Мордовина „Русское военное судостроеніе въ теченіе послѣднихъ 25 лѣтъ 1855—1880“.



съ паровыми машинами въ 60 и 70 номинальныхъ силъ. Общій расходъ на эти 75 судовъ простирался до 3 милліоновъ рублей. Цѣльные механизмы для нихъ исполнялись на Александровскомъ механическомъ заводѣ, на заводѣ Герцога Лейхтенбергскаго, Ижорскомъ, Кронштадтскомъ пароходномъ и Нобеля. Кромѣ того, заводы Томсена, Фрикке и Ишёрвуда строили паровыя машины, а заводы Ашворта и Стивенса, Берда и Семенова строили котлы. Въ теченіе вышеупомянутаго короткаго срока было построено 75 паровыхъ машинъ сложностью въ 4840 номинальныхъ силъ <sup>1)</sup>.

Такой успѣхъ достигнутъ главнымъ образомъ благодаря энергіи и распорядительности извѣстнаго Н. И. Путилова, служившаго въ то время въ Морскомъ Министерствѣ.

Кромѣ постройки канонерскихъ лодокъ, по особому Высочайшему повелѣнію, осенью 1855 года была начата экстренная постройка 14 винтовыхъ корветовъ (съ машинами въ 200 номинальныхъ силъ). Всѣ 14 корветовъ были спущены на воду и изготовлены по корпусу и механизму въ 1856 году <sup>2)</sup>.

Между прочимъ заводу Э. Э. Нобеля была поручена постройка механизмовъ для двухдечныхъ линейныхъ кораблей „Ретвизана“, „Воли“ и „Гангута“ и для корветовъ „Вола“, „Волка“ и „Вепря“. Несмотря на новизну дѣла, заказъ былъ выполненъ успѣшно; однако по подписаніи Парижскаго мира, русское правительство всѣ заказы (военные) передало заграничнымъ заводамъ и заводъ Э. Нобеля принужденъ былъ перейти къ частному судостроенію. Между прочимъ былъ сконструированъ маленькій пароходикъ, который положилъ начало пароходному сообщенію между Петербургомъ и островами и Шлиссельбургомъ.

Послѣ окончанія Крымской войны постройка паровыхъ военныхъ судовъ продолжалась довольно успѣшно, такъ что въ 1866 году нашъ флотъ состоялъ изъ 252 паровыхъ судовъ (въ томъ числѣ 90 мелкихъ пароходовъ и барказовъ) съ машинами, имѣвшими въ общей сложности 28800 ном. силъ.

На основаніи „Матеріаловъ для статистики паровыхъ двигателей въ Россійской Имперіи“, изданныхъ въ 1882 году Центральнымъ Статистическимъ Комитетомъ, число рѣчныхъ пароходовъ въ Россіи (съ Сибирью и Кавказомъ) къ 1878 г. было — 820 (180.189 индик. силъ). Въ Финляндскихъ губерніяхъ было 140 пароходовъ (7.389 индик. силъ).

1) Отчетъ Кораблестроительнаго департамента морского министерства за 1861 годъ С.-Петербургъ, 1862 г. и статья Н. И. Путилова „Краткое описаніе сооруженія канонерской флотиліи вообще и преимущественно изготовленія тридцати двухъ винтовыхъ машинъ на частныхъ заводахъ“ (въ Морскомъ Сборникѣ за 1856 г., томъ XXII № 7, май, стр. 185).

2) Мордовинъ. Русское военное судостроеніе.



Морскихъ пароходовъ въ Россіи (съ Сибирью и Кавказомъ) къ 1875 г. было 215 (53.139 индикат. силъ). Въ Финляндскихъ губерніяхъ было 7 пароходовъ (8.832 индикатор. силы).

Паровыхъ судовъ военнаго флота къ 1879 году было 418 (113.790 индик. силъ); изъ нихъ въ Россіи было построено 257.

### III.

#### Начало постройки желѣзныхъ дорогъ и паровозостроенія въ Россіи.

Первый въ Россіи паровозъ или, какъ тогда говорили, „сухопутный пароходъ“ былъ построенъ на Тагильскихъ заводахъ г. г. Демидовыхъ механикомъ Черепановымъ.

Ефимъ Черепановъ-отецъ былъ извѣстенъ на Уралѣ, какъ хорошій механикъ. Такъ онъ построилъ двѣ паровыя машины въ 30 и 40 пар. лош. на мѣдномъ рудникѣ Н.-Тагильскаго завода, гдѣ онѣ отливали воду изъ шахтъ съ глубины 43 саж. Послѣ того онъ построилъ машину въ 40 лош. силъ на заводахъ наслѣдницъ Расторгуева.

Въ 1833 году сыну его, также механику, былъ доставленъ случай побывать въ Англіи и въ томъ же году, по возвращеніи на Н.-Тагильскій заводъ, онъ съ помощью отца устроилъ небольшой паровозъ, который ходилъ въ обѣ стороны (не поворачиваясь) по нарочно приготовленнымъ чугуннымъ рельсамъ длиною 400 саж., возя по 20 пудовъ тяжести со скоростью отъ 12 до 15 верстъ въ часъ. Котель паровоза былъ цилиндрической длиною  $5\frac{1}{2}$  фут., діаметромъ 3 фута, съ 80 мѣдными дымогарными трубками; два горизонтальныхъ паровыхъ цилиндра имѣли діаметръ 7 дюймовъ и длину 9 дюймовъ.

Запасъ горючаго матеріала и воды слѣдовалъ за паровозомъ въ особомъ фургонѣ, за которымъ была прикрѣплена повозка для груза.

Въ поѣздѣ даже разъ проѣхалъ губернаторъ, за что выхлопоталъ Черепанову серебряную медаль.

Въ слѣдующемъ году Черепановы построили второй паровозъ и рельсовый путь былъ продолженъ до мѣднаго рудника, для перевозки мѣдной руды изъ рудника въ заводъ<sup>1)</sup>.

По отношенію къ этимъ первымъ двумъ паровозамъ, бывший Предсѣдатель Правленія Нижне-Тагильскаго и Лукояновскихъ заводовъ наслѣдниковъ Демидова кн. Санъ-Дonato — г. Жонессъ де Спонвиль сообщилъ директору Института

<sup>1)</sup> Горный журналъ 1835 г. часть II, кн. 5, стр. 445 и часть III, кн. 7, стр. 171.



Инженеровъ п. с. Л. Ф. Николаи письмомъ отъ 13-го января 1903 года слѣдующія воспоминанія: „я долго смотрѣлъ на паровозъ, какъ на игрушку, сдѣланную Черепановымъ, потому что, когда я пріѣхалъ въ Тагиль въ 1862 году, то никакого желѣзнодорожнаго пути уже не было и я не думалъ, что паровозъ когда либо работалъ.

Въ 1868 году во время выставки въ Петербургъ, на которой присутствовалъ Императоръ Александръ II, онъ, проходя мимо нашего отдѣленія выставки, обратился ко мнѣ и спросилъ: „существуетъ ли еще наша желѣзная дорога въ Тагиль?“

Я не зналъ, что отвѣтить, такъ какъ въ то время въ Тагиль не было ничего, кромѣ коннаго трамвая для перевозки мѣдной руды, но на всякій случай я отвѣтилъ: „Да, Ваше Величество“. „Надѣюсь, — сказалъ Императоръ, смѣясь, — что у васъ есть теперь другой паровозъ, а не тотъ, который я видѣлъ, когда былъ наслѣдникомъ, такъ какъ тотъ паровозъ былъ очень малъ. Однако это было въ первый разъ въ моей жизни, что я проѣхалъ по желѣзной дорогѣ“.

Въ горномъ музеѣ Нижне-Тагильскаго завода имѣлась модель Черепановскаго паровоза.

Размѣры этой модели слѣдующіе: длина цилиндрическаго котла 1 ф.  $5\frac{1}{2}$  д., діаметръ котла 1 ф.  $1\frac{1}{2}$  д., діаметръ цилиндра 2 дюйма, ходъ поршней 9 дюймовъ, число дымогарныхъ трубокъ — 20.

Въ 1903 году эта модель была передана въ музей Императора Николая I при Институтѣ Инженеровъ П. С., гдѣ и находилась до 1918 года.

Эту модель Преподаватель Горнаго Института Императрицы Екатерины II горный инженеръ Р. Тонковъ, видѣлъ въ музеѣ Нижне-Тагильскаго завода еще раньше, чѣмъ она попала въ музей Императора Николая I.

Эту модель Р. Тонковъ описалъ въ своей статьѣ „Къ исторіи паровыхъ машинъ въ Россіи“, напечатанной въ Горномъ журналѣ въ 1902 году.

Къ статьѣ онъ приложилъ листъ съ чертежами этой модели.

Въ своей статьѣ Р. Тонковъ между прочимъ упоминаетъ о томъ, что перемѣна хода совершалась поворотомъ эксцентриковъ вокругъ оси на  $\frac{1}{4}$  оборота въ другую сторону. Р. Тонковъ говоритъ, что это приспособленіе очень подробно описано въ книгѣ неизвѣстнаго автора, въ концѣ которой приложены прекрасные чертежи <sup>1)</sup>.

Первые паровозы заграничной постройки, построенные въ Англіи и Бельгіи на заводахъ Гакворта, Стеффенсона и

<sup>1)</sup> „Паровыя машины“. Исторія, описаніе и приложеніе ихъ, взятыя изъ сочиненій Пертингтона, Стеффенсона и Араго. С.-Петербургъ, 1838 г. Типографія Праца и К<sup>о</sup>.



Кокерилля, прибыли въ Россію въ концѣ 1836 г. для первой русской желѣзной дороги, Царскосельской, открытой для движенія 30 ноября 1837 года <sup>1)</sup>.

Въ 1836 году Haskworth (Гакуортсъ) построилъ первый паровозъ для Царскосельской ж. дороги, сооруженной съ шириной колеи въ 6 футъ.

Этотъ паровозъ сопровождалъ 3 ноября 1836 года первый въ Россіи поѣздъ по Царскосельской ж. д. отъ Павловска до Кузьмина въ присутствіи Императора Николая I-го, Императрицы и Наслѣдника. Открытіе Царскосельской ж. д. для общаго пользованія состоялось 30 ноября 1837 года. Поѣздъ отправился въ составѣ паровоза и 8 вагоновъ. Паровозъ былъ завода Р. Стеффенсона и К<sup>о</sup>, а нижніе поставки вагоновъ были построены частью въ Серенгѣ (Бельгія), частью въ Дублинѣ. Кузова вагоновъ были построены въ Брюсселѣ на мебельной фабрикѣ Павельса, частью въ Петербургѣ. Поѣздъ отбылъ изъ Петербурга въ 12<sup>1/2</sup> час. дня; паровозомъ управлялъ самъ фонъ-Герстнеръ, строитель дороги, который черезъ 35 минутъ доставилъ поѣздъ въ Царское Село. На обратномъ пути тѣ же 21<sup>1/2</sup> версты были пройдены въ 28 минутъ, причемъ нѣкоторыя версты были пройдены въ 1 минуту, т. е. первый же поѣздъ развивалъ скорость до 60 верстъ въ часъ. Первые паровозы Царскосельской желѣзной дороги назывались: „Проворный“, „Орелъ“, „Стрѣла“, „Богатырь“ (переименованный послѣ въ „Россію“), „Левъ“ и „Слонъ“.

Изъ этихъ паровозовъ сохранились размѣры только „Россіи“. Паровозъ „Россія“ завода Кокерилля въ Серенгѣ поступилъ въ 1836 году. Его размѣры: діаметръ цилиндровъ 14 д., ходъ поршней 18 д., цилиндры внутренніе, діаметръ котла 3,8 ф., длина его 9 ф., дымогарныхъ трубъ 104, полная поверхность нагрѣва 542,17 ф. Давленіе пара при испытаніи 105 фунтовъ. Число колесъ 6, изъ нихъ ведущихъ 2, діаметръ ведущихъ колесъ 5,5 ф., діаметръ несущихъ колесъ 4 фута, нагрузка ведущихъ колесъ 312 пудовъ. Вѣсъ паровоза безъ воды и топлива — 700 пудовъ. Вѣсъ паровоза съ водой и топливомъ 970 п. Наибольшая тяга 52 п., наибольшая скорость 23 версты въ часъ. Наибольшее полезное дѣйствіе — 119,6 лош. силъ.

Цѣна съ тендеромъ 12.000 руб. сер. <sup>2)</sup>.

1) Желѣзнодорожное дѣло 1886 года № 15, статья „Торжественное общее собраніе членовъ И. Р. Техническаго Общества по случаю 50-лѣтія отъ начала желѣзныхъ дорогъ въ Россіи“ и В. В. Саловъ „Начало желѣзнодорожнаго дѣла въ Россіи (1836—1855)“. „Вѣстникъ Европы“, мартъ, апрѣль и май 1899 г.

2) Я. В. Шотлендеръ. Исторія паровоза за сто лѣтъ (1803—1903) С.-Петербургъ, 1905.



Первые паровозы, потроенные въ Россіи послѣ Черепановскихъ паровозовъ, были выпущены въ началѣ 1845 года Александровскимъ механическимъ заводомъ, который, согласно Высочайше утвержденнаго 23 марта 1844 года Положенія объ управленіи заводомъ, 1 апрѣля 1844 г. былъ переданъ изъ горнаго вѣдомства въ вѣдомство путей сообщенія<sup>1)</sup>, а этимъ послѣднимъ былъ сданъ, согласно контракта, утвержденнаго Главноуправляющимъ путями сообщенія 3 января 1844 года, на 6 лѣтъ въ аренду Сѣверо-Американскимъ механикамъ Гаррисону, Уайненсу и Иствику, съ условіемъ „изготовить на немъ для С.-Петербургско-Московской желѣзной дороги полное количество локомотивовъ и вагоновъ, снабдить заводъ всѣми необходимыми для этого дѣла машинами и инструментами, научить механическому дѣлопроизводству мастеровыхъ завода, образовать изъ нихъ машинистовъ, приготовить кондукторовъ и вообще привести заводъ въ соотвѣтственное его предназначенію устройство и тѣмъ отклонить зависимость нашу въ этомъ дѣлѣ отъ иностранныхъ заводчиковъ и обезпечить ремонтъ желѣзной дороги“<sup>2)</sup>.

Согласно донесенія полиціймейстера Александровскаго завода Главноуправляющему путями сообщенія отъ 24 марта 1845 г., Александровскій заводъ окончилъ постройкою первые два паровоза въ половинѣ марта 1845 г. Затѣмъ до конца 1848 года на Александровскомъ заводѣ были построены 162 паровоза (42 пассажирскихъ и 120 товарныхъ), т. е. полное число, которое Гаррисонъ, Уайненсъ и Иствикъ по контракту были обязаны построить въ теченіи пяти лѣтъ. Гаррисону, Уайненсу и Иствику было предоставлено право выписывать изъ заграницы всѣ матеріалы (въ необработанномъ видѣ), нужные для постройки паровозовъ; этимъ правомъ они пользовались довольно широко, такъ что въ сущности постройку ими паровозовъ скорѣе слѣдуетъ назвать сборкою. Пассажирскіе паровозы были восьмиколесные, вѣсомъ 1100 пудовъ на ходу. Двѣ заднія оси съ колесами діаметромъ 4 ф. были спарены, а двѣ переднія оси съ колесами діаметромъ 3 ф. поддерживали тележку. Паровые цилиндры имѣли діаметръ 16 д. при ходѣ поршня въ 20 д. Котлы испытывались пробнымъ давленіемъ въ 120 англ. фунт. на кв. дюймъ. Цилиндрическая часть котловъ имѣла діаметръ 3 ф 7<sup>1</sup>/<sub>4</sub> д. и заключала 185 трубокъ, діаметромъ 2 д. Топки были мѣдныя, а трубки латунныя.

Товарные паровозы были шестиколесные съ тремя спаренными осями и отличались отъ пассажирскихъ размѣрами

1) Приказъ Главноупр. пут. сообщенія 29 марта 1844 г. № 111.

2) Общій обзоръ Александровскаго главнаго механическаго завода С.-Петербургско-Московской ж. дор. 1847 года и Положеніе объ управленіи заводомъ.



цилиндровъ и колесъ, которые имѣли діаметры 18 д. и 4 ф. 6 дюймовъ.

Послѣ 1848 года Александровскій заводъ, арендаторами коего, послѣ Уайненса, были сперва фирма Sail et C<sup>o</sup>, а затѣмъ опять Уайненсъ, съ нѣкоторыми перерывами построилъ еще 40 паровозовъ до 1869 года, когда заводъ, вмѣстѣ съ Николаевскою дорогою, перешелъ въ аренду Главнаго Общества.

Всѣ паровозы, построенные на Александровскомъ заводѣ, были снабжены механизмомъ перемѣны хода Eastwick'a.

Поводковъ для открыванія продувательныхъ крановъ цилиндровъ не существовало и помощнику машиниста приходилось, открывши краны рукою, бѣжать рядомъ съ паровозомъ, пока колеса не сдѣлаютъ нѣсколько оборотовъ, послѣ чего нужно было закрыть краны на ходу и вскочить на паровозъ. Питаніе котла производилось насосомъ. Въ концѣ 50-хъ годовъ прошлаго столѣтія была произведена постройка Николаевской жел. дороги отъ Петербурга до Москвы.

Первый Императорскій сквозной поѣздъ прослѣдовалъ изъ Петербурга въ Москву 19 августа 1857 года.

На паровозѣ находились Уайненсъ и оберъ машинистъ Бартмеръ.

Часть пути на этомъ поѣздѣ прослѣдовалъ Императоръ Николай I.

Одинъ изъ мостовъ недалеко отъ С.-Петербурга былъ построенъ на крутомъ уклонѣ дороги.

Для большей красоты мастеръ окрасилъ желѣзныя рельсы на мосту черной масляной краской.

Ко времени прохода поѣзда краска не успѣла еще высохнуть и какъ только паровозъ вступилъ на мостъ, онъ не могъ сдвинуть поѣзда за недостаткомъ сцѣпленія между его колесами и рельсами.

Колеса боксовали, и паровозъ вмѣстѣ съ поѣздомъ оставался неподвижнымъ.

Между тѣмъ Государь, выйдя изъ вагона, спустился въ оврагъ и нетерпѣливо махалъ оттуда платкомъ.

Находившіеся на паровозѣ американецъ Уайненсъ и оберъ-машинистъ Бартмеръ соскочили на путь, и только тогда обнаружилась причина боксованія колесъ. Немедленно посыпали рельсы золою и пескомъ; поѣздъ двинулся далѣе и, пройдя благополучно мостъ, остановился за мостомъ, чтобы принять Государя, поднявшагося изъ оврага <sup>1)</sup>.

Правильное пассажирское движеніе по всему протяженію Николаевской желѣзной дороги началось 1-го ноября 1851 года.

<sup>1)</sup> В. В. С а л о в ъ. „Начало желѣзнодорожнаго дѣла въ Россіи (1836—1855)“ — „Вѣстникъ Европы“, мартъ, апрѣль и май 1899 г.



Второй по времени заводъ, занявшійся постройкою паровозовъ, былъ устроенный въ 1848 году заводъ герцога Максимилиана Лейхтенбергскаго въ Петербургѣ. Въ 1853 г. заводъ приступилъ къ постройкѣ паровозовъ, однако послѣдовавшая вскорѣ смерть герцога помѣшала энергичному продолженію этого дѣла. Заводъ успѣлъ изъ заказа на 100 паровозовъ изготовить лишь 20 паровозовъ; въ 1858 году, съ передачею постройки Варшавской желѣзной дороги Главному Обществу Россійскихъ желѣзныхъ дорогъ, это Общество купило заводъ и затѣмъ уничтожило его, найдя болѣе выгоднымъ выписать весь подвижной составъ изъ заграницы.

До 1868 года русскими заводами было выпущено всего 222 паровоза, изъ нихъ 200 (или 202) построено Уайненсомъ, 20 (или 17) на заводѣ герцога Лейхтенбергскаго и 2 въ Петербургскихъ мастерскихъ Варшавской дороги. Всѣ же остальные были заказаны заграницей. Переходу отъ заказовъ въ Россіи къ заказамъ заграницей главнымъ образомъ содѣйствовало введеніе въ уставы сперва Главнаго Общества (въ 1857 году), затѣмъ и другихъ обществъ, права беспошлиннаго ввоза паровозовъ.

Въ 1866 году была назначена особая комиссія, на которую было возложено выработать мѣры для водворенія въ Россіи паровозо- и вагоно-строенія. Результатомъ дѣятельности комиссіи было послѣдовавшее 15 октября 1866 г. Высочайшее повелѣніе о прекращеніи правительственныхъ заказовъ заграницею и объявленіе, помѣщенное въ газетахъ въ мартѣ 1867 года, которымъ русскіе заводы приглашались заняться паровозо- и вагоно-строеніемъ, при условіи предоставленія на нѣсколько лѣтъ правительственнаго заказа на подвижной составъ и выдачи пособія отъ казны для облегченія первоначальныхъ дѣйствій заводовъ.

Въ 1868 году были сдѣланы правительственные заказы заводамъ Карра и Макферсона (нынѣ Балтійскій), Путилова, Полетики и Семянникова (впослѣдствіи Общества Горныхъ и Механическихъ заводовъ), Мальцева и казенному Воткинскому, изъ коихъ впрочемъ только три послѣдніе дѣйствительно приступили къ постройкѣ паровозовъ и продолжали это дѣло. Въ одно время съ этими заводами открылся въ г. Коломнѣ частный паровозный заводъ г. г. Струве, который, не получивъ тогда казеннаго заказа, тѣмъ не менѣе повелъ дѣло и велъ его до 1918 года.

Помимо предоставленія правительственнаго заказа, правительство поощряло постройку паровозовъ въ Россіи, обязывая частныя дороги дѣлать заказы паровозовъ непременно въ Россіи, если цѣны русскихъ заводчиковъ были выше цѣнъ иностранныхъ заводовъ не болѣе чѣмъ на 15%, введеніемъ въ уставы желѣзныхъ дорогъ требованія непремѣннаго



заказа опредѣленной части подвижного состава въ Россіи и установленіемъ пошлины на паровозы. Къ 1 января 1875 г. общее число паровозовъ, поступившихъ на службу на желѣзныя дороги, равнялось 3.652 (изъ нихъ 34 уже были исключены изъ службы). Изъ этого числа 2884 были заграничнаго, а 768 русскаго происхожденія (изъ нихъ построено Александровскимъ заводомъ 246, Коломенскимъ 204, Русск. Обществомъ Горныхъ и Механическихъ заводовъ 179, заводомъ Мальцева 92, Воткинскимъ 21, заводомъ герцога Лейхтенбергскаго 20 и Петербургскими мастерскими Варшавской дороги 6) <sup>1)</sup>.



<sup>1)</sup> Докладъ Ф. Н. Холодова, „О развитіи постройки подвижного состава для жел. дор.“, помѣщенный въ выпускѣ 1 Трудовъ Высочайше утвержденнаго съѣзда главныхъ по машиностроительной промышленности дѣятелей. С.-Петербургъ, 1875 г.















## Изданія Русскаго Научнаго Института въ Бѣлградѣ:

1. — Труды IV-го съѣзда русскихъ академическихъ организацій за границей. 1929. Часть 1 (Науки гуманитарныя) и 2 (Науки матем., ест.-ист. и технич.). — Цѣна 160 динаровъ или 80 динаровъ каждая часть отдѣльно.
2. — Матеріалы для библиографіи русскихъ научныхъ трудовъ за рубежомъ. Выпускъ 1. 1931. — Цѣна 55 динаръ (1 долларъ).
3. — Записки Русскаго Научнаго Института въ Бѣлградѣ. Выпускъ 1. 1930. — Цѣна 55 динаровъ.

А. Л. Погодинъ. Запѣтки объ изученіи былинъ. — И. И. Лаппо. Уравненіе правъ В. Кн. Литовскаго и Короны Польской въ 1697 году. — О. В. Тарановскій. Предметъ и задача т. н. внѣшней исторіи права. — О. О. Марковъ. Статутъ гор. Котора. — В. В. Розенбергъ. Защита чистаго и прикладнаго искусства. — А. Н. Макаровъ. Вопросы кодификаціи основныхъ законовъ въ трудахъ русскихъ законодательныхъ комиссій XVIII вѣка. — Е. В. Аничковъ. Герценъ и Чернышевскій въ 1862 году. — М. В. Шахматовъ. Государственно-національныя идеи „Чиновныхъ книгъ“ вѣнчанія на царство московскихъ государей. — Е. Ф. Шмурло. С. М. Соловьевъ. — С. Л. Франкъ. Онтологическое доказательство бытія Бога.

4. — Записки Русскаго Научнаго Института въ Бѣлградѣ. Выпускъ 2. 1930. — Цѣна 30 динаровъ.

А. А. Брандтъ. Обь аксіоматикѣ теоремы Карно и второго закона термодинамики. — В. Х. Даватцъ. Обь одномъ свойствѣ окружностей. — А. И. Косицкій. Объясненіе измѣненія расхода въ чзсъ на единицу мощности съ измѣненіемъ нагрузки двигателя внутренняго сгорания. — Н. А. Пушинъ и М. Г. Каухчевъ. Электролит. гипохлоритная станція Петроградскихъ водопроводовъ. В. Э. Мартино. Запѣтки по экологіи нѣкоторыхъ млекопитающихъ Югославіи. — Н. В. Краинскій. Геометрическая и физич. основы морфологіи. — Г. Н. Піо-Ульскій. Исторія и современное направленіе прогресса паровой техники. — В. В. Фармаковский. Тяговыя характеристики турбо-паровозовъ и тепловозовъ. — Ан. Д. Билимовичъ. Обь уравненіяхъ механики во отношенію къ главнымъ осямъ. — Г. Г. Злоковичъ. Принципы почвообразованія въ работахъ А. И. Набокихъ.

5. — Записки Русскаго Научнаго Института въ Бѣлградѣ. Выпускъ 3. 1931. — Цѣна 55 динаровъ.

Е. Шмурло. Русскіе католики конца XVII вѣка (съ факсимиле). — А. Л. Погодинъ. А. И. Соболевскій. — Н. Лосскій. Русская философія въ XX вѣкѣ. — Ал. Маклецовъ. Проблема преступленія въ русской художественной литературѣ. — Е. В. Аничковъ. Къ религиознымъ воззрѣніямъ нашихъ шестидесятниковъ. — М. В. Шахматовъ. Купчія гра-



моты Московской Руси. — В. В. Розенбергъ. Правовыя и экономическія идеи до и послѣ войны. — Е. В. Спекторскій. Бенжамень Констанъ и Фюстель де Куланжъ. — А. А. Кизеветтеръ. Первый курсъ В. О. Ключевского 1873 - 74 г. — Р. К. Дрейлингъ. Военскій Уставъ Петра Великаго и Суворова. — П. А. Остроуховъ. Объ источникахъ и методахъ и ученія торговли на Нижегородской ярмаркѣ въ XIX вѣкѣ до эпохи великихъ реформъ.

**6. — Записки Русскаго Научнаго Института въ Бѣлградѣ. Выпускъ 4. 1931. — Цѣна 55 динаровъ.**

Г. Г. Злоковичъ. Н. И. Васильевъ (некрологъ). — В. В. Фармаковскій. К. Д. Серебряковъ (некрологъ). — В. Х. Даватцъ. Къ вопросу объ огибающихъ семейства плоскихъ кривыхъ, зависящихъ отъ одного параметра. — Н. Н. Салтыковъ. Интегрированіе уравненій съ частными производными по способу измѣненія произвольныхъ постоянныхъ. — В. Жардецкій. О перманентномъ вращеніи изолированной жидкой массы. — Д. П. Рузскій. Работа центробѣжнаго насоса при переменныхъ условіяхъ. — Г. Н. Піо-Ульскій. О рациональномъ опредѣленіи коэффиціента полезнаго дѣйствія паровыхъ турбинъ. — А. Фанъ-дербъ-Флитъ. Статически неопредѣлимый стержневой четырехугольникъ съ двумя проводочными діагоналями и съ шарнирами въ узлахъ. — В. В. Фармаковскій. О выборѣ наивыгоднѣйшаго подъема при проектированіи желѣзнодорожныхъ линій. — Н. П. Абакумовъ. Относительная поправка за деформацию цѣпной линіи при измѣреніи базиса инварными проволоками. — А. А. Нилусъ. Наука и ея примѣненія въ военномъ дѣлѣ. — Л. В. Черносвитовъ. Резорбція мужскихъ половыхъ продуктовъ и ея значеніе для организма. — В. Мартино. Объ измѣненіи окраски мѣха у млекопитающихъ Югославіи. — Н. В. Краинскій. Электростатическія изслѣдованія и ихъ примѣненіе къ биологіи. — М. Н. Лапинскій. Активаторы психическихъ функций. — Г. Г. Злоковичъ. Нѣкоторыя данныя по морфологіи почвъ Ананьевскаго уѣзда Херсонской губерніи. — Я. Хлытчиевъ. О гипотезѣ Журавскаго. — И. С. Свищевъ. Контроли правильности составленія условныхъ и нормальныхъ уравненій при уравниваніи нивеллирныхъ сѣтей способомъ наименьшихъ квадратовъ. — А. А. Брандтъ. Очеркъ исторіи примѣненія паровыхъ двигателей въ Россіи со времени ихъ появленія до 1875 года.

**7. — Записки Русскаго Научнаго Института въ Бѣлградѣ. Выпускъ 5. 1931. — Цѣна 55 динаровъ.**

Л. М. Сухотинъ. Къ пересмотру подроса объ опричинѣ. — Н. Н. Афанасьевъ. Провинціальныя собранія Римской Имперіи и Вселенскіе Соборы. — К. І. Зайцевъ. Крѣпостной земельный строй Россіи XVI—XVIII вв. и отраженіе его въ сочиненіяхъ Посошкова. — И. И. Лапшинъ. О схематизмѣ творческаго воображенія въ наукѣ. — И. В. Пузино. Религиозно-философскія воззрѣнія Джіованни Пико делла Мирандола. — А. Л. Погодинъ. Наблюденія надъ техникой народной лирики. — А. М. Петрункевичъ. Фюстель де Куланжъ. — С. В. Троицкій. Нелегальное кровное родство какъ препятствіе къ браку. — Г. А. Острогорскій. Аѳонскіе исихасты и ихъ противники. — С. Л. Волкобрунъ. Къ вопросу о процессуальной правѣ и дѣеспособности въ чешскомъ земскомъ правѣ. — М. А. Иностранцевъ. Вооруженныя силы, планы сторонъ и стратегическое развертываніе на русскомъ фронтѣ въ Міровую Войну.

**Складъ изданій:** 1) Руски Научни Институт, Јакшићева, 2, Београд, (Југославија), Institut Russe, Јакшићева 2, Beograd (Југославија). — 2) Ruska izdavačka knjižara, Knez Mihajlova, 35 (Pasaž), Beograd (Југославија).